

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**MİMARLIKTA SAYISAL DÜŞÜNMENİN
YAPARAK ÖĞRENME ODAKLI GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Selin OKTAN

**MART 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

MİMARLIKTA SAYISAL DÜŞÜNMENİN
YAPARAK ÖĞRENME ODAKLI GELİŞTİRİLMESİ

Selin OKTAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (MİMARLIK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 / 03 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 31 / 03 / 2021

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serbüent VURAL

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim süresince desteğini esirgemeyen, fikirleri ile çalışmaya değer katan danışmanım Doç. Dr. Serbülent Vural'a hoşgörüsü, sabrı ve yol göstericiliği için;

Tez izleme jürisinde yer alan Prof. Dr. Nilgün Kuloğlu ve Prof. Dr. M. Birgül Çolakoğlu'na yapıcı eleştirileri için;

Tez savunma jürisinde yer alan Prof. Dr. Fehmi Doğan ve Doç. Dr. Semra Arslan Selçuk'a katkıları için;

Trabzon Üniversitesi Müzik Eğitimi Bölümü Bölüm Başkanı Prof. Dr. M. Kayhan Kurtuldu'ya değerlendirme yönteminin olgunlaşmasındaki yardımları için;

Mimarlık Bölümü Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Ali Asasoğlu, Prof. Dr. Asu Beşgen, Prof. Dr. Nihan Engin, Doç. Dr. Nilhan Vural ve Öğr. Gör. Dr. Kıymet Sancar Özyavuz'a kapsam geçerlik çalışmasına uzman görüşleri ile sağladıkları katkılar için;

Tez çalışması kapsamında uygulanmış olan atölye çalışmalarına emek veren KTÜ Mimarlık Bölümü lisans öğrencilerine özverili çalışmaları için;

Değerli arkadaşlarım Özgenç Akın, Hayrettin Acar, Gizem Akın ve Beyza Atalay Yıldırım'a bütün destekleri için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim, bugünlere gelmemi sağlayan değerli ailem; annem Uğur Oktan, babam Ayhan Oktan ve abim Erhan Oktan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı anneme, babama ve Neslihan'a ithaf ediyorum.

Selin OKTAN

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Mimarlıkta Sayısal Düşünmenin Yapararak Öğrenme Odaklı Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar Doç. Dr. Serbülent Vural’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 31/03/2021

Selin Oktan

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç, Kapsam ve Hedefler.....	2
1.3. Konuya Yaklaşım	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	8
2.1. Literatür Çalışması ve Kavramsal Çerçeve	8
2.1.1. Mimarlıkta Sayısal Tasarım ve Sayısal Düşünme.....	9
2.1.2. Mimarlık Eğitiminde Yeni Yaklaşımlar ve Sayısal Tasarım Eğitimi	14
2.1.2.1. Mimarlık Eğitiminde Konstrüktivist / Yapma Odaklı Yaklaşımlar	18
2.1.2.2. Konstrüktivist Eğitim Sürecinde Öğrenme Stratejileri	22
2.2. Çalışmanın Yöntemi.....	26
2.2.1. Atölye Çalışmaları Sürecinde Kullanılan Yöntemler ve Atölye Çalışmalarının Belirlenmesi	27
2.2.2. Değerlendirme Tekniği.....	34
2.3. Sayısal Düşünme Odaklı Atölye Çalışmalarının Kurgusu	48
2.3.1. Geometri Odaklı Egzersizler	52
2.3.2. Malzeme Odaklı Egzersizler	60
2.3.3. Sayısal Üretim Yöntemleri Odaklı Egzersizler	67
2.3.4. 1:1 Ölçekli Üretim Odaklı Egzersizler	73
2.4. Atölye Çalışmaları.....	74
2.4.1. Geometri Odaklı Atölye Çalışmaları.....	75
2.4.2. Malzeme Odaklı Atölye Çalışmaları.....	88
2.4.3. Sayısal Üretim Yöntemleri Odaklı Atölye Çalışmaları.....	97
2.4.4. 1:1 Ölçekli Üretim Odaklı Atölye Çalışmaları.....	107

3.	BULGULAR VE TARTIŞMALAR	110
3.1.	Portfolyo Yöntemine Yönelik Bulgular	110
3.1.1.	Geometri Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular	111
3.1.2.	Malzeme Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular.....	126
3.1.3.	Sayısal Üretim Yöntemi Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular.....	135
3.1.4.	1:1 Ölçekli Üretim Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular	145
3.1.5.	Portfolyo Yöntemi Bulgularına İlişkin Tartışmalar	150
3.2.	Öğrenci Görüş Ölçeğine Yönelik Bulgular	152
3.2.1.	Sayısal Tasarım ile İlgili Değerlendirmeler	153
3.2.2.	Sayısal Üretim ile İlgili Değerlendirmeler	162
3.2.3.	Sayısal Düşünme ile İlgili Değerlendirmeler	164
3.2.4.	Geometri, Malzeme, Sayısal Üretim Yöntemleri ve Yapma / Üretme ile İlgili Değerlendirmeler	169
3.2.5.	Öğrenci Görüş Ölçeği Bulgularına İlişkin Tartışmalar	177
3.3.	Final Çalışmalarına Yönelik Bulgular.....	183
3.3.1.	Final Çalışmalarına Yönelik Tartışmalar	197
3.4.	Kavramsal Çerçeveye İlişkin Tartışmalar	198
3.4.1.	Bir Rol Model Olarak Bauhaus	199
3.4.2.	Sayısal Düşünme Neden Önemlidir?	200
3.4.3.	Sayısal Düşünme Nasıl Öğrenilir?	201
3.4.4.	Atölye Süreçlerinin Güçlü ve Zayıf Yönleri	202
3.4.5.	Tasarım Sürecinin Sayısallaştırılması	204
3.4.6.	Sayısal Süreçler Konvansiyoneli Öldürür mü?	205
3.4.7.	Sayısal Düşünmeye Yönelik Zorunlu Ders Gerekliliği.....	206
3.4.8.	Ters Yüz Edilmiş Sınıf Modeli	207
3.4.9.	Yapma Odaklı Öğrenme Sürecinde Portfolyo Değerlendirmesi	208
3.4.10.	Uzaktan Eğitim.....	209
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	211
5.	KAYNAKLAR.....	219
6.	EKLER	225

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

MİMARLIKTA SAYISAL DÜŞÜNMENİN
YAPARAK ÖĞRENME ODAKLI GELİŞTİRİLMESİ

Selin OKTAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Serbülenç VURAL
2021, 224 Sayfa, 7 Sayfa Ek

Mimarlıkta sayısal düşünme, bir tasarım probleminin sayısal ilişkileri ile açık bir şekilde ve adım adım ifade edilebilmesi anlamına gelmektedir. Çalışma, sayısal düşünmenin geliştirilmesine ilişkin çok yönlü bir bakış açısına sahiptir. Bu çok yönlü yaklaşım; tasarım sürecinin tarif edilmesi, sayısal ortamda modellenmesi, konvansiyonel üretim, konstrüktivist yaklaşımlar ve sayısal fabrikasyon süreçleri ile yaparak öğrenmenin bütünleştirilmesini içermektedir.

Çalışmada kapsamında uygulanan ve sayısal düşünmenin geliştirilmesini hedefleyen egzersiz çalışmaları, dört adet seçmeli ders kapsamında, üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı yarıyıl mimarlık öğrencileri ile uygulanmıştır. Atölye çalışmaları sırasıyla, geometri, malzeme, sayısal üretim yöntemleri ve 1:1 ölçekli üretim başlıklarında kurgulanmıştır. Her egzersiz süreci yapma eylemi ile odaklı gerçekleştirilmiştir. Üçüncü ve dördüncü yarıyıldaki uygulanan egzersizler konvansiyonel yöntemler ile bütünleştirilmiştir. Böylelikle öğrencilerin aşına oldukları yöntemler kullanılarak sayısal düşünmeyi öğrenmeleri hedeflenmiştir. Beşinci ve altıncı yarıyıllarda ise sayısal tasarım ve üretim süreçlerine ağırlık verilmiştir. Çalışmanın bulguları; portfolyo yöntemi, öğrenci görüş ölçeği ve final çalışmalarına ilişkin sonuç ürünlere yönelik değerlendirmeler ile elde edilmiştir. Elde edilen veriler egzersiz süreçlerinde yapılan gözlemler ile bütünleştirilerek aktarılmıştır.

Çalışmanın sonucunda mimarlıkta sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı geliştirilmesine yönelik bir eğitim modeli ortaya konulmuştur. Bu model, bilişsel süreçlere ilişkin öğrenme durumları sınıflaması ile atölye süreçleri ilişkilendirilerek oluşturulmuştur. Egzersiz süreçlerinin güçlü ve zayıf yönleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sayısal düşünme, yaparak öğrenme, sayısal tasarım, konstrüktivist yaklaşım, sayısal fabrikasyon

PhD. Thesis

SUMMARY

IMPROVING COMPUTATIONAL THINKING IN ARCHITECTURE
WITH LEARNING BY DOING

Selin OKTAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architecture Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Serbülen VURAL
2021, 224 Pages, 7 Pages Appendix

Computational thinking in architecture means to define a design problem with its computational relations step by step and clearly. The study has various perspectives on improving computational thinking. These perspectives include describing the design process, modelling on computer, producing by conventional procedure, constructivist approaches and fabricating by computational approaches and combining these perspectives with learning by doing.

The exercises, which aim to improve computational thinking, were carried out as a part of elective courses and with third, fourth, fifth and sixth term architecture students. Each exercise process was combined with learning by doing. The exercises carried out with third and fourth term students were integrated with conventional approaches. In this way, it was aimed to use familiar methods for students' learning computational thinking. In the fifth and sixth terms the computational design and fabrication methods were at the core. The findings of the study were gained by portfolio assessment, students' opinion scale and discussing on final studies. These findings were discussed in the light of the observations made during exercise processes.

As a result of the study an education model which aims to improve computational thinking with learning by doing was constructed. This model was formed by relating cognitive learning classification with exercise processes. The strengths and weaknesses of exercise processes were discussed.

Key Words: Computational thinking, computational design, constructivist approaches, digital fabrication

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çalışma sürecinin ana hatları.....	6
Şekil 2. Stereotomi kavrayışına ilişkin bir görsel	9
Şekil 3. Dünya genelinde Fab Lab'ların dağılımı	10
Şekil 4. Kara kutu süreci	12
Şekil 5. Saydam kutu ve kara kutu süreçleri	12
Şekil 6. Gelenekselden dijitale geçişte tasarım sürecinin değişimi	14
Şekil 7. Grasshopper® arayüzü ve parametre örneği.....	17
Şekil 8. Eylemler ile hatırlama yüzdeleri arasındaki ilişki ve kazanılan beceriler.	19
Şekil 9. Nesnelci yaklaşımdan konstrüktivist yaklaşıma geçiş.....	19
Şekil 10. Bauhaus eğitim sistemi	20
Şekil 11. ICD tarafından üretilmiş 1:1 ölçekli strüktür ve Bauhaus'ta üretilmiş mobilya	21
Şekil 12. Bauhaus'ta atölye çalışmaları	21
Şekil 13. Bir biçim grameri uygulaması: Başlangıç biçimi, kural ve sonuç ürün	30
Şekil 14. Geometri odaklı atölye çalışmaları özet görseli	31
Şekil 15. Malzeme odaklı atölye çalışmaları özet görseli.....	32
Şekil 16. Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmaları özet görseli	33
Şekil 17. 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmaları özet görseli	34
Şekil 18. Yapma odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 1) ve puanlama sistemi Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır.....	38
Şekil 19. Yapma odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 2) ve puanlama sistemi Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır.....	39
Şekil 20. Sayısal modellemenin öğretilmesi odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 1) ve puanlama sistemi Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır	41
Şekil 21. Sayısal modellemenin öğretilmesi odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 2) ve puanlama sistemi Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır	42
Şekil 22. Portfolyonun notlandırılmasına ilişkin bir görsel	43
Şekil 23. Tez çalışması kapsamında uygulanan atölye çalışmalarının kurgusu	48
Şekil 24. Sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı olarak geliştirilmesine yönelik egzersiz adımları	50

Şekil 25.	Uygulama için öğrenciye verilen ilk verilerden bir örnek – Şekil çözümlenmeleri öğrencilerden beklenen çözümü belirtmek için gösterilmiştir	77
Şekil 26.	Dairelerin teğetlik ilişkisi içerisinde bir araya gelmesi	79
Şekil 27.	Kesik konilerin eğrisel hat üzerinde bir araya gelmesi.....	81
Şekil 28.	Sayısal ilişkilerin Grasshopper modelinde parametre olarak tanımlanması.....	83
Şekil 29.	Katlama yöntemi ile elde edilen yüzeye ilişkin görsel	84
Şekil 30.	Sonuç ürünlerden bir örnek	84
Şekil 31.	Uygulama kapsamında örnek olarak verilen biçimler. Sırasıyla: Schwarz, Gyroid, Scherck's Surface	87
Şekil 32.	Öğrencilere verilen fonksiyonlardan örnekler	87
Şekil 33.	Parametrik kerf çalışmasından örnekler	89
Şekil 34.	Öğrencilerin birbirlerinin tasarlamış oldukları örüntüleri üretmeleri.....	90
Şekil 35.	Sayısallaştırma için hazırlanmış görseller ve pilot çalışma uygulamaları.....	93
Şekil 36.	Pilot çalışma aşamasında gerçekleştirilmiş olan uygulama süreci ve sayısallaştırma eskizi	95
Şekil 37.	İlk aşamada verilen çokyüzlüler	99
Şekil 38.	İkinci aşamada verilen çokyüzlüler	99
Şekil 39.	Üretime hazırlık aşaması: Grasshopper tanımı ve panelizasyon	101
Şekil 40.	İlk üretime ait görseller	103
Şekil 41.	Tekrarlanan üretime ait görseller.....	103
Şekil 42.	Robotik üretim süreci	105
Şekil 43.	Bir öğrenci grubunun geliştirmiş olduğu üretim uygulaması.....	108
Şekil 44.	Altıgen duvar üretimine ve sayısal modele ilişkin denemeler.....	109
Şekil 45.	Aynı ürünün geleneksel ve dijital olarak üretimi	112
Şekil 46.	Öğrenci 10 tarafından üretilmiş sayısal model	115
Şekil 47.	Öğrenci 1'e ait çizim ve sayısal model.....	115
Şekil 48.	Öğrenci 6'ya ait eskizler, fiziksel ve sayısal modeller	118
Şekil 49.	Öğrenci 8'e ait konvansiyonel ve sayısal üretim.....	118
Şekil 50.	Öğrenci 13 tarafından üretilmiş sayısal model	121
Şekil 51.	Uygulamanın yapma odaklı aşamasında üretilen çalışmalardan örnekler	121
Şekil 52.	Öğrenci 23 tarafından üretilen sayısal model	123

Şekil 53.	Öğrenci 6'nın üretmiş olduğu sayısal model	124
Şekil 54.	Öğrenci 5 tarafından tarif edilen örüntü adımları	127
Şekil 55.	Öğrenci 2'nin üretmiş olduğu sayısal model	128
Şekil 56.	Eğrisel çizgiye göre oluşturulan kompozisyon.....	129
Şekil 57.	Öğrenci 3 tarafından üretilmiş olan sayısal model	130
Şekil 58.	Gergi ve ankraj noktalarının sayısallaştırılması ve fiziksel model.....	131
Şekil 59.	Öğrenci 5 tarafından üretilmiş sayısal model	133
Şekil 60.	Pilot çalışma sürecinde bir öğrenci tarafından üretilmiş olan sayısal model	133
Şekil 61.	Parametrik mutasyon egzersizinin sayısal modellemesi.....	134
Şekil 62.	Öğrenci 1 tarafından yapılan cisim açılımları	136
Şekil 63.	Öğrenci 2'nin üretmiş olduğu sonuç ürünler	137
Şekil 64.	Öğrenci 3 ve 5 tarafından hazırlanmış olan ilk çalışma	138
Şekil 65.	Öğrenci 3 ve 5 tarafından üretilmiş olan ilk ve ikinci çalışmalar.....	140
Şekil 66.	Egzersiz kapsamında üretilmiş olan sonuç ürün.....	140
Şekil 67.	Öğrenci 5 ve 6 tarafından üretilen katlama biçimi	143
Şekil 68.	1:1 ölçekli uygulamaya ilişkin sayısal model ve sonuç ürün	145
Şekil 69.	Üretim sürecinin sayısal model üzerinde planlanması	146
Şekil 70.	Örüntü adımlarının oluşturulması.....	146
Şekil 71.	Üretim için belirlenmiş model	147
Şekil 72.	Öğrenci 6'ya ait üretim aşamaları görseli.....	148
Şekil 73.	Sonuç ürün ve grupların üretecekleri parçalar	148
Şekil 74.	Öğrenciler tarafından üretilmiş olan ilk prototip ve üretim süreci	149
Şekil 75.	Öğrenci gruplarından biri tarafından geliştirilmiş olan detay çözümlemesi.....	149
Şekil 76.	Sonuç ürün	150
Şekil 77.	Uygulama süreci ve sayısal modelin sayısal ilişkiler ile anlatılması.....	151
Şekil 78.	Pilot çalışma kapsamında uygulanmış olan egzersiz çalışması sonuç ürünleri	174
Şekil 79.	Grup 4 - Alternatif-1'e ait alternatif üretimleri.....	184
Şekil 80.	Grup 2'nin üretim süreci açıklamaları	186
Şekil 81.	Grup 1'e ait üretim dosyası örneği ve sonuç ürün	187
Şekil 82.	Grup 5'e ait üretim dosyası örneği ve sonuç ürün	187
Şekil 83.	Analiz çalışmalarından örnekler	189

Şekil 84.	Sayısal modelleme sürecinin anlatımına ilişkin bir örnek.....	190
Şekil 85.	Grup 1'e ait üretim süreci	191
Şekil 86.	Grup 2'ye ait üretim süreci	191
Şekil 87.	Grup 3'e ait üretim süreci	192
Şekil 88.	Grup 4'e ait üretim süreci	192
Şekil 89.	MSM II final çalışmasında üretilmiş olan sonuç ürünler	193
Şekil 90.	Üretim planlamasına ilişkin bir görsel.....	194
Şekil 91.	Öğrenciler tarafından hazırlanmış üretim dosyası örneği.....	194
Şekil 92.	Kavramsal düşünme ile sayısal tasarımın bir araya getirilmesi.....	195
Şekil 93.	Final çalışmasına ilişkin bir örnek.....	196
Şekil 94.	Bir öğrencinin iki robot manipülatör kullanımı ile üretim sürecini tanımlaması.....	196
Şekil 95.	Kalıp – dökme yöntemi kullanmayı öneren çalışma	197
Şekil 96.	Tiny Bauhaus Pavilion, Barselona / İspanya	199
Şekil 97.	Gergi strüktür egzersizi için kullanılan görsel örneği.....	209
Şekil 98.	Uzaktan eğitim sürecine ilişkin görsel.....	210
Şekil 99.	Mimarlıkta sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı geliştirilmesine yönelik model önerisi.....	212

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Bauhaus düşüncesi ile sayısal tasarım düşüncesi arasındaki benzerlikler	15
Tablo 2.	Kapsam geçerlilik oranının uzman sayısına göre alabileceği asgari değer tablosu.....	44
Tablo 3.	Çalışma kapsamında Lawshe yöntemi ile kapsam geçerlilik oranının belirlenmesine yönelik örnek tablo.....	45
Tablo 4.	Gagné'nin sınıflaması ve tez kapsamında oluşturulan sınıflama	49
Tablo 5.	Ortak egzersiz olarak kurgulanmış olan biçim grameri çalışması özet tablosu	51
Tablo 6.	Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu	53
Tablo 7.	Eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu	55
Tablo 8.	Çift eğrilikli yüzeylerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu.....	56
Tablo 9.	Dönüşen birimlerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu	57
Tablo 10.	Karmaşık geometrilerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu	59
Tablo 11.	Biçim grameri Parametrik kerf çalışması özet tablosu	61
Tablo 12.	Örüntü çalışması özet tablosu.....	62
Tablo 13.	Etkileşim çalışması özet tablosu.....	64
Tablo 14.	Gergi strüktür çalışması özet tablosu.....	65
Tablo 15.	Parametrik mutasyon çalışması özet tablosu.....	66
Tablo 16.	Cisim açılımı çalışması özet tablosu	68
Tablo 17.	Dilimleme yöntemi çalışması özet tablosu	69
Tablo 18.	Teselasyon yöntemi çalışması özet tablosu	71
Tablo 19.	Biçim Grameri Egzersizi Örnek Çalışma	76
Tablo 20.	Öklidyen Geometrilerin Sayısallaştırılması Örnek Çalışma.....	78
Tablo 21.	Eğrisel Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi Örnek Çalışma	80
Tablo 22.	Çift Eğrilikli Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi Örnek Çalışma.....	82
Tablo 23.	Dönüşen Birimler Egzersizi Örnek Çalışma.....	85
Tablo 24.	Karmaşık Geometriler Egzersizi Örnek Çalışma.....	86
Tablo 25.	Biçim Grameri Parametrik Kerf Egzersizi Örnek Çalışma.....	89
Tablo 26.	Örüntü Egzersizi Örnek Çalışma	91
Tablo 27.	Etkileşim Egzersizi Örnek Çalışma	92
Tablo 28.	Gergi Strüktür Egzersizi Örnek Çalışma	94

Tablo 29. Parametrik Mutasyon Egzersizi Örnek Çalışma.....	96
Tablo 30. Cisim Açılımı Egzersizi Örnek Çalışma.....	100
Tablo 31. Dilimleme Yöntemi Örnek Çalışma	102
Tablo 32. Teselasyon Yöntemi Örnek Çalışma	104
Tablo 33. Katlama - Dökme Yöntemi Örnek Çalışma.....	106
Tablo 34. Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizinin amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	113
Tablo 35. Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	114
Tablo 36. Eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	116
Tablo 37. Eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	117
Tablo 38. Çift eğrilikli yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	119
Tablo 39. Çift eğrilikli yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	120
Tablo 40. Dönüşen birimler egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	122
Tablo 41. Dönüşen birimler egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	123
Tablo 42. Karmaşık geometriler egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	124
Tablo 43. Karmaşık geometriler egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	125
Tablo 44. Örüntü egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	127
Tablo 45. Örüntü egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	128
Tablo 46. Etkileşim egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	129
Tablo 47. Etkileşim egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	130
Tablo 48. Gergi strüktür egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	131
Tablo 49. Gergi strüktür egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	132
Tablo 50. Parametrik mutasyon egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	134

Tablo 51. Parametrik mutasyon egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	135
Tablo 52. Cisim açılımı egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	136
Tablo 53. Cisim açılımı egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	137
Tablo 54. Dilimleme egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması	138
Tablo 55. Dilimleme egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	139
Tablo 56. Teselasyon egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	141
Tablo 57. Dilimleme egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	142
Tablo 58. Katlama-dökme egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.	143
Tablo 59. Katlama-dökme egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması.....	144
Tablo 60. MSM I öğrencilerinin M.2.3. için vermiş oldukları cevaplar.....	154
Tablo 61. MSM I öğrencilerinin M.2.5. için vermiş oldukları cevaplar.....	155
Tablo 62. MSM I öğrencilerinin M.2.7. için vermiş oldukları cevaplar.....	156
Tablo 63. MSM I öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar.....	158
Tablo 64. MSM II öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar	158
Tablo 65. MSM III öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar	159
Tablo 66. PTU öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar	160
Tablo 67. MSM I öğrencilerinin M.2.11. için vermiş oldukları cevaplar.....	161
Tablo 68. MSM I öğrencilerinin M.3.2. için vermiş oldukları cevaplar.....	163
Tablo 69. MSM I öğrencilerinin M.3.6. için vermiş oldukları cevaplar.....	164
Tablo 70. MSM I öğrencilerinin M.4.1. için vermiş oldukları cevaplar.....	165
Tablo 71. MSM II öğrencilerinin M.4.5. için vermiş oldukları cevaplar	167
Tablo 72. MSM I öğrencilerinin M.4.6. için vermiş oldukları cevaplar.....	168
Tablo 73. MSM III öğrencilerinin M.4.7. için vermiş oldukları cevaplar	169
Tablo 74. MSM I öğrencilerinin M.5.4. için vermiş oldukları cevaplar.....	171
Tablo 75. MSM II öğrencilerinin M.5.4. için vermiş oldukları cevaplar	172
Tablo 76. MSM III öğrencilerinin M.5.2. için vermiş oldukları cevaplar	173
Tablo 77. MSM III öğrencilerinin M.5.3. için vermiş oldukları cevaplar	175
Tablo 78. PTU öğrencilerinin M.5.2. için vermiş oldukları cevaplar.....	176
Tablo 79. M.2.3. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	179

Tablo 80. M.2.11. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	179
Tablo 81. M.2.12. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	180
Tablo 82. M.3.5. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	180
Tablo 83. M.3.6. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	181
Tablo 84. M.4.6. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	181
Tablo 85. M.4.7. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	182
Tablo 86. M.4.8. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma	182
Tablo 87. Alternatif tasarım ürünleri	185
Tablo 88. Tasarım ürünleri ve sonuç ürünler	188



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojik, sosyal ve kültürel alanlarda meydana gelen değişimler, mimarlıkta tasarım ve üretim süreçlerini, yapma biçimlerini her defasında yeniden tanımlamaktadır. Son dönemde 3. Endüstri Devrimi ve onu bir adım ileri taşıyan 4. Endüstri Devrimi şeylerin interneti, yapay zekâ, karanlık fabrikalar gibi kavramları tartışmaya açmıştır. Bu tartışmalar, mimarlık alanına sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri olarak yansımakta, tasarım ve üretim süreçleri üzerine düşünme biçiminin dönüşmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Mitchell (2011), tasarımı bir yapının üretilebilmesi için gerekli olan biçim bilgisinin sayısallaştırılması olarak tanımlamaktadır. Buradan hareketle, sayısal düşünme kavramının mimari tasarım ve üretim süreçlerinde her zaman var olduğu söylenebilmektedir. Ancak bu durum bazen açığa çıkmakta bazen de tasarımcının zihninde gizli kalmaktadır. Sayısal tasarım süreçleri, sayısal düşünmeyi temel almakta, tasarımdaki sayısal ilişkileri açığa çıkarmayı hedeflemekte ve en nihayetinde sayısal ortamda bir modelin üretilmesini temsil etmektedir. Sayısal düşünmenin; algoritmik düşünme, parametrik tasarım, dijital araçlar, hesaplamalı ya da kompüsyonel tasarım gibi alt kavramları kapsayıcı bir nitelikte olduğu düşünülmektedir. Bu kapsayıcı niteliği nedeni ile çalışma kapsamında “sayısal” kavramının kullanılması tercih edilmiş ancak referansların verilmesi sırasında anlam bütünlüğünün bozulmaması açısından ilgili yazarın kullanımı korunmaya çalışılmıştır.

Sayısal düşünme, karmaşık bir problemin soyutlanması ve parçalarına ayrılması yaklaşımını benimsemekte olup (Wing, 2006), bu bağlamda oluşturulan yönergelerin adım adım aktarıldığı bir kural dizisini ifade etmektedir (Oxman, 2017). Sayısal düşünme sürecinin açığa çıkarılması için yapma eylemi bir yol gösterici olarak düşünülmektedir. Çünkü yapma sürecinde ürünün ortaya çıkarılma aşamaları görünür hale gelmektedir. Aynı zamanda ürünü ortaya çıkaran tüm ilişkiler açığa çıkmaktadır.

Yapma eylemi mimarlık ile daima birebir ilişki içinde olmuştur ve teknolojik gelişmelere de bağlı olarak öğrenmenin gerçekleştirilmesi açısından farklı biçimlerde ele alınabilmektedir. Son yüzyılı etkisi altına alan endüstri devrimlerinin etkilerinin bu farklılaşmada rolü önemlidir. 2. Endüstri Devrimi'nin sonucunda modernizmin ortaya çıkışı ve eşzamanlı olarak Bauhaus Okulu'nun kurulması mimarlıkta günümüze kadar ulaşan bir

değişim dalgası yaratmıştır. Bauhaus düşüncesinde, tasarımcı olarak yetiştirilen bireylerin çağın ruhuna uygun (modernist) tasarımlar üretmeleri ve seri üretim yöntemleri ile uyumlu çalışabilmeleri önem taşımaktadır. Bu bağlamda Bauhaus Okulu'nda yapma eylemi oldukça önemli olup hem atölye hem de şantiye ortamında yapma ön planda tutularak mimarlık eğitimi gerçekleştirilmiştir. Dijital devrimin (3. Endüstri Devrimi'nin) etkilerinin görüldüğü ve Endüstri 4.0 çağının tartışıldığı bu dönemde ise hem düşünme hem de üretme/yapma eylemleri güncellenmektedir. İçinde bulunduğumuz dönemde, mimarlık eğitiminin sayısal tasarımın ve üretimin öğrenilebildiği ve sayısal düşünmenin ön plana çıktığı bir sürece dönüştürülmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Sorguç vd., 2019).

Teknoloji artan bir hızla gelişmekte ve ülkeler arasında giderek derinleşen bir rekabet durumuna yol açmaktadır. Bilimin ve üretimin her alanında olduğu gibi mimarlık alanında da teknoloji ile bütünleşme kavramı günümüzün önemli araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Özellikle Avrupa ve Amerika'da, sayısal düşünmenin ve sayısal üretimin mimarlık alanı ile bütünleştirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Üniversiteler üretimi eğitim süreci ile bütünleştirerek bu alanı domine etmektedir. Dünya'daki bu gelişmelerin yanı sıra Türkiye'de, mimarlık alanında, lisansüstü eğitim ağırlıklı olmak üzere sayısal düşünmeye ve dijital üretime yönelik ders içeriklerinin oluştuğu görülmektedir. Buna karşın sayısal düşünme ve dijitalleşmeye uyum sağlama konusunda Türkiye'deki mimarlık okulları genelinde bakıldığında yeterli bir bilincin henüz oluşmamış olduğu da söylenebilir. Mimarlık okullarında, sayısal düşünme araçları olarak konvansiyonel yaklaşımla bilgisayarla çizim ve görselleştirme yöntemleri başı çekerken halen sayısal ortamda tasarımın ve üretimin rolü ve gerekliliği üzerine tartışmalar yaşanmaktadır.

1.2. Amaç, Kapsam ve Hedefler

Teknoloji çok hızlı bir şekilde gelişmekte, bu gelişmeyi yakalayabilmek ise ancak eğitim ile mümkün olabilmektedir. Bir yandan eğitim yöntemleri ile örnek gösterilen okullarda (AA School, MIT, vb.) teknoloji – eğitim ilişkisinin olabilecek en üst düzeyde kurgulandığı görülmekte iken; diğer yandan bilgisayarın mimarlık eğitimi içerisindeki yeri tartışılmaktadır. Bu durum mimarlık öğrencilerinin teknoloji ile kurdukları ilişkinin zayıf olmasına yol açmaktadır. Oysaki sayısal tasarım ve üretim alanındaki gelişmeler her geçen

gün daha da hızlanarak devam etmektedir. Bu gelişmeleri yakalayabilmek, teknoloji ile mimarlık eğitimi arasındaki ilişkiyi kuvvetlendirerek mümkün olabilecektir.

Tezin amacı, lisans dönemi mimarlık öğrencilerinde sayısal tasarım ve üretim kültürünün ve bilincinin geliştirilebilmesine olanak sağlayacak yaparak öğrenme odaklı bir model geliştirebilmektir. Sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçlerinin öğrenilebilmesi için sayısal düşünmenin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda sayısal düşünmenin geliştirilmesine odaklanan ve yaparak öğrenmeyi merkeze alan egzersiz çalışmaları tez çalışması kapsamında uygulanmıştır. Tez kapsamında bu amacı gerçekleştirebilmek üzere bir dizi egzersiz çalışması kurgulanmış ve seçmeli dersler kapsamında mimarlık bölümü lisans öğrencileri ile uygulanmıştır. Egzersiz çalışmaları; Mimaride Sayısal Modelleme I-II-III (MSM I-II-III) ve Parametrik Tasarım ve Uygulamaları (PTU) isimli dört adet seçmeli ders kapsamında; üç, dört, beş ve altıncı yarıyıl öğrencileri ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, ilk yılı pilot çalışma olmak üzere iki yıl uygulanmıştır. Egzersiz çalışmaları her bir ders için farklı bir tema ile ele alınmıştır. Bu temalar, üretim süreçlerinden hareketle belirlenmiş olup sırasıyla; geometri, malzeme, sayısal üretim yöntemi ve 1:1 ölçekli üretim olarak belirlenmiştir.

Tezin hedefleri;

- Mimarlıkta sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik konvansiyonel ve sayısal süreçleri bir araya getirebilecek hibrit bir model önerisi sunabilmek,
- Sayısal tasarım odaklı eğitimi lisans düzeyinde uygulamak,
- Sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik egzersiz çalışmaları kurgulamak ve bunları uygulayarak sonuçları üzerine tartışmak,
- Kalıcı bir öğrenme süreci sunan yapma odaklı yaklaşımlar ile sayısal tasarım süreçlerini bütünleştirerek mimarlık eğitimine adapte edebilmek,
- Mimari tasarım süreçlerinde halihazırda var olan sayısal ilişkileri açığa çıkararak öğrenme süreçlerinin bir parçası haline getirmek,
- Tasarım sürecindeki sayısal ilişkileri sorgulamak,
- Sayısal fabrikasyon biçimlerinin (iki boyutlu, eklemeli, çıkarmalı, biçimlendirici fabrikasyon) mimarlık eğitimi içinde etkin bir biçimde kullanımını sağlayabilmek,
- “KTÜ Mimarlıkta Sayısal Tasarım ve Fabrikasyon Laboratuvarı” içerisinde bulunan robot manipülatör, CNC lazer kesim cihazı, üç boyutlu yazıcı gibi sayısal fabrikasyona yönelik araçların kullanımını mimarlık lisans eğitimi ile bütünleştirebilmek olarak özetlenebilir.

Çalışmanın amaç ve hedefleri çerçevesinde ve çalışmayı derinleştirebilmek için çeşitli sorular üzerinde durulmuştur. Bu sorular çalışmanın literatür araştırmasına yön verebilmek açısından önem taşımaktadır:

- Mimari tasarım problemleri eksik tanımlı problemler olarak tanımlanmaktadır. Eksik tanımlı bu problemler, sayısal ilişkilerin belirlenmesi gibi sınırları net olarak belirlenmiş bir çerçeve içerisine nasıl oturtulabilir?

- Mimarlık lisans öğrencilerinin sayısal tasarım süreç ve araçlarını öğrenebilmesi ve tasarım sürecinin bir parçası olarak kullanabilmesi mümkün müdür?

- Sayısal tasarım süreçleri tasarımı zenginleştirir mi, kısıtlar mı?

- Egzersiz süreçlerinde öğrenilen bilgiler nasıl kalıcı hale getirilebilir?

- Sayısal düşünmeye yönelik egzersizlerin başarısı nasıl ölçülebilir?

- Öğrencilerin dersi almadan önceki ve dersi aldıktan sonraki başarı durumları nasıl ölçülebilir?

Tez çalışması ile yukarıda sorulan sorulara yanıtlar aranmış ve bu soruların getirdiği birçok fikir çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Böylelikle mimarlıkta sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı geliştirilmesine yönelik bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışmanın lisans düzeyi mimarlık öğrencileri ile uygulanması, sayısal tasarım ve fabrikasyon araçlarının mimarlık eğitimi ile bütünleştirilmesine yönelik bir yöntem sunması, sayısal düşünmenin öğrenilmesine yönelik egzersiz süreçlerinin kurgulanması ve bunları belirli bir sistem içerisinde bir araya getirerek bir model ortaya koyması tezin özgün değeri olarak nitelendirilmektedir.

1.3. Konuya Yaklaşım

Tez çalışması, sayısal düşünmenin öğrenilmesine yönelik bir modelin geliştirilebilmesine odaklanmaktadır. Çalışmanın temelini oluşturan unsurlardan biri olan yaparak öğrenme süreçlerinin bu modelin bir parçası olması gerekliliği fikri, Bauhaus Okulu'ndan elde edilen çıkarımların sonucunda ortaya çıkmıştır. Bauhaus'un deneyimlemeye dayanan atölye süreçleri ve Bauhaus eğitim modelinin zamanın teknolojisini yakalamak üzere ortaya konulmuş olması, günümüz mimarlık eğitimi süreçleri açısından da ipuçları barındırmaktadır. Bauhaus'tan edinilen bu temel fikir, çalışmanın yönünü konstrüktivist eğitim anlayışına taşımıştır. Bu bağlamda, deneyimlemeyi ve yaparak öğrenmeyi temel alan ve aynı zamanda sayısal düşünme süreçlerinin sorgulanabileceği

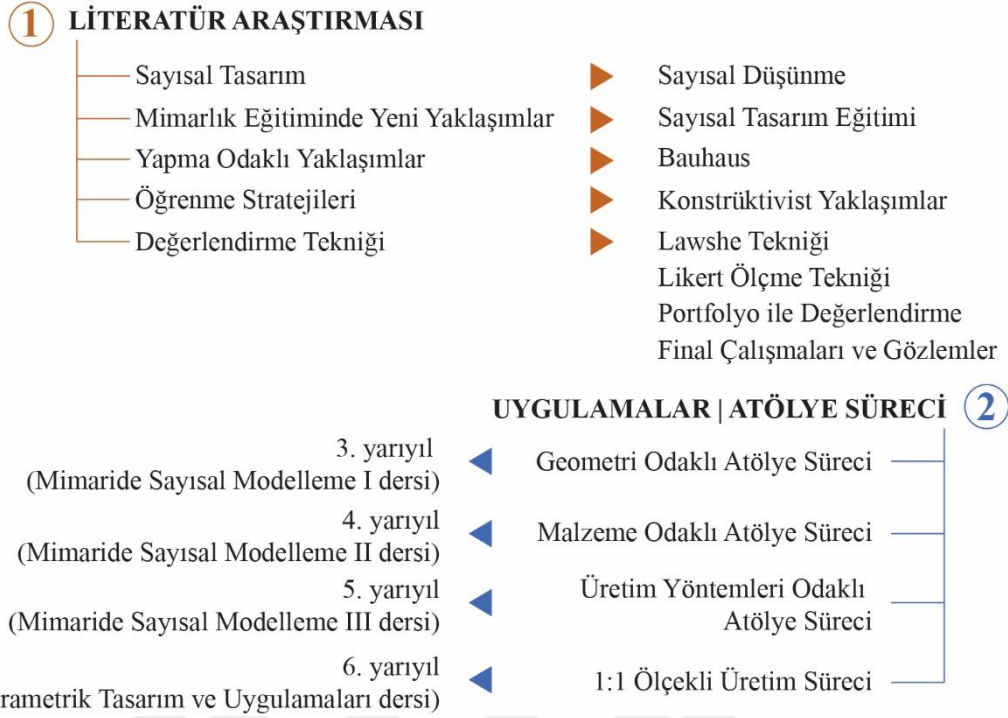
egzersiz çalışmaları geliştirilmiştir. Egzersiz çalışmalarının başarısının tespit edilmesi sorunu ise çalışmaya farklı bir perspektif daha ekleyerek hem egzersizlerin hem de öğrencilerin başarısının nasıl ölçülebileceğine ilişkin soruların sorulmasını sağlamıştır. Bu süreç sonunda; sayısal düşünme, yaparak öğrenme, başarıyı ölçme gibi çok yönlü süreçleri içeren bir model ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Çalışma süreci literatür araştırması ve uygulamalar olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Literatür araştırması sürecinde sayısal tasarım, mimarlık eğitiminde yeni yaklaşımlar ve sayısal tasarım üzerine yapılan çalışmalar, yapmaya odaklanan öğrenme yaklaşımları, öğrenme stratejileri ve uygulanan atölye süreçlerinin nesnel bir biçimde değerlendirilebilmesine yönelik değerlendirme teknikleri üzerine araştırmalar yapılmıştır.

- Sayısal tasarıma yönelik araştırma sürecinde sayısal düşünme üzerine ve tasarım sürecinin sayısal düşünme çerçevesinde nasıl ele alınabileceğine yönelik sorgulamalar;
- Mimarlık eğitiminde yeni yaklaşımlarda sayısal tasarım eğitimi bağlamında sorgulamalar,
- Yapma odaklı yaklaşımlar bağlamında Bauhaus üzerine sorgulamalar;
- Öğrenme stratejileri araştırmasında konstrüktivist yaklaşımlara yönelik sorgulamalar;
- Değerlendirme tekniği araştırmasında ise egzersizlerin başarısını yorumlamaya ve öğrencinin dönem başı ve sonundaki değişimini ölçmeye yönelik sorgulamalar yapılmıştır. Literatür araştırması sürecine bu dört yaklaşım yön vermiştir (Şekil 1).

Çalışma kapsamında kurgulanan egzersizler ilk olarak 2018-2019 Eğitim Öğretim yılı güz ve bahar dönemlerinde MSM I- II-III ve PTU dersleri kapsamında uygulanmıştır. Bu kapsamda yürütülen toplam dört adet atölye sürecinde egzersizlere ve değerlendirme süreçlerine ilişkin olumlu ve olumsuz taraflar tespit edilmiştir. Uygulanan pilot çalışma sonrasında hem egzersiz süreçleri hem de ölçme yöntemlerinde düzeltmeler yapılarak 2019-2020 Eğitim Öğretim yılı güz ve bahar dönemlerinde atölye süreçleri tekrarlanmıştır. Tekrarlanmış olan atölye süreçlerinden bahar döneminde gerçekleştirilmiş olan MSM II dersi ile PTU dersi yüz yüze eğitim ile başlamış ancak, Covid-19 salgını nedeni ile uzaktan eğitim ile tamamlanmıştır. Bu iki atölye sürecine ilişkin veriler pilot çalışma ile desteklenerek derlenmiştir. Atölye süreçlerinden elde edilen sonuçlar aynı zamanda tez çalışmasının verilerini de oluşturmaktadır.

ÇALIŞMA SÜRECİ



Şekil 1. Çalışma sürecinin ana hatları

Heidegger'e (1998) göre felsefe yüzyıllardır dört neden olduğunu öğretmektedir: maddi neden, form, amaç ve fâil neden. Bu durumu ise gümüş kâse örneği üzerinden açıklamaktadır. Gümüş, kâsenin üretildiği malzeme yani maddi neden, kâse biçimi gümüşün almış olduğu form, kâsenin bir ayin için üretilmiş olması amaç, amaç ve maddeyi yorumlayarak bir araya getiren gümüş ustası ise fâil nedendir. Aristoteles'e kadar uzanan dört neden öğretisi, Heidegger (1998) tarafından yeniden gündeme getirilmiştir. Bu dört neden, çalışma kapsamında tasarım süreçlerinin ayrı parçalarına odaklanılabileceğine dair bir fikrin oluşmasına yol açmıştır. Bu fikrin yanı sıra; Bauhaus'un atölye süreçleri ve sayısal tasarım ve fabrikasyona yönelik güncel atölye süreçleri incelenmiş; geometri, malzeme, sayısal üretim yöntemleri ve 1:1 ölçekli üretim başlıklarının ön plana çıktığı görülmüştür. Atölye çalışmalarının temaları bu başlıklar üzerinden belirlenmiştir. Bu temalar, aynı zamanda, bir ürünün ortaya çıkış aşamalarını da temsil etmektedir. MSM I dersi geometriye, MSM II dersi malzemeye, MSM III dersi sayısal üretim yöntemlerine ve PTU dersi 1:1 ölçekli üretime odaklanmaktadır. Bu dört ana başlık aynı zamanda bir mimari ürünün ortaya çıkış sürecinin temsili gibidir.

Sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik kurgulanan atölye çalışmaları, tasarım süreci adımlarının sayısal ilişkileri ile açık bir şekilde ifade edilmesi üzerine kurulmaktadır. Aho (2012) sayısal düşünmeyi, problemleri ve çözümlerini temsil eden hesaplanabilir adımları içeren bir düşünme süreci olarak açıklamaktadır. Bu durum bir algoritmanın oluşturulma sürecine benzetilebilir. Algoritma, bir problemi çözmeye yönelik belirli sayıda adımı içeren mantıksal bir yaklaşımı ifade etmektedir (Terzidis, 2006). Bu bağlamda, egzersiz süreçlerinin sayısal olarak modellenmesi aşamasında Grasshopper® programı görsel bir algoritma oluşturma süreci sunduğu için tercih edilmiştir.

Atölye çalışmalarından geometriye ve malzemeye odaklı olanlar ikinci sınıf öğrencileri ile yürütülmüştür. Mimarlık eğitiminin ikinci yılı içerisindeki öğrencilerin sayısal tasarımı anlayabilmelerini sağlamak için, halihazırda öğrenmekte ve uygulamakta oldukları konvansiyonel süreçler ile sayısal süreçlerin bütünleşik olarak ele alındığı hibrit bir öğrenme süreci kurgulanmıştır. Öğrenci, konvansiyonel süreçte egzersizin yaparak öğrenmeye odaklı ilk aşamasını gerçekleştirmektedir. Bu aşamada öğrenci, verilen tasarım problemi ile ilgili bir maket yapar; yapım aşamalarını adım adım ve sayısal ilişkileri ile anlatmaya çalışır. Bu, aynı zamanda, tasarım sürecinin sayısal bir çözümlenmesidir. İlk aşamada belirlenen sayısal ilişkiler, ikinci aşama olan sayısal tasarım süreci için gerekli girdileri oluşturmaktadır. Öğrenci aynı tasarım sürecini hem konvansiyonel hem de sayısal olarak gerçekleştirdiği için sayısal tasarımın aslında düşündüğü kadar karmaşık bir süreç olmadığını anlamaktadır.

Atölye çalışmalarından sayısal üretim yöntemleri ve 1:1 ölçekli üretim odaklı olanlar ise üçüncü sınıf öğrencileri ile gerçekleştirilmiştir. Bu öğrencilerin tasarım bilinçleri ikinci sınıflara göre daha gelişmiş olduğu için sayısal tasarım sürecinin konvansiyonel aşaması arka planda kalmıştır. Öğrencilerin sayısal tasarım araç ve süreçlerini daha etkin bir biçimde kullanabilmesine yönelik egzersiz çalışmaları yürütülmüştür. Robot manipülatörün deneyimlenmesi, takım yolu hazırlanması gibi karmaşık sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri üçüncü sınıf öğrencileri ile deneyimlenmiştir. Böylelikle seçmeli derslerin tamamını alan bir öğrenci bütün süreci basitten karmaşığa doğru deneyimleme fırsatı bulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar; literatür araştırmasının yapılması ve atölye süreçlerinin uygulanması olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Literatür araştırması sürecinde sayısal tasarım ve sayısal düşünme, öğrenme stratejileri, konstrüktivist yaklaşımlar, Bauhaus gibi tez çalışmasının hedeflerine hizmet eden konu başlıkları üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Yapılan çalışmaların ikinci bölümü teze ilişkin verilerin elde edildiği bölümdür ve sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik bir dizi egzersiz çalışmasının kurgulanması ile başlamaktadır. Atölye süreçlerinin uygulanmasına geçilmeden önce, egzersiz çalışmalarına yönelik amaç, kapsam, öğrenim çıktıları gibi egzersizleri tanımlayıcı bilgileri içeren tablolar hazırlanmıştır. Öğrencilere uygulanmadan önce hazırlanan bu tablolar, atölye süreçleri sonunda öğrencilerden alınan görüşler ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle egzersiz kurgularının başarısı nesnel bir şekilde değerlendirilebilmiştir.

Atölye çalışmalarının değerlendirilmesinde üç yöntem kullanılmıştır: Portfolyo yöntemi, öğrenci görüşlerinin alınması, final çalışmaları ve bu çalışmalara ilişkin gözlemler. Bu yöntemlerden portfolyo ve öğrenci görüşlerinin alınmasına ilişkin literatür ve hazırlık aşamaları “Çalışmanın Yöntemi” başlığı altında tartışılmıştır.

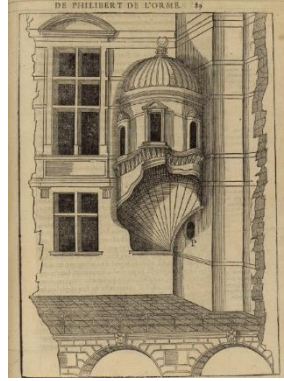
2.1. Literatür Çalışması ve Kavramsal Çerçeve

Literatür araştırması süreci Bauhaus Okulu’ndaki atölye süreçlerinin irdelenmesi ile başlamıştır. Bauhaus Okulu’ndan edinimler yaparak öğrenme kavramının sorgulanmasını sağlamıştır. Yaparak öğrenme süreçleri tez çalışmasının ana unsurlarından biridir. Çalışmanın merkezinde yer alan temel sorgulama ise sayısal düşünmenin öğretilmesi üzerine olmuştur. Bu bağlamda sayısal düşünmenin ne olduğu ve sayısal tasarım ile ilişkisi tartışılmıştır. Sayısal düşünmenin, eğitim modelinin bir parçası haline nasıl geleceği sorusu ise önce konstrüktivist eğitim modelinin sonra da ters yüz edilmiş sınıf modelinin araştırılmasına yol açmıştır.

Literatür çalışması, mimarlıkta sayısal tasarım ve sayısal düşünme, mimarlık eğitiminde yeni yaklaşımlar, mimarlık eğitiminde konstrüktivist / yapma odaklı yaklaşımlar ve konstrüktivist eğitim sürecinde öğrenme stratejileri başlıkları altında toplanmıştır.

2.1.1. Mimarlıkta Sayısal Tasarım ve Sayısal Düşünme

Tez çalışması kapsamında sayısal tasarım kavramı; parametrik tasarım, algoritma oluşturma, hesaplama (kompütasyon) gibi aslında birbirine çok yakın durumları kapsayıcı bir nitelikte ele alınmaktadır. Sayısal tasarım, tasarım düşüncesi açısından yeni bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir; parametrik tasarım yöntemleri ve teknoloji, dijital tasarım düşüncesi için bir yapı taşı haline gelmiştir (Oxman, 2017). 15. yüzyılda perspektifin farkına varılması, mimarlıkta yeni bir matematiksel kavrayışı beraberinde getirmiş; 16. ve 17. yüzyıllarda stereotomi (De L'orme, 1567) pratiği Avrupa'da mimarlığı etkilemiştir (Şekil 2). 19. yüzyıl başında tasarı geometri benzer bir etki yaratmış, günümüzde ise bilgisayarın mimarlık alanında kullanımının mimarlık kavrayışını değiştirebileceği ön görülmektedir (Tanyeli, 2013).



Şekil 2. Stereotomi kavrayışına ilişkin bir görsel (De L'orme, 1567)

Wing (2006) sayısal düşünme üzerine bazı sorgulamalar yapmakta ve şu soruları sormaktadır: İnsan bilgisayardan daha iyi ne yapabilir? Bilgisayar insandan daha iyi ne yapabilir? Ve daha da önemlisi neler sayısallaştırılabilir? (Wing, 2006) Nelerin sayısallaştırılabilir olduğu ve tasarım sürecinin nasıl sayısallaştırılabileceği soruları tez çalışmasının da temel sorularındandır. Çalışmada kurgulanan egzersiz süreçleri bu sorulara

cevap arayıcı nitelikte olup, tasarım sürecinin sayısallaştırılabilirliği üzerine bir tartışma ortamı yaratmaktadır.

Dijital teknolojinin çıktılarında biri olan insan-makine işbirliği, birçok disiplinde olduğu gibi mimarlık disiplinde de yeni bir bakış açısı tanımlamaktadır. Gelişmiş ülkelerde mimarlık alanında yürütülmekte olan güncel çalışmalar irdelendiğinde sayısal tasarım ve fabrikasyon alanı ile ilgili yenilikçi fikirler üzerinde çalışıldığı görülmektedir. Avrupa ve Amerika’da 2000’li yılların başından itibaren bu çalışmalar hız kazanmıştır. 2001 yılında MIT bünyesinde Bit ve Atom Merkezi (Center for Bits and Atoms) (URL-1, 2020), 2003 yılında Katalunya İleri Mimarlık Enstitüsü (IAAC) (URL-2, 2020), 2008 yılında Stuttgart Üniversitesi bünyesinde Sayısal Tasarım Enstitüsü (ICD) kurulmuş (URL-3, 2020) ve 2005 yılında ise Fab Lab fikri ortaya çıkmıştır (URL-4, 2020).



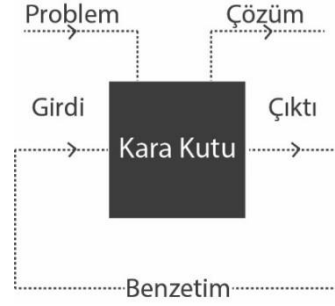
Şekil 3. Dünya genelinde Fab Lab’ların dağılımı (URL-5, 2020).

Mimari üretim ve fabrikasyon süreçlerine yönelik yeni arayışlar, mimari tasarım anlayışında sayısal düşünmeyi ön plana çıkarmaktadır. Sayısal fabrikasyon süreçleri ile uygulanabilir hale gelen standart olmayan üretim süreçleri, tasarım sürecinde sayısal ilişkilerin sorgulanmasına yol açmaktadır. Seri üretim mantığı modülerlik gibi kavramlar üzerinden tasarımı yönlendirmekte iken; sayısal ve standart olmayan /kişiye özel seri üretim mantığı ise her tasarımın kendi özelinde bir ilişkiler bütünü olarak ele alınabilmesini sağlamıştır. Standart seri üretim ve modülerlik kapsamında belirli ölçülerin tekrarı ile tasarım yapmak söz konusu iken, standart olmayan seri üretim tasarımların kişiselleşmesinin yolunu açmıştır. Modern mimarlığın tasarım öznesi olan Modülör, sayısal mimarlıkta standart ölçülerde bir beden olmaktan çıkarak kişiselleşmektedir. Bu aşamada, tasarım probleminin sayısallaştırılabilirliği gibi önemli bir sorunu tartışmak gerekmektedir. Bu

tartışma, konuyu 1970'lerin başlarına kadar geri götürmekte ve “problem” üzerine düşünmeyi gerektirmektedir.

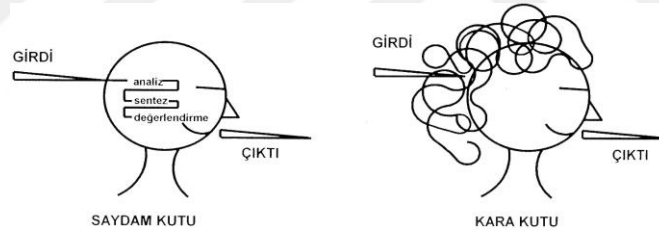
Problemler genel hatlarıyla iyi tanımlı ve eksik tanımlı olmak üzere iki biçimde ele alınabilmektedir (Churchman, 1967; Newell, 1969; Eastman, 1969; Rittel ve Weber, 1973; Mitchell, 1975). İyi tanımlı problemler doğrusal, kararlı, rasyonel sistemlere; eksik tanımlı problemler ise doğrusal olmayan, kararsız, sezgisel sistemlere benzetilebilir (Newell, 1969). Mimari tasarım problemine üretilen çözümün doğruluğunun bir ölçütü olmadığı için bu tip problemler eksik tanımlı olarak değerlendirilir (Simon, 1973). Eksik tanımlı problemlerde, eksik olan bilgi öznel olarak tanımlanır ve problemin çözüm süreci “yaratıcılık” olarak da bilinen bir deneyim kazanma süreci ile bağlantılı hale gelir (Eastman, 1969). Bundan yaklaşık 50 yıl öncesinde ortaya konulan çalışmaların ortak tespiti, tasarıma yönelik çözümlenme yapılmasının ve bunun bir veri olarak işlenmesinin zor olduğudur. Yine bu çalışmaların geleceğe ilişkin ön görülerinde; tasarım süreçlerinin bilgisayar içerisinde yer alan veri strüktürleri ile ifade edilebilme potansiyeli taşıdıkları, olası tasarım çözümlerinin çeşitli parametreler yardımıyla geliştirilebilir olduğu (Mitchell, 1975) ve yaratıcılık süreçlerinin de bilgisayar programları aracılığı ile yürütülebileceği (Eastman, 1969) üzerine çıkarımlar yapılmıştır. Günümüzde ise sayısal tasarım araçlarının da katkılarıyla eksik tanımlı olarak tanımlanan mimari tasarım problemlerinin çözüm süreçlerine ilişkin daha net tanımlamaların yapılabildiğini görmekteyiz. Bu durum, mimari tasarım süreçlerinde egemen olan kara kutu sürecinin, sayısal tasarım süreçlerinde saydam kutu sürecine dönüşebildiğini göstermektedir.

Bir tasarımcının siberetik fotoğrafı şu üç bakış açısıyla çekilebilir: Yaratıcılık, rasyonellik ve tasarım süreci üzerindeki kontrolü. Tasarımcının yaratıcılık süreci kara kutu, rasyonel bakışı saydam kutu, tasarım süreci üzerindeki kontrolü ise muğlak bir alanda kısa yolları bulabilmesi olarak tanımlanmaktadır (Jones, 1970). Probleme ilişkin girdiler tasarımcının zihninde şekillenerek bir ürünle sonuçlanmaktadır (Şekil 4). Bu süreçte tasarımcı ilişkilendirme yoluyla girdileri anlamlı bir bütün haline getirmektedir. Jones (1970), bu süreci benzetim ve sinektik kavramları ile bütünleştirerek açıklamaktadır. Sinektik kelimesi Yunanca'da “syna-gein” fiilinden gelmekte ve birbirleri ile ilişkisiz durumların bir arada düşünülerek birleştirilmesi anlamına gelmektedir (Bayazıt, 1994). Benzetim (analoji), herkes tarafından benzer şekilde yorumlanabilen nesnel bir durumken; sinektik ise kişisel olarak yorumlanmış olan bir benzetimi yani öznel bir durumu ifade etmektedir.



Şekil 4. Kara kutu süreci (Jones, 1970)

Tasarım yöntemlerinin de dahil olduğu sezgisel yaklaşım içeren yöntemleri kimileri ürünün kendisinden anlamına odaklanarak değerlendirir. Kimi ise süreci “tasarlama” eylemi yerine “problemi çözme” eylemi olarak nitelendirir ve yaratıcı eylemler yerine rasyonel süreçler ile ilgilenme eğilimindedir (Broadbent, 1966). Tasarım sürecindeki sezgisel yaklaşımların karşılığı kara kutu; rasyonel yaklaşımların karşılığı saydam kutu olarak nitelendirilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Saydam kutu ve kara kutu süreçleri (Bayazıt, 2004).

Kara kutu sürecinde tasarımcı hem mevcut problemin girdilerini hem de önceki problemin çözüm süreçlerine ilişkin deneyimlerini sentezleyerek sonuca ulaşır. Bazen başarısız birçok denemenin ardından çözüm birdenbire belirir (Jones, 1970). Buradan hareketle, kara kutunun tasarım süreci içerisindeki belirsizlikleri ifade ettiği söylenebilir. Tasarım sürecinin daha tanımlı bir biçimde açıklanabilmesi ise saydam kutu olarak tanımlanmaktadır. Saydam kutu, tasarımcının neyi neden yaptığını bildiği sistematik bir tasarım sürecini ifade etmektedir. Tasarımcı bir bilgisayar gibi davranır ve tasarım probleminin girdileri analiz, sentez, değerlendirme adımları ile ele alır. En doğru sonuç ürünü bulana kadar bu adımları bir döngü içerisinde tekrarlar (Jones, 1970). Tasarım sürecini bir sistematik içerisinde ele alma ve onu bilimsel bir temele oturtabilme fikri, sayısal tasarım

süreçleri ile, konvansiyonel süreçlere göre, daha somut verilerle tartışılabilir duruma gelmiştir.

Sayısal tasarım süreci, kompütasyonel ya da diğer bir ifade ile hesaplamaya dayalı düşünmeyi beraberinde getirmektedir. Terzidis (2006), kompütasyonun belirsiz, açık olmayan süreçlerin araştırılması ve sayısallaştırılmaya çalışılması ile ilgili olduğunu belirtmekte ve kompütasyonu insan zekasının bir temsili olarak tanımlamaktadır. Sayısal tasarım, probleme ilişkin çözüm sürecinin adım adım ve açık bir biçimde tarif edilebilmesini gerektirmektedir. Bu durum, tasarımcının tasarım süreci ile ilgili kendine net sorular sormasına ve somut cevaplar vermesine yol açmaktadır. Tasarım problemine ilişkin cevaplar somutlaştıkça, kara kutu süreci de yerini saydam kutuya bırakmaktadır.

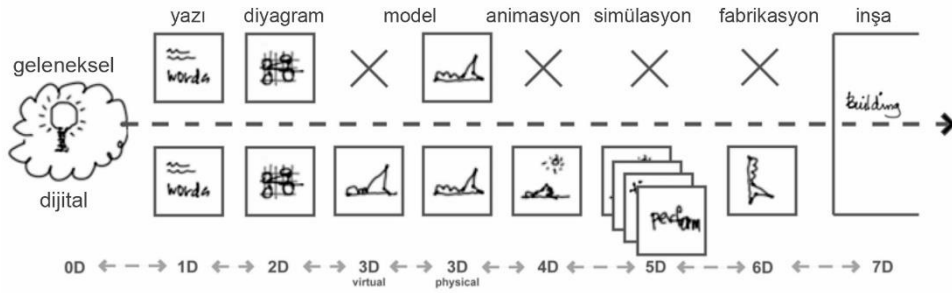
Tasarımın sayısallaştırılması, tasarım sürecinin parametrelerle ifade edilmesi, tasarım aşamalarının adım adım açıklanabilmesi ve en nihayetinde sayısal fabrikasyon araçları ile üretilebilmesi sayısal düşünebilme becerisi ile doğru orantılı olarak başarıya ulaşmaktadır. Çolakoğlu ve Yazar (2007), tasarımcının bilgisayarın algoritmik dili ile konuşmaya başladığı zaman tasarım düşüncesini ifade etme özgürlüğünü de geliştireceğini ve sonuç ürüne ait farklı alternatifleri geliştirebileceğini savunmaktadır. Bilgisayarın algoritmik dili ile konuşmayı öğrenmek aynı zamanda, sayısal düşünmeyi öğrenmek anlamına gelmektedir. Sayısal düşünme, sayısal tasarım ürününü oluşturacak olan her türlü bilginin ve bu bilgiler arasındaki ilişkinin algoritmik / parametrik bir düzen içerisinde işlenebilmesini ifade etmektedir (Ahlquist ve Menges, 2011). Oxman (2017) ise bu durumu algoritmik düşünme olarak ele almakta ve dijital formların üretilebilmesi adına gerekli olan sayısal süreçlerin gerçekleştirilmesi için bir dizi kuralın belirlenmesi olarak tanımlamaktadır. Sayısal düşünme, tasarım sürecinin belirli bir sistematik içerisinde ve girdileri, parametreleri, çıktıları ile bir bütün halinde ele alınmasını gerektirmektedir. Tasarım problemi ile karşılaşılan anda zihinde beliren soyut imgelerin somut objelere dönüştürülebilmesi için tasarımcı kodlamalar yapmaktadır (Cross, 1982). Örneğin; proje derslerinin henüz başında öğrencilerden yapmaları beklenen işlev şeması çalışmaları sayesinde, zihinde soyut olarak beliren mekânsal ilişkiler kodlanarak kâğıda aktarılmakta ve herkes tarafından algılanabilir hale getirilmektedir. Böylelikle yürütücünün ve öğrencinin üzerinde tartışabileceği somut bir veri ortaya konulmuş olmaktadır.

Tez çalışması, sayısal düşünmenin ne olduğunu irdelemekte ve sayısal düşünmenin nasıl geliştirilebileceği üzerine fikirler üretmektedir. Bu bağlamda mimarlık eğitiminde yeni

yaklaşımlar değerlendirilerek, bu sistemlerin sayısal tasarım eğitimi ve sayısal düşünmenin geliştirilmesi konusunda nasıl ele alınabileceği üzerine tartışılacaktır.

2.1.2. Mimarlık Eğitiminde Yeni Yaklaşımlar ve Sayısal Tasarım Eğitimi

Teknoloji yirminci yüzyılda, insanlık tarihinde oldukça büyük ve hızlı bir gelişim göstermiştir. “Endüstriyel Devrim” olarak adlandırılan bu süreç, bir dizi teknolojik gelişme ile insanların üretkenliğinin belirgin biçimde değişmesine neden olmuştur (Anderson, 2012). Bu sürecin getirdiği modernist mimari, ismi gereği “güncel olan”ı işaret ettiği için tasarım tarihinin sonu olarak algılanmış ve bu algı neredeyse yüz yıl boyunca geçerliliğini korumuştur. Ancak günümüzde tasarım açısından modernizmden başka bir yol olabileceği fikri de ağırlık kazanmaktadır (Lawson, 2005). Dijital devrimin getirileri ve tasarım alanında yaratmaya başladığı dönüşüm Lawson’un fikrini destekleyici nitelikte olduğu söylenebilmektedir. Schumacher’in ortaya atmış olduğu Parametrisizm Manifestosu da modernizm dışında bir stil arayışının olduğunu göstermektedir (Schumacher, 2011). Dönüşen mimari tasarım ortamı tasarım süreçlerini ve bu süreçte kullanılan araçları etkilemiştir. Bu bağlamda üç boyutlu modelleme teknikleri, animasyon ve simülasyon araçları, inşa tekniklerinin sayısal fabrikasyon süreçleri ile desteklenmesi gibi yeni durumlar mimarlığın bir parçası haline gelmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Gelenekselden dijitalleşmeye geçişte tasarım sürecinin değişimi (Barrow ve Mathew, 2005)

Tasarım sürecinin dijitalleşmeye başlaması mimarlık alanında yeni bir perspektif oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Çipin bulunması, buna bağlı olarak bilgisayarların küçülmesi ve ucuzlaması sayesinde bilgisayar daha kolay ulaşılabilir hale gelmiştir. Bilgisayarın mimarlık alanına dahil olması ile gerçekleşen ilk ve en temel dönüşüm kâğıt

tabanlı sunum araçlarının yerini bilgisayar tabanlı sunum araçlarına bırakması olmuştur. Whitney (1990), konvansiyonel yöntemlerle gerçekleştirilen bilgisayar destekli tasarım süreçlerini dijital bir kalem ile çizmeye benzetmektedir. Bilgisayarın tasarım sürecine etkisinin gittikçe artması ile neredeyse bir yardımcı tasarımcı haline gelmesi söz konusudur. Bu nedenle, günümüzde bilgisayar destekli tasarım ile dijital mimari tasarım arasında bir ayırım yapılması gerekliliği doğmaktadır (Oxman, 2008). Bilgisayar destekli tasarım süreçleri, kâğıt üzerinde gerçekleştirilen tasarım sürecinin bir benzerinin bilgisayar ortamında kurgulanmasını ifade etmektedir. Dijital tasarım modelleri ise form, tasarım süreci, malzeme bağlamında yeni bir mimarlık terminolojisini beraberinde getirmektedir (Oxman, 2008). Hızla gelişen teknolojiyi yakalayabilmek ve bu dönüşüm sürecine katkı sağlayabilmek ancak iyi yetişmiş teknik elemanlarla mümkün olabilmektedir. İyi yetişmiş teknik elemanlar ise eğitim sisteminin bir yansımasıdır. Bu noktada, dönüşmekte olan mimarlık anlayışına cevap verebilecek bir eğitim sistemi güncellemesi için geçmişi, Endüstri Devrimi'nin yarattığı dönüşüm sürecini, irdelemek bir rol model bulabilmek açısından önemli görülmüştür.

İçinde bulunduğumuz değişim dalgasının bir benzeri (Tablo 1) geçtiğimiz yüzyılda Endüstri Devrimi ile gerçekleşmiştir. Endüstri Devrimi, bilimsel, sosyal, kültürel alanlarda dönüşüme yol açmıştır. Mimarlık alanına yansımasının sonucunda ise modernizm düşüncesi ortaya çıkmış ve hem tasarım hem üretim biçimleri güncellenmiştir. Endüstri alanındaki bu dönüşüme uyum sağlayabilmek için yeni arayışlara girilmiş ve bu arayışların mimarlık alanındaki en önemli yansıması Bauhaus hareketi ile gerçekleşmiştir. Bauhaus'un günümüz mimarlık eğitimindeki etkisi hala sürse de en önemli özelliklerinden birisi olan mimarlığı güncel üretim teknolojisi ile bütünleştirme çabası arka planda kalmaktadır.

Tablo 1. Bauhaus düşüncesi ile sayısal tasarım düşüncesi arasındaki benzerlikler

Bauhaus Düşüncesi	Sayısal Tasarım Düşüncesi
Endüstri Devrimi sonrasında ortaya çıkmıştır.	Dijital devrim ve Endüstri 4.0'ın etkisindedir.
Modern malzemeleri kullanır.	Modern malzemeler ya da yerel malzemeler kullanılabilir.
Disiplinler arası çalışma: Sanatçılar ve teknikerleri bir araya getirir.	Disiplinler arası çalışma: Mimarlar, mühendisler, yazılımcılar, biyologlar, vb. bir arada çalışabilir.
Malzeme deneyimi / davranışı üzerine çalışmalara odaklanılmıştır.	Malzeme deneyimi / davranışı üzerine çalışmalara odaklanılmıştır.
Standart seri üretim üzerine çalışılmıştır.	Standart olmayan seri üretim üzerine çalışılmaktadır.
Makine tasarımcının bir aracıdır.	Dijital fabrikasyon tasarımcının aracıdır.

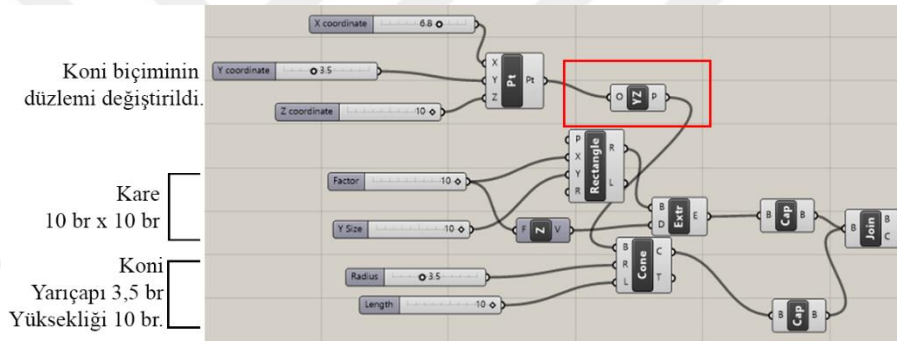
Walter Gropius (1919), zanaat öğrenmenin birincil önceliklerden olduğunu öne sürmüştür. Bu bağlamda bir mimarın ya da tasarımcının meslek öğrenme süreci ve bu süreçteki deneyimleri önemli hale gelmektedir. Bauhaus, bir tasarımcının makine çağında söz sahibi olabilmesi için nasıl eğitilmesi gerektiği sorusuna cevap aramaktadır (Bayer vd., 1938). Günümüzde de benzer bir soru “tasarımcı dijital devrime nasıl ayak uydurabilir?” olarak sorulabilmektedir. Bu sorunun önemli bir kısmının cevabı eğitim sisteminde yatmaktadır. Çünkü eğer dijital tasarım düşüncesi yeni bir kavramı ortaya çıkarmaktaysa, o zaman yeni bir eğitim anlayışına ihtiyaç var demektir (Oxman, 2012). Eğitim sisteminin dijital devrime nasıl cevap verebileceği, tez çalışmasının da cevap bulmaya çalıştığı sorulardandır.

Spiller (2014), iyi bir okulun, geçmişten edindiği deneyimlerle geleceğe bakabilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda Bauhaus’tan edinilen deneyimin eğitim sisteminin geleceği için bir rehber olabileceği düşünülmüştür. Bauhaus’un eğitim anlayışı yapma odaklı bir sisteme dayanmakta, eğitim sürecini laboratuvar çalışmaları ve atölyeler ile desteklemektedir. Josef Albers, Bauhaus’un eğitim sürecinin deneyim kazanmaya dayandığını belirtmektedir (Doyle, 2016). Özellikle Johannes Itten ve Josef Albers tarafından yürütülen atölye süreçlerinde yaparak öğrenmeye dayanan bir sistem uygulanmış ve böylelikle deneyimleme odaklı bir açık uçlu öğrenim süreci gerçekleştirilmiştir (Carpenter, 2014). Gropius ise en iyi öğrenme sürecinin öğrencinin kendi deneyimleri sonucunda gerçekleştirdiğini savunmuştur (Hochman, 1997). Sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçlerinin öğrenilebilmesi ve uygulanabilmesi için ise öncelikle sayısal düşünmenin öğrenilmesi gerekmektedir. Sayısal düşünme;

- soyutlama,
- parçalama,
- algoritmik düşünme,
- değerlendirme,
- genelleme gibi durumları içermektedir. (Selby ve Woollard, 2013).

Soyutlama, karmaşık olan bir problemi yalnızca ön planda olan yönleri ile ele alabilmektir. Bu durum, analiz yeteneği gerektirmektedir. Parçalama, problemin parçalara ayrılarak çözülebilir hale gelmesini ifade etmektedir. Algoritmik düşünme, çözüm aşamalarını adım adım tanımlama anlamına gelmektedir. Değerlendirme, bir çözümün getirilerini ve limitlerini öngörebilmektir. Genelleme ise, daha özel bir durum için bulunan çözümün genelleştirilebilmesidir (Selby ve Woollard, 2013). Sayısal düşünmenin arka

planında gerçekleşen bu aşamaları görünür hale getirebilmek, öğrenmenin de etkili olabilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik egzersiz süreçlerinde Grasshopper® yazılımı kullanılmış ve böylelikle sayısal düşünme süreçlerini görünür hale getirebilen parametrik modeller elde edilebilmiştir (Şekil 7). Parametrik tasarım, objelerin uzaklık, açı gibi parametrelerle ve paralellik gibi kurullarla tanımlanmasını ifade etmektedir (Eastman, 2008). Parametrik tasarımda biçimler değil, parametreler görünür hale gelmektedir. Her yeni parametrenin tanımlanmasında ayrı bir kurgu ortaya çıkmaktadır (Kolarevic, 2003). Parametreye tanımlanmış değer değiştirildiğinde model de bu yeni parametreye göre güncellenmektedir (Bury, 2003). Böylelikle parametrik modelin sonucunda tek bir tasarım değil, anlamlı bir tasarım uzayı elde edilmektedir.



Şekil 7. Grasshopper® arayüzü ve parametre örneği

Marx (2000), sayısal tasarım sürecinin öğretim süreci ile bütünleştirilmesinde iki yol olabileceğini söylemektedir: Tasarım stüdyolarında dijital tasarım araçlarının kullanımı ya da yalnızca dijital tasarım araçlarının öğretilmesine yönelik bir ders ile öğretilmesi. Kaliforniya Üniversitesi'nde açılmış olan "Arch 135" kodlu "Dijital Tasarım" dersi ikinci yöntemi kullanarak dijital tasarım araçlarının öğretilmesine odaklanmaktadır. Ders sürecinde geleneksel yöntemler arka planda tutularak, tasarım süreçleri tamamen ekran üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tasarım süreçlerinde organik, eğrisel ve karmaşık biçimler kullanılmaya çalışılmıştır. Öğrencilerin, öğrendikleri bilgileri tasarım stüdyolarında da uygulamaları istenmiştir. Ders içeriği oluşturulma sürecinde ise basit ve tek bir tasarım problemi üzerinde çalışılmıştır. Böylelikle öğrenciler dijital tasarımı öğrenme üzerine odaklanabilmiştir. Çalışmanın sonucunda ise ilk dört haftada öğrencilerin program

öğrenmeye daha fazla odaklandıkları için zorlandıkları, ancak sonrasında tasarım süreci ile modelleme programı etkili bir şekilde bütünleştirebildikleri gözlenmiştir (Marx, 2000).

Sayısal modelleme süreçleri için gerekli olan verilerin elde edilmesi, tasarım probleminin analiz edilmesine, onun soyutlanabilmesine ve probleme ilişkin çözümün sayısal ilişkileri ile ortaya konulabilmesine bağlıdır. Tez çalışması kapsamında bu süreç yaparak öğrenme odaklı olarak gerçekleştirilerek, tasarım problemine ilişkin verilerin öğrencinin deneyimi ile açığa çıkarılması sağlanmıştır.

2.1.2.1. Mimarlık Eğitiminde Konstrüktivist / Yapma Odaklı Yaklaşımlar

Eğitimde konstrüktivist yaklaşımlar üç başlıkta ele alınmaktadır: Sosyal konstrüktivizm (Vygotsky ve Luria, 1994), radikal konstrüktivizm (von Glasersfeld, 1974) ve bilişsel konstrüktivizm (Piaget, 1971). Papert ve Harel (1991) ise kavramı konstrüksiyonizm olarak ele almışlardır. Tez çalışması kapsamında Piaget'in tartışmış olduğu bilişsel konstrüktivizm kavramı ön planda tutulmaktadır. Çünkü bilişsel konstrüktivizm, öğrenci merkezli ve keşfetmeye dayalı öğrenme süreci ifade etmektedir (Liu ve Matthews, 2005). Konstrüktivist yaklaşım ve “yaparak öğrenme” kavramı hem sentaktik modellerin hem de bilişsel konstrüktif modellerin temelini oluşturmaktadır (Oxman, 2004). Konstrüktivist eğitim sürecinde bireyler kendi deneyimleri doğrultusunda dünyayı kavramaktadırlar (Mahoney, 2004). Konstrüktivist yaklaşımlar, öğrencinin öğrenme sürecinde daha aktif bir şekilde rol almasını gerektirmektedir. Bu durum da eyleme dayalı bir öğrenme sürecinin gerçekleştirilmesi gerekliliğini getirmektedir (Papert ve Harel, 1991).

“Yapmaya odaklı” eğitim süreçlerinin irdelenmesi gerekliliği fikri ile çalışmaya yön veren Bauhaus'ta atölyelerin, eğitim sisteminin merkezinde yer aldığı görülmektedir. Bu durum, Bauhaus'u geleneksel eğitim sistemlerinden ayırmaktadır. Eğitim sistemi sınıflamalarında öğrencinin öğrenme sürecindeki etkinliği arttıkça konuyu öğrenme ve hatırlama yüzdesinin de arttığı görülmektedir (Cuncka ve Savicka, 2012). Yapmaya odaklı eylemlerin bilgiyi anlama, analiz etme ve hatırlama potansiyelini de artırdığı görülmektedir (Şekil 8). Konstrüktivist yaklaşımlar da bilginin inşasını desteklemekte ve bu nedenle yapma odaklı eylemleri ön planda tutmaktadır (Jonassen, 1991).



Şekil 8. Eylemler ile hatırlama yüzdeleri arasındaki ilişki ve kazanılan beceriler (Cuncka ve Savicka, 2012).

Geleneksel eğitim sürecinden farklı olarak öğrenciyi pasif durumdan aktif duruma geçebilmesi kapsamında “bilış” kavramı ön plana çıkmaktadır. Bilış kavramı, bilgiyi yorumlama, analiz edebilme becerisi olarak tanımlanabilir. Bilış üzerine yapılan çalışmalardan Piaget’in çalışmaları ön plana çıkmaktadır. Piaget, 1929 yılında ilk baskısı yayımlanan kitabında, çocukların bilış süreçleri üzerine yaptığı çalışmaları paylaşmakta ve çocuğun kendi deneyimiyle öğrenmesinin daha doğru olduğunu, çocuğa doğrudan bilgi vermenin çocuktaki merak duygusunu öldürdüğünü savunmaktadır (Piaget, 1971). Doğrudan bilgi vermeye dayanan geleneksel eğitim sistemi nesnelci olarak tanımlanmakta ve bu yöntem günümüzde hâlâ kullanılmaktadır. Nesnelci yaklaşımda bilgi, sınırları belirgin bir çerçeve içerisinde sunulmaktadır. Öğrenciden beklenen ise doğrudan sunulan bu bilgiyi tekrarlamalarıdır (Jonassen, 1991). Nesnelci yaklaşımdan konstrüktivist yaklaşıma geçişte ise Piagetçi yaklaşım bir geçiş evresi olarak görülmektedir (Şekil 9). Piaget’in çocuklar özelinde ortaya koyduğu yaklaşımlar, konstrüktivist eğitim yaklaşımında deneyime ve yapmaya dayalı bir model olarak varlığını sürdürmektedir.

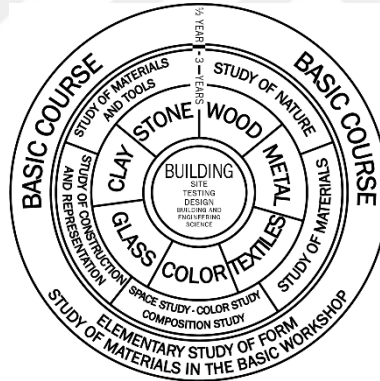
Nesnelci ←————— Piagetçi —————→ Konstrüktivist

Şekil 9. Nesnelci yaklaşımdan konstrüktivist yaklaşıma geçiş (Jonassen, 1991).

Nesnelci yaklaşım, tanımlı problemlerin çözümü için yeterli olsa da eksik tanımlı problemlerde yorum yapmanın gerekli olması nedeniyle yetersiz kalmaktadır (Jonassen, 1991). Dewey (1938) de benzer biçimde, geleneksel eğitim sisteminde yapmaya odaklı yaklaşımların yetersiz olduğunu ve öğrencilerin öğrenme sürecini kişiselleştirebilmeleri için deneyimlemenin mutlaka eğitim sistemi içerisinde yer bulması gerektiğini öne sürmektedir.

Bu nedenle, nesnelikten konstrüktivizme doğru gittikçe deneyimlemeye yönelik öğrenme süreci etkinliğini artırmaktadır. Böylelikle nesnelci öğrenmeye göre daha kalıcı bir öğrenme süreci gerçekleştirilebilmektedir. Bauhaus'un konstrüktivist öğrenmeyi merkeze almasının en önemli nedenlerinden birisinin, zamanın değişen teknolojisini, tasarım ve üretim tekniklerini eğitim sistemi ile bütünleştirmeyi hedeflemeleri olduğu söylenebilir. Böylelikle bu yeni teknikler bire bir uygulanabilmiş ve algılanabilir hale gelmiştir. Bauhaus'un konstrüktivist öğrenmeyi nasıl gerçekleştirdiğini detaylı olarak irdelemek konunun daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

Bauhaus'ta eğitim süreci altı aylık temel tasarım dersleri ile başlamaktadır. Temel tasarım dersleri form, renk ve malzeme kullanımını odağa almakta; sanat ve zanaatı bir araya getirmeyi hedeflemektedir (Siebenbrodt ve Schöbe, 2009). Tasarım sürecinin ikinci aşamasını çeşitli malzemelerin kullanılmasına odaklanan atölye çalışmaları oluşturmaktadır. Üç yıl süren bu aşama, Bauhaus eğitim sisteminin temelini oluşturmakta ve yapmaya odaklı çalışmalar bu süreçte yürütülmektedir. Süreç, 1:1 ölçekli yapıların inşasını da içermektedir.



Şekil 10. Bauhaus eğitim sistemi (URL-6, 2020).

Bauhaus eğitimi, öğrencilerin mezun olduktan sonra endüstri ve seri üretim ile ilgili sorunlarla yüzleşecekleri varsayılarak şekillendirilmiştir. Disiplinler arası çalışma eğitim sürecinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Eğitim sürecinin hedefi ise 20. yüzyılın getirdiği sanatsal, teknik, sosyal yeniliklere tam anlamıyla uyum sağlayabilecek nitelikte tasarımcıların yetiştirilmesidir. Bauhaus'un ortaya çıkış sürecinde dönemin yeni yöntem ve malzemelerinin mimarlık ile bütünleşemediğine vurgu yapılmış ve çağın ruhunu yansıtan yeni bir mimarlığın yaratılması gerektiği üzerinde durulmuştur (Bayer vd., 1938).

Hochman (1997)'a göre Bauhaus, günümüz mimarlık ve sanat eğitimini iki biçimde etkilemiştir. Bunlardan ilki temel tasarım dersleridir. Temel tasarım dersleri sayesinde öğrenciler kendi yeteneklerinin farkına varabilmektedirler. İkincisi ise disiplinler arası gerçekleştirilen atölye çalışmalarıdır (Hochman, 1997). Bunlara ek olarak; Bauhaus'un mirası olan yapmaya odaklı ve 1:1 ölçekli çalışmalar, günümüzde özellikle sayısal tasarım ve üretim süreçleri açısından da önem taşımaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. ICD tarafından üretilmiş 1:1 ölçekli strüktür (fotoğraf: Selin Oktan) ve Bauhaus'ta üretilmiş mobilya (Albers, 2014).

Bauhaus atölye süreçleri, seri üretim tekniklerini anlama ve teknolojiyi geliştirmeye yönelik çalışmalara odaklandığı için, aynı zamanda bir laboratuvar mantığında deneysel süreçler de deneyimlenmektedir (Gropius, 1965). Bir makinenin çalışma prensibini anlayabilmek için o makineyi deneyimlemek gerekmektedir. Böylelikle onu çalıştıran teknolojiyi anlamak ve geliştirmek mümkün olacaktır. Bauhaus'ta makine gelişmiş bir el aleti olarak yorumlanmaktadır. El aletini anlamak makinenin anlaşılmasını da kolaylaştıracaktır (Peter, 1994).



Şekil 12. Bauhaus'ta atölye çalışmaları (Albers, 2014).

Bauhaus'ta tümevarımcı bir eğitim anlayışı benimsenmiştir. Geleneksel tasarım stüdyolarında atölye süreci genellikle tümdengelim yaklaşımı ile yönetilmektedir. Bu süreçte tasarım problemi ile karşılaşıldığında ilk olarak bir konsept üretilmeye çalışılmaktadır. Sonraki aşamada ise ilk tasarımın ortaya konulması, tasarımın geliştirilmesi, detaylandırılması ve çizimler üzerinde çalışılması gibi süreçler işlemektedir (Akin, 1989). Yaparak öğrenme odaklı atölye süreçlerinde ise tümevarım yaklaşımının ön planda olduğu söylenebilmektedir. Bilgiyi edinme süreci deneyim yoluyla gerçekleştirilmekte ve edinilen bilgi birikimi sonucunda tasarım problemine çözüm üretilmektedir. Bu süreçte konstrüktivist bir anlayış içerisinde öğrenme süreci gerçekleşmektedir.

2.1.2.2. Konstrüktivist Eğitim Sürecinde Öğrenme Stratejileri

Konstrüktivist öğrenme stratejileri, sayısal düşünmenin geliştirilmesine ve sayısal tasarım ve fabrikasyon araçlarının eğitim sistemi ile bütünleştirilmesine odaklanan tez çalışması kapsamında temel yaklaşım olarak seçilmiştir. Bu seçimin temel nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Konstrüktivist öğretim stratejileri yapmaya odaklı bir eğitim modeli önermektedir.
- Piaget (1971)'in de tartışmış olduğu bilişsel öğretme stratejileri geleneksel yöntemlere göre daha kalıcı bir öğrenme süreci sunmaktadır.
- Konstrüktivist yöntemler, bilişsel sistemler ve yapma odaklı yaklaşımlar birbirini destekleyen süreçlerdir ve deneyime dayalı öğrenmeyi sağlamaktadır.
- Yaparak öğrenmeye odaklı eğitim Bauhaus tarafından denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bauhaus mezunları endüstri alanında aranan elemanlar olmuşlardır (Gropius, 1965).
- Bauhaus, zamanın yeni teknolojisini de öğretmeyi hedeflemektedir. Bu durum tez çalışmasının hedefleriyle örtüşmektedir.

Wilson (1996), konstrüktivist öğrenme ortamını; öğrencilerin birlikte çalıştıkları, birbirlerini destekledikleri ve öğrenme sürecinin çeşitli kaynaklar ve araçlarla desteklendiği bir ortam olarak tanımlamaktadır. Bu ortamda deneyim ve yaparak öğrenme temel alındığı için, öğrenciler kendi öğrenme süreçlerini kendileri oluşturmaktadır. Konstrüktivist eğitim anlayışında önce bir şeyin nasıl yapılacağı öğrenilmekte (knowing how); sonrasında o şeye ilişkin bilgiye (knowing that) erişilmektedir (Schoenfeld, 1987). Bu durum, bilginin öğrenciye aktarılması sürecinde doğrudan verilmesinden önce, bir süreç içerisinde ve

uygulamalı olarak verilmesine işaret etmektedir. Konstrüktivist eğitim yaklaşımlarında üstbiliş üzerinde sıklıkla durulan bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Üstbiliş, nasıl öğreneceğini öğrenme, öğrenme sürecini içselleştirme, öğrenme sürecinin farkında olma gibi anlamlar taşımaktadır. Schoenfeld (1987) ise üstbilişi kendi düşünme biçimin üzerine düşünme olarak tanımlamaktadır. Üstbiliş, öğrenme sürecinde kendi kendine sorular sormanı gerektirmektedir: “Ne yapmakta olduğunu tam anlamıyla tarif edebilir misin?”, “Neden bu şekilde yapıyorsun?”, “Bu yaptığın şeyin sana ne faydası olacak?” (Schoenfeld, 1987). Bu tip sorular kişinin yapmakta olduğu eylemleri kendine tam anlamıyla açıklayabilmesini sağlayarak öğrenme sürecini derinleştirmektedir.

Öğrenme süreçleri ile çeşitli kuramlar oluşturulmuş olup, bunlardan bazıları günümüzde de hala kullanılmaktadır. Bloom (1956), öğrenme sürecinde üç çeşit davranış sergilendiği belirtmektedir: Bilişsel, duyuşsal ve motor beceriler. Tezin de odaklandığı bilişsel süreç ise basitten karmaşığa doğru;

- bilgi edinme,
- anlama,
- uygulama,
- analiz,
- sentez ve
- değerlendirme olmak üzere altı adımda gerçekleşmektedir.

King (1993) de, Bloom’u destekler nitelikte öğrenme sürecinde bilginin analiz edilmesi, sentezlenmesi ve değerlendirilmesi gerekliliğinin altını çizmektedir. Böylelikle kaynaklardaki hazır bilgilerin öğrencinin kendisi tarafından özümsemesi mümkün olacaktır. Bu durum aynı zamanda konstrüktivist öğrenme kuramının da temelini oluşturmaktadır.

Robert Gagné (1965) ise, bilişsel süreçlere ilişkin öğrenme durumlarını şu şekilde özetlemektedir:

- 1- İlk karşılaşma: Dikkati toplamak. Çeşitli üçgenler göster.
- 2- Beklenti: Bilgilendirme. Eşkenar üçgen nedir?
- 3- Tekrar ele alma: Önceden kazanılmış bilgileri tekrar kullanma. Üçgenlere ilişkin yapılan tanımları gözden geçir.
- 4- Algı: Probleme özgü bilgiyi kullanma. Eşkenar üçgenin tanımını yap.
- 5- Anlamsal çözümlenme: Öğrenme sürecine rehberlik etme. Eşkenar üçgenin çizimini göster.

- 6- Tepki: Performansı ortaya çıkarma. Öğrencilerden beş farklı örnek oluşturmalarını iste.
- 7- Pekiştirme: Geri dönüş verme. Örnekleri doğru / yanlış olarak değerlendir.
- 8- Değerlendirme: Performansı değerlendirme. Puanlama yap ve iyileştir.
- 9- Genelleme: Kalıcılığın sağlanması. Öğrencilere örnekler göster ve eşkenar üçgenleri tanımlamalarını iste.

Gagné'nin (1965) ele almış olduğu öğrenme durumları aslında taklit etmeyi içermektedir. Öğrencilere önce problemin çözümüne ilişkin örnekler gösterir, sonrasında ise öğrencilerden benzer nitelikte ürünleri kendilerinin oluşturmasını ister. Öğrenci bir akıl yürütme yaparak cevabı bulmaya çalışmakta, böylelikle probleme ilişkin bir fikir edinmektedir. Problem, dersin yürütücüsünün tanımlama yapmasıyla daha da netleşir. Taklide odaklanan öğrenme ile ilgili bir diğer öğrenme modeli ise I³ modelidir. El-Zanfany'nin (2015) ortaya koymuş olduğu model; taklit etme, değiştirerek tekrarlama ve doğaçlama adımlarından oluşmaktadır. Bu model, sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçlerinin öğretilmesine odaklandığı için de önem taşımaktadır. Bu modelde öğrenci önce mevcut bir formu taklit ederek onu nasıl üretebileceğini çözümler. Sonra onun benzerlerini oluşturmaya çalışır. En sonunda ise buradan öğrendikleri ile kendi ürününü ortaya koyar.

Geçtiğimiz yüzyılın ortalarında ortaya konulan öğrenme süreçlerine yönelik modeller, günümüz eğitim sistemi açısından hâlâ büyük ölçüde yol gösterici niteliktedir. Ancak özellikle teknolojinin eğitim ile bütünleştirilmesi söz konusu olduğunda, bu öğrenme süreçleri de referans alınarak, bir model oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Son on yılda tasarım düşüncesinde meydana gelen dönüşüm, yeni bir tasarım paradigması oluşturmuştur. Yeni pedagojik yaklaşımlar bu dönüşüm sürecinin etkin hale getirilebilmesi açısından önemlidir (Oxman, 2006).

Konstrüktivist öğrenme yaklaşımının ortaya konulduğu tarihten günümüze, teknolojik açıdan değişimler meydana gelmiş ve hatta nesil tanımları değişmiştir. Günümüzde üniversitelerde eğitim görmekte olan Z kuşağı, 2000 yılından sonra doğan ve “net kuşağı”, “dijital yerliler” gibi isimlerle de adlandırılan kuşağı temsil etmektedir (Erten, 2019; Twenge vd., 2010; Oblinger ve Oblinger, 2005; Prensky, 2001). Bu kuşak, dijital kaynaklı içerikleri izlemeyi eğlenceli bulmaktadır. Konstrüktivist eğitim yaklaşımında bu bağlamda bir güncelleme yapmak, z kuşağının öğrenme süreçlerine katkıda bulunabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda görsel içeriklerin ve sosyal medyanın dersin bir parçası haline getirilebileceği fikri doğmuştur. Video üzerinden ders anlatımı, MIT, Princeton gibi

üniversitelerin derslerini dijital ortamda yayınlamasıyla popüler hale gelmeye başlamıştır (Ronchetti, 2010). Etkileşimli olarak kurgulanan bu yeni tip ders anlatım süreçleri “Bağlantıcılık (Connectivism)” kavramını ortaya çıkarmıştır (Siemens, 2005). Video üzerinden ders anlatımı aynı zamanda dersin evde yapılması fikrini de ortaya çıkarmaktadır. Bu durum “ters yüz edilmiş sınıf modeli” olarak adlandırılmaktadır.

Ters yüz edilmiş sınıf modeli, geleneksel olarak sınıf ortamında yapılan dersin sınıf dışına taşınması anlamına gelmektedir. Teknolojinin de gelişmesiyle sanal ortamda öğrenme ve ders anlatımlarının internet üzerinden gerçekleştirilebilmesi fırsatları ortaya çıkmıştır. Bu modelde öğrencilerin derslerine çalışmış olarak gelmesi beklenmektedir. Ders doğrudan soru-cevap ve tartışma kısmıyla başlamaktadır. Sonrasında ise konu ile ilgili laboratuvar çalışmaları ya da deneyime odaklı çalışmalar yapılmaktadır. (Lange vd., 2000)

Ters yüz edilmiş sınıf sistemi Miami Üniversitesi’nde mikroekonomi temalı ders kapsamında 1996 güz döneminde iki farklı eğitmen tarafından denenmiştir. Araştırmanın sonuçları, öğrencilerin bu sistemi eğitici ve eğlenceli buldukları yönünde olmuştur. Eğitmenler de sisteme pozitif yaklaşmışlar ve sistemin en önemli getirilerinden birinin, öğrencilerin kendi öğrenme süreçlerini kurgulayabilmeleri olduğunu söylemişlerdir (Lange vd., 2000). Ronchetti (2010) de benzer şekilde, Trento Üniversitesi’nde vermekte olduğu Java ve C++ programlama dillerine yönelik dersinde video ile anlatım yöntemini kullanmıştır. Öğrencilerin, programları geleneksel yöntemlere göre daha iyi öğrendikleri sonucuna ulaşmıştır (Ronchetti, 2010).

Sayısal tasarım ve fabrikasyonun mimarlığın bir parçası haline gelmeye başlaması, üretim süreçlerini ve laboratuvar çalışmalarını da içeren bir mimarlık eğitiminin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bob Sheil (2014), tasarım ve fabrikasyon arasındaki bilgi alışverişinin artık hızlı bir akış içinde ve tasarlama ile yapma süreçlerinin eş zamanlı olarak gerçekleştirilebildiğine dikkat çekmektedir. Tasarlama ve yapma eylemlerinin bir bütün içerisinde deneyimlenebilmesi için sayısal tasarım ve fabrikasyon laboratuvarlarının mimarlık eğitimindeki önemi artmaktadır. 1990’ların sonunda öncü mimarlık okullarında sayısal fabrikasyon laboratuvarı olarak adlandırılan yeni tip laboratuvarlar kurulmaya başlanmıştır (Celani, 2012). Bu laboratuvarlardan biri MIT’de William Mitchell tarafından 1990’ların sonunda kurulmuştur. Bu laboratuvarda üç boyutlu baskı ve lazer kesim makineleri ile üretimler yapılmıştır. Bunlar genellikle doktora öğrencileri ile gerçekleştirilen ve araştırma-geliştirmeye yönelik çalışmalardır (Celani, 2012). Günümüzde sayısal tasarım ve fabrikasyonu mimarlık eğitimi ile bütünleştiren okullar ele alındığında bu süreçlerin

genellikle lisansüstü eğitim düzeyinde ele alındığı görülmektedir. Örneğin; Neil Gershenfeld'in ünlü dersi "How to Make Almost Anything (Neredeyse Her Şey Nasıl Yapılır)" yalnızca lisansüstü eğitim alan öğrencilere açıktır (Gershenfeld, 2008). Benzer şekilde IAAC da yalnızca mezun olmuş öğrencileri eğitim sistemlerine dahil etmektedir.

Bob Sheil (2014), öğrenme, teknoloji, araştırma, endüstri ve uygulama arasında yeni bir ilişki tanımlandığını ve bu bağlamda günümüz mimarlık eğitiminin en büyük açmazının dönüşmekte olan bu teknoloji kapsamında tasarımcının uzmanlığının tanımlanabilmesi gerekliliği olduğu üzerinde durmaktadır. Sayısal fabrikasyon laboratuvarları mimarlık eğitimi ile bütünleşik hale geldikçe mimarlık eğitim süreçlerini de değiştirme potansiyeli taşımaktadır (Celani, 2012).

2.2. Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışması, sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı geliştirilebileceği önermesi üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda kurgulanmış olan uygulamalar iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. İlk aşama, sayısal düşünmenin geliştirilmesine odaklanan ve aynı zamanda sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçlerinin mimarlık eğitimi ile bütünleştirilebilmesine odaklanan atölye çalışmalarının uygulanmasından oluşmaktadır. Bu atölye çalışmaları dört adet seçmeli ders kapsamında gerçekleştirilmekte ve toplamda 16 adet egzersiz çalışması, final çalışmaları ve 1:1 ölçekli üretimlerden oluşmaktadır. Bu aşama aynı zamanda teze ilişkin verilerin elde edildiği aşamadır.

İkinci aşama, değerlendirme tekniklerinin uygulanmasını içermektedir. Tez kapsamında portfolyo yöntemi, öğrenci görüşlerinin alınması ve final çalışmalarına ilişkin süreç değerlendirme yöntemi olarak kullanılmıştır. Değerlendirme yöntemlerinden elde edilen veriler gözlemlerle bütünleştirilerek değerlendirilmiştir. Öğrenci görüşlerinin alınması ders süreçlerinin başında ve sonunda; portfolyo yöntemi ise ders süreçleri boyunca uygulanmıştır. Böylelikle öğrencilerin uygulanan egzersiz süreçleri hakkındaki fikirleri ve bu süreçteki başarı durumları ölçülmeye çalışılmıştır. Final çalışmaları ise her dönemin sonunda uygulanmış ve öğrencilerin dönem boyunca öğrendiklerini deneyimleyebilecekleri bir tasarım problemi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Böylelikle öğrencilerin öğrenme süreçleri ve durumları gözlemlenebilmiştir.

2.2.1. Atölye Çalışmaları Sürecinde Kullanılan Yöntemler ve Atölye Çalışmalarının Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçlerinin temelinde sayısal düşünmenin yattığı fikrinden yola çıkılarak, sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik atölye çalışmaları kurgulanmıştır. Bauhaus'un teknolojiyi eğitim süreci ile bütünleştirme tarzı da düşünülerek, yaparak öğrenme odaklı süreçlerin uygulanmasına karar verilmiştir. Y yaparak öğrenme odaklı süreçler, öğrencinin kendi düşünme ve anlama süreçlerini kurgulayabilmesini sağlamaktadır. Bu durum, konstrüktivist öğrenme süreçleri olarak tanımlanmakta ve atölye çalışmaları kurgusunun merkezinde yer almaktadır. Konvansiyonel ya da nesnelci eğitim süreçlerinde "öğretme" fiili söz konusu iken, konstrüktivist süreçlerde "öğrenme" fiili öne çıkmaktadır. Eğitimci bilgiyi doğrudan vermemekte, öğrenciyi yönlendirerek bilgiye ulaşmasını sağlamaktadır. Eğitim sürecinde öğrenci pasif rolden sıyrılarak, aktif bir rol oynamaya başlamaktadır.

Egzersiz süreçleri dört ana başlık altında ele alınmış ve bu başlıklar her bir dersin temasını oluşturmuştur. Geometri, malzeme, sayısal üretim yöntemleri ve 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmaları egzersiz süreçlerinin belirlenmesine yardımcı olan ana fikirlerdir. Bu sınıflama, Heidegger'in (1998) yeniden tartışmaya açtığı dört nedensellik ilkesi ile temellendirilmiştir. Maddi neden, form, amaç ve fail neden olan belirtilmiş olan ilkeler aslında bir ürünün ortaya çıkış sürecine vurgu yapmaktadır. Sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri kapsamında yürütülen deneysel çalışmaların forma, malzemeye ya da üretim süreçlerinden birine biraz daha fazla odaklandığı görülmektedir. Örneğin; ICD çalışmalarını genellikle ahşap, fiber gibi malzeme odaklı üretimler üzerine kurgulamakta, IAAC ise üç boyutlu baskı teknolojisinin robotik üretim süreci ile bütünleştirilmesi gibi sayısal üretim yöntemlerini deneyimlemektedir. Geometri, malzeme, sayısal üretim yöntemleri ve 1:1 ölçekli üretim bir ürünü ortaya çıkaran süreçlerin bütünü temsil ediyor olsa da tez çalışması kapsamında uygulanan atölye çalışmasında, bunlardan biri biraz daha fazla ön plana çıkarılarak egzersiz çalışmalarına yön vermesi sağlanmıştır.

Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye sürecinde yer alan egzersizler Iwamoto'nun (2009) yapmış olduğu sınıflamaya göre kurgulanmıştır. Iwamoto (2009), dijital üretim tekniklerini dilimleme, teselasyon, katlama, konturlama ve biçimlendirme olmak üzere beş başlıkta ele almıştır:

Dilimleme, bir yüzeyin tümüyle inşa edilmesinden önce yüzeyin geometrisini izleyen bir dizi profilinin sıralanmasıyla aynı yüzey algısının oluşturulmasını sağlamaktadır. Böylelikle hem yüzeyin kendisi hem de strüktürü inşa edilebilmiş olmaktadır.

Teselasyon, bir yüzeyi oluşturan alt parçaların aralarında boşluk kalmadan bir araya dizilerek yüzeyin oluşturulmasıdır. Parçalar bir yapboz gibi bir araya gelerek biçimin bütünü oluştururlar. Mozaiklerin bir araya gelme mantığı teselasyona verilebilecek en iyi örneklerdendir.

Katlama, iki boyutlu bir malzemenin üç boyutlu hacimlere dönüştürülebilmesini sağlamaktadır. Yalnızca geometrinin oluşturulmasında değil aynı zamanda strüktürün oluşturulmasında da önemlidir. Bu yöntemle malzemenin sağlamlığı artırılabilir.

Konturlama yöntemi çıkarmalı fabrikasyonla bir arada kullanılmaktadır. Bu yöntem bir malzemenin frezeleme yöntemiyle işlenerek hacimsel yüzeyler elde etmeyi sağlamaktadır. Örneğin bir iki boyutlu etkiye sahip bir MDF blok işlenerek üç boyutlu bir etki kazandırılabilir.

Biçimlendirme, özellikle seri üretim içeren uygulamalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Kalıp yardımıyla üretimi ifade etmektedir. Üretilecek olan yüzeyin / nesnenin negatifi tasarlanarak kalıp üretimi yapılır ve biçimlendirme yöntemiyle ürün elde edilir. (Iwamoto, 2009)

Atölye çalışmalarının sayısal fabrikasyon süreçleri ise Kolarevic'in sınıflaması üzerinden kurgulanmıştır. Kolarevic (2003), dijital fabrikasyon araçlarını iki boyutlu, çıkarmalı, eklemeli ve biçimlendirici olmak üzere dört biçimde incelemiştir. Kolarevic'in bu sınıflaması dijital üretim araçlarının temel çalışma mantığının yapılan uygulamalar kapsamında öğrencilere aktarılması konusunda temel kaynak niteliğindedir.

İki boyutlu fabrikasyon; CNC makinesi ile üretimi ifade etmektedir. Genellikle plaka halindeki malzemelerin üretimi bu yöntemle yapılmaktadır.

Çıkarmalı fabrikasyon; üç boyutlu katı bir kütleden elektro-, kimyasal ya da mekanik yöntemler kullanılarak hacmi azaltma (frezeleme) ve istenilen formu oluşturma işlemidir. Çıkarmalı dijital üretim CNC kesim, robot kol gibi üretim araçlarıyla gerçekleştirilebilmektedir. İki boyutlu dijital üretimden ayrılan tarafı, kullanılan cihazın aks sayısının ikiden fazla olmasıdır.

Eklemeli fabrikasyon; malzemenin katmanlı bir şekilde üst üste eklenmesiyle formun elde edilmesini ifade etmektedir. Bu nedenle "katmanlı üretim" olarak da

adlandırılabilir. Üç boyutlu yazıcı eklemeli dijital üretimin en önemli araçlarından birisidir.

Biçimlendirici fabrikasyon; bir materyali ısıtma gibi bir mekanik kuvvet yardımıyla yeniden biçimlendirmektir. Örneğin; bir metal plaka ısı işlemler ile çift eğrili bir yüzey haline getirilebilmektedir. Biçimlendirici fabrikasyonda malzemenin alacağı şekil sayısal ortamda hesaplanarak, robot kol gibi dijital fabrikasyon araçları ile üretim gerçekleştirilmektedir. (Kolarevic, 2003)

Atölye çalışmaları Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü öğrencileri ile ve dört adet seçmeli ders kapsamında yürütülmüştür. Bu nedenle her atölye çalışmasına sınırlı ve değişken sayıda öğrenci katılmıştır. Geometri odaklı egzersizlerin yürütüldüğü MSM I dersi üçüncü yarıyıl öğrencileri ile güz döneminde; malzeme odaklı egzersizlerin yürütüldüğü MSM II dersi dördüncü yarıyıl öğrencileri ile bahar döneminde, sayısal üretim yöntemleri odaklı MSM III dersi beşinci yarıyıl öğrencileri ile güz döneminde, 1:1 ölçekli üretim odaklı PTU dersi ise altıncı yarıyıl öğrencileri ile bahar döneminde uygulanmıştır. 2018-2019 Eğitim Öğretim yılında gerçekleştirilen egzersizler pilot çalışma olarak ele alınmış, eksiklikler tespit edilerek egzersiz süreçleri güncellenmiştir. 2019-2020 Eğitim Öğretim yılında ise güncellenen egzersiz ve değerlendirme süreçleri uygulanarak veriler elde edilmiştir. 2019-2020 Eğitim Öğretim yılı bahar döneminin başlarında Covid-19 salgını nedeni ile atölye süreçleri uzaktan eğitim ile tamamlanmıştır. Atölye çalışmalarından malzeme ve 1:1 ölçekli üretim odaklı olanlar uzaktan eğitim ile tamamlanmıştır. Uzaktan eğitim sürecinden elde edilmiş olan veriler, pilot çalışmadan elde edilmiş olan veriler ile desteklenerek aktarılmıştır. Bu döneme ilişkin çalışmaların pilot çalışmalar ile desteklenmesi, verileri belirli bir olgunluğa getirmiş ve tez çalışmasında kullanılabilecek düzeyde olduğuna karar verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında uygulanan egzersizler basit olandan karmaşığa doğru bir kurgu içerisinde belirlenmiştir. Bu bağlamda;

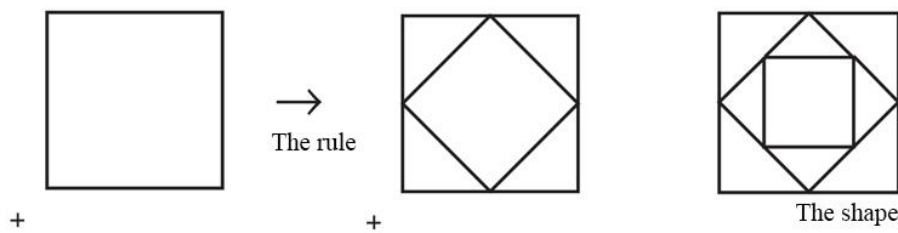
Geometri odaklı atölye çalışmaları, biçimsel ilişkiler üzerine tartışabilme ve düşünebilme becerisine sahip oldukları için üçüncü yarıyıl öğrencileri ile uygulanmıştır. Dönem içinde uygulanan egzersizler basit geometrilerden karmaşık geometrilere doğru giden bir kurgu ile ele alınmıştır. Egzersiz süreçlerinde ele alınan biçimler birbirinin devamı olacak şekilde kurgulanmıştır. Böylelikle öğrencilerin giderek karmaşıklaşan geometrik kompozisyonları aşama aşama ortaya çıkarabilmesi sağlanmıştır.

Malzeme odaklı atölye çalışmaları, öğrencilerin malzemeye ilişkin bilgi düzeyinin yeterli seviyeye gelmiş olduğu düşünülerek dördüncü yarıyıl öğrencileri ile uygulanmıştır. Egzersizler, çeşitli özelliklerdeki malzemelerin (tekstil, ahşap, plastik, alçı, beton, kil vb.) ve o malzemeye ilişkin üretim tekniklerinin (örme, germe, frezeleme, biçimlendirme vb.) basitten karmaşığa ve konvansiyonelden sayısala doğru deneyimlenmesi hedeflenerek seçilmiştir. Öğrencilerin malzeme davranışına veya üretim tekniğine ilişkin veriyi sayısal ortama aktarabilme yeteneklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmaları, tasarlama ve üretmeye ilişkin bilgi düzeylerinin yeterli seviye olduğu düşünülerek beşinci yarıyıl öğrencileri ile uygulanmıştır. Egzersizler Iwamoto'nun (2009) dijital üretim tekniklerine ilişkin sınıflamasına göre belirlenmiştir.

1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmaları, malzeme, yapı, detay gibi konular ile ilgili bilgi düzeyleri yeterli seviyede olan altıncı yarıyıl öğrencileri ile uygulanmıştır. Bu süreçte önerilen belirli bir egzersiz yoktur. Elde olan malzeme veya ihtiyaca göre 1:1 ölçekli her tür içerikte çalışma yapılabilir.

Her farklı ders sürecinin ortak ve başlangıç uygulaması ise biçim grameri egzersizi olarak belirlenmiştir. Stiny (2006) biçim gramerini farklı şekillerde görmek olarak açıklamaktadır. Biçim grameri uygulamaları iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada bir kompozisyonu oluşturacak olan başlangıç biçimleri tanımlanır, ikinci aşamada ise bu alt biçimlere uygulanacak olan kurallar belirtilir. Kurallar, başlangıç biçimlerine belirli sayıda adımda uygulanarak sonuç biçim ortaya çıkarılır.



Şekil 13. Bir biçim grameri uygulaması: Başlangıç biçimi, kural ve sonuç ürün Stiny (2006).

Knight (2012), biçim gramerlerinin görsel ve algısal olduğunu; kökeninde ise dijital olmadığını savunmaktadır. Biçim gramerleri sonucu değil, süreci temsil etmektedir. Bu süreçte bilgisayarlar merkezde değildir ve tasarımcı bilgisayarın yerini almaktadır (Knight,

2012). Bu haliyle biçim grameri uygulamaları temelinde insan tarafından uygulanan bir algoritma olarak düşünülebilir. Biçim gramerinin hem bir konvansiyonel yapı içermesi hem de sayısal düşünmeye ilişkin ipuçları barındırması nedeniyle bütün atölye süreçlerinin başlangıç egzersizi olarak seçilmiştir. Biçim grameri uygulamaları bir formun analiz edilmesi veya bir formun tasarlanması süreçlerinde kullanılabilir (Stiny, 1980; Tching vd., 2017). Tez kapsamında biçim gramerleri form yaratma sürecinde kullanılmıştır.

Tez kapsamında uygulanan egzersizler şu şekilde özetlenebilir:

- MSM I Dersi: Geometri odaklı egzersizler
 - Biçim grameri
 - Öklidyen formlar
 - Eğrisel yüzey
 - Çift eğrilikli yüzey
 - Dönüşen birimler
 - Karmaşık geometri



Şekil 14. Geometri odaklı atölye çalışmaları özet görseli

Geometri odaklı atölye çalışmaları bağlamında sayısal düşünme süreci öğrencilerin aşına oldukları tasarım süreçlerinden referanslar alınarak öğretilmektedir. İlk aşama problemin sayısal olarak çözümlenmesi aşamasıdır. Probleme öncelikle konvansiyonel yöntemlerle yaklaşılmaktadır. Tasarım problemine ilişkin bir fiziksel model üretilmektedir. Fiziksel modelin üretim aşamaları ve kullanılan her türlü sayısal ilişki belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu aşamada elde edilen veriler sayısal modelleme sürecinde parametre olarak kullanılmaktadır. İkinci aşamada fiziksel üretim aşamasında elde edilmiş olan veriler kullanılarak bir sayısal model oluşturulmaktadır. Belirlenmiş olan sayısal ilişkiler, sayısal modelde parametre olarak karşılık bulmaktadır. Böylelikle öğrencinin aşına olduğu tasarım

süreci ile yeni öğrenmeye başladığı sayısal tasarım sürecini bağdaştırarak öğrenmesi istenmektedir.

- MSM II Dersi: Malzeme odaklı egzersizler
 - Parametrik kerf (biçim grameri)
 - Örüntü
 - Etkileşim
 - Gergi strüktür
 - Parametrik mutasyon

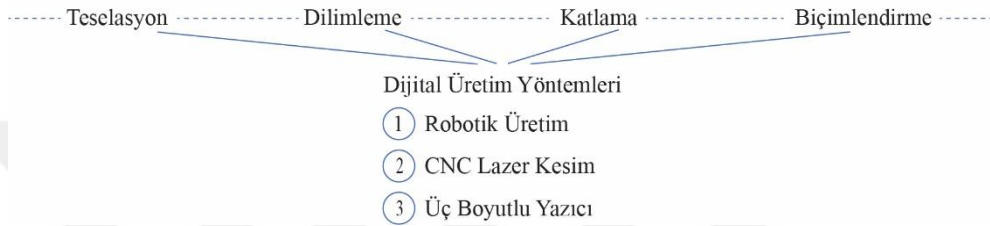


Şekil 15. Malzeme odaklı atölye çalışmaları özet görseli

Malzeme odaklı atölye çalışmaları çeşitli malzemelerin ve malzemeler ile ilişkili üretim tekniklerinin deneyimlenmesine odaklanmaktadır. Atölye çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen egzersiz çalışmaları iki boyutlu malzeme etkisinden üç boyutlu malzeme etkisine kadar farklı süreçleri ele almaktadır. Üretim teknikleri sayısal fabrikasyon süreçleri ile de bütünleştirilerek, sayısal düşünmenin üretim sürecindeki karşılıkları tartışılmaya çalışılmıştır.

- MSM III Dersi: Sayısal üretim yöntemleri odaklı egzersizler
 - Biçim grameri
 - Cisim açılımı
 - Teselasyon
 - Dilimleme
 - Katlama – Dökme

SAYISAL DÜŞÜNME ÜZERİNE ÜRETİM YÖNTEMLERİ ODAKLI ATÖLYE ÇALIŞMALARI

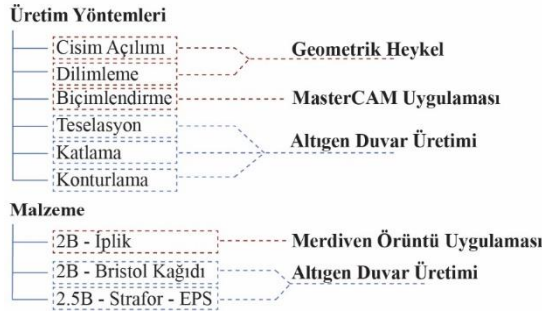


Şekil 16. Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmaları özet görseli

Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmaları kapsamında sayısal düşünme, sayısal modelin üretilmesi sürecinde gerçekleştirilmektedir. Sayısal modelleme süreci; parametrelerin belirlenmesi, sayısal ilişkilerin kurgulanması ve sürecin adım adım açıklanması adımları ile gerçekleştirilmektedir. Sayısal modelleme sürecini, belirlenen sayısal üretim tekniğinin uygulanması izlemektedir. Bu süreçte CNC lazer kesim cihazı, üç boyutlu yazıcı ve robot manipülatör ile üretimler yapılmıştır. Atölye sürecinde Iwamoto (2009) tarafından sınıflanmış olan sayısal üretim teknikleri deneyimlenmiştir. Atölye sürecinde bu üretim yöntemlerinin sayısal ortamda nasıl modelleneceği ve üretime hazır duruma getirileceği üzerinde de durulmuştur. Böylelikle süreç sonunda öğrenciler hem sayısal tasarım süreçlerini hem de tasarladıkları ürünleri sayısal üretim araçları ile üretmeyi öğrenmektedirler.

- PTU Dersi: 1:1 ölçekli üretim
 - 1:1 ölçekli üretim odaklı egzersiz çalışmaları

SAYISAL DÜŞÜNME ÜZERİNE 1:1 ÜRETİM ODAKLI ATÖLYE ÇALIŞMALARI



Şekil 17. 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmaları özet görseli

1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmaları, biçim grameri çalışmasını, giriş uygulamalarını, 1:1 ölçekli üretime hazırlık ve üretim sürecini içermektedir. Bu süreçte öncelikle üretimi yapılacak olan ürün sayısal ortamda üretilmektedir. Sonraki süreçte ise üretim yönteminin belirlenmesi, hangi sayısal üretim aracının kullanılacağına karar verilmesi, detayların belirlenmesi gibi 1:1 ölçekli üretim için gerekli olan aşamalar üzerinde düşünülmektedir. Bu atölye çalışmasında, dönem boyunca, bir veya iki ürün üretilmekte ve dersi alan öğrenciler ekip olarak çalışmaktadır.

Atölye çalışmaları haftalık iki saatlik seçmeli dersler kapsamında uygulanmıştır. Haftalık ders sayısının az olması nedeniyle ve yaparak öğrenme süreçlerinin derslerin merkezinde olabilmesini sağlayabilmek için, ders süreçleri ters yüz edilmiş sınıf modeli ile desteklenmiştir. Dersler kapsamında sayısal düşünme süreçlerinin, sayısal tasarıma yansımaları görebilmek adına görsel bir algoritma kurgusu sunan Grasshopper® yazılımı kullanılmıştır. Bu nedenle, öğrencilere programın öğretilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ters yüz edilmiş sınıf modeli bağlamında, yaparak öğrenme kapsamında geliştirilen uygulamalar sınıfta yürütücü eşliğinde; program öğretimi ise yürütücü tarafından hazırlanmış olan videolar ile evde yapılmıştır. Böylelikle iki saatlik ders sürecinde hem uygulama yapılabilmiş hem de program öğretilmiştir.

2.2.2. Değerlendirme Tekniği

Tez çalışması kapsamında yapmaya odaklı, konstrüktivist öğrenme süreçleri kullanılmıştır. Bu bağlamda kurgulanmış olan egzersiz süreçlerinin başarısını doğru bir şekilde ölçebilmek ileriki çalışmalara da ışık tutabilmek açısından önemlidir. Konstrüktivist

öğrenme teorisinde değerlendirmeye ilişkin kriterler aşağıdaki gibi derlenmiştir (Büyükduman ve Şirin, 2010):

1. Değerlendirme sürecinde teknoloji kullanılabilir.
2. Ödev, öğrenci merkezli ve çıktı odaklı olmalıdır.
3. Ödev teknikleri süreci açıklamaya yönelik olarak geliştirilmelidir.
4. Gerektiğinde notlandırma yapılabilir.
5. Notlandırmanın yapılmadığı seçenekler ve portfolyo ödevleri de olmalıdır.
6. Öğretmen değerlendirmesinin yanında öğrenciler de kendini değerlendirmelidir.
7. Performans standartları oluşturulmalıdır.
8. Bir notlandırma sistemi oluşturulmalıdır.
9. Portfolyoda video kullanılabilir.
10. Sonuç üründen çok, öğrencinin bilgiyi nasıl organize ettiğine bakılmalıdır.

Konstrüktivist yöntemlerde öğrenci kendi öğrenme sürecini kurguladığı için değerlendirme yönteminin de sonuç odaklı değil, süreç odaklı olarak seçilmesi önemli hale gelmiştir. Bu bağlamda, portfolyo yönteminin kullanımına, öğrenme sürecini açık bir biçimde aktarmanın bir aracı olduğu için, karar verilmiştir. Bu yöntem ek olarak, öğrencilerin atölye süreçleri başlamadan önceki ve bittikten sonraki değişimlerini ölçebilmek için öğrenci görüş ölçeği uygulanmıştır. Tez kapsamında uygulanan bir diğer değerlendirme ise final çalışmaları üzerinden yapılmıştır.

- Portfolyo yöntemi ile değerlendirme:

Portfolyo değerlendirme yöntemi, öğrencinin ne yapabildiğini, gelişimini, başarısını ve çabasını gösteren çalışmalarının derlemesidir (Hamm ve Adams, 1991; Hypki, 1994). Portfolyo; değerlendirme, öğrenme çıktılarının kayıt altına alınması ve iş başvuruları alanlarında kullanılmaktadır (Crehan vd., 2012). Tez çalışması kapsamında ise hem öğrenme çıktılarının kayıt altına alınması hem de değerlendirme amaçları ile kullanılmıştır.

Konstrüktivist öğrenme teorisine göre öğrenciler aynı bilgiyi farklı şekilde öğrenebilirler. Bu yönüyle, konstrüktivist stratejiler bireysel bir öğrenme süreci içermektedir. Bu bağlamda, her öğrenci için farklı etkileri olabilecek sürecin sonucunu ölçebilmek için bireysel performansın ölçülebileceği bir sistemin kullanılması uygun olacaktır. Portfolyo değerlendirme yöntemi, öğrencilerin ders döneminin başından sonuna gelişimlerini görebilme imkânı vermektedir. Böylelikle atölye çalışmalarının anlamını öğrencinin perspektifinden görebilmek, egzersizlerin amaç ve hedeflerine ulaşip ulaşmadığını anlayabilmek mümkün olmaktadır. Portfolyolar öğrenme performansını

yansıtmakta ve öğrenci tarafından başarılan durumları ispatlamaktadır (Popescu-Mitroia vd., 2015). Portfolyo, bir öğrencinin neyi bildiğinden çok neyi yapabildiğini ölçmektedir. Bu da konstrüktivist öğrenme stratejilerinin süreç odaklı yapısına uyum sağlamaktadır.

Tez kapsamında uygulanan egzersizler yapma odaklı gerçekleştirilen uygulamalar ve sayısal tasarım odaklı gerçekleştirilen Grasshopper® uygulamaları olmak üzere iki aşamalıdır. Bu nedenle portfolyo oluşturma sürecinde de uygulama ve sayısal tasarım başlıklarında iki tip portfolyo altlığı kullanılmıştır. Portfolyo altlıkları dersin yürütücüsü tarafından hazırlanarak öğrenciler ile paylaşılmış, öğrenciler ise ilgili başlıkları kendi çalışmaları doğrultusunda doldurmuşlardır.

Portfolyo altlığının hazırlanması sürecinde Schoenfeld'in (1987) üstbilis tanımında değinmiş olduğu öğrencinin kendi kendine sorular sorması gerekliliği fikri yol gösterici olmuştur. Portfolyo ile öğrencilerin kendilerine birtakım sorular sorarak, egzersiz süreçleri üzerine derinlemesine düşünceleri hedeflenmiştir. Böylelikle Bloom (1956) ve King'in (1993) belirttiği gibi analiz, sentez ve değerlendirme süreçleri gerçekleştirilerek bilişsel sürecin başarılanması sağlanmıştır.

Öğrenciler yaptıkları her bir uygulama için, o uygulamanın sonunda kendilerine verilen portfolyo altlığını doldurmuşlardır. Her uygulama için iki sayfa olarak hazırlanmış olan portfolyo bölümleri dönem sonunda bir portfolyo kitapçığı haline getirilerek teslim edilmiştir. Öğrenciler ara sınav notlarını hazırlamış oldukları portfolyo üzerinden ve önceden ilan edilmiş olan puanlara göre almışlar, final notlarını ise portfolyo ve final ödevi üzerinden almışlardır.

Yapma odaklı egzersiz süreci için hazırlanmış olan portfolyo altlığının değerlendirme başlıkları aşağıdaki gibidir:

- Yapılan çalışma: Bu başlıkta öğrenci yapmış olduğu çalışmanın sonuç görselini paylaşır.

- Bu çalışmada ne yaptınız? Çalışmanın amacı nedir?: Bu başlık Schoenfeld'e (1987) atıfta bulunmaktadır. Öğrenci çalışmada ne yaptığını kısaca açıklar. Çalışmanın amacının ne olduğuna ilişkin yorum yapar. Öğrencinin belirttiği amaç ile "2.3. Sayısal Düşünme Odaklı Atölye Çalışmaları Kurgusu" başlığı altında belirtilmiş olan ve yürütücünün egzersiz süreçlerinden önce belirlemiş olduğu amaç karşılaştırılarak "Bulgular" bölümünde tartışılmıştır. Böylelikle egzersiz süreçlerinin amaca uygunluğu ile ilgili yorum yapmak mümkün olacaktır.

▪ Bu çalışmadan ne öğrendiniz?: Öğrenci bu çalışmadan neler öğrendiğini belirtir. Öğrenci yorumları “2.3. Sayısal Düşünme Odaklı Atölye Çalışmaları Kurgusu” başlığı altında yürütücü tarafından belirlenmiş olan öğrenim çıktıları ile karşılaştırılarak “Bulgular” bölümünde tartışılmıştır.

▪ Bu çalışmayı bir daha yapsanız neyi farklı yapardınız?: Bu başlıkta öğrenci kendi yürütmüş olduğu uygulama sürecini gözden geçirir ve varsa yapmış olduğu hataların farkına varır. Bu soru, Bloom (1956) ve King’e (1993) atıfta bulunmaktadır. Öğrenci, süreci sorgulayarak analiz, sentez ve değerlendirme süreçlerini gerçekleştirmiş olur.

▪ Üretim sürecinizi görsellerle ve sayısal ifadelerle destekleyerek anlatınız: Bu başlık, egzersiz çalışmalarının sayısal düşünme ile ilişkili olan kısmını açığa çıkarmaktadır. Öğrenci, uygulama sırasında gerçekleştirmiş olduğu bütün eylemleri sayısal ilişkileri de dikkate alarak not eder. Böylelikle ürünü ortaya çıkaran eylemler açık bir biçimde ortaya konulmuş olur. Bu durum, kapalı kutu olan tasarım sürecinin saydam kutuya dönüşmesi açısından önemlidir. Egzersiz süreçlerinin sayısal ilişkileri ile açığa çıkarılması, bir sonraki uygulamada benzer bir ürünün sayısal modelleme ile üretilmesi aşamasında kullanılır. Elde edilen sayısal ilişkiler, sayısal modelin parametrelerini oluşturur.

KTÜ | CODE FAB MİMARİDE SAYISAL MODELLEME I
KONU BAŞLIĞI U - 1

YAPILAN ÇALIŞMA 10 PUAN
(Yapılan çalışmaya ilişkin sorular belirlenmişlerdir. Bu satırı siliniz.)

BU ÇALIŞMADA NE YAPTINIZ? ÇALIŞMANIN AMACI NEDİR? 10 PUAN
(Çalışmada ne yaptığınızı açıklayınız. Sizce bu çalışmayı yapmanızın amacı nedir? Bu satırı siliniz.)
Açıklamalar için bu kutucuğu kullanınız.

Çalışmada ne yaptığınızı açıklayınız.
Sizce bu çalışmayı neden yaptık? Bu çalışmanın amacı nedir, açıklayınız.

BU ÇALIŞMADAN NE ÖĞRENDİNİZ? 10 PUAN
(Çalışmadan ne öğrendiğinizi açıklayınız. Daha önce yanlış yaptığınız bir şeyi ya da bilmediğiniz bir durumu öğretti mi? Bu satırı siliniz.)
Açıklamalar için bu kutucuğu kullanınız.

Bu çalışmadan ne öğrendiğinizi açıklayınız.

BU ÇALIŞMAYI BİR DAHA YAPSAÑIZ NEYİ FARKLI YAPARDINIZ? 10 PUAN
(Çalışma sürecinde neyi yanlış ya da eksik yaptığınızı açıklayınız. Çalışmanızın hoşunuza gitmeyen tarafları nedir? Bu satırı siliniz.)
Açıklamalar için bu kutucuğu kullanınız.

GRUP ÜYELERİ: TARİH

Şekil 18. Yapma odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 1) ve puanlama sistemi | Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır

BU ÇALIŞMADA HANGİ ARAÇLARI / MALZEMELERİ KULLANDINIZ? 5 PUAN

(Hangi dijital üretim aracını kullandınız (Lazer kesim, 3B yazıcı, robot kol, vb)? Hangi geleneksel araç (makas, vb.) ve malzemeleri (3 mm mukavva, yapıştırıcı, vb.) kullandınız. Bu satırı siliniz.)

Dijital Araçlar: Örneğin; CNC lazer kesim cihazı

Geleneksel Araçlar: Örneğin; maket bıçağı, vs.. ya da kullanılmadıysa kullanılmamıştır

Malzemeler: olarak belirtmeli

Örneğin; 3 mm kalınlığında maket kartonu, yapıştırıcı, iğne vb. malzemeler.

ÜRETİM SÜRECİNİZİ GÖRSELLERLE VE SAYISAL İFADELERLE DESTEKLEYEREK ANLATINIZ.

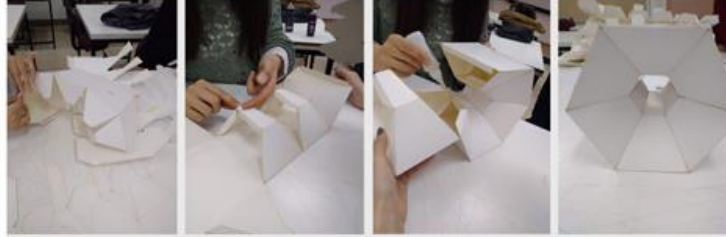
(Üretim sürecinizi adım adım görsellerle, sayısal ifadelerle ve gerekliyse çizimlerle destekleyerek anlatınız.) **30 PUAN**

1. Adım

Grup kırmızı olarak verilen tasarımdaki her bir modülün Rhino'da unrollsurface komutu ile açılımı elde edildi.

**2. Adım**

Edilen açılımlar Autocad'e aktarıldı. Fazla çizgiler temizlendi, lazer kesim için kesme, çizme ve kazıma olmak üzere 3 farklı layer oluşturuldu. Modüllerin daha kolay yapışması için açılıma yapıştırma payları çizildi. Hazırlanan açılımlar bristol malzemeye kesildi.

**3. Adım**

Altıgeni oluşturan her bir parçanın tek tek birleşimi sağlandı, daha sonra birleşen parçaların sırayla birbirine yapıştırılmasıyla modül kapatıldı.

**4. Adım**

Oluşturulan 17 model kodlarına göre dizilerek birleşime hazır hale getirildi. Strüktür, bir modülden başlanarak her yönden modüllerin eklenmesiyle oluşturuldu.

Örnektir... Kendi anlatım yönteminizi geliştiriniz.

Gerekli durumlarda bir sayfa daha eklenebilir.

Sayısal ifadeleri eklemeyi unutmayınız: Örneğin çevreleri 20 birim ile 40 birim arasında değişen 5 adet dikdörtgen üretildi vb.

Düzen : 10 PUAN

Zamanında Teslim: 15 PUAN

GRUP ÜYELERİ:

TARİH

Şekil 19. Yapma odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 2) ve puanlama sistemi | Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır

Yapma odaklı egzersiz süreçlerine ilişkin portfolyo altlığında sorulmuş olan “Bu çalışmada ne yaptınız? Çalışmanın amacı nedir?” sorularına verilen cevaplar ile yürütücünün egzersiz süreçlerine yönelik belirlemiş olduğu amaç ve “Bu çalışmadan ne öğrendiniz?” sorusuna verilmiş cevaplar ile yürütücünün tanımlamış olduğu öğrenme çıktıları karşılaştırılmış; elde edilen bulgular üzerine tartışılmıştır.

Sayısal modellemenin öğretilmesi odaklı egzersiz süreci için hazırlanmış olan portfolyo altlığının değerlendirme başlıkları aşağıdaki gibidir:

- Kontrol listesi: Bu başlıkta sayısal modelleme sürecinin adımları yer almaktadır. Öğrenci, modelleme sürecinde başarabildiği her adımın yanına onay işareti (✓) koyar. Bu sayede öğrencinin modelleme sırasında hangi basamaklarda zorlandığı yürütücü tarafından takip edilebilmektedir. Kontrol listesinde yer alan adımlar aynı zamanda öğrenci için bir yol gösterici olmakta ve dikkat etmeleri gereken hususlarla ilgili ipucu vermektedir.

- Modelleme sürecinde karşılaşılan zorluklar: Bu başlıkta öğrenci, zorlandığı noktaları belirtmektedir. Bu madde, yürütücünün durum tespiti yapabilmesi ve anlaşılmayan bölümlerin üzerinde durabilme olanağı sağlaması açısından önemlidir.

- Nedenleri: Öğrenci, zorlandığı durumların nedenlerini belirtir. Böylelikle, varsa, sorun tespit edilerek önlem alınmaya çalışılır. Sayısal modelleme, ev ödevi olarak verilen videolar üzerinden öğretildiği için öğrenciyi takip edebilmek bu şekilde mümkün olmaktadır.

- Grasshopper® dosyasından alınmış ekran görüntüsü: Öğrenci, ilk olarak videoda gösterilmiş olan modelleme sürecinin aynısını modellemeye çalışır. Algoritmaya ve sonuç ürüne ait görsel bu başlıkta paylaşılır. Böylelikle öğrencinin ödevi tam olarak yapıp yapmadığı tespit edilmektedir. Tespit edilen sorunlar, takip eden derste ele alınarak öğrencinin modelleme sürecini tam olarak anlayabilmesi sağlanır.

- Grasshopper® sürecinin sayısal ilişkiler ile açıklanması: Bu başlıkta sayısal modelleme ortamında kurulmuş olan algoritmanın ve kullanılan parametrelerin deşifre edilerek adım adım yazılması istenmektedir. Böylelikle öğrenci, gerçekleştirmiş olduğu süreci yazı ile ifade ederek öğrenimini içselleştirir. Aynı zamanda, öğrencinin yaparak öğrenme sürecinde gerçekleştirmiş olduğu sayısallaştırma aşamasının sayısal modelleme ortamına yansması üzerine de düşünmesi sağlanmaktadır.

- Alternatif Grasshopper® modelinin ekran görüntüsü: Sayısal ortamda ve algoritmik bir düzen içinde model oluşturmanın en büyük getirilerinden biri, modelleme süreci sonunda birden fazla modelden oluşan bir çözüm uzayı elde edebilmektir. Doğru bir şekilde kurulan

sayısal modelin parametreleri değiştirildiğinde, tasarım problemine cevap veren anlamlı tasarımların elde edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, öğrenci uygulama sürecinde tespit etmiş olduğu sayısal ilişkileri algoritma içerisindeki parametrelerle ilişkilendirir. Böylelikle dersteki uygulamada üretmiş olduğu ürüne benzer bir ürün elde etmesi amaçlanır. Öğrenci, bu aşamada doğru bir model elde edebiliyorsa, modelleme mantığını da kavrayabildiği anlamı çıkar.

KTÜ | CODE FAB
MİMARİDE SAYISAL MODELLEME |
G - 1

GRASSHOPPER | GİRİŞ DERSİ

KONTROL LİSTESİ 5 PUAN


- Ders anlatım videosu izlendi.
- Başlangıç noktası (0,0,0) olan 10 birim x 20 birim ölçülerindeki dikkörtgen Rhinoceros ortamında çizildi.
- Sayısal tasarımda parametre kullanımının önemi anlaşıldı.
- Grasshopper'da parametrelerin nasıl tanımlandığı anlaşıldı.
- Başlangıç noktası (0,0,0) olan 10 birim x 20 birim ölçülerindeki dikkörtgen Grasshopper ortamında çizildi.
- Rhinoceros ortamında çizilen biçimin Grasshopper'a aktarılması anlaşıldı.
- Biçimlerin etkileşimli olarak çalışması için ortak parametrelerin kullanılması gerekliliği anlaşıldı.
- İki eğrisel çizgi arasına yüzey tanımlanabildi.

MODELLEME SÜRECİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR 15 PUAN
(Modelleme sürecinde uygulayamadığınız ya da yapamadığınız kısımları yazınız. Nedenlerini belirtiniz. Bu satırı siliniz.)
Açıklamalar için bu kutucuğu kullanın.

| Açıklamalarınız için belirlenmiş olan fontu ve büyüklüğü kullanınız.
Kendiniz bir font ve büyüklük belirlemeyiniz.

NEDENLERİ 5 PUAN
Açıklamalar için bu kutucuğu kullanın.

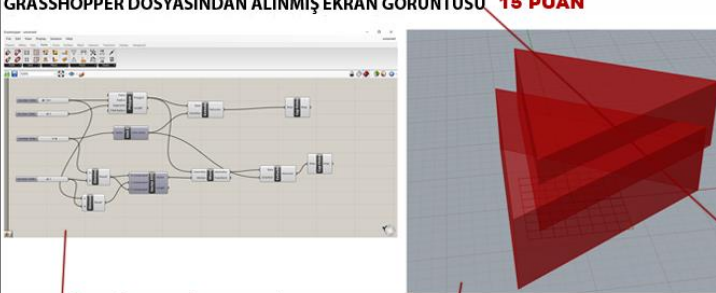
Gerçekleştirdiğiniz maddeleri tik işareti ile işaretleyiniz.
Bunun için ilgili satıra tıklayarak:



Madde işaretleri aracı ile onay işaretini seçiniz. Bu işlemi gerçekleştirdiğiniz her bir madde için tekrarlayınız.

Açıklama satırlarını silmeyi UNUTMAYINIZ.
Satırı sildikten sonra kalan boşluğa açıklama kutucuğunu yerleştiriniz.

GRASSHOPPER DOSYASINDAN ALINMIŞ EKRAN GÖRÜNTÜSÜ 15 PUAN



Grasshopper ekran görüntünüzün okunaklı olmasına özen gösteriniz.

Grup Üyeleri: yazısını silerek, önce kendi adınızı soyadınızı, sonra da arkadaşınızinkini yazınız.

Tarih yazısını silerek ödevi teslim ettiğiniz tarihi yazınız.

GRUP ÜYELERİ: _____ **TARİH** _____

Görselleri yerleştirirken kesikli çizgilerle hizalanmasına özen gösteriniz.

SAYFA DÜZENİ: 10 PUAN

Sayfa düzeninin daha iyi olması için başlıkların yerleri değiştirilebilir.

Şekil 20. Sayısal modellemenin öğretilmesi odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 1) ve puanlama sistemi | Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır

GRASSHOPPER SÜRECİNİN SAYISAL İLİŞKİLER İLE AÇIKLANMASI 25 PUAN

(Grasshopper modelinizde yer alan bçimlerin parametrelerini, bçimlerin birbiriyle ilişkilerini açıklayıcı tanımlamaları yazınız. Açıklama sürecinde sayısal ifadeleri kullanmaya özen gösteriniz. Bu satırı siliniz.)

Açıklamalar için bu kutucuğu kullanın.

Örnek 1:

Zemin oluşturmak için öncelikle polygon oluşturduk. Sonra bu polygonu Z faktöründe Extrude ederek yükseklik verdik. Daha sonra üstteki ötelenmiş parçayı oluşturmak için parametreleri belirledik, x,y,z vektörü oluşturduk. Üstteki cisim alttaki cismin yüksekliğinin 1/3'ü yüksekliğine oturtuldu. Cisim x ve y doğrultusunda kenar uzunluğunun 1/3'ü olacak şekilde kaydırıldı. Bu işlem kenar uzunluğuna division uygulanarak x ve y ekseninde kaydırıldı. Yüksekliğine division uygulanarak 1/3 yüksekliğine move edildi. Daha sonra extrude' landı. Daha sonra kapalı yüzeyler oluşturmak için cap holes komutu kullanıldı.

Bu kısmı düz yazı yerine madde madde yazabilirsiniz. Anlatımı birinci tekil şahısla yapmayınız. "Yaptık, oluşturduk" gibi ifadeler yerine "yapıldı, oluşturuldu" gibi ifadeleri kullanınız. Türkçe kullanımına özen gösteriniz.

Örnek 2:

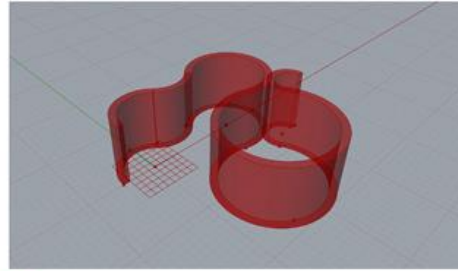
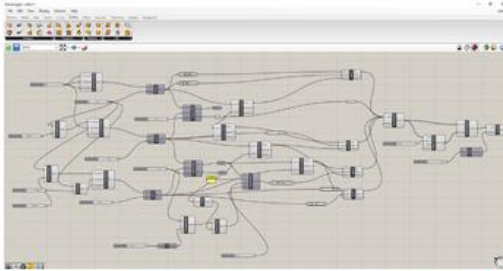
İlk başlatırken birinci, üçüncü ve beşinci çember oluşturarak başladım. birinci çember için bir circle oluşturduk x,y,z kordinatları ile 0,0,0 noktasına bir point tanımladım ve çemberin merkezini o nokta yaptım. Çemberin yarıçapını 7br olarak belirledim. diğer 2 çemberin merkez noktalarını x ve y kordinatlarından birinci çemberin yarıçapına bağımlı olacak şekilde parametre oluşturduk. ikinci çemberin yarıçapı 6br, üçüncü çemberin yarıçapı 2br olarak tanımladım. Birinci ve üçüncü çemberleri kullanarak ikisi arasında tan arc kullandım ve yarıçapı 3br olan 2 yay oluşturduk. Üçüncü ve beşinci çemberleri kullanarak yine ikisi arasında tan arc uygulayarak yarıçapı 4br olan 2 yay oluşturduk. bu yaylardan kullanacağım yay için extend komutu kullanarak yayı bir çembere tamamladım. Daha sonra oluşturacağım model için birinci çember ile yayın kesişiminde bir curve kullanarak point oluşturduk. yine birinci çember üzerinde point on curve komutu ile 2 farklı nokta daha tanımlayarak birinci çember üzerinde kullanacağım yayı oluşturduk. Birinci yay ile üçüncü çember arasında da curve ile bir point oluşturduk. daha sonra üçüncü çember ile 4.yay arasında point oluşturduk. Ve 3. çember üzerinde de bir point oluşturduk. beşinci çember ile 4.yay arasında da curve ile bir point oluşturduk. Daha sonra birinci, üçüncü ve beşinci çemberler üzerindeki pointleri arc 3 point komutu ile birleştirerek bu noktalarından yayları oluşturduk. şuan elimde 3 çember ve 7 yay oluştu. ikinci ve dördüncü yayı oluşturduktan sonra ikiser yay oluşturmuştu kullandığım yayları preview komutu ile kapattım. daha sonra çemberleri preview komutu ile kapattım. elimde çizgisel şekilde elde etmek istediğim şekil oluştu. Bu şekle offset komutu ile bir kalınlık parametresi oluşturduk. ve 1br olarak belirledim. daha sonra bu iki çizgi arasında bir yüzey oluşturmak için ruled surface komutunu kullandım. Ve oluşturmuş olduğum düzleme extrude komutu ile bir yükseklik parametresi oluşturduk ve 9br olarak tanımladım. Ve oluşturmak istediğim şekil elde ettim.

Bu kısımda modeli oluşturulan parametrelerin yazılması, bu parametreler arasındaki ilişkilerin yazılması (örneğin: dairenin çapı dikdörtgenin kısa kenarının 2 katıdır gibi..)

Kullanılan komutlar yerine o komutların yaptığı işin anlatılması (örneğin, mirror komutu kullanıldı yerine cismin x ekseninde simetriği alındı gibi...)

ALTERNATİF GRASSHOPPER MODELİNİN EKRAN GÖRÜNTÜSÜ 10 PUAN

(Grasshopper modelinin parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilen alternatif 1 adet modelin ekran görüntüsünü yerleştiriniz. Bu satırı siliniz.)



Hangi parametreleri nasıl değiştirdiğinizi açıklayınız.

(Örneğin;

dairenin yarıçapı : 3 br --> 6 br

yayın uzunluğu : 12 br --> 15 br olarak değiştirildi.. gibi..)

Ödevlerin teslimi her pazartesi saat 18:00'e kadar yapılmalıdır.

Zamanında teslim : 15 PUAN

GRUP ÜYELERİ:

TARİH

Şekil 21. Sayısal modellemenin öğretilmesi odaklı uygulama sürecine ilişkin portfolyo örneği (sayfa 2) ve puanlama sistemi | Bu görsel dönem başında öğrenciler ile paylaşılmıştır

Portfolyo değerlendirme yönteminde portfolyo ile rubrik sistemin bir arada kullanıldığı görülebilmektedir (Büyükduman ve Şirin, 2010). Rubrik değerlendirme yönteminde öğrenciye nasıl bir puanlama sistemi ile değerlendirme yapılacağı açıklanmaktadır. Tez kapsamında yürütülen çalışmalarda, öğrencilerin portfolyoları eksiksiz ve üzerine düşünerek doldurmalarını sağlamak için rubrik sistem ile desteklenmiştir. Portfolyoda yer alan, öğrencilerin doldurmakla yükümlü oldukları her bir alt başlığa puan verilmiştir. Puanlama sistemi dönem başında öğrencilere ilan edilmiştir (Şekil 18-21).

Öğrenci	Sayfa Düzeni 10 puan	Kontrol Listesi 5 puan	Karşılaşılan Zorluklar 15 puan	Nedenleri 5 puan	Ekran Görüntüsü 15 puan	Sayısal İlişkiler ile Açıklama 25 puan	Alternatif Model 10 puan	Zamanında Teslim 15 puan	TOPLAM	Ortalama
G-1	7	5	15	5	15	15	10	15	87	79
G-2	10	5	15	5	15	25	10	15	100	
G-3	5	5	15	3	15	25	10	15	93	
G-4	7	5	0	0	15	20	0	15	62	
G-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Sayfa Düzeni 10 puan	Yapılan Çalışma 10 puan	Amacı 10 puan	Ne Öğrendiniz 10 puan	Neyi Farklı Yapardınız 10 puan	Hangi Malzemeler 5 puan	Üretim Süreci Anlatımı 30 puan	Zamanında Teslim 15 puan		
U-1	5	10	10	10	10	5	25	15	90	
U-2	5	10	10	10	10	5	30	15	95	
U-3	5	10	10	10	10	5	30	15	95	
U-4	5	10	5	10	10	5	25	15	85	

Şekil 22. Portfolyonun notlandırılmasına ilişkin bir görsel

Portfolyonun notlandırılmasında sonuç ürüne değil, öğrencinin çalışmayı yapır yapmadığına, sorulara verdiği cevaplara ve zamanında teslim edip etmediğine bakılmaktadır. Böylelikle sonuç odaklı değil, süreç odaklı bir değerlendirmenin yapılabilmesi hedeflenmiştir. Bu durum, konstrüktivist eğitim sürecinde öğrenmenin sürece bağlı olarak gerçekleştirilmesine uygun bir değerlendirme yöntemi olarak kabul edilebilir.

- Öğrenci görüşlerinin alınması:

Öğrenci görüşlerinin alınmasına yönelik değerlendirme sürecinde 5'li Likert tipi sorular ile hazırlanmış bir ölçek kullanılmıştır. Öğrencilere dönem başlangıcında ve dönem sonunda aynı ölçek uygulanarak, öğrencinin ders süreci sonunda sayısal tasarıma yönelik görüşlerinde meydana gelen değişiklikler yorumlanmıştır. Öğrenci görüşlerinin alınmasına yönelik ölçek geliştirme süreci üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada değerlendirme amacına uygun sorular belirlenmiş ve bu sorular görüş formunun maddeleri olarak yazılmıştır. İkinci aşamada maddeler uzmanların görüşüne sunulmuştur. Üçüncü aşamada ise uzmanlardan gelen görüşler değerlendirilerek form maddeleri değiştirilmiş ya da çıkarılmıştır. Üç aşamanın sonunda uygulanacak ölçeğin son hali oluşturulmuştur. (Büyükoztürk, 2005)

Likert tipi soruların geliştirilmesi aşamasında uzman görüşlerinin alınması süreci Lawshe (1975) yöntemine uygun olarak bir dil bilimci, bir eğitim bilimci, dört mimar / eğitimci olmak üzere altı adet uzmanın görüşüne başvurulmuştur. Uzmanlardan her bir ölçek maddesini “uygun”, “değiştirilmeli” veya “uygun değil” şeklinde yorumlamaları istenmiştir. Uzmanlardan gelen geri dönüşler değerlendirilerek değiştirilmesi gereken maddeler yeniden düzenlemiştir. Çıkarılması gereken maddeler ise Lawshe (1975) yönteminde belirtilen kapsam geçerlilik oranı (KGO) hesabına göre belirlenmiştir. KGO bağıntısındaki “n” değeri toplam uzman sayısını, “n(g)” değeri ise maddeyi geçerli olarak değerlendiren uzman sayısını ifade etmektedir.

$$KGO = \frac{n(g) - \frac{n}{2}}{\frac{n}{2}} \quad (1)$$

Ölçekteki her bir maddenin kapsam geçerlilik oranı bulunarak (Tablo 3) asgari değer tablosuna (Tablo 2) göre analiz edilmiştir. Ölçekteki anlatım bozukluğu nedeni ile “yararlı ancak yetersiz” olarak belirtilen maddeler gerekli düzeltmeler yapılarak ölçeğe alınmıştır. Kapsam geçerlilik oranları düzeltilen maddelere göre hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kapsam geçerlilik oranının uzman sayısına göre alabileceği asgari değer tablosu

Uzman Sayısı	Asgari Değer
5	0.99
6	0.99
7	0.99
8	0.75
10	0.62
15	0.49
40	0.29

Çalışma özelinde 6 adet uzman görüşü alındığı için Tablo 2’ye göre her bir maddenin alması gereken asgari değer 0,99 olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda ölçekteki maddeye ilişkin bir uzmanın “gereksiz” görüşü maddenin ölçekten çıkarılmasına yol açmıştır. Tablo 3’te verilmiş olan örnek değerlendirmede “M.5.5” maddesi uzman görüşleri sonucunda elenmiştir. Uygulanan bütün ölçekler örnekte verildiği gibi hesaplanarak, ölçeğe son şekli verilmiştir. Kapsam geçerlilik çalışması Ek 1’de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışma kapsamında Lawshe yöntemi ile kapsam geçerlilik oranının belirlenmesine yönelik örnek tablo

<i>Geometri çalışmaları ile ilgili değerlendirme:</i>				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlilik Oranları
M.5.1.	5	1		0,99
M.5.2.	6			0,99
M.5.3.	5	1		0,99
M.5.4.	4	2		0,99
M.5.5.	5		1	0,7

Öğrenci görüşleri ölçeği 4+1 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden ilk dördü bütün atölye süreçleri için ortak olup, son bölüm her bir atölye temasına uygun olarak farklılaştırılmıştır. Öğrencilerin, ölçekte yer alan sorulara, 5’li Likert ölçeğine uygun olarak; “Tamamen katılıyorum”, “Katılıyorum”, “Fikrim yok”, “Katılmıyorum” ve “Hiç katılmıyorum” şeklindeki beş kademeli cevaptan birini seçerek cevaplamaları istenmiştir. Uygulanan ölçeklerin tamamı Ek 2’de sunulmuştur. Ölçeği oluşturan bölümler aşağıda açıklanmıştır:

- Teknoloji ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm yalnızca dönem başında uygulanan ölçekte yer almaktadır. Bu bölümde öğrencinin dersi seçme sebebi, daha önce MSM I-II-III derslerinden birini veya birkaçını alıp almadığı, hangi mimari programları kullanabildiği sorulmakta ve teknolojiye ilgisinin olup olmadığı belirlenmektedir. Bu bölüm öğrenci hakkında fikir edinme amaçlı olduğu için 5’li Likert tipi soru içermemektedir.

- Sayısal / parametrik tasarım ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm 14 maddeden oluşmakta olup, öğrencinin sayısal tasarım ve modelleme süreçleri ile ilgili bilgi düzeyi ve bu konudaki düşünceleri hakkında fikir sahibi olabilmeyi hedeflemektedir. Öğrenciler arasında yaygın bir kanı olan, parametrik modelleme süreçlerinin diğer modelleme süreçlerine göre daha zor olduğu ya da benzer formların üretimine yol açtığı gibi konularla ilgili düşünceler belirlenmektedir. Sayısal düşünme ile sayısal tasarım arasındaki bağlantıyı sorgulatmaktadır.

- Sayısal / dijital üretim ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm 6 maddeden oluşmakta ve öğrencinin sayısal üretim süreçleri hakkındaki fikirlerinde meydana gelen değişimi ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu bölüm, dijital üretim araçları ile mimarlığın geleceği arasındaki ilişkiyi sorgulatmaktadır. Sayısal düşünme ile sayısal üretim süreçleri arasında bir bağlantı olup olmadığı hakkında yorum yapılmaktadır. Dijital üretim araçlarının mimari forma etkisi üzerine öğrencilerin ne düşündüğü saptanmaktadır.

▪ Sayısal düşünme ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm 8 maddeden oluşmakta ve öğrencinin sayısal düşünme odaklı fikirlerinde meydana gelen değişimi ölçmeyi hedeflemektedir. Mimarlık ile matematik, geometri ve teknoloji arasındaki ilişki sorgulanmaktadır. Sayısal düşünmenin öklidyen ve karmaşık formların tasarım süreci ile bağlantısı üzerine düşündürmektedir. Bu bölüm doğrudan sayısal düşünme ile ilgili sorular içerdiği için egzersiz süreçlerinin öğrencilerin fikirleri üzerinde yaratacağı dönüşümü ölçmek açısından önemlidir.

▪ Geometri çalışmaları ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm 4 maddeden oluşmaktadır. Yalnızca geometri odaklı atölye çalışmasının gerçekleştirildiği MSM I dersi öğrencilerine uygulanmıştır. Bu bölümde öğrencilerin bir tasarımın geometrik ilişkiler ile oluşturulması süreci ile ilgili fikir değişimleri ölçülmektedir. Karmaşık formları oluşturan geometrilerin ve bunların birbirleri ile kurdukları sayısal ilişkiler üzerine düşündürmektedir. Bu maddelerdeki öğrenci görüş değişimleri, doğrudan atölye sürecinin teması ile ilişkili olması açısından önemlidir. Bu sayede egzersiz süreçlerinin öğrenci üzerindeki etkisi ölçülebilmektedir.

▪ Malzeme ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm 4 maddeden oluşmaktadır. Malzeme odaklı atölye çalışmasının uygulandığı MSM II dersi öğrencilerine uygulanmıştır. Bu bölümde sayısal tasarım ve üretim süreçleri ile malzeme arasındaki ilişki sorgulanmaktadır. Malzemenin tasarım ve üretim süreçleri üzerindeki rolü üzerine düşündürmektedir.

▪ Dijital üretim yöntemleri ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm 4 maddeden oluşmaktadır. Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmasının gerçekleştirildiği MSM III öğrencilerine uygulanmıştır. Bu bölüm, öğrencinin sayısallaştırma ve sayısal düşünme ile sayısal üretim yöntemleri arasındaki ilişki hakkındaki fikir değişimini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, sayısal üretim yöntemi seçimi ile tasarım ürünü arasındaki ilişki, sayısal tasarım yazılımlarının sayısal üretim süreçlerine katkısı gibi konular sorgulanmıştır.

▪ Yapma / üretme ile ilgili değerlendirme: Bu bölüm 5 maddeden oluşmaktadır. 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmasının gerçekleştirildiği PTU dersi öğrencilerine uygulanmıştır. Bu bölümde, tasarım süreci ile üretme arasındaki ilişki hakkında öğrenci yorumlarında meydana gelen dönüşüm ölçülmeye çalışılmaktadır. Prototip üretiminin tasarım sürecindeki önemi, sanal ortam ile fiziksel dünya arasındaki ilişki, sayısal düşünme ile yapma eylemi arasındaki bağlantı gibi konularda düşündürmeyi amaçlamaktadır.

▪ Final çalışması sürecine yönelik değerlendirmeler:

Final çalışmaları, dönem boyunca yürütülen egzersiz çalışmalarının öğrenciye yansımalarının görülebilmesi açısından önem taşımaktadır. Final çalışması, öğrencinin dönem içinde öğrendiği bilgileri bir bütün halinde deneyimlemesine olanak sağlamaktadır. Öğrenciler tasarım, sayısal modelleme, üretim sürecine hazırlık süreçlerini bir bütün halinde gerçekleştirmektedir. Final çalışması bireysel çalışma veya grup çalışması olarak yürütülmektedir.

Her atölye çalışmasının sonunda atölyenin temasına uygun bir final çalışması yapılmıştır. Geometri odaklı atölye çalışmasının sonunda karmaşık geometrilerin kullanımı ile bir aydınlatma elemanı tasarımı yapılması ve prototipinin üretilmesi istenmiştir. Bu çalışma, dönemin son egzersiz çalışması olan yüzey denklemleri üzerinden form üretimi egzersizinin bir devamı niteliğindedir. Yüzey denklemlerini oluşturan çarpanlar ve parametreler değiştirilerek işleve uygun hale getirilmeye çalışılmıştır. Final çalışmasının sonunda ise tasarlanan karmaşık geometriler çeşitli üretim teknikleri ile üretilmiştir.

Malzeme odaklı atölye çalışmasının sonunda parametrik kule tasarımı ve bu tasarımın farklı malzemeler ile üretimi üzerine çalışılmıştır. Bu bağlamda tasarıma ayrılan sürenin kısaltılması ve malzeme çalışmalarına ağırlık verilebilmesi adına öğrencilere hazır formlar verilerek, bu formların analiz edilmesi ve sayısal modelleme ortamında üretilmesi istenmiştir. Üretim aşamasında ise üretim dosyaları yine sayısal ortamda hazırlanmış ve sonuç ürünler elde edilmiştir. Bu aşamada, öğrencilerin malzeme konusunda karşılaştıkları zorluklar, bu zorluklar için geliştirdikleri çözümler değerlidir.

Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmasının sonunda parametrik bank tasarımı, 1:5 ölçekli maketinin yapılması ve 1:1 ölçekli üretim dosyalarının hazırlanması istenmiştir. Parametrik bank çalışması, öğrencilerin dönem içerisinde gerçekleştirmiş oldukları bir egzersiz sürecidir. Öğrenciler bu egzersizde üretmiş oldukları tasarımları ergonomik ve malzeme kullanımı açısından daha da geliştirerek, 1:1 ölçekli üretime uygun bir sonuç ürün haline getirmişlerdir. Bu final çalışması aynı zamanda bir sonraki dönemin atölye uygulaması olarak düşünülen 1:1 ölçekli atölye sürecine de hazırlık niteliğindedir. Böylelikle farklı dersler arasındaki bağlantının da kurulması sağlanmıştır. Ancak bu çalışma pandemi nedeni ile gerçekleştirilememiştir.

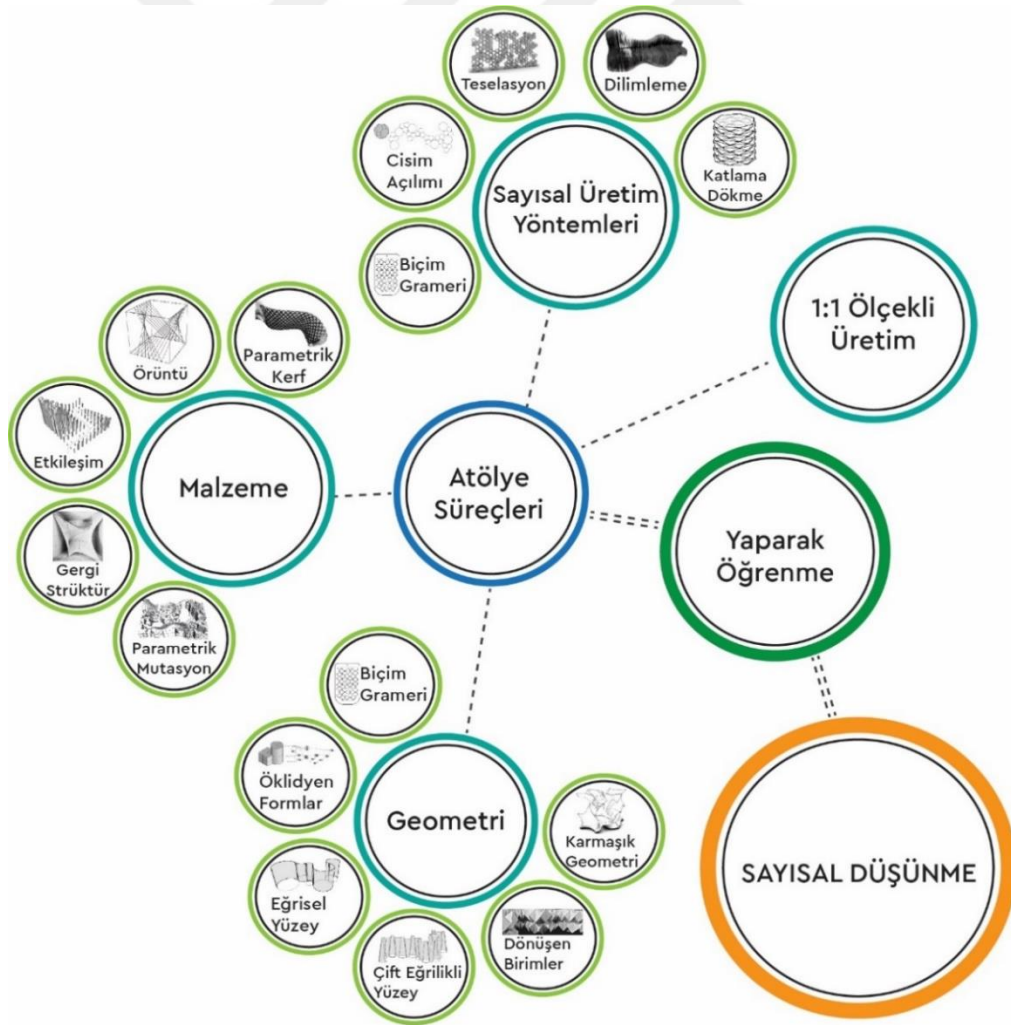
1:1 ölçekli üretim yöntemlerinin final çalışması ise yüz yüze eğitim ile gerçekleştirilmiş olan pilot çalışma döneminde altıgen duvar tasarımı; uzaktan eğitim sürecinde ise geometrik heykel çalışması olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalardan uzaktan eğitim ile

gerçekleştirilmesinde gerçek bir üretim yapılamamış, her öğrenci bireysel çalışarak üretim dosyasını sayısal ortamda hazırlamıştır.

Final çalışması sürecinde öğrenciler tasarımdan üretime kadar kendi kararlarını vermektedir. Böylelikle öğrencilerin hangi noktalarda zorlandıkları, karşılaştıkları sorunlara nasıl çözümler getirdikleri gözlenebilmektedir.

2.3. Sayısal Düşünme Odaklı Atölye Çalışmalarının Kurgusu

Bu bölümde sayısal düşünme odaklı atölye çalışmalarının genel kurgusu anlatılacaktır. MSM I dersi geometri, MSM II dersi malzeme, MSM III dersi sayısal üretim yöntemleri ve PTU dersi 1:1 ölçekli üretim odaklı gerçekleştirilmiştir. Atölye çalışmalarına ilişkin süreç Şekil 23'te özetlenmiştir.



Şekil 23. Tez çalışması kapsamında uygulanan atölye çalışmalarının kurgusu

Egzersiz süreçleri Robert Gagné'nin (1965) bilişsel süreçlere ilişkin öğrenme durumları sınıflamasından hareketle beş aşamalı olarak ele alınmıştır (Tablo 4). Belirlenmiş olan beş aşama, bir egzersiz sürecinin gerçekleştirilme aşamalarıdır. Egzersiz süreci problem tanımının yapılması ile başlar. İkinci aşama yapma eylemi ile bütünleşik olarak gerçekleştirilen sayısallaştırma aşamasıdır ve ters yüz edilmiş sınıf modelinin sınıfta gerçekleştirilen bölümüdür. Anlamsal çözümlenme, sayısal modellemenin video yardımı ile anlatımını içermektedir. Bu ise, ters yüz edilmiş sınıf modelinin ev ödevi olarak gerçekleştirilen kısmıdır. Tepki aşaması öğrencinin video anlatımını tekrar ederek uygulamasını temsil etmektedir. Son aşama ise alternatif geliştirme aşaması olup hem konvansiyonel hem de sayısal tasarım süreçleri açısından önem taşımaktadır. Bu aşamaların detaylı açıklamaları aşağıda verilmiştir.

Tablo 4. Gagné'nin sınıflaması ve tez kapsamında oluşturulan sınıflama

Gagné'nin sınıflaması	Tez kapsamında oluşturulan sınıflama
1- İlk karşılaşma	1- Problem tanımı
2- Beklenti	2- Sayısallaştırma
3- Tekrar ele alma	3- Anlamsal çözümlenme
4- Algı	4- Tepki
5- Anlamsal Çözümlenme	5- Alternatif geliştirme
6- Tepki	
7- Pekiştirme	
8- Değerlendirme	
9- Genelleme	

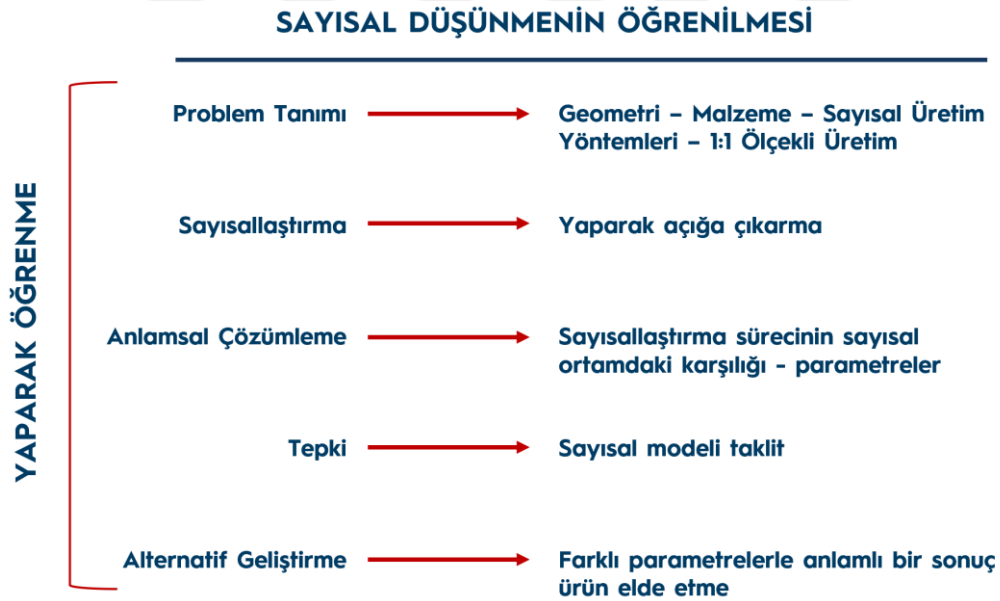
▪ **Problem tanımı:** Bu adım, Gagné'nin ilk karşılaşma ve beklenti adımlarının bir arada uygulandığı aşamadır. Bu aşamada öğrenciye problemin tanımı yapılır. Gerekli ise örnekler gösterilir veya konu anlatımı yapılır. Öğrencilerin problemin çözümüne ilişkin dikkat etmeleri gereken noktalar belirtilir.

▪ **Sayısallaştırma:** Bu adım, Gagné'nin tekrar ele alma ve algı adımlarını bir araya getirmektedir. Öğrenci, bu aşamada dönem boyunca öğrenmekte olduğu sayısallaştırma sürecini problem özelinde ele almaktadır. Sayısallaştırma aşaması egzersizin yapma odaklı aşamasında ortaya çıkarılmaktadır. Öğrenci, ürünü üretirken gerçekleştirdiği adımları sayısal ilişkileri de gözeterek not eder. Böylelikle sayısal modelleme için gerekli verileri elde etmiş olur.

▪ Anlamsal çözümlenme: Gagné'nin öğrenme sürecine rehberlik etme olarak tanımlandığı bu aşama, çalışma kapsamında sayısal modelleme sürecinin video ile öğretilmesi olarak karşılık bulmaktadır. Öğrenci, bu aşamada yaparak öğrenme sürecinde belirlemiş olduğu sayısal ilişkilerin, sayısal modelde nasıl karşılık bulunduğunu görmektedir.

▪ Tepki: Gagné'nin performansı ortaya çıkarma olarak tanımlandığı bu adım, çalışma kapsamında video ile öğretilen sayısal modelleme sürecinin aynısının öğrenci tarafından üretilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada öğrenci videoda anlatılan süreci birebir uygulayarak, derste yapmış olduğu uygulamanın bir benzerini sayısal ortamda üretmiş olur.

▪ Alternatif geliştirme: Gagné'nin pekiştirme, değerlendirme ve genelleme adımları alternatif geliştirme sürecinde karşılık bulmaktadır. Öğrenci bu aşamada sayısallaştırma sürecinde elde etmiş olduğu verileri kullanarak kendi çalışmasına ait sayısal modeli oluşturur. Böylelikle sayısal verilerin parametrik modeldeki karşılığını birebir görmüş olmaktadır. Öğrenci, alternatif modelde derste üretmiş olduğu ürünü doğru bir şekilde modelleyebilmişse egzersiz sürecini başardığı anlamına gelmektedir.

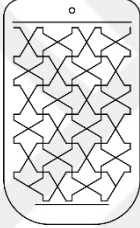


Şekil 24. Sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı olarak geliştirilmesine yönelik egzersiz adımları

▪ Uygulama-1: Biçim Grameri Egzersizi:

Bütün atölye süreçleri biçim grameri uygulaması ile başlamaktadır (Tablo 5). Bu uygulama, konvansiyonel tasarım yaklaşımları ile sayısal tasarım yaklaşımları arasında bir geçiş egzersizi olma özelliği taşımaktadır. Bu egzersiz ile öğrenci sayısal ilişkileri sorgulamanın ne anlama geldiğini öğrenmekte, bir sayısal tasarım sürecinin sayısal ifadelerle ve adım adım nasıl aktarması gerektiğini öğrenmektedir. Biçim grameri egzersizinin sonucunda ders kapsamında ortak bir dil oluşturulması sağlanabilmektedir. Biçim grameri egzersizi, tasarım sürecinin adım adım açıklanabilmesi ve bir tasarımı oluşturan alt birimler arasındaki ilişkilerin sorgulanabilmesi açısından önemlidir.

Tablo 5. Ortak egzersiz olarak kurgulanmış olan biçim grameri çalışması özet tablosu

ORTAK EGZERSİZ BAŞLANGIÇ EGZERSİZİ		UYGULAMA - 1
Özet Görsel	Egzersiz	
	Biçim Grameri	
	<i>Teori: 2. hafta / Uygulama: 3. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<p><i>1. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Biçim grameri ile bilgilendirme yapılır ve örnekler gösterilir. ▪ CNC lazer kesim cihazı ve arayüzünün nasıl çalıştığı anlatılır. ▪ Bir çizimin CNC lazer kesim cihazı için nasıl hazırlanması gerektiği anlatılır. ▪ Öğrencilerden ödev olarak kendi biçim grameri örüntülerini oluşturmaları istenir. ▪ Biçim grameri oluşum sürecinin adım adım anlatılması beklenir. <p><i>2. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Öğrenciler tarafından hazırlanan kesim dosyaları ile CNC lazer kesim cihazı kullanılarak kesimler yapılır. ▪ Varsa hatalar ve aksayan yönler tartışılır. 	Bir başlangıç biçiminin kurallar dahilinde çoğaltılarak bir kompozisyon oluşturulması.	
	Amaç	
	Egzersiz, konvansiyonel tasarım süreçleri ile sayısal düşünmenin ara kesitinde yer aldığı için başlangıç egzersizi olarak uygulanmaktadır.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bir kompozisyonu oluşturan temel biçimin farkına varılabilmektedir. ▪ Karmaşık biçimlerin oluşum süreçleri adım adım aktarılabilmektedir. ▪ Sürecin adım adım anlatılmasıyla sayısal düşünme mantığı görünür hale gelmektedir. ▪ Sayısal tasarımda tasarım sürecinin açık bir biçimde ifade edilmesi öğrenilmektedir. ▪ CNC lazer kesim cihazı ile ilk karşılaşma bu uygulama kapsamında gerçekleştirilmektedir. 	

Biçim grameri egzersizleri iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada biçim grameri örüntüsü tasarımı konvansiyonel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Tasarım sürecine ilişkin tüm adımların sayısal ilişkiler de belirtilerek yazılması istenmiştir. İkinci aşamada

CAD ortamında çizilen sonuç ürünler CNC lazer kesim cihazı ile üretilmiştir. Bu aşamada öğrencilerin sayısal fabrikasyon aracının çalışma mantığını öğrenmeleri hedeflenmiştir. Bir tasarıma ilişkin çizimin, dosyadan fabrikasyona gerçekleştirilen süreçte nelere dikkat etmeleri gerektiği ve yapılan hatalar tartışılmıştır.

Biçim grameri uygulaması yalnızca MSM II dersinde diğerlerinden biraz daha farklı olarak “parametrik kerf” adıyla ele alınmıştır. MSM II dersinin teması malzeme olduğu için, kullanılan malzeme üzerinde biçim grameri kuralları çerçevesinde çentikler atarak veya boşluklar oluşturarak malzeme davranışı üzerindeki değişimler gözlenmiştir.

Atölye çalışmalarının sayısal modelleme süreci görsel bir algoritma arayüzü sunan Grasshopper® eklentisi ile gerçekleştirilmiştir. Böylelikle öğrencinin sayısallaştırma yaklaşımının tasarım sürecindeki karşılığını görebilmesi sağlanmıştır. Uygulama süreçlerinde sayısal olarak kurgulanan ilişkiler, Grasshopper® ara yüzünde parametrelere karşılık gelmektedir.

Atölye çalışmaları; geometri odaklı, malzeme odaklı, sayısal üretim yöntemleri odaklı ve 1:1 ölçekli üretim odaklı olmak üzere dört başlıkta ele alınmıştır.

2.3.1. Geometri Odaklı Egzersizler

Geometri odaklı atölye çalışmaları MSM I dersi kapsamında mimarlık bölümü üçüncü yarıyıl öğrencileri ile gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar kapsamında altı adet dönem içi uygulaması ve bir adet final çalışması gerçekleştirilmiştir. Üçüncü yarıyıldaki öğrencilerin mimari yazılım kullanma konusundaki eksikleri göz önünde tutularak uygulamalar öncelikle konvansiyonel yöntemle gerçekleştirilmiş, sonrasında ise benzer bir süreç ile sayısal ortamda modellenmesi süreci gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler, dönem boyunca öklidyen geometrilerden başlayan ve giderek karmaşıklaşan geometrik ilişkileri sorgulamışlardır. Ders sürecindeki temel yaklaşım, verilen problem içerisindeki temel geometrileri görebilmek ve bu geometriler arasındaki sayısal ilişkilerin farkına varabilmektir.

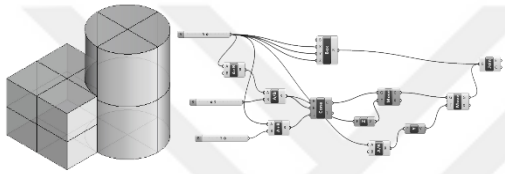
Sayısal tasarım denilince öğrencilerin aklında çoğunlukla eğrisel düzensiz formlar belirlemektedir. Bu formlar da sayısal tasarımın bir parçası olsa da sayısal tasarım yalnızca düzensiz formlardan ibaret değildir. Konvansiyonel tasarım sürecinde tasarımcının kurguladığı biçimler arasındaki oran-orantıda ya da diğer biçimsel ilişkilerde de aslında bir sayısal ilişki bulunmakta, ancak tasarımcı bunu sorgulama ihtiyacı hissetmemekte, tasarıma

sezgisel olarak yaklaşmaktadır. Tez çalışması kapsamında uygulanan egzersizler ile basit geometrideki veya karmaşık biçimlerdeki sayısal ilişkilerin sorgulanması hedeflenmektedir.

▪ Uygulama-2: Öklidyen Geometrilerin Sayısallaştırılması Egzersizi:

Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizi geometri odaklı uygulamaların ilkidir. Bu egzersiz öğrencinin tamamen sayısal düşünmeye odaklanabilmesi amacı ile temel geometriler ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6. Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu

GEOMETRİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 2
Özet Görsel	Egzersiz	
	Öklidyen Geometrilerin Sayısallaştırılması	
	Teori: 3. hafta Uygulama: 4. hafta	
	Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.	
Süreç	Tanım	
<p>1. ders:</p> <ul style="list-style-type: none"> Öğrencilere iki adet öklidyen geometrinin bir araya gelmesiyle oluşturulmuş ve birbirinin alternatifi olan iki adet kompozisyon verilir. Bu kompozisyonlardan ilkinin ilişkin tüm ilişkilerin öğrenci tarafından sayısallaştırılması istenir. Örnek bir geometrik kurgunun Grasshopper® üzerinde modellenmesi anlatılır. İlk kompozisyonlar öğrenciler tarafından modellenir ve parametreler değiştirilerek, alternatif olarak verilmiş olan ikinci kompozisyonlar elde edilmeye çalışılır. Ödev olarak, ilk kompozisyonların açılımı konvansiyonel yöntemlerle çizilerek maketi yapılır. Konvansiyonel yöntemlerle elde edilen açılımların bilgisayar ortamında da elde edilmesi istenir. <p>2. ders:</p> <ul style="list-style-type: none"> Öğrenciler tarafından hazırlanan kesim dosyaları ile CNC lazer kesim cihazı kullanılarak kesimler yapılır. Varsa hatalar ve aksayan yönler tartışılır. 	<p>Öklidyen geometrilerden oluşan ikili kompozisyonu oluşturan sayısal ilişkilerin açığa çıkarılması.</p>	
	<p>Amaç</p> <p>Öğrencilerin sayısal ilişkiler üzerine yoğunlaşabilmesini sağlayan temel öklidyen biçimler kullanılarak sayısal düşünmenin temellerinin öğretilmesi.</p>	
	<p>Öğrenim Çıktıları</p> <ul style="list-style-type: none"> Sayısallaştırma sürecine nasıl yaklaşması gerektiğini öğrenmek. Bir kompozisyonu oluşturan alt parçaları sayısal ilişkiler bağlamında keşfedebilmek. Grasshopper® modelindeki parametrelerin gerçek dünyadaki karşılığını öğrenmek. Cisimlerin parametrelerinin değiştirilmesi ile farklı kompozisyonların oluşturulabildiğini öğrenmek. Sayısal düşünme sürecinin ne olduğu ve nasıl gerçekleştiği ile ilgili temel bilgileri edinmek. Cisim açılımlarını konvansiyonel ve sayısal yöntemlerle gerçekleştirerek ikisi arasındaki farklılıkların kavranmasını sağlamak. 	

Uygulama kapsamında başlangıç olarak iki adet öklidyen biçimin bir araya gelmesinden oluşan bir kompozisyon ve aynı kompozisyonun parametrelerinin değişimi ile elde edilmiş alternatif kompozisyona ait üç adet görünüş ve bir adet perspektif verilmiştir.

Ayrıca, kompozisyona ilişkin Grasshopper® tanımının ekran görüntüsü paylaşılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, verilen çizimlerden yola çıkılarak geometrik biçimlerin kendi içlerindeki ve birbirleri ile kurdukları sayısal ilişkiler belirlenmiştir. Belirlenen sayısal ilişkilerin Grasshopper® eklentisi ile modelleme aşamasında parametre olarak kullanılması beklenmiştir. İlk aşamanın sonunda öğrenciler cisimlerin açılımı konvansiyonel yöntemle oluşturarak kompozisyonun maketini yapmışlardır.

Çalışmanın ikinci aşaması tamamen sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler sayısallaştırdıkları ilişkileri Grasshopper® modelinde tanımlayarak kompozisyonun modelini elde etmişlerdir. Sonrasında ise cisimlerin açılımlarını dijital ortamda gerçekleştirerek, bu veriyi CNC lazer kesim aracı ile üretmeye uygun hale getirmişlerdir.

Yürütücü tarafından verilen alternatif kompozisyonun üretim sürecinde, öğrenci hangi parametrelerin değiştiğini bulmaya çalışmış ve ilgili parametreyi sayısal modelde de değiştirmiştir. Burada hedeflenen, sayısal modelleme süreçleri ile bir sistem kurulduktan sonra, yalnızca parametrelerin değiştirilmesi ile farklı alternatiflerin de oluşturulabileceğini anlatabilmektir.

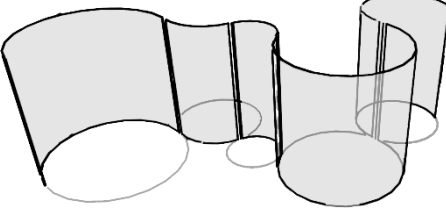
▪ Uygulama-3: Eğrisel Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi:

Egzersiz, temel bir geometrik biçim olan dairenin farklı sayısal ilişkilerle çoğaltılarak eğrisel yüzeye dönüşmesi sürecine odaklanmaktadır. Ders kurgusuna uygun şekilde öncelikle konvansiyonel yöntem ile sonuç ürün belirlenmiş, sonra da benzer süreç sayısal ortamda tekrar edilmiştir.

Öğrenciler öncelikle her biri farklı ölçülere sahip daireleri teğetlik ilişkisi içerisinde bir arada kurgulamışlardır. Bu kurgu öncelikle, 1:2 ölçekli olarak kâğıda çizilmiştir. Kurgu oluşturulurken dairelerin konumları arasındaki sayısal ilişkiler de dikkate alınmıştır. Kâğıda çizilen kurgu sonrasında yine konvansiyonel yöntem ile maket olarak üretilmiştir.

Elde edilen kompozisyon sürekli bir yüzey elde edilecek biçimde teğet noktalardan kesilmiştir. Böylelikle eğrisel bir yüzey elde edilmiştir. Egzersiz sürecinde öğrenci, sonuçta nasıl bir ürün elde edeceği hakkında fikri olmadan yapmaya başlar. Yürütücünün talimatları ile adım adım süreç şekillenir. Süreç sonucunda ortaya çıkan karmaşık eğrisel yüzeyin, aslında temel bir geometriden elde edilmiş olması ile öğrencinin tasarım sürecinde kullandığı formları sorgulaması gerekliliğine dikkat çekilmek istenmektedir. Bu yöntem ile oluşturulan karmaşık yüzey, sayısal bir ilişkiler bütünü ile oluşturulduğu için her defasında yeniden çizilse dahi aynı yüzey elde edilecektir. Konvansiyonel düşünce sürecinin arka planında gerçekleşen sayısal ilişkiler bu şekilde açığa çıkarılmaya çalışılmıştır.

Tablo 7. Eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu

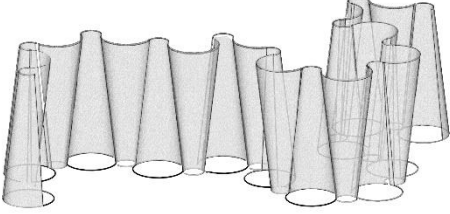
GEOMETRİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 3
Özet Görsel	Egzersiz	
	Eğrisel Yüzeylerin Sayısallaştırılması	
	<i>Uygulama: 5. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Öğrencilerden yükseklikleri aynı ölçüde, çapları farklı ölçülerde silindir ölçüleri verilir. ▪ Bu silindirlerin teğetlik ilişkisi içinde ancak bir doğru üzerinde olmaksızın bir araya getirmeleri istenir. ▪ Oluşturulan kompozisyon öncelikle üst görünüş olarak kağıda çizilir. ▪ Kağıtta oluşturulan kompozisyonun fon kartonu kullanılarak maketi yapılır. ▪ Bu aşamada silindirlerin birbirlerine göre konumları sayısallaştırılmalıdır. ▪ 3 boyutlu olarak elde edilen silindirler teğet noktaların da yardımıyla bir kurdele biçimi elde edilecek biçimde kesilir. ▪ Elde edilen son biçim çizime işlenir. ▪ Ödev olarak, Grasshopper® ortamında bu ilişkiyi nasıl kuracaklarının anlatıldığı video verilir. ▪ Grasshopper® modeli süreci konvansiyonel yöntemle izlenen sürecin birebir aynısı olarak gerçekleştirilir. ▪ Öğrenciler alternatif modeli kendi silindirlerinin sayısal ilişkilerini kullanarak oluştururlar. 	Birbirine teğet dairelerden kurallı bir eğrisel yüzeyin oluşturulması.	
	Amaç	
	Geometrik ilişkilerin yalnızca temel Öklidyen biçimlerde değil; eğrisel biçimlerde de olabileceğini göstermek ve kurallı geometrilerin oluşum mantığına ilişkin fikir verebilmektir.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bir biçimin arka planında yer alan sayısal ilişkileri sorgulamak. ▪ Karmaşık geometrilerin içerisindeki temel geometrilerin farkına varabilmek. ▪ Konvansiyonel yöntemde uygulama / ortaya çıkarma süreçleri ile sayısal yöntemdeki düşünme / ortaya çıkarma süreçlerinin benzer olabileceğini göstermek. ▪ Geometriye ilişkin bilgileri katmanlaştırarak daha karmaşık geometriler elde edebilmek. 	

Egzersizin sonraki aşamasında konvansiyonel süreçteki adımlar bire bir taklit edilerek sayısal model oluşturulur. Sayısal model sürecinde de önce daireler çizilir, teğet noktalar belirlenir, sonra teğet noktalardan geçen yaylar oluşturulur ve elde edilen eğrisel çizgi hattı yüzeye dönüştürülür. Sayısal süreçte, konvansiyonel sürecin bire bir taklit edilmesi ile sayısal sürecin aslında mevcut düşünme tarzımıza çok da uzak bir durum olmadığını göstermek açısından önemlidir.

▪ Uygulama-4: Çift Eğrilikli Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi:

Egzersiz, Uygulama-3' te elde edilen eğrisel hat temel alınarak çift eğrilikli yüzey oluşturulmasına odaklanmaktadır. Bu egzersiz ile yüzeyin karmaşıklık derecesi bir kat daha artırılmaktadır. Bir önceki uygulamadan farklı olarak bu uygulamada silindir değil, kesik koni alt birim olarak kullanılmaktadır.

Tablo 8. Çift eğrilikli yüzeylerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu

GEOMETRİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 4
Özet Görsel	Egzersiz	
	Çift Eğrilikli Yüzeylerin Sayısallaştırılması	
	<i>Uygulama: 7. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uygulama 3'te elde edilen eğrisel hat bu uygulamanın altlığıdır. ▪ Fon kartonu kullanılarak kesik koni biçimleri elde edilir. ▪ Hazırlanan kesik koniler bir düz bir ters olarak şekilde, eğrisel hat takip edilerek yan yana dizilir. ▪ Koniler teğet noktalarından kurdele biçimi oluşturacak şekilde kesilir. ▪ Böylelikle çift eğrilikli yüzeyler oluşturulur. ▪ Ödev olarak, Grasshopper® ortamında formun benzerinin oluşturulması anlatılır. ▪ Öğrenciler bir önceki uygulamada yapmış oldukları modeli kullanır. 	Kurallı bir çift eğrilikli yüzeyin oluşturulması.	
	Amaç	
	Temel geometrileri kullanarak çift eğrilikli yüzeyin elde edilmesi ve böylelikle karmaşıklığın içindeki basit geometrinin sorgulanmasıdır.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Öğrenci sonuç ürünü bilmeden üretim adımlarını gerçekleştirmektedir. Üretim adımları Grasshopper® ortamında da benzer adımlarla gerçekleştirilmektedir. Böylelikle konvansiyonel üretim ile sayısal üretim arasındaki ilişki kurulabilmektedir. ▪ Öğrencinin geometrik ilişkileri görme becerisi gelişmektedir. 	

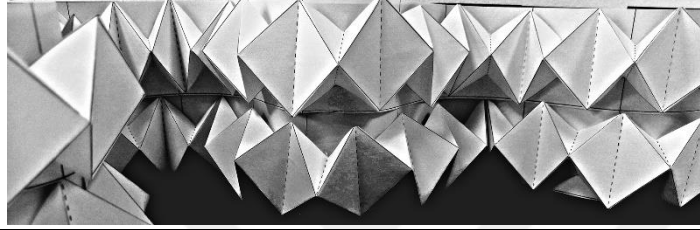
Sayısal süreç bir önceki uygulamada oluşturulan modelin devamı olarak ele alınmıştır. Sayısal model süreci sonunda iki aşamalı karmaşık bir model elde edilmiştir. İlk aşama Uygulama-3'te elde edilmiş olan eğrisel hat, ikinci aşama ise çift eğrilikli yüzeyleri oluşturan kesik koni kompozisyonudur. Bu durum, karmaşık modelleme süreçlerinin aslında kendi içerisinde parçalı bir yapısı olduğunu anlatabilmek açısından önemlidir.

Uygulamanın en son aşaması ise parametrelerin değiştirilmesiyle alternatif bir model elde edebilmektir. Bu uygulama kapsamında alternatifler genellikle eğrisel hatta ilişkin parametrenin değiştirilmesi ile elde edilmiştir.

▪ Uygulama-5: Dönüşen Birimler Egzersizi:

Dönüşen birimler egzersizi, tasarlanan bir alt birimin dönüşümlü olarak tekrarlanarak bir yüzeye uygulanmasına odaklanmaktadır. Uygulama altlığı olarak Uygulama-3'te tasarlanan eğrisel yüzey kullanılmıştır. Uygulamada eğriselliğin biçimine göre tasarlanan alt birimlerin dönüşümü gözlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 9. Dönüşen birimlerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu

GEOMETRİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 5
Özet Görsel	Egzersiz	
	Dönüşen Birimlerin Sayısallaştırılması	
	Uygulama: 8. hafta	
	Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.	
Süreç	Tanım	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uygulama 3'te elde edilen eğrisel hat bu uygulamanın altlığını oluşturmaktadır. ▪ Eğrisel yüzeye uygulanacak alt birimler katlama yöntemi ile oluşturulur. ▪ Yürütücü tarafından kâğıt katlama örnekleri bulunur, içe ve dışa katlama çizgileri ile birlikte çıktı alınır. ▪ İkili öğrenci gruplarına bu altlıklar dağıtılır. ▪ Her grup kendine ait katlamayı yaparak Uygulama 3'te elde etmiş oldukları yüzeye uygular. ▪ Her birim eğrisel yüzeye uyum sağlamak için dönüşür. ▪ Ödev olarak Grasshopper® ortamında benzer bir modelin üretimi anlatılır. ▪ Öğrenciler bu videodan öğrendikleri doğrultusunda kendileri bir alt birim tasarlayarak alternatif bir sayısal model üretir. 	Tasarlanan bir birimin eğrisel bir yüzey üzerinde dönüşerek tekrarlanması.	
	Amaç	
	Her biri aynı ölçüye sahip alt birimlerin eğrisel bir yüzeye uygulandığında farklı ölçü ve açılarla dönüşümünü deneyimlemektir.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Öğrenci standart olmayan seri üretimin mantığını öğrenmektedir. ▪ Tasarlanan bir alt birimin geniş bir yüzeye uygulanması mantığı öğrenilmektedir. ▪ Birbirine benzer fakat farklı ölçülerdeki parçaların sayısal tasarım yöntemleri ile modellenmesi öğrenilmektedir. 	

Konvansiyonel olarak gerçekleştirilen ilk aşamada birimler katlama yöntemi ile oluşturulmuştur. Böylelikle her bir alt parçanın daralıp genişleyebilmesi ve ölçüsünün yüzeye bağlı olarak dönüşebilmesi sağlanmıştır. Uygulama ile öğrencinin standart olmayan seri üretim mantığını öncelikle konvansiyonel, sonrasında ise sayısal yöntem ile deneyimlemesi hedeflenmiştir.

Uygulamanın sayısal aşamasında önceki modelde üretilmiş olan eğrisel yüzey üzerinde devam edilmiştir. Tekrar edecek olan alt birim sayısal ortamda tasarlanmış ve

eğrisel yüzeye uygulanmıştır. Sayısal süreçte de konvansiyonel süreçtekinden benzer şekilde her birim yüzeye uygun olarak dönüşmüştür. Alternatif denemeleri ise farklı alt birimlerin tasarlanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

▪ Uygulama-6: Karmaşık Geometriler Egzersizi:

Karmaşık geometriler egzersizi, geometriye odaklı atölye çalışmalarının sonucudur. Uygulama matematiksel bir fonksiyonun sayısal modelleme sürecinin bir parçası haline getirilmesine odaklanmaktadır.

Uygulama ile karmaşık geometrilerin de aslında bir matematiksel tanımının olabileceğine vurgu yapmaktadır. Bu uygulama sürecinde konvansiyonel süreç gerçekleştirilmemekte; doğrudan sayısal tasarım süreci üzerinden geometrik kurgu gerçekleştirilmektedir. Uygulama sürecinde matematiksel formüllerin üç boyutlu nesnelere nasıl dönüştürülebileceği anlatılır. Ders sürecinde yürütücü tarafından bulunmuş minimal yüzey tanımları üzerinden modelleme süreci gerçekleştirilir. Alternatif üretimi sürecinde ise matematiksel fonksiyon değiştirilerek farklı biçimler üretilir.

Uygulama sürecinde öğrenciler yüzeye ait denklemlerdeki çarpanları, değişkenleri, sinüs ve kosinüs ifadelerinde değişiklikler yaparak denklemden ifadelerin ne işe yaradığını çözmeye çalışır. Bununla ilgili birçok alternatif üretilir ve değer değişimleri ile anlamlı sonuç ürünler elde edilmeye çalışılır. Elde edilmiş olan sonuç ürünlerden bir tasarım ürününe dönüşme niteliği taşıyanlar seçilerek üç boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Böylelikle öğrencilerin üç boyutlu yazıcı teknolojisini tanımaları, üç boyutlu yazıcı ile üretime hazırlık sürecini görmeleri ve üretmiş oldukları biçimlere dokunarak tam olarak kavrayabilmeleri sağlanmıştır.

Bu uygulama, basit geometrilerden başlayarak ilerletilen sürecin son aşamasıdır. Uygulama aynı zamanda final çalışmasının da başlangıç uygulamasıdır. Final çalışması kapsamında aydınlatma elemanı tasarımı konusu ele alınmıştır. Öğrenciler biçimlerde işleve yönelik değişiklikler yaparak tasarımlarını sonlandırmışlardır.

Tablo 10. Karmaşık geometrilerin sayısallaştırılması çalışması özet tablosu

GEOMETRİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 6
Özet Görsel	Egzersiz	
	Karmaşık Geometrilerin Sayısallaştırılması	
	<i>Uygulama: 10. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uygulama başlangıcı olarak karmaşık geometrilerin de sayısal bir karşılığı olduğu anlatılır. ▪ Yürütücü tarafından bulunan minimal yüzey örnekleri üç boyutlu yazıcı ile fiziksel model olarak üretilir. Böylelikle öğrencilerin ders sürecinde üretmeyi öğrenecekleri modelleri üç boyutlu olarak görerek geometriyi daha iyi anlamaları hedeflenmektedir. ▪ Matematiksel formüllerin Grasshopper® ortamında kullanımı anlatılır. ▪ Örnek Grasshopper® modeli Gyroid formunu oluşturan formül üzerinden anlatılmıştır. ▪ Değişkenlerin -pi den pi ye tanımlanmasının mantığı anlatılmıştır. ▪ Uygulama sürecinde iki çeşit modelin oluşturulması anlatılır. Bunlardan ilki sonucunda “mesh” yüzey oluşturulur; ikincisinin sonucunda ise “polysurface (üçgenleme yöntemi)” model elde edilmektedir. ▪ Mesh yüzey oluşturulması süreci derste anlatılır. ▪ Bu süreçte öncelikle formüle bağlı olarak bir nokta bulutunun oluşturulması öğretilir. ▪ Sonraki aşamada ise Grasshopper® üzerine kurulan başka bir eklenti ile noktalar bulutu yüzeye dönüştürülür. ▪ Böylelikle öğrenciler Grasshopper® programını farklı eklentilerle bir arada kullanmayı da öğrenir. ▪ Ödev olarak ise benzer bir süreç “polysurface” yüzey oluşturacak şekilde üretilir. ▪ Öğrenciler kullandıkları formülde değişiklikler yaparak alternatif geometrileri deneyimlerler. 	Karmaşık geometrilerin matematiksel formüllerle üretilmesi.	
	Amaç	
	Bir matematiksel fonksiyondan yaralanarak geometrik bir biçim üretmek ve bu fonksiyonun parametrelerini değiştirerek alternatif karmaşık geometriler modelleyebilmek.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sayısal modelleme süreçleri ile matematiksel formüllerin nasıl bir arada kullanılabileceği öğrenilmektedir. ▪ Grasshopper® programının farklı eklentilerle bir arada çalışma mantığı öğrenilmektedir. Bu sayede sayısal modelleme sürecinin zenginleştirilmesi sağlanmaktadır. ▪ Karmaşık geometrik biçimlerin de bir matematiksel karşılığı olduğu öğrenilmektedir. ▪ Geometrik biçimin matematiksel fonksiyonunda değişiklikler yapılarak da manipüle edilebileceği öğrenilmektedir. 	

Geometri odaklı atölye çalışmaları, KTÜ mimarlık bölümü lisans öğrencilerinin sayısal tasarım ile ilk karşılaşmaları olması açısından önemlidir. Bu nedenle egzersiz çalışmaları konvansiyonel yöntemlerle bir arada kurgulanmaya çalışılmıştır. Böylelikle

öğrencinin alışageldiği tasarım süreçleri ile sayısal tasarım süreçlerini bağdaştırabilmesi hedeflenmiştir.

2.3.2. Malzeme Odaklı Egzersizler

Malzeme odaklı atölye çalışmaları MSM II dersi kapsamında mimarlık bölümü dördüncü dönem öğrencileri ile gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar kapsamında beş adet dönem içi uygulaması ve bir adet final çalışması gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar malzeme özelliklerinin farkına varılmasına ve malzeme davranışı ile sayısal düşünmeyi bütünleştirmeye odaklanmaktadır.

Öğrenciler dönem boyunca iki boyutlu malzemelerden başlayarak hacimsel malzemelere kadar farklı tipte malzemelerin tasarım süreciyle ve sayısal düşünmeyle ilişkisini deneyimlemektedir. Ders sürecindeki genel yaklaşım önce konvansiyonel yöntemlerle üreterek tasarım sürecini sayısallaştırma ve üretilen tasarım ürününün bir benzerini parametrik modelleme teknikleri ile modellemeye dayanmaktadır. Öğrenciler çeşitli malzemelerle farklı tipte strüktürler üreterek sayısal ilişkileri açığa çıkarmaya çalışmaktadırlar.

▪ Uygulama-1: Biçim Grameri | Parametrik Kerf Egzersizi:

Malzeme odaklı egzersizlerin ilki olan parametrik kerf egzersizi, biçim grameri uygulaması ile bütünleşik olarak kurgulanmıştır. Bu uygulama ile biçim grameri uygulamasına işlevsel bir özellik eklenerek, malzeme davranışının değişiminin deneyimlenmesi hedeflenmektedir. Uygulama diğer biçim grameri uygulamalarında olduğu gibi sayısal düşünmenin temel mantığını öğrenciye aktarabilmeyi amaçlamaktadır. Bu uygulama aynı zamanda CNC lazer kesim cihazının kullanımına yönelik temel uygulamadır. Malzeme odaklı egzersiz süreçlerinde hedeflere ek olarak, öğrencinin malzeme davranışının değişimini fark etmesi de beklenmektedir. Böylelikle egzersizlerin çatası niteliğinde olan malzeme konusuna öğrencinin dikkati çekilmeye çalışılmaktadır.

Diğer egzersiz süreçlerinde gerçekleştirilen biçim grameri uygulamalarından farklı olarak, bu uygulamada biçim grameri ile malzeme üzerinde oluşturulan dokunun malzemenin esnekliğini ne derece değiştirdiği tartışılmıştır. Bu bağlamda uygulamada kullanılan malzemenin ham halinin esnekliği ile öğrencilerin CNC lazer kesim cihazı ile ürettikleri sonuç ürünlerin esnekliği arasındaki farklar tartışılmıştır. Kesim yönü, boşaltmaların miktarı gibi etmenlerin malzeme davranışına etki ettiği sonucuna varılmıştır.

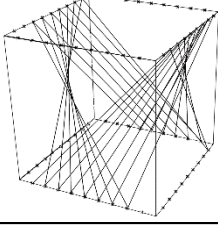
Tablo 11. Biçim grameri | Parametrik kerf çalışması özet tablosu

MALZEME ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 1
Özet Görsel	Egzersiz	
	Biçim Grameri Parametrik Kerf	
	Teori: 3. hafta / Uygulama: 4. hafta	
	Öğrenciler tekil olarak çalışır.	
Süreç	Tanım	
<p>1. ders:</p> <ul style="list-style-type: none"> Biçim grameri uygulaması ile ilgili teorik bilgiler verilir ve örnekler gösterilir. Parametrik kerf ile ilgili örnekler gösterilir. Malzeme üzerinde yapılan boşaltmaların malzeme davranışını nasıl değiştirdiği tartışılır. CNC lazer cihazı ile kesim için CAD dosyasının nasıl hazırlanması gerektiği anlatılır. İlk dersin sonunda ödev olarak her öğrenciden biçim grameri ile parametrik kerfi bir araya getirebilen bir doku oluşturmaları istenir. İstenilen doku CAD dosyasında oluşturulup CNC lazer kesim ile üretime hazır hale getirilmelidir. <p>2. ders:</p> <ul style="list-style-type: none"> Egzersizin ikinci aşamasında CNC lazer kesim cihazı ile üretim yapılmaktadır. Bu aşamada bükülmeye çok elverişli olmayan 2mm kalınlığında sert bir karton malzeme kullanılmıştır. Malzeme, öğrencilerin oluşturmuş olduğu dokuya göre işlenir. Elde edilen yeni malzemenin esnekliği ile malzemenin kesilmeden önceki halinin esnekliği arasındaki farklar tartışılır. Böylelikle malzeme üzerinde yapılan boşaltmaların miktarının, kesim yönlerinin ya da oluşturulan dokunun biçiminin malzeme davranışı üzerindeki etkisi tartışılmaktadır. 	<p>Esnekliği yüksek olmayan bir malzeme üzerinde biçim grameri kurallarına göre boşluklar açılarak esnek bir malzemenin elde edilmesi.</p>	
	<p>Amaç</p> <p>Öğrencilerin biçim grameri kuralları ile bir örüntü oluşturarak bu örüntü ile malzeme davranışındaki değişimi gözlemlenmeleri amaçlanmıştır.</p>	
	<p>Öğrenim Çıktıları</p> <ul style="list-style-type: none"> Biçim grameri çalışmasının işlevsel bir duruma dönüşümü deneyimlenmektedir. Malzeme üzerinde gerçekleştirilen boşaltmaların, kesim yönlerinin ve dokunun biçiminin malzeme davranışı üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. CNC lazer kesim cihazı için üretim dosyasının hazırlanması sürecinde dikkat edilmesi gereken noktalar öğrenilmektedir. 	

▪ Uygulama-2: Örüntü Egzersizi:

Örüntü egzersizi malzemeye odaklanan egzersizlerin ikincisidir. İki boyutlu bir malzemenin kullanımı ile bir hacim etkisi yaratılması amaçlanmaktadır. Bu uygulamada sayısal düşünme kural oluşturma ve bu kuralı kullanarak örüntünün elde edilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Tablo 12. Örüntü çalışması özet tablosu

MALZEME ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 2
Özet Görsel	Egzersiz	
	Örüntü Çalışması 2B Malzeme	
	<i>Teori: 3. hafta / Uygulama: 4. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde veya tekil olarak çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<p><i>1. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Öğrenciler egzersiz sürecinin ilk aşamasında konvansiyonel yöntemlerle bir tasarım süreci kurgulamaktadır. ▪ Her öğrenciye kâğıt üzerinde boş bir küp şablonu dağıtılır. ▪ İlk aşamada, öğrencilerden küp alanda tanımlayacakları örüntüye ilişkin bir sayısal ilişki tanımlamaları istenir. ▪ Öğrenciler tanımladıkları sayısal ilişkiyi şablon üzerinde çizerler. ▪ Çizim yapılırken yine aynı kâğıt üzerinde örüntü adımlarının da yazılması istenmektedir. ▪ Örüntü adımlarının yazılması aşamasında öğrencilerden küpü bir koordinat sistemi gibi düşünmeleri; kenarları ve noktaları bu bağlamda isimlendirmeleri beklenmektedir. ▪ Dersin sonunda küp örüntüsünün üç boyutlu el çizimi ve üretim aşamalarının adım adım dökümü elde edilmektedir. <p><i>2. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Her öğrenci ikinci derse 30 cm kenara sahip ve ahşap çیتالardan üretilmiş bir küp ile gelir. ▪ Kenarlar üzerindeki noktaları temsilen raptiyeler kullanılmaktadır. ▪ Her öğrenci başka bir öğrencinin çizdiği örüntüyü, üretim adımlarını da dikkate alarak üretmeye çalışır. ▪ Böylelikle anlatım sürecindeki başarı ölçülmeye çalışılmaktadır. 	<p>İp malzemenin kullanımı ile küp alan içinde öründe oluşturulması ve örüntü oluşturma aşamalarının adım adım yazılması.</p>	
	Amaç	
	Belirli bir kural içerisinde örüntü oluşturulması ve bu örüntünün adım adım yazılarak üretim adımlarının belirlenmesi.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ İki boyutlu bir malzemenin belirli kural/lar içerisinde çoğaltılarak üç boyutlu bir etki elde edilmesi öğrenilmektedir. ▪ Sayısal olarak belirlenen ilişkilerin üç boyuttaki karşılıkları deneyimlenmektedir. ▪ Örüntü oluşturulması sürecinde yapılan her bir hareketin belirli bir koordinat sistemi içerisinde karşılığı olduğu görülmektedir. ▪ Makine dili olan G-kodu'nun oluşturulma mantığı öğrenilmektedir. 	

Uygulama iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada konvansiyonel yöntemler ön plana çıkmaktadır. Bu aşamada öğrenciler örüntüyü oluşturacak bir kural belirler ve bu kuralın uygulanması ile ortaya çıkan kompozisyonu kâğıt üzerinde çizerler. Öğrenciler çizdikleri her bir çizginin sayısal karşılığını da not ederler. Bu işlem sırasında küp kenarları ve üzerindeki noktalar isimlendirilerek adımların tarif edilmesi kolaylaştırılmaktadır.

Uygulamanın ikinci aşaması uygulama aşamasıdır. Bu aşamada öğrenciler bir kenarı 30 cm'lik ahşap küpler ile derse gelirler. Öğrencilerin bir önceki aşamada hazırlamış oldukları çizimler ve tanımlar bu aşamanın yönergesi olarak kullanılmaktadır. Her öğrenci farklı bir arkadaşının hazırladığı yönergeye göre örüntüyü üretmeye çalışır. Böylelikle örüntünün oluşturulma mantığını çözerek ve adımları takip ederek üretimi gerçekleştirmektedirler.

Bu uygulamanın öğrenim çıktılarından biri de makine dilinin oluşma mantığına atıfta bulunmaktır. G-kodu olarak adlandırılan makine dili de koordinatlardan ve yapılacak harekete ait sayısal kodlardan oluşmaktadır. Böylelikle insan ve makine arasındaki dil birliği bu tarz kodlarla sağlanabilmektedir. Bu uygulama kapsamında öğrencilerin hazırladıkları yönergeler ile G-kodu arasında bir benzerlik kurulabilmektedir.

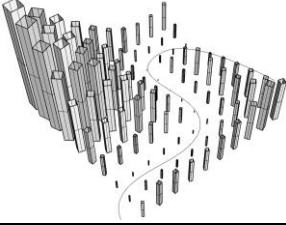
▪ Uygulama-3: Etkileşim Egzersizi:

Malzeme odaklı egzersizlerin üçüncüsü etkileşim egzersizidir. Bu uygulamada 2,5 boyutlu bir başlangıç biçiminin, bir nokta veya çizgi olarak tanımlanmış bir dış etkene göre yükseklik, açı, kalınlık gibi fiziksel özelliklerinin değişimi deneyimlenmektedir. Bu uygulamanın gündelik hayattaki karşılığı bir dereye veya odak noktasına yaklaştıkça konut bloklarının az katlı uzaklaştıkça ise kademeli olarak artmasına benzetilebilir.

Uygulamada sayısal ilişkiler belirlenen çizgi veya noktalar ile kompozisyonu oluşturacak biçimlerin merkez noktaları arasındaki uzaklık farkına dayanmaktadır. Çalışmanın uygulama sürecinde öğrenciler bir kenarı 25 cm olan ve birer cm lik gridlere bölünmüş yüzey üzerinde bir eğrisel çizgi veya nokta belirlemektedirler. Ahşap çubukların belirlenmiş olan dış etkene yaklaştıkça kısalması uzaklaştıkça uzaması istenmektedir. Uygulamanın bu aşamasında sayısallaştırma durumu sezgisel olarak gerçekleştirilmektedir.

Uygulamanın ödev sürecinde ise öğrencilere konu ile ilgili bir Grasshopper® videosu verilmektedir. Öğrenciler bu videodaki kurguyu ve alternatif olarak da kendi üretmiş oldukları kompozisyonu parametrik olarak modellemektedirler. Parametrik modelleme sürecinde yükseklik değişiminin yanı sıra, açı değişimi, kalınlık değişimi gibi farklı fiziksel özelliklere ilişkin parametreler de değiştirilmektedir.

Tablo 13. Etkileşim çalışması özet tablosu

MALZEME ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 3
Özet Görsel	Egzersiz	
	Etkileşim 2,5B Malzeme	
	<i>Uygulama: 5. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde veya tekil olarak çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Her bir öğrenciye 25 cm kenarı olan ve 1'er cm lik gridlere bölünmüş kare bir karton verilir. ▪ Öğrenciler bu alan üzerinde eğrisel bir çizgi tanımlar. ▪ Ahşap çubuk elemanlar eğrisel hatta yaklaştıkça kılacak, uzaklaştıkça uzayacak biçimde kare alan içerisinde organize edilir. ▪ Öğrenci bu aşamada büyüklükleri sezgisel olarak belirler. ▪ Ödev olarak Grasshopper® ortamında benzer bir modelin üretimi anlatılır. ▪ Öğrenciler bu videodan öğrendikleri doğrultusunda derste üretmiş oldukları kompozisyonun bir benzerini modellemeye çalışırlar. 	Ahşap blokların bir çizgi veya noktaya olan uzaklığına göre fiziksel özelliklerinin (yükseklik, açı, vb) kurallı bir biçimde dönüştürülmesi.	
	Amaç	
	Belirli ölçülere sahip bir birimin bir çizgi veya noktaya olan uzaklığının sayısallaştırılarak kurallı bir kompozisyonun oluşturulması.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bir malzemenin fiziksel özelliklerinin (yükseklik, açı, vb.) bir dış etkene bağlı olarak değişiminin modellenmesi öğrenilmektedir. ▪ Kurulan parametrik bir modelin dış etkene göre durumuna göre sürekli güncellenebileceği öğrenilmektedir. ▪ Parametrik bir modelde parametrenin yalnızca sayıdan ibaret olmadığı, biçimlerin de birer parametre olabildiği öğrenilmektedir. 	

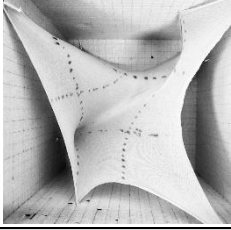
▪ Uygulama-4: Gergi Strüktür Egzersizi:

Malzemeye odaklanan egzersiz çalışmalarının dördüncüsü gergi strüktür egzersizidir. Bu uygulamada iki boyutlu etkiye sahip bir kumaş malzemenin üç boyutlu bir hacim elde edilmeye yönelik yeniden organize edilmesine odaklanmaktadır. Malzemenin esneklik özelliği strüktürün oluşumunu sağlamakta ve malzemenin bu durumunun parametrik modelleme sürecinde temsil edilmesi de öğretilmektedir.

Egzersizin uygulama sürecinde öğrencilere bir kenarı 25 cm olan beş yüzü kapalı bir küp alan verilmiştir. Küpün her bir yüzeyi birer cm'lik gridlere bölünmüştür. Bu gridler sayısallaştırma sürecinde ankraj noktalarının yerlerini belirlemek açısından önemlidir.

Öğrenciler ellerinde yaklaşık 10 cm x 15 cm'lik kumaş parçasının üzerinde ankraj noktaları belirlerler. Bu ankraj noktalarının kumaş üzerindeki koordinat değerleri sayısal olarak tanımlanmalıdır. Bu nedenle kumaş üzerinde öğrenciler tarafından belirlenen gridler çizilmiştir. Uygulama kapsamında hem kumaş üzerinde hem de yüzeyler üzerinde belirlenen ankraj noktalarının birbirleri ile eşleştirilmesiyle strüktür oluşturulmaktadır.

Tablo 14. Gergi strüktür çalışması özet tablosu

MALZEME ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 4
Özet Görsel	Egzersiz	
	Gergi Strüktür 2B Malzeme	
	Uygulama: 6. hafta	
	Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde veya tekil olarak çalışır.	
Süreç	Tanım	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Her bir öğrenciye 25 cm kenarı olan ve 1'er cm'lik gridlere bölünmüş beş yüzeyi kapalı bir küp verilir. ▪ Gergi strüktürün oluşturulacağı kumaş yüzey üzerinde ankraj noktaları belirlenir. ▪ Kumaş üzerinde belirlenen ankraj noktalarının küp üzerinde hangi yüzeylerle eşleştirileceği belirlenir. ▪ Kumaş yüzeydeki ve küp yüzeylerin üzerinde noktalar birleştirilerek gergi strüktüre son hali verilir. ▪ Ödev olarak Grasshopper® ortamında ve Kangaroo eklentisini de kullanarak benzer bir modelin üretimi anlatılır. ▪ Öğrenciler bu videodan öğrendikleri doğrultusunda derste üretmiş oldukları gergi strüktürün bir benzerini modellemeye çalışırlar. ▪ Gergi strüktürün modellenmesi sürecinde ankraj noktalarının yerlerine ilişkin sayısallaştırılmış verilerden yararlanılmaktadır. 	İki boyutlu kumaş malzeme ile gergi strüktür üretimi sürecinin sayısallaştırılması ve benzer strüktürün Grasshopper® programı ile modellenmesi.	
	Amaç	
	İki boyutlu malzeme üzerinde gergi noktalarının belirlenmesi ile kurallı bir hacim oluşturulması. Elde edilen strüktürün Grasshopper® programı ile modellenmesi.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ İki boyutlu bir yüzeyin kurallı bir üç boyutlu hacme dönüştürülme sürecini deneyimlemek. ▪ Gergi strüktürlerin oluşturulma sürecindeki sayısal ilişkilerin farkına varabilmek. ▪ Malzeme üzerindeki ve yüzeyler üzerindeki ankraj noktalarını sayısal olarak belirleyebilmek ve gergi strüktürü parametrik olarak modelleyebilmek. 	

Modelleme aşamasında uygulama sürecinde açığa çıkarılan sayısal ilişkiler kullanılmaktadır. Modelleme sürecinde öğrenciler kendilerine verilen Grasshopper® anlatım videosu üzerinden parametrik modelin nasıl oluşturulacağını öğrenmektedirler. Alternatif model olarak ise uygulama sürecinde üretilmiş olan strüktürler üretilmektedir.

Parametrik modelleme süreci Grasshopper® üzerinde çalışan Kangaroo eklentisi ile gerçekleştirilmiştir. Bu eklenti malzeme davranışının taklit edilebilmesine olanak sağladığı için malzemeye odaklı egzersizler açısından önemlidir. Bu sayede öğrenciler kumaşın davranışını değiştirmeye yarayan esneklik katsayısı, ankraj noktaları gibi parametrelerin değişimlerinin strüktüre etkilerini gözlemleyebilmişlerdir.

▪ Uygulama-5: Parametrik Mutasyon Egzersizi:

Parametrik mutasyon egzersizi malzemeye odaklanan egzersizler sürecinin sonucusudur. Bu egzersiz robotik fabrikasyonu da içeren ve üç boyutlu malzemenin

deneyimlendiği bir süreci ifade etmektedir. Bu egzersizde konvansiyonel üretim aşaması yer almamaktadır.

Tablo 15. Parametrik mutasyon çalışması özet tablosu

MALZEME ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 5
Özet Görsel	Egzersiz	
	Parametrik Mutasyon 3B Malzeme	
	<i>Teori: 7. hafta Uygulama: 8. ve 10. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde veya tekil olarak çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<p><i>1. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Egzersizin sonuç ürünü robotik üretim ve dökme yöntemleriyle üretileceği için ilk olarak sayısal ortamda modelleme süreci gerçekleştirilmiştir. Bir çizgi üzerinde yer alan çok sayıda hayali kürenin birbiriyle çarpışarak yüzeye dağılması ve buna bağlı olarak çizginin kurdele biçimi alması modellenmektedir. Egzersizin ilk aşamasında Grasshopper® ortamında ve Kangaroo eklentisini de kullanarak modelleme yapılmaktadır. Sonuç olarak üretilen model çarpışma hareketinin dondurulmuş bir anını temsil etmektedir. <p><i>2. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Elde edilen sayısal model CAM ortamında üretime hazır hale getirilir. Robotik fabrikasyon yöntemleri ile kalıp oluşturulur. Kalıp içerisine hazırlanan malzeme dökülerek üretim aşaması sonlandırılır. 	<p>Çarpışarak dağılma etkisinin bir yüzey üzerinde modellenmesi ve ortaya çıkan kompozisyonun dökme yöntemi ile üretimi.</p>	
	Amaç	
	<p>Birbirleriyle çarpışıp dağılan birimlerin taklit edilmesiyle bir yüzey örüntüsü oluşturmak ve elde edilen ürünü sayısal fabrikasyon yöntemi ile üretmek.</p>	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> Sınırları belirli bir yüzey içerisinde malzeme davranışını taklit etmek. Grasshopper® ortamında ve Kangaroo eklentisini kullanarak hareketli bir sürecin dondurulmuş bir anını modelleyebilmek. Robotik üretim sürecini deneyimleyebilmek. 	

Egzersizin ilk aşaması parametrik model üretim aşamasıdır. Parametrik modelin üretimi sürecinde Grasshopper® üzerinde çalışan Kangaroo eklentisi ile çarpışma davranışı taklit edilmiştir. Bir çizgi üzerinde yer alan hayali kürelerin birbirine çarpması ile çizginin bir kurdele biçimi alması modellenmektedir. Çizginin esneklik katsayısı, kürelerin dağılma özellikleri gibi parametreler sistemin davranışını belirlemektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde elde edilen üç boyutlu parametrik modelin robotik fabrikasyon yöntemleri ile üretilmesi planlanmıştır. Bu bağlamda strafor gibi bir stok malzeme ile modelin negatifi işlenerek kalıp oluşturulmaktadır. Oluşturulan kalıp içerisine

hazırlanan malzeme dökülerek nihai form elde edilmektedir. Böylelikle hem modelleme hem de üretim sürecinde malzeme davranışı deneyimlenebilmektedir.

Malzeme odaklı egzersiz çalışmaları, malzeme davranışının ve malzeme seçiminin hem tasarım hem de üretim süreci açısından tartışmaktadır. Bu tartışma sayısal tasarım ortamı ile bütünleştirilerek ele alınmaktadır. Böylelikle öğrenci, malzemenin kendisinin bir parametre olabileceğini görmekte ve bunu sayısal ortamda nasıl ifade edebileceğini öğrenebilmektedir.

2.3.3. Sayısal Üretim Yöntemleri Odaklı Egzersizler

Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmaları MSM III dersi kapsamında, beşinci yarıyıl öğrencileri ile gerçekleştirilmektedir. Atölye süreçleri kapsamında sayısal üretime yönelik yöntemlerin denenmesi hedeflenmektedir. Ders sürecinde yürütülen çalışmalar sırasıyla; cisim açılımı, dilimleme, teselasyon, konturlama, katlama ve dökme yöntemleridir. Bu çalışmalar sürecinde öğrenciler farklı sayısal fabrikasyon araçlarını ve bu araçların kullanım alanlarını deneyimlemektedirler.

Süreç, sayısal modelleme ve üretim olmak iki aşamalı olarak gerçekleştirilir. Sayısal düşünme kısmı sayısal modelin oluşturulması sürecinde sorgulanmaktadır. Üretim sürecinde ise tasarım ilişkin takım yolunun çıkarılması, sayısal fabrikasyon araçları tarafından üretime hazır duruma getirilmesi gibi durumlar deneyimlenmektedir. Uygulamalar basit olandan karmaşık olana doğru uygulanmaktadır.

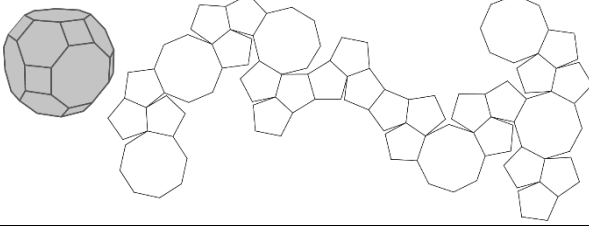
▪ Uygulama-2: Cisim Açılımı Yöntemi:

Cisim açılımı ile üretim uygulaması sayısal fabrikasyon atölyelerinin ilkidir. Uygulama sürecinde öğrenci ilk olarak konvansiyonel yöntemle sonrasında ise sayısal yöntemle cisim açılımı elde etmeye çalışır. Bu uygulama aynı zamanda CNC lazer kesim cihazının kullanımına yönelik bir deneyim edinmeyi de hedeflemektedir.

Uygulama kapsamında her öğrenci grubu ikişer adet cismin açılımını elde etmeye çalışır. Bu açılımlardan ilki ders içerisinde konvansiyonel yöntemlerle elde edilmeye çalışılır. Geometrilere düzgün çok yüzlü cisimler arasından seçilmiştir. Cisimlerin çok yüzlü olması konvansiyonel yöntemle cisim açılımı elde edilmesi sürecini karmaşık hale getirmektedir. Uygulamamın ikinci aşaması ise ödev olarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada öğrencilere biraz daha karmaşık olan ikinci cisimler verilir. Öğrenciler bu cismin de

öncelikle konvansiyonel yöntemle açılımını elde etmeyi dener. Sonrasında ise sayısal ortamda cismin açılımını gerçekleştirir.

Tablo 16. Cisim açılımı çalışması özet tablosu

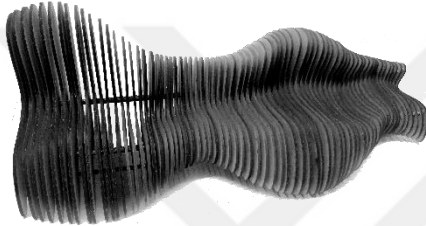
SAYISAL ÜRETİM YÖNTEMİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 2
Özet Görsel	Egzersiz	
	Cisim Açılımı	
	<i>Teori: 3. hafta Uygulama: 4. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<p><i>1. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Öğrencilere çok yüzlü birer form dijital modelleme yazılımı ortamında verilir. ▪ Öğrenciler bu forma ilişkin her ölçüye bu ortamda ulaşabilmektedir. ▪ Uygulamanın ilk aşaması konvansiyonel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. ▪ Öğrencilerden kendilerine verilen formun açılımını önce kağıt üstünde sonra da AutoCad ortamında çizmeleri istenir. ▪ Ders sonuna kadar bu çizimler bir sonraki derste CNC lazer kesim cihazı ile üretime hazır hale getirilir. ▪ Ödev olarak; biraz daha karmaşık yapıya sahip farklı cisimler verilir. ▪ Bu cisimlerin ise açılımlarının sayısal ortamda üretilmesi istenir. <p><i>2. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hem konvansiyonel yöntemlerle hem de sayısal yöntemlerle çizilen cisim açılımlarına ilişkin üretim dosyaları CNC lazer kesim cihazı ile üretilir. ▪ Birleşim detayları ve üretim sorunları üzerine tartışılır. ▪ Bir sonraki uygulamaya ilişkin ödev videosu verilir. 	Çok yüzeyle bir cismin açılımının çizilmesi.	
	Amaç	
	Üç boyutlu düşünme becerisinin geliştirilebilmesidir.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Çok yüzlü bir geometrinin hem konvansiyonel hem de sayısal ortamda çözümlenmesinin öğrenilmesi. ▪ Bir bütünü oluşturan alt parçalar arasındaki ilişkinin görülebilmesini sağlamak. ▪ Fabrikasyon yöntemlerinden biri olan cisim açılımını deneyimlemek. ▪ Parçaların birbiri ile birleşim yerlerinde bir detay olması gerektiğini farkına varmak. ▪ Konvansiyonel üretim yöntemi ve CNC lazer kesim cihazı kullanılarak iki süreç arasındaki farkların deneyimlenebilmesi. 	

Elde edilen cisim açılımları CNC lazer kesim cihazı ile kesilerek fiziksel olarak üretilir. Öğrencilerin bu süreçte edindikleri en önemli deneyimlerden biri, birbiri ile ilişki kuran iki yüzey arasında bir bağlantı detayı düşünülmesi gerektiğidir. Bu uygulamada lazer kesim cihazının farklı güçlerdeki kullanımı, bir tasarımın sayısal üretim süreci için nasıl hazırlanması gerektiğine ilişkin temel fikirlerin edinilmesi sağlanır.

▪ Uygulama-3: Dilimleme Yöntemi:

Dilimleme yöntemi bir yüzeyin bütünlüğünün bozulmadan kesitlerinin alınarak üretilmesine odaklanmaktadır. Üretim süreci 1:5 ölçekli olarak gerçekleştirilmektedir. Uygulamada hem tasarım hem de üretim süreçleri iki kere gerçekleştirilir. İlk denemede öğrenciler yaşadıkları sorunları tespit eder ve ikinci denemede bu sorunlar çözümlenerek daha bütüncül bir yüzeyin elde edilmesi sağlanır.

Tablo 17. Dilimleme yöntemi çalışması özet tablosu

SAYISAL ÜRETİM YÖNTEMİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 3
Özet Görsel	Egzersiz	
	Dilimleme Yöntemi	
	Uygulama: 5. hafta ve 6. hafta	
	Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.	
Süreç	Tanım	
<p>1. ders:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ödev videosu izlenerek oluşturulmuş olan parametrik bankın üretim süreci gerçekleştirilir. Ödev videosunda farklı kesitlerden yüzey oluşturma, oluşturulan yüzeylerin XZ ekseninde dilimlenmesi ve elde edilen kesitlerin panelizasyonu anlatılmıştır. Öğrenci grupları kendi tasarımlarını modelleyerek üretime hazır hale getirir. İlk tasarımlar ders sürecinde üretildikten sonra tasarım ve detaylar ile ilgili sorunlar konuşulur. Ödev olarak, aynı uygulamanın geliştirilmesi ve üretime hazır hale getirilmesi istenir. <p>2. ders:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. dersteki üretim süreci tekrarlanır. Ödev olarak bir sonraki üretime ilişkin modelleme videosu verilir. 	Dilimleme yöntemi kullanılarak parametrik oturma elemanı üretimi.	
	Amaç	
	Dilimleme yöntemine yönelik tasarım ve standart olmayan seri üretim sürecinin deneyimlenmesi.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> Dilimleme yöntemine ilişkin modelleme ve üretime hazırlık aşamalarını deneyimlemek. Bir formun görsel bütünlüğünün kaybedilmeden dilimlenerek alt parçalarını oluşturabilmek. Farklı ölçülere sahip parçaların üretim sürecini öğrenmek. Parçaların birbirleri arasındaki ilişkiyi sağlayan ara bağlantı elemanlarının tasarlanmasını sağlamak. Standart olmayan seri üretim sürecini deneyimlemek. 	

Uygulamanın sayısal tasarım aşaması kesitler üzerinden geliştirilmektedir. Oturma işlevine de uygun olarak çizilen kesitler ile öncelikle bütün bir yüzey oluşturulur. Sayısal model sürecinin temel değişkenini bu kesitler oluşturmaktadır. Sayısal düşünme aşamasında öğrenciler bu kesitler arasındaki sayısal ilişkiyi ve üretim sürecine hazırlığa ilişkin sayısal ilişkileri açıklarlar.

İlk üretim denemesinde öğrenciler genellikle üretim sürecinde kullanılacak dilimlerin arasındaki boşlukları çok geniş aldıkları için üretilen sonuç ürün tasarım fikrini tam yansıtmayabilmektedir. İkinci denemede bu tip sorunlar öğrenci tarafından tespit edilerek hem model hem de üretime hazırlık aşamaları yeniden düşünülür. İkinci denemede üretim mantığını daha doğru yansıtan sonuç ürünler elde edilmektedir.

Bu uygulama aynı zamanda elde edilen değişken parçaların bir panel üzerine sayısal ortamda nasıl yerleştirilebileceğini de öğretmektedir. Bunun için oluşturulmuş olan Grasshopper® tanımı seçilen parçaları otomatik olarak belirlenen alanlar içine yerleştirmektedir. Böylelikle hem tasarım hem de üretime hazırlık aşamaları sayısal ortamda gerçekleştirilebilmektedir. Uygulama maket ölçeğinde gerçekleştirildiği için CNC lazer kesim cihazı kullanılmıştır. Ancak 1:1 ölçekli üretimde robotik frezeleme veya üç eksenli frezeleme cihazları ile üretime de uygundur.

▪ Uygulama-4: Teselasyon Yöntemi:

Teselasyon yöntemi bir alt birimin tekrarlanarak bir yüzey oluşturmasını ifade etmektedir. Bu uygulamada tasarlanan bir alt birim sayısal olarak dönüştürülerek çoğaltılmış ve bir duvar tasarımı yapılmıştır. Üretim sürecinde robot manipülatör ile frezeleme işlemi kullanılmıştır. Bu uygulamada öğrenciler robot manipülatörü ilk defa üretim sürecinde kullandıkları için üretime ilişkin tüm hazırlıklar yürütücü tarafından yapılmış ve sürecin nasıl gerçekleştirildiği öğrencilere anlatılmıştır.

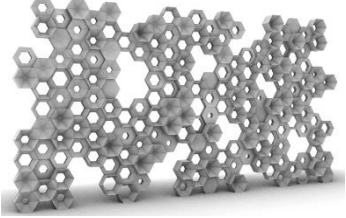
Uygulama süreci tasarım ve üretim olmak üzere iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal modelleme sürecinde altıgen alt birimlerin kullanılması tercih edilmiştir. Modelde her bir altıgen birim farklı derinliklerde tasarlanmıştır. Modelleme sürecinin temel değişkenleri derinliğe, altıgenin çapına, yatay ve düşeyde kaç tane birimin tekrarlanacağına ilişkin değerlerdir.

Üretim sürecinde 30 dansite yoğunluklu 50 cm x 100 cm ölçülerinde eps levha kullanılmıştır. Bu stoğun işlenmesine yönelik takım yolu MasterCam programı ile oluşturulmuştur. Elde edilen G-kodu'nun robot diline çevrilmesi işlemi ise Octopuz programı ile gerçekleştirilmiştir.

Sayısal modelleme sürecini tüm öğrenciler anlatılan şekilde gerçekleştirmişler ve alternatif üretimleri yapmışlardır. Üretim süreci ise aşama aşama öğrencilere anlatılmış ve sonrasında robot manipülatör ile frezeleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada robotun ve kullanılacak işleme ucunun kalibrasyon süreçleri öğrencilere aktarılmıştır. Uygulama

sonunda öğrenciler bir tasarımın robot manipülatör ile fiziksel olarak üretilmesine yönelik tüm işlemler hakkında fikir sahibi olmaları sağlanmıştır.

Tablo 18. Teselasyon yöntemi çalışması özet tablosu

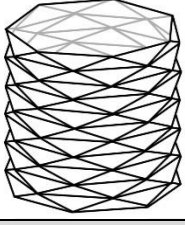
SAYISAL ÜRETİM YÖNTEMİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 4
Özet Görsel	Egzersiz	
	Teselasyon Yöntemi	
	<i>Uygulama: 7. hafta ve 8. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<p><i>1. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bu ders sürecindeki sayısal üretim aşamaları yürütücü tarafından gerçekleştirilir. ▪ Grasshopper® ortamında modellenen yüzey 1:5 ölçekli olarak üretilmiştir. Üretim sürecinde takım yolu çıkarma sürecinde MasterCam ve robotik üretim sürecinde de Octopuz yazılımları kullanılmıştır. ▪ Öğrencilere her iki yazılımla ilgili bilgi verilir, sayısal üretime hazırlık süreci aşama aşama anlatılır. ▪ Robot manipülatörün kalibrasyonu ve çalışma alanı tanımlama işlemleri anlatılır. ▪ Önceden yürütücü tarafından hazırlanmış olan üretim süreci derste uygulanır. ▪ Sonuç ürün üzerine tartışılır. <p><i>2. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Yürütücü tarafından önceden sayısal üretim yöntemi ile üretilmiş parçalar, öğrenciler tarafından bir araya getirilir. ▪ Bu derste öğrenci teselasyon uygulamasını 1:1 ölçekli olarak deneyimlemiş olur. ▪ Parçaların bir araya getirilmesine yönelik detaylar tartışılır. ▪ Varsa ortaya çıkan sorunlar ve olası çözümleri üzerine tartışılır. 	Teselasyon yöntemini deneyimlemeye yönelik robotik üretim.	
	Amaç	
	Robotik üretim sürecinin deneyimlenmesi.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teselasyon yöntemine ilişkin modelleme ve üretime hazırlık aşamalarını deneyimlemek. ▪ Robotik işleme sürecini deneyimlemek. ▪ Bir formun üretimine ilişkin tasarım, takım yollarının çıkarılması ve robotik üretim sürecine ilişkin aşamalar hakkında fikir edinmek ▪ Robotik üretimin çalışma prensibini öğrenmek. ▪ Robotik üretimde kalibrasyon süreçleri ile ilgili bilgi edinmek. 	

▪ Uygulama-5: Katlama ve Dökme Yöntemi:

Egzersiz serisinin sonuncusu katlama ve dökme yöntemi olarak uygulanmıştır. Bu uygulama iki farklı yöntemi tek uygulama içerisinde ele almaktadır. Katlama yöntemi ile iki boyutlu bir yüzeye üçüncü boyut kazandırılması hedeflenmektedir. Oluşturulan hacim içerisine dökme işlemi uygulanarak uygulama süreci tamamlanmaktadır.

Uygulama sürecinin ilk aşaması olan katlama uygulamasında öğrenciler üretmek istedikleri yüzey etkisini de göz önünde bulundurarak katlama şablonları araştırmışlardır. Bulunan şablonlar CAD ortamında çizilerek sayısal ortama aktarılmıştır. Bu aşamada yüzeyin öne veya arkaya katlanması ve malzemenin kesilecek mi ya da çizilecek mi olmasına göre kesim dosyası organize edilmiştir. Öğrencilerin üretim sürecini de düşünerek kesim dosyalarını hazırlamaları istenmiştir. Katlanacak olan malzemenin üzerine CNC lazer kesim cihazı kullanılarak şablon işlenmiştir. Öğrenciler işlenen malzemeyi katlayarak üç boyutlu hacimleri elde etmişlerdir.

Tablo 21. Katlama ve dökme yöntemi çalışması özet tablosu

SAYISAL ÜRETİM YÖNTEMİ ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMA - 5
Özet Görsel	Egzersiz	
	Katlama ve Dökme Yöntemi	
	<i>Uygulama: 9. hafta, 10. hafta ve 11. hafta</i>	
	<i>Öğrenciler 2 kişilik gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<p><i>1. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Öğrenciler katlama yöntemi ile elde edebilecekleri kalıp araştırması yapmış olarak derse gelir. ▪ Öğrenciler tarafından bulunan katlama şablonları CAD ortamında çizilir. ▪ CNC lazer kesim cihazı ile üretime hazır hale getirilir. ▪ Kesim sürecine hazırlıkta kesilecek alanlar ile ters ve düz olarak katlanacak alanlar belirlenir. ▪ Uygulamaya ilişkin ilk dersin sonuna kadar bütün kesim işlemleri tamamlanmaktadır. <p><i>2. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ İlk derste kesilmiş olan katlama yüzeyleri ikinci derste tamamlanır. ▪ Katlama yöntemi ile elde edilen üç boyutlu hacimler kalıp olacak şekilde hazırlanır. ▪ Bu aşamada kalıbın sızdırmaz olacak şekilde ve destekli biçimde hazırlanması önemlidir. <p><i>3. ders:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kalıp içerisine dökülecek malzeme hazırlanır. Bu uygulama kapsamında beyaz çimento veya alçı kullanılmıştır. ▪ Hazırlanan malzeme kalıpların içerisine dökülerek kurumaya bırakılır. 	<p>Katlama yöntemi ile kalıbın elde edilerek döküm yöntemi ile üç boyutlu bir cismin elde edilmesi.</p> <p>Amaç</p> <p>Katlama yöntemi ile kalıp oluşturularak dökme yönteminin deneyimlenmesi.</p> <p>Öğrenim Çıktıları</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Katlama yöntemi üç boyutlu bir hacim oluşturarak kalıp üretebilmek. ▪ Katlama şablonunun CNC lazer kesim ile kesilmesi sürecinde ters katlama, düz katlama gibi durumları organize etmeyi öğrenmek. ▪ Dökülecek malzemenin hazırlık aşamalarını ve döküm sürecini deneyimlemek. 	

Uygulama sürecinin ikinci aşaması ise kalıp hazırlama ve dökme işlemlerinden oluşmaktadır. İlk aşamada oluşturulan üç boyutlu biçimler güçlendirilerek ve desteklenerek kalıp haline getirilmiştir. Bu aşamada dökülen malzemenin akmasını engelleyici önlemler alınmıştır. Çalışma dökülecek malzemenin hazırlanması ve uygulanması ile sonuçlandırılmıştır.

Bu uygulamada öğrenciler en çok sorunu malzemenin katlanması aşamasında yaşamışlardır. Katlanacak malzemenin aynı zamanda kalıp olacak olması, malzemenin çok ince yapıda seçilememesine yol açmıştır. Öğrenciler katlama şablonunun boyutunu optimize etmeye çalışarak hem etkili bir yüzey elde etmeyi hem de malzemeyi katlama sırasında deforme etmemeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışma ile öğrencilerin kalıp hazırlamadan malzeme dökümüne kadar bütün bir süreci deneyimlemeleri sağlanmıştır.

Sayısal üretim yöntemleri odaklı egzersiz çalışmaları, Iwamoto'nun (2009) sınıflamasından yola çıkılarak kurgulanmış ve öğrencilerin sayısal üretim yöntemlerine ilişkin süreçleri bir bütün halinde deneyimlemeleri hedeflenmiştir. Egzersiz süreçlerinde sayısal üretim yöntemlerine uygun sayısal fabrikasyon araçları da kullanılmıştır. Böylelikle öğrencilerin sayısal fabrikasyon araçlarının potansiyelleri hakkında fikir sahibi olabilmeleri beklenmiştir.


2.3.4. 1:1 Ölçekli Üretim Odaklı Egzersizler

1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmaları Parametrik Tasarım ve Uygulamaları dersi kapsamında mimarlık bölümü altıncı dönem öğrencileri ile gerçekleştirilmektedir. Öğrenciler dönem boyunca önceki üç dersin temaları olan geometriye, malzemeye ve sayısal üretim yöntemlerine ilişkin deneyimlerin bir araya getirilebileceği egzersizleri gerçekleştirirler. Egzersiz süreçlerinde 1:1 ölçekli üretimin getirdiği yapısal sorunları çözebilme, detay geliştirebilme gibi konularda deneyim kazanılmaktadır. Egzersiz çalışmalarının en önemli hedeflerinden biri ise tasarımdan fabrikaya uzanan süreci birebir deneyimleyerek öğrenebilmektir.

Egzersiz çalışmaları her dönem için farklı bir kurguyla ele alınması planlandığı için özet tablo da bu fikre uygun olarak hazırlanmıştır (Tablo 22). Diğer üç atölye sürecine ilişkin kurgulanmış olan egzersizler sabit ve her dönem uygulanması planlanan egzersizlerdir. Ancak 1:1 ölçekli atölye çalışmaları egzersizleri değişken olup malzeme temini, ihtiyaçlar,

olanaklar dahilinde nasıl bir egzersizin uygulanacağına karar verilmektedir. Egzersizlerin Tablo 22’de belirtilen amaç ve öğrenim çıktılarına uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 22. 1:1 ölçekli üretim odaklı egzersizler özet tablosu

1:1 ÖLÇEKLİ ÜRETİM ODAKLI EGZERSİZLER		UYGULAMALAR
Özet Görsel	Egzersiz	
	Çeşitli 1:1 ölçekli uygulamalar	
	<i>Uygulama: Dönem süresi</i>	
	<i>Öğrenciler gruplar halinde çalışır.</i>	
Süreç	Tanım	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ders süreci yapılacak olan uygulama özelinde kurgulanmaktadır. 	Sayısal tasarım süreci ile elde edilmiş ürünlerin 1:1 ölçekli olarak uygulanması.	
	Amaç	
	Öğrencilerin sayısal üretim yöntemlerini detaylı olarak deneyimleyebilmelerini sağlamak.	
	Öğrenim Çıktıları	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sayısal üretim yöntemlerinin 1:1 ölçekli uygulamalar kapsamında deneyimlenmesi. ▪ Sayısal tasarım yöntemleri ile üretilmiş bir sonuç ürünün yine parametrik modelleme araçlarının kullanımıyla üretime hazırlanması. ▪ Geometri, sayısal üretim yöntemleri, malzeme gibi konuları bir bütün olarak deneyimleyebilmek. ▪ Farklı tasarım ürünleri için farklı üretim süreçleri ve detayları kurgulamak. ▪ Parametrik modelden üretime tüm süreci bir bütün halinde deneyimlemek. 	

1:1 ölçekli atölye süreçleri öğrencilerin grup halinde fikir üretebilecekleri bir ortam sağlamayı hedeflemektedir. Böylelikle öğrencide grup çalışması bilincinin, sorunlara çözüm bulma ve detay çözümlene becerisinin gelişeceği öngörülmektedir.

2.4. Atölye Çalışmaları

Bu bölümde geometri, sayısal üretim yöntemleri, malzeme ve 1:1 ölçekli üretime odaklı olarak gerçekleştirilmiş olan tüm egzersiz süreçleri tartışılmaktadır. Her bir egzersiz süreci Gagné’nin sınıflaması referans alınarak belirlenmiş olan ve Bölüm 2.3’te açıklanmış olan beş başlık altında incelenmiştir.

2.4.1. Geometri Odaklı Atölye Çalışmaları

Geometri odaklı atölye çalışmaları biçim grameri egzersizi ile başlamaktadır. Bunu takip eden egzersizler ise; öklidyen geometriler, eğrisel yüzeyler, çift eğrilikli yüzeyler, dönüşen birimler ve karmaşık geometriler üzerine odaklanmaktadır. Toplamda altı adet egzersiz ve bir adet final çalışması gerçekleştirilmiştir.

Geometri odaklı egzersiz süreçleri üçüncü yarıyıl öğrencileri ile gerçekleştirilmektedir. Üçüncü yarıyılın hem erken bir yarıyıl olması hem de öğrencilerin sayısal tasarım kavramı ile ilk kez karşılaşmış olmaları nedeni ile egzersiz süreçleri konvansiyonel yöntemlerle bütünleştirilerek kurgulanmıştır. Böylelikle öğrencinin sayısal süreçleri daha kolay anlayabilmesi sağlanmaktadır.

▪ Uygulama-1: Biçim Grameri Egzersizi:

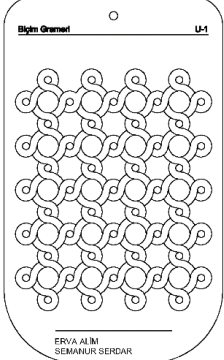
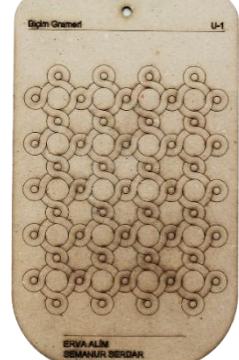
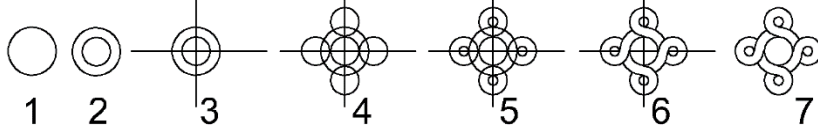
▪ Problem tanımı: Tasarım problemi, biçim grameri kullanılarak geometrik bir örüntünün oluşturulması olarak belirlenmiştir. Öğrencilerden temel bir geometrik biçim belirlemeleri ve bu başlangıç biçimine belirlemiş oldukları kuralları uygulayarak bir örüntü oluşturmaları beklenmiştir. Uygulama sürecinin başlangıcında biçim grameri uygulamaları ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır.

▪ Sayısallaştırma: Örüntüyü oluşturan aşamalar adım adım ve sayısal ilişkiler de göz önüne alınarak açıklanmıştır. Bu aşamada öğrenci sonuç kompozisyonu oluşturan bütün sayısal ilişkileri ve kullanmış olduğu bütün fiziksel dönüşümleri aktarmaktadır. Bu fiziksel dönüşümler CAD sistemlerinden de aşına olduğumuz döndürme, ölçeklendirme, kesme gibi işlemleri ifade etmektedir.

Öğrenci, sayısallaştırma süreci sonunda aslında basit anlamıyla bir algoritma kurmuş olduğunun farkına varmaktadır. Bu egzersiz süreci, diğer egzersiz süreçlerine ilişkin sayısallaştırma süreçleri ve sayısal modelleme süreçlerine ilişkin ipuçları barındırmaktadır.

Anlamsal çözümleme, tepki ve alternatif geliştirme aşamaları bu egzersizin başlangıç egzersizi olması nedeniyle gerçekleştirilmemiştir.

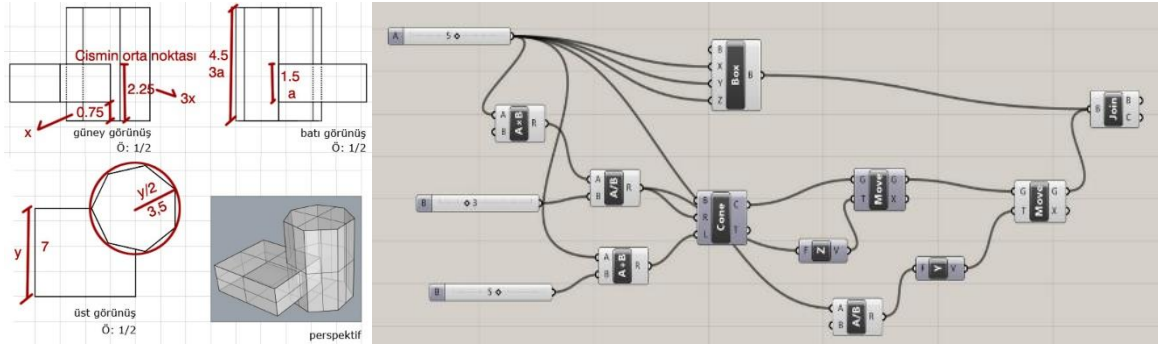
Tablo 19. Biçim Grameri Egzersizi | Örnek Çalışma

Tasarım	Sonuç Ürün
	
Biçim Grameri Açıklaması	
 <ol style="list-style-type: none"> 1. İlk olarak x ve y eksenleri çizildi. 2. Orijin noktası dairenin merkezi olacak şekilde 2,5 cm çapında bir daire çizildi. 3. Aynı dairenin merkezinden 1,5 cm çapında başka bir daire çizildi. 4. İçteki daireye teğet merkezleri eksenler üzerinde, eşit çaplı 4 daire çizildi. 5. Çizilen 4 dairenin merkezlerinden, 0,5 cm çapında en dış daireye teğet 4 daire çizildi. 6. Kesme (trimleme) yöntemi ile daireler birbirleri içinden geçiyormuş gibi gösterildi. 7. Kopyalama yöntemi ile çoğaltılarak bir örüntü elde edildi. 	

▪ Uygulama-2: Öklidyen Geometrilerin Sayısallaştırılması Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılmasına yönelik bir problem tanımlanmıştır. Öğrenciler bu uygulamada yaparak öğrenme uygulaması ile Grasshopper® modelini ilk defa bir arada uygulamaktadır. O nedenle tasarım problemi olarak temel geometriler seçilmiştir. Böylelikle öğrencinin karmaşık geometri çözümü yapmaktan yerine, sayısallaştırma ve sayısal modelleme sürecine yoğunlaşmaları sağlanmaktadır.

Uygulama başlangıcında öğrencilere iki adet birbiri ile ilişkili geometrik biçimden oluşmuş kompozisyona ilişkin görünüşler ve perspektif görünüşü verilmiştir (Şekil 25). Öğrencilerden, bu verilerden yola çıkarak, geometrileri ve birbirleri ile kurdukları ilişkileri sayısallaştırmaları beklenmiştir. Geometrik ilişkilerin yanında Grasshopper tanımının ekran görüntüsü de paylaşılır. Öğrencilerden sayısallaştırma sürecinde ortaya çıkardıkları parametreler ile Grasshopper modelini oluşturmaları istenir.



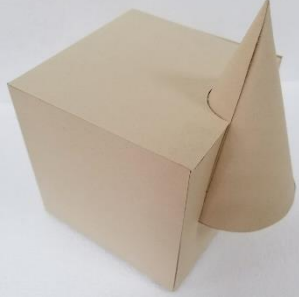

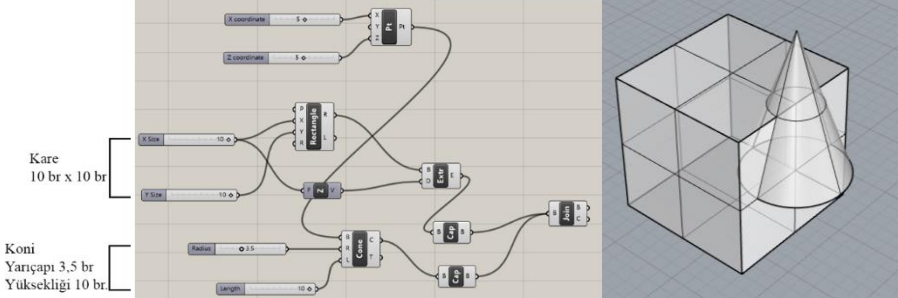
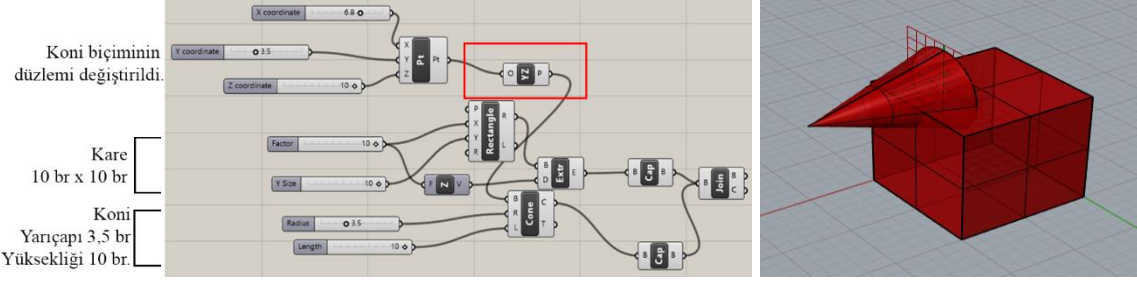
Şekil 25. Uygulama için öğrenciye verilen ilk verilerden bir örnek – Şekil çözümlenmesi öğrencilerden beklenen çözümü belirtmek için gösterilmiştir

▪ Sayısallaştırma: Öğrenciler ilk aşamada geometrik biçimleri kendi içinde düşünerek sayısallaştırmaya çalışmışlardır. Geometrik biçimlere ilişkin uzunluk, yükseklik, çap gibi temel geometrik ilişkiler belirlenmiştir. İkinci aşamada ise bu geometrik biçimlerin koordinat sistemi içerisinde nerede buldukları, birbirleri ile ilişkilerinin nasıl tanımlanabileceği üzerine düşünülmüştür. Sayısallaştırma süreci uygulama sürecindeki en önemli aşamayı temsil etmektedir. Çünkü bu aşama hem konvansiyonel ve sayısal tasarım süreçleri arasındaki ilişkiyi kurmakta hem de sayısal tasarım sürecinde kullanılacak parametreler üzerine düşünmeyi sağlamaktadır. Öğrenciler “parametre” kavramına yabancı oldukları için bu süreçte bu kavramın gerçek hayattaki karşılığını öğrenmektedirler.

Sayısallaştırma sürecinin görünür hale gelebilmesi için kompozisyonun oluşturulma süreci adım adım ve sayısal ilişkiler de göz önünde bulundurularak yazılır. Sürecin adım adım açık bir biçimde yazılması, anlamsal çözümlenme sürecine bir hazırlıktır.

▪ Anlamsal çözümlenme: Bu aşamada, benzer bir sayısal modelin nasıl oluşturulabileceği yürütücü tarafından hazırlanmış olan video üzerinden anlatılmıştır. Sayısallaştırma aşamasında ortaya çıkarılan ilişkilerin Grasshopper® modelindeki karşılığı üzerinde durulur. Anlamsal çözümlenme aşamasında sayısal düşünme ile sayısal model oluşturma arasında bağ kurulmaktadır.

Tablo 20. Öklidyen Geometrilerin Sayısallaştırılması | Örnek Çalışma

Konvansiyonel	Sayısal
	
Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Orijin noktasında bir kenarı 10 birim olan kare çizildi. ▪ Z ekseninde 10 birim yükseltildi ve küp oluşturuldu. ▪ Orijin noktasında yüksekliği 10 birim, yarı çapı 3.5 birim olan koni çizildi. ▪ “Küpün XZ düzleminde bir kenarının orta noktası tespit edildi. ▪ Elde edilen nokta komutu ile koninin düzlem girdisi birleştirildi. ▪ Kompozisyon bütünlleştirildi. 	
Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	
Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	

▪ Tepki: Öğrenciler benzer bir sayısal modeli kendi kompozisyonlarını modellemek için oluşturmuşlardır. Bu aşamada, öğrenciler kendi kompozisyonlarını analiz ederek ulaştıkları parametreleri sayısal model içerisinde kullanmaya çalışmışlardır. Sayısallaştırma aşamasında adım adım aktarılan form oluşturma süreci, algoritmanın kurulması sırasında referans oluşturmaktadır. Sayısallaştırma aşamasında açığa çıkarılan ilişkiler bütünü, anlamsal çözümleme ve tepki aşamalarında sayısal modele yansıtılmaktadır.

▪ Alternatif geliştirme: Sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik uygulamanın son adımı alternatif geliştirmedir. Bu aşamada öğrenciler, problemin tanımlanması aşamasında kendilerine verilmiş olan alternatif kompozisyonu sayısal ortamda modellemeye çalışmışlardır. Yürütücü tarafından verilmiş olan alternatif kompozisyon, sayısal modelin bazı parametrelerinde değişiklik yapılarak üretilmektedir. Bu nedenle, öncelikle alternatif kompozisyona ilişkin sayısal çözümlene yapılmıştır. Hangi parametrelerde değişiklik yapılması gerektiği belirlenmiş ve parametreler alternatif kompozisyona göre değiştirilerek sayısal model güncellenmiştir. Bu aşamada önemli olan sayısal modeli oluşturan temel kurgunun aynı kalıp, yalnızca parametrelerin değiştirilmesi ile alternatifin elde edilmesidir.

Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizini dersi alan bütün öğrenciler başarabilmişler ve sürece ilişkin deneyimlerini portfolyolarında paylaşmışlardır.

▪ Uygulama-3: Eğrisel Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Uygulama sürecine ilişkin problemin tanımı, çeşitli çap değerlerine sahip beş adet dairenin birbirlerine teğet olarak ve aralarındaki sayısal ilişki gözetilerek bir kompozisyon oluşturulması şeklinde yapılmıştır.

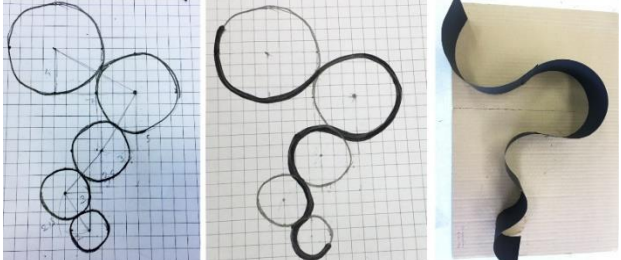
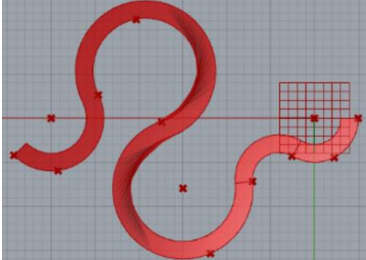
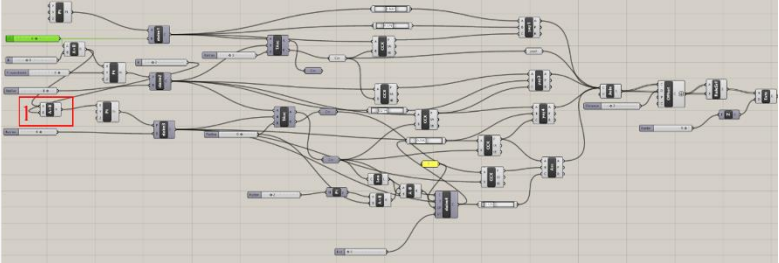
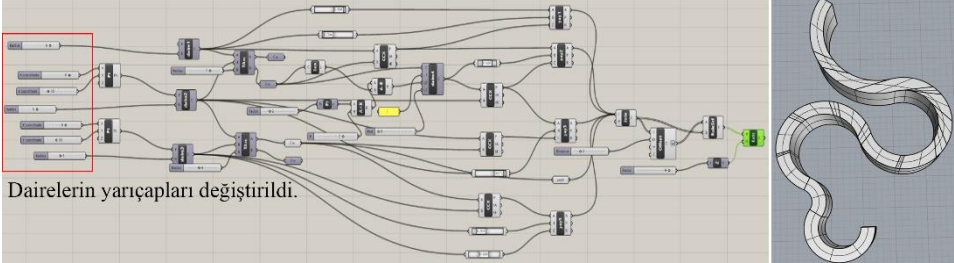


Şekil 26. Dairelerin teğetlik ilişkisi içerisinde bir araya gelmesi

Uygulamada eğrisel bir yüzey daire biçiminden başlanarak adım adım oluşturulmuştur. İlk aşamada problem tanımında verilmiş olan birbirine teğet beş adet daireden oluşan kompozisyona ilişkin çizim yapılmıştır. Bu süreçte dairelerin birbirlerine göre konumları da sayısal olarak belirlenmiştir.

▪ Sayısallaştırma: Uygulamaya ilişkin sayısallaştırma süreci dairelerin çapları, yükseklikleri ve birbirleri ile ilişkilendirilmesi aşamalarında gerçekleştirilmiştir. Bu ilişkiler sayısal modelin oluşturulması süreci için de altlık oluşturmaktadır.

Tablo 21. Eğrisel Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi | Örnek Çalışma

Konvansiyonel	Sayısal
	
Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 8 birim yarıçaplı bir daire oluşturuldu. ▪ 5 birim yarıçaplı ikinci bir daire oluşturuldu ve birinci dairenin merkezinden x ekseninde 8 birim, y ekseninde 18 birim ötelendi. ▪ 3 birim yarıçaplı üçüncü bir daire oluşturuldu ve birinci dairenin merkezinden x ekseninde 6 birim, y ekseninde 30 birim ötelendi. ▪ Birinci ve ikinci daireler arasında yarıçapı 7 birim olan bir yay oluşturuldu. Bu yay ile dördüncü bir daire elde edildi. ▪ İkinci ve üçüncü daireler arasında yarıçapı 4 birim olan bir yay oluşturuldu. ▪ Bütün dairelerin kesişim noktaları belirlendi. ▪ Kesişim noktalarından yaylar oluşturuldu. ▪ Oluşturulan yaylar birleştirildi. ▪ Oluşan eğriye 2 birim kalınlık verildi. ▪ İki eğrisel yüzey arasında yüzey oluşturuldu. ▪ Yüzey 9 birim yükseltildi. 	
Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p>Daire 1 yarıçapı 5 br</p> <p>Daire 2 yarıçapı 8 br</p> <p>Daire 3 yarıçapı 3 br</p> <p>$5 \times 3 \times 2 = 30$ br 1 ötelendi.</p> </div> <div style="flex: 2;">  </div> </div>	
Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p>Dairelerin yarıçapları değiştirildi.</p> </div> <div style="flex: 2;">  </div> </div>	

▪ Anlamsal çözümlenme: Benzer bir kompozisyona ilişkin sayısal modelin oluşturulma süreci anlatılır. Bu süreç konvansiyonel yöntemde gerçekleştirilen aşamalarla birebir aynıdır. Konvansiyonel süreçte olduğu gibi sayısal modelleme sürecinde de sırasıyla;

daireler oluşturulur, teğet noktalar belirlenir, kurdele biçimi oluşturulacak biçimde bir eğrisel yüzey oluşturulur.

- Tepki: Anlatılan sayısal modelleme sürecinin aynısını öğrenci uygulamaya çalışır. Bu uygulama kapsamında öğrenci ilk modele yorum katmaz. Alternatif model olarak kendi kompozisyonunu üretmeye çalışır.

- Alternatif geliştirme: Öğrenci, ürettiği sayısal model kurgusunda sayısallaştırma sürecinde belirlemiş olduğu parametreleri kullanarak kendine verilmiş olan kompozisyonu üretmeye çalışır.


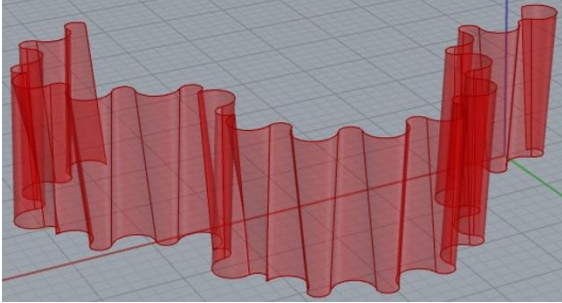
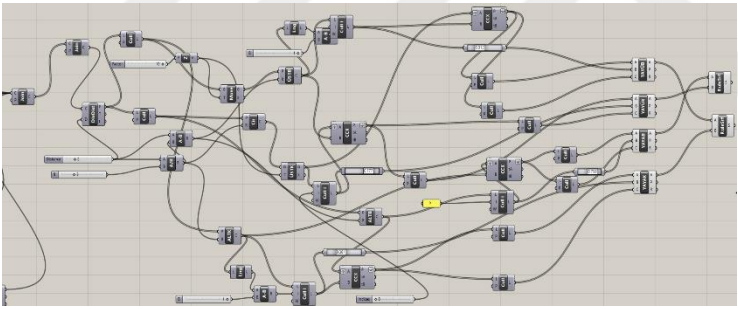
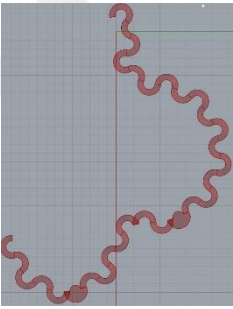
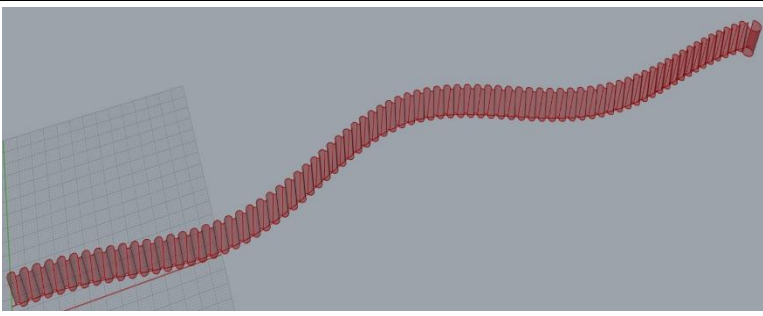
- Uygulama-4: Çift Eğrilikli Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi:

- Problem tanımı: Verilen tasarım problemi Uygulama 3'ün devamı niteliğindedir. Problem, çift eğrilikli bir yüzeyin elde edilmesi olarak tanımlanmıştır. Uygulama, ders sürecindeki diğer uygulamalara benzer şekilde konvansiyonel ve sayısal olmak üzere iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada öncelikle bir önceki uygulamada elde edilen eğrisel hattın bir benzeri karton altlık üzerine çizilmiştir. Bu eğrisel hat temel alınarak kesik koni biçimler bir düz bir ters olarak eğrisel hat üzerine yerleştirilmiştir. Konvansiyonel süreç, kesik konilerin teğet noktalardan kesilerek kurdele biçimli bir çift eğrilikli yüzeyin elde edilmesi ile sonlandırılmıştır.



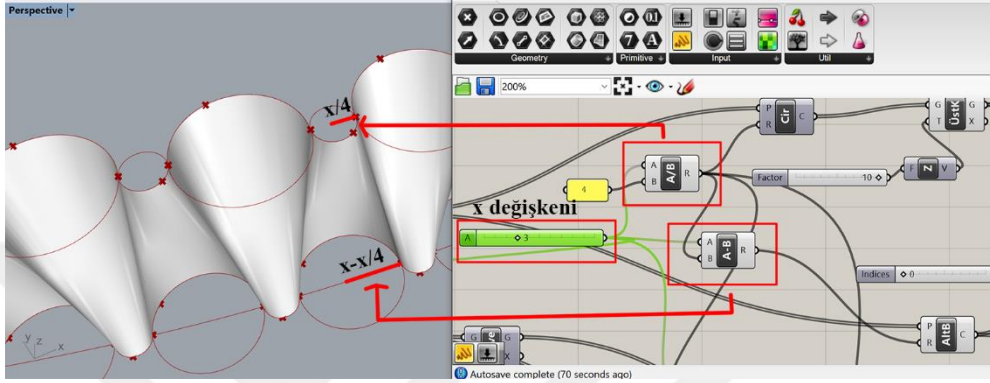
Şekil 27. Kesik konilerin eğrisel hat üzerinde bir araya gelmesi

Tablo 22. Çift Eğrilikli Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi | Örnek Çalışma

Konvansiyonel	Sayısal
	
Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Önceki çalışmada elde edilen eğrisel çizgi üzerinde belli aralıklarda noktalar atandı. ▪ 2 yeni daire bu dairelerin merkezleri belirlenen noktalarla eşleştirildi. ▪ Belirleme işlemleri için “cull pattern” komutu kullanılarak istenilen doku oluşturuldu. ▪ Z düzleminde yükseltilen küçük ve büyük çemberler ile altlarında kalan çemberler konilerin bir büyük bir küçük yüzeyi yan yana olacak şekilde eşleştirildi. ▪ Daha sonra yine önceki çalışmada yapıldığı gibi dairelerin kesişim noktaları belirlendi. ▪ Yayıları oluşturacak noktalar belirlendi. ▪ Bu veriler kullanılarak yeni eğrisel çizgi oluşturuldu. ▪ Bu çizgi yüzey haline getirildi. 	
Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	
Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	

▪ Sayısallaştırma: Uygulama sürecin ilişkin sayısal verilerin bir kısmı Uygulama 3'ten edinilmektedir. Bu uygulamada sayısallaştırma süreci konvansiyonel üretim aşamasındaki yapma sürecinden farklılıklar taşımaktadır.

Sayıllaştırma sürecinde sayısal modeli oluşturan alt birimlerin birbiri ile ilişki kurması, alternatif tasarım modellerini de içeren bir çözüm uzayının oluşturulması açısından önemlidir. Bu uygulamada kesik koninin alt ve üst yüzeylerini oluşturan dairelerin birbiri ile ilişki kurması beklenmiştir. Bu bağlamda sayısal model sürecinde bu iki daireye ilişkin sayısal ilişki parametrelerden biri olmuştur (Şekil 27).



Şekil 28. Sayısal ilişkilerin Grasshopper modelinde parametre olarak tanımlanması

- Anlamsal çözümlenme: Kesik koniyi oluşturan büyük ve küçük dairelerin oluşturulması ve sayısal olarak birbiriyle ilişkilendirilmesi anlatılmıştır. Çizgiler arasında yüzeyler tanımlanmıştır. Öğrenciler sayısal modelleme sürecini uygulamaya çalışmışlardır.

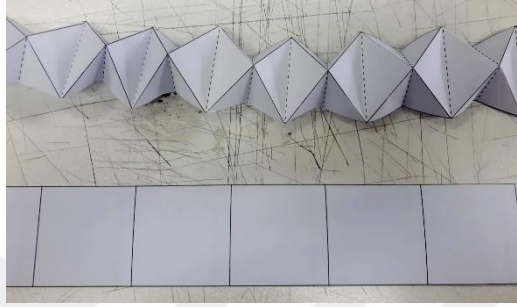
- Tepki: Benzer bir sayısal model öğrenciler tarafından oluşturulmuştur. Sayısal model Uygulama-3'te üretilen modelden alınan eğrisel yüzey verisi üzerinden devam ettirilmiştir. Böylelikle öğrenciler bir sayısal modelleme sürecinin farklı aşamalardan oluşabileceğini görmüşlerdir.

- Alternatif oluşturma: Konvansiyonel süreçte maket olarak üretilen kompozisyon, sayısal modelde alternatif olarak üretilmeye çalışılmıştır. Yapma sürecinde belirlenen sayısal ilişkiler bu süreçte parametreler olarak kullanılmıştır.

- Uygulama-5: Dönüşen Birimler Egzersizi:

- Problem tanımı: Tasarım problemi, eğrisel bir yüzey üzerinde yüzeye adapte olabilecek nitelikte bir birimin çoğaltılarak uygulanması olarak tanımlanmıştır. Problem, standart olmayan seri üretim mantığına odaklanmaktadır. Öğrenciler öncelikle katlama yöntemi ile bir yüzey oluştururlar. Şerit halinde üretilen bu yüzeyler sonraki aşamada eğrisel yüzeyin üzerine uygulanır (Şekil 29). Bu uygulamada her bir alt parçanın, eğrisel yüzeye göre açılarının, ölçüsünün nasıl değiştiği keşfedilmeye çalışılmaktadır.

▪ Sayısallaştırma: Probleme ilişkin temel parametreyi eğrisel yüzeyin üzerine uygulanacak olan alt birimin geometrisi belirlemektedir. Eğrisel yüzeye ilişkin sayısallaştırma süreci Uygulama – 3’te tamamlanmıştır. Uygulamada kullanılan katlama yüzeyleri yürütücü tarafından verilmiştir. Öğrenci bu yüzeyleri kurallı bir biçimde katlayarak bir doku oluşturur ve elde ettiği katlama yüzeyini eğrisel yüzey üzerine uygular. Uygulamada her bir katlama biriminin değişimi gözlenmektedir.



Şekil 29. Katlama yöntemi ile elde edilen yüzeye ilişkin görsel

▪ Anlamsal çözümleme: Konvansiyonel uygulamadaki üretim sürecine benzer bir sayısal modelin oluşturulması süreci anlatılır. Uygulama 3’teki eğrisel yüzey bu sayısal modelin de altlığını oluşturmaktadır. Böylelikle bir yüzeyin sayısal model aracılığı ile manipüle edilmesine ilişkin farklı süreçler anlatılabilmiş olmaktadır.

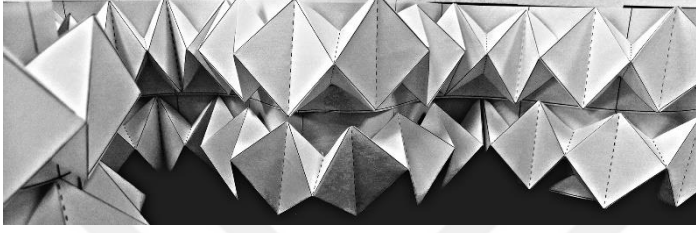
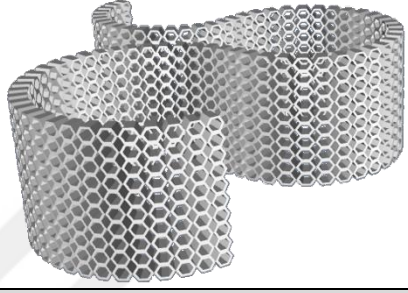
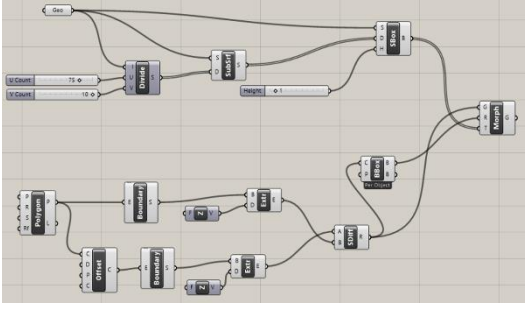
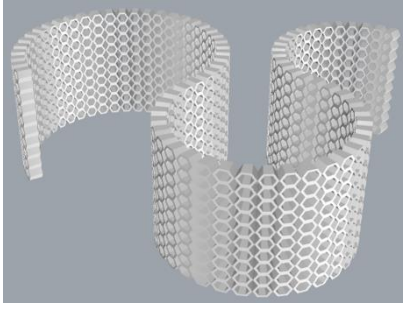
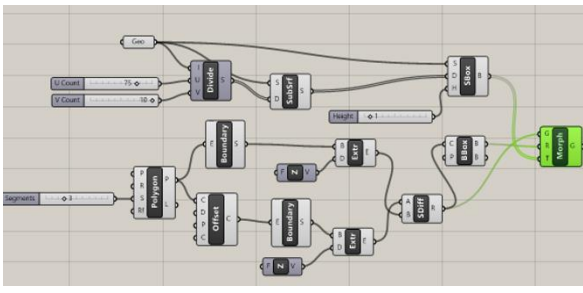
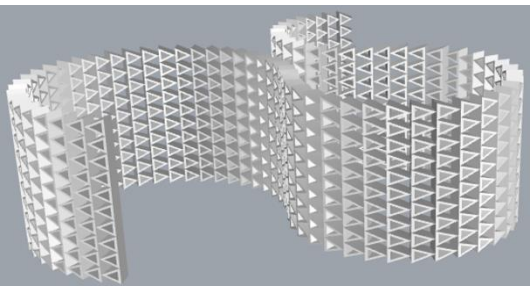


Şekil 30. Sonuç ürünlerden bir örnek

▪ Tepki: Bu süreçte öğrenciler sayısal ortamda bir alt birim tasarlayarak, bu alt birimi eğrisel yüzeye uygularlar.

▪ Alternatif geliştirme: Modelin birincil parametresi alt birimlerdir. Bu alt birimlerin değişimi alternatifleri oluşturabilmektedir. Alt birimin büyüklüğü, tekrar sayısı, tekrar biçimi de alternatif üretimlerde değişebilmektedir.

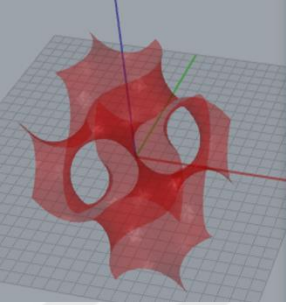
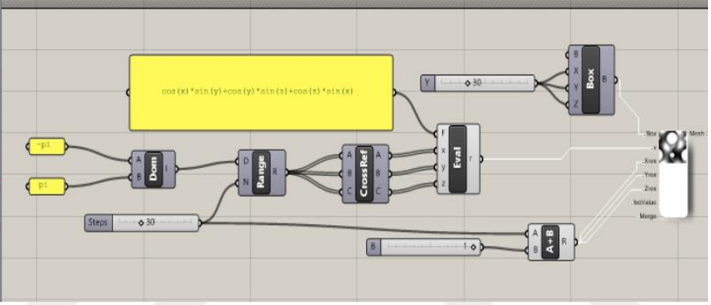
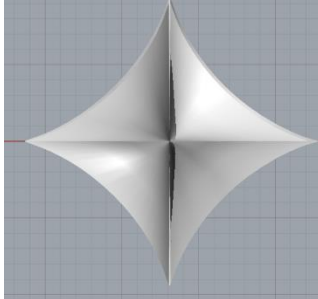
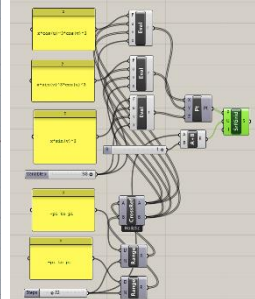
Tablo 23. Dönüşen Birimler Egzersizi | Örnek Çalışma

Konvansiyonel	Sayısal
	
Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Önceki çalışmalarda kullanılan eğrisel yüzey altlık olarak kullanıldı. ▪ Bu eğrisel çizgi z ekseninde kopyalanarak iki eğri çizgi arasında bir yüzey tanımlandı. ▪ Tanımlanan bu yüzey x ve y eksenleri doğrultusunda belirli sayıda parçalara bölündü. ▪ Bir modül oluşturuldu. Modülün çevresine teğet bir sınır tanımlandı. ▪ Bu modül sınırları bölünen parçalarla eşleştirildi. ▪ Dokulu bir yüzey oluşturuldu. 	
Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	
Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	

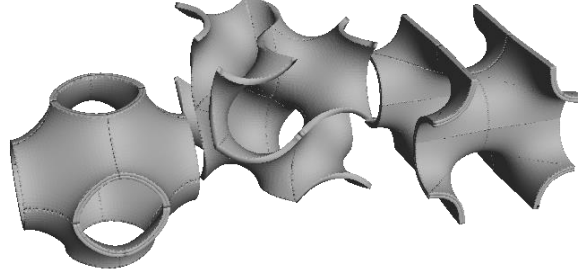
▪ Uygulama-6: Karmaşık Geometriler Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Uygulama, konvansiyonel olarak hesaplanması ve üretilmesi daha karmaşık olan formların sayısal ortamda üretilmesine odaklanmaktadır. Bu bağlamda öğrencilerden bir geometrik kurguya ilişkin fonksiyon bulmaları ve bunu sayısal ortamda üretmeleri istenmiştir. Öğrencilere değişkenleri nasıl tanımlamaları gerektiği ve bu değişkenleri fonksiyon tanımları ile nasıl bir araya getirecekleri anlatılmıştır. Örneğin; $-\pi$ den π ye giden değer aralığının geometrik olarak karşılığı ve bunun bir değişken olarak kullanımı gibi detaylar verilmiştir.

Tablo 24. Karmaşık Geometriler Egzersizi | Örnek Çalışma

Sayısal	
	
Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Astrodial Elipsoid cisminin x,y ve z fonksiyonları bulundu. ▪ Bu formüller Grasshopper ortamında panel kullanılarak x,y ve z düzlemlerine atıldı. ▪ Cismi oluşturacak noktalar kümesi için u ve v için $-\pi$ den π ye giden bağıntı tanımlandı. ▪ Bu aralığın adım sayısı 40 olarak belirlendi ve u ,v ile eşlendi. ▪ Fonksiyonlar eşleştirildi ve bu değişkenler ile bir noktalar dizisi oluşturuldu. ▪ 10.0 olarak belirlenen değer ile değişkenler eşleştirildi. ▪ Verileri çoğaltmak için “cross reference” komutu kullanıldı ve cismin noktalar kümesi oluşturuldu. ▪ Noktalara yüzey tanımlandı ve modelleme yapıldı. 	
Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	

▪ Sayısallaştırma: Sayısallaştırma süreci aynı zamanda form üretim sürecini ifade etmektedir. Süreç tamamen sayısallaştırmadan oluşmaktadır, ancak öğrenci bu sayısal ifadeyi kendi deneyimiyle değil; matematikten edinir.



Şekil 31. Uygulama kapsamında örnek olarak verilen biçimler Sırasıyla: Schwarz, Gyroid, Scherck's Surface

▪ Anlamsal çözümleme: Öğrencilere iki farklı sayısal modelleme yöntemi öğretilir. Bu modellerden ilkinin sonucunda “mesh” yüzey oluşturulur, ikincisinin sonucunda ise “polysurface (çokyüzlü)” model oluşturulur. Uygulamanın başlangıcında öğrencilere çeşitli formüller verilir. Sayısal modelin oluşturulma süreci anlatılır ve fonksiyon değişkenine ellerindeki formülleri yazmaları istenir.

Gyroid

$$\cos(x)*\sin(y)+\cos(y)*\sin(z)+\cos(z)*\sin(x)$$

Scherk's Surface

$$\exp(z)*\cos(x)-\cos(y)$$

Schwarz P

$$\cos(x)+\cos(y)+\cos(z)$$

$$(x+y+z-1)^2+(x+y+z+3)^2+x^3+y^3+z^3+1*(x+y+z+1)^3$$

$$(x^2+y^2-1)^2+(y^2+z^2-1)^2-a$$

$$(z-x*y)^2-(x*z-y^2)*(y-x^2)+1$$

Şekil 32. Öğrencilere verilen fonksiyonlardan örnekler

▪ Tepki: Uygulama kapsamında yürütücü tarafından verilen fonksiyonlar ile öğrenciler çeşitli denemeler yaparlar. Parametrelerde değişiklikler yaparak sayısal modelde parametrelerin görsel karşılıklarını keşfetmeye çalışırlar.

- Alternatif geliştirme: Öğrenciler geometrik biçimlere ait fonksiyon araştırması yaparlar. Alternatif geliştirme süreci fonksiyon girdisinin sayısal model üzerinde değiştirilmeyle gerçekleştirilir.

2.4.2. Malzeme Odaklı Atölye Çalışmaları

Malzeme odaklı atölye çalışmaları; parametrik kerf, örüntü, etkileşim, gergi strüktür, parametrik mutasyon egzersizleri olmak üzere altı adet egzersizden oluşmaktadır. Egzersizlerin çatısı malzeme davranışları üzerinden kurgulanmıştır. İki boyutlu malzemelerden başlayarak üç boyutlu malzemelerin kullanımı ile sonlanan bir süreç tanımlanmıştır.

Malzeme odaklı atölye çalışmaları mimarlık bölümü dördüncü yarıyıl öğrencileri ile uygulanmıştır. Ders, atölye serisinin ikinci dersi olduğu için öğrencilerin bir kısmı bir önceki dönem açılmış olan dersi almışlardır. Grup çalışmaları sürecinde sayısal tasarım hakkında fikri olan ve sayısal tasarım ile ilk kez karşılaşmış olan öğrenciler aynı grupta eşleştirilerek birbirlerinden de öğrenebilmeleri hedeflenmiştir.

- Uygulama-1: Biçim Grameri | Parametrik Kerf Egzersizi:

- Problem tanımı: Her atölye sürecinin başlangıç çalışması olan biçim grameri egzersizi, malzeme odaklı çalışmalar kapsamında farklılaştırılarak, malzeme davranışının değişimini deneyimlemek üzere dönüştürülmüştür. Öğrencilere ham hali rijit olan bir malzeme verilmiştir. Bu malzemenin üzerinde açılacak olan boşluklar veya yüzeye atılacak olan çizikler yardımıyla malzemenin davranışının değiştirilerek daha esnek bir malzeme haline getirilmesi istenmiştir.

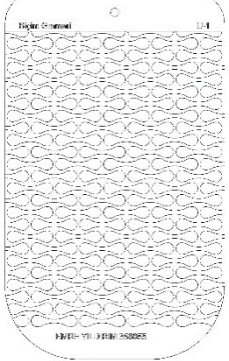
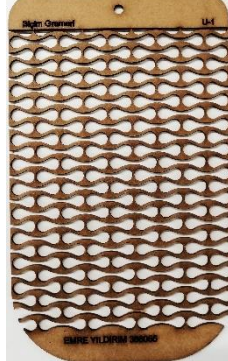
- Sayısallaştırma: Malzeme yüzeyine işlenecek olan örüntü, biçim grameri kuralları çerçevesinde oluşturulmuştur. Kural, malzeme davranışını da öngörerek, malzemenin esnekliğini artıracak şekilde kurgulanmıştır. Sayısallaştırma aşamasında kuralı oluşturan adımlar, sayısal ilişkiler de göz önüne alınarak anlatılmıştır.



Şekil 33. Parametrik kerf çalışmasından örnekler

Egzersiz sürecinin sonunda ürünler CNC lazer kesim cihazından kesilerek elde edilmiştir. Farklı kuralların esneklikleri, malzeme davranışının etkisi üzerine tartışılmıştır. Kuralın yatay veya düşey etkiye göre oluşturulması, boşluk miktarı gibi durumların malzeme esnekliğini de değiştirdiğinin farkına varılmıştır. Bu uygulama ile, her atölye sürecinin başlangıç egzersizi olan biçim grameri malzeme davranışının deneyimlenebilmesi bağlamında özelleştirilebilmiştir. Böylelikle öğrencilerin, egzersiz çalışmalarının ana temasının malzeme olduğuna dikkat çekilmiştir.

Tablo 25. Biçim Grameri | Parametrik Kerf Egzersizi | Örnek Çalışma

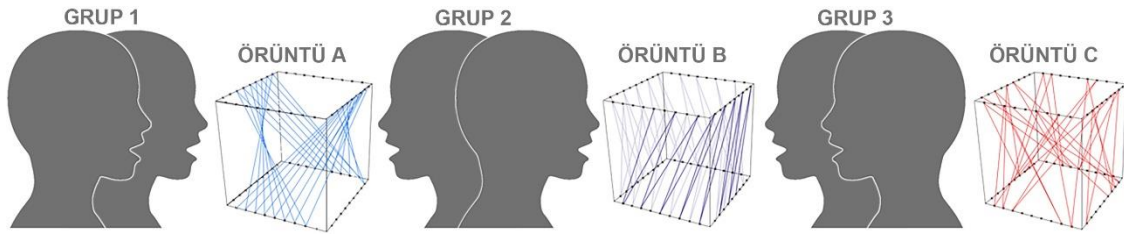
Tasarım	Sonuç Ürün
	
<p>Biçim Grameri Açıklaması</p>	
<p>Yarıçapları 1 birim ve 5 birim olan çemberler yarıçapı 10.5 birim olan çemberin içine yerleştirildi. Gerekli çıkarmalar yapılarak yay ile ortada kalan alan birleştirildi ve parametrik kerf için örüntünün parçası oluşturuldu. Karşılıklı köşelerinin arasında 1 birim ve 2 birim olan eşkenar dörtgenler oluşturuldu. İçlerine üçgenler çizildi. Eşkenar dörtgenin köşeleri, üçgen aksları boyunca kırılarak örüntü oluşturuldu.</p>	

▪ Uygulama-2: Örüntü Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Uygulama sayısal bir kural içerisinde ve bu kuralın belirli sayıda tekrarı ile bir üç boyutlu örüntü oluşturulmasına odaklanmaktadır. Çalışmanın eskiz aşamasında öğrenciler üç boyutlu örüntüye ilişkin perspektif çizimi yaparak, oluşturulan kuralı ve kuralın adımlarını yazmışlardır. İkinci aşamada kural tarifleri kapsamında üretimler gerçekleştirilmiştir. Uygulama G-kodu oluşturma mantığına atıfta bulunmakta, bir makinenin işleme mantığına benzer şekilde, küp hacmin tasarlanması sağlanmıştır.

▪ Sayısallaştırma: Öğrenciler ilk aşamada bir sayısal kural belirlemişlerdir. Bu kural “birer atlayarak git”, “önce çift sayıları çapraz olarak bağla” gibi komutlardan oluşmaktadır. Bu basit kural küp örüntüsünün temelini oluşturmaktadır. Sonraki aşamada bu kural çoğaltılarak küp örüntüsünün adım adım tarif edilmesi beklenmiştir. Bu noktada küp kenarlarında yer alan her bir bağlantı noktasına bir isim verilmiş, böylelikle küp içerisindeki yerleri net olarak tarif edilmeye çalışılmıştır. Bu küp, aslında kartezyen uzayın küçük bir kopyası olarak görülebilir. Bu adımlar da tıpkı bir makineye yapılan tarif gibidir.

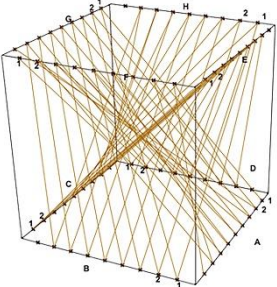

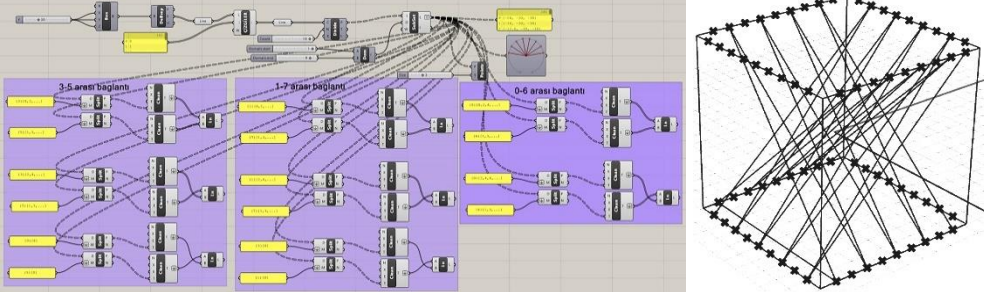
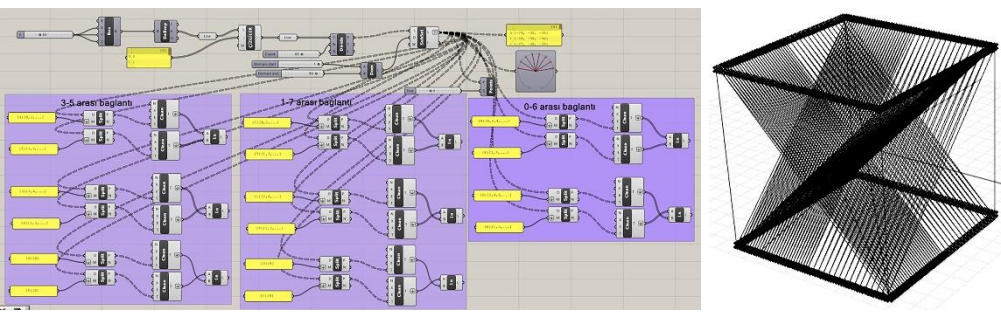
Öğrenciler çizmiş oldukları eskizleri ve kural tariflerini birbirleri ile değiştirmişler ve herkes bir başka grubun küp örüntüsünü, yapılmış olan tarif doğrultusunda fiziksel olarak üretmeye çalışmıştır (Şekil 34). Bu aşama öğrencilerin sayısallaştırma sürecinin ve doğru olarak tarif edilebiliyor olmasının önemini görmeleri açısından önemlidir.



Şekil 34. Öğrencilerin birbirlerinin tasarlamış oldukları örüntüleri üretmeleri

▪ Anlamsal çözümleme: Anlamsal çözümleme adımı öğrencilerin üretmiş oldukları küp örüntüye benzer bir sayısal modelin oluşturulma aşamaları video üzerinden anlatılmıştır. Öğrenciler, sayısal modelleme sürecinin temel özellikleri olan, noktalar arası çizgi oluşturma, bir veri grubu arasından veri seçimi, işlemi bir döngü olarak devam ettirebilme gibi konular hakkında fikir sahibi olmuşlardır. Sayısal modelleme aşamasında veri gruplarını belirli bir düzen içerisinde birbiri ile eşleyebilmek önemlidir.

Tablo 26. Örüntü Egzersizi | Örnek Çalışma

Perspektif Çizim	Konvansiyonel						
							
Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması							
<p>Örüntü ilk olarak 1'den başlayarak aynı sayılar bağlandı. Karşılık gelecek kenarlar ilk önce düz-çapraz, çapraz-çapraz, düz –çapraz , çapraz-çapraz...olacak şekilde ilerleyecektir.</p>							
1. Adım	2. Adım	3. Adım	4. Adım	5. Adım	6. Adım	7. Adım	8. Adım
A1-G1	A2-G2	A3-G3	A4-G4	A5-G5	A6-G6	A7-G7	A8-G8
G1-B1	G2-B2	G3-B3	G4-B4	G5-B5	G6-B6	G7-B7	G8-B8
B1-H1	B2-H2	B3-H3	B4-H4	B5-H5	B6-H6	B7-H7	B8-H8
H1-C1	H2-C2	H3-C3	H4-C4	H5-C5	H6-C6	H7-C7	H8-C8
C1-E1	C2-E2	C3-E3	C4-E4	C5-E5	C6-E6	C7-E7	C8-E8
E1-D1	E2-D2	E3-D3	E4-D4	E5-D5	E5-D6	E7-D7	E8-D8
D1-F1	D2-F2	D3-F3	D4-F4	D5-F5	D6-F6	D7-F7	D8-F8
F1-A2	F2-A3	F3-A4	F4-A5	F5-A6	F6-A7	F7-A8	F8-A9
Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü							
							
Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü							
							

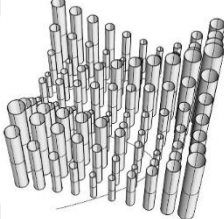
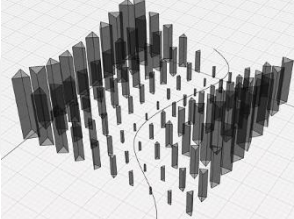
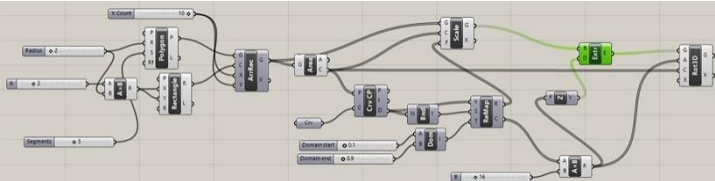
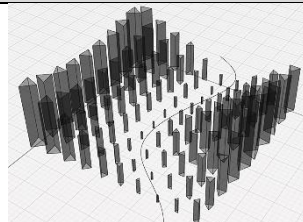
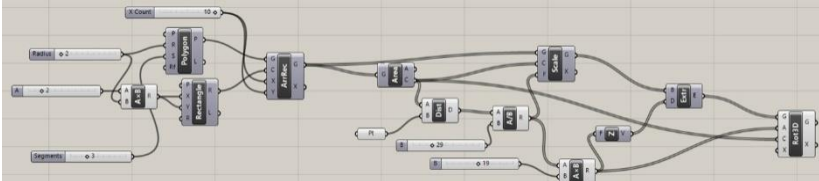
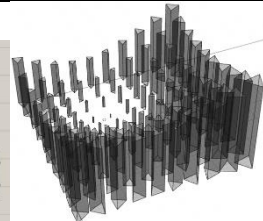
▪ Tepki: Öğrenciler videoda gösterilen adımları kendileri uygulayarak öğrenmeye çalışırlar. Bu aşamada yaparak öğrenme sürecinde belirlenmiş olan adımlarla sayısal modelleme sürecinin adımlarını bağdaştırabilmek önemlidir.

▪ Alternatif geliştirme: Bu adımda öğrenciler parametrelerde değişiklik yaparak sayısal modelin yapısına ilişkin detayları çözümleyebilmektedirler. Çalışma özelinde, noktaların eşleme parametreleri değiştirildiğinde örüntü de güncellenmektedir. Öğrenciler üretmiş oldukları fiziksel modelin bir benzerini bu aşamada kurgulamaya çalışmışlardır.

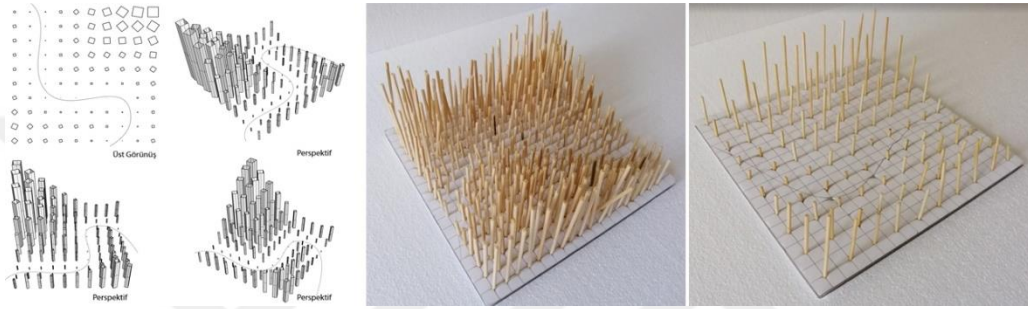
▪ Uygulama-3: Etkileşim Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Uygulama bir birimin dış etkene bağlı olarak fiziksel özelliklerinin değiştirilmesine odaklanmaktadır. Bu değişim dış etkene olan uzaklığa göre belirlenmektedir. Böylelikle, bir modülün tasarlanması ile her biri birbirinden farklı modüller üretilebilmektedir.

Tablo 27. Etkileşim Egzersizi | Örnek Çalışma

Perspektif Çizim	Sayısal
	
<p>Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması</p>	
<p>Bir geometrik biçim belirlenip; kendi yarıçapının iki katı olacak bir dikdörtgenin içine alındı. x ve y ekseninde 10 kez çoğaltıldı. Çoğaltılan kopyaların merkezi belirlendi. Rhino ekranında çizilen eğri Grasshopper ekranında tanımlandı ve bu eğrinin üstünde, geometrilerin merkezlerine en yakın noktalar işaretlendi. Bu noktalara göre çoğaltılan kopyalar z ekseninde yükseltildi. Noktalar arasındaki farka göre açılmasını sağlandı.</p>	
<p>Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	
<p>Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	

▪ Sayısallaştırma: Çalışma, pilot uygulama ve uzaktan eğitim sürecinde olmak üzere iki kere uygulanmıştır. Uzaktan eğitim ile gerçekleştirilen uygulama, pilot uygulamada elde edilmiş olan verilerle desteklenerek yürütülmüştür (Şekil 35). Sayısallaştırma süreci aslında bir sezgisel düşünmeyi içermektedir. Kompozisyonu oluşturan her bir birimin fiziksel özelliklerinin sayısal karşılığı tek tek tespit edilmemekte, kompozisyonun oluşturulması aşamasına ilişkin fikir üretilmesi beklenmektedir. Bu aşamada öğrencinin dış etkene olan uzaklığın sayısal ilişkileri de belirlediğini fark etmesi önemlidir.



Şekil 35. Sayısallaştırma için hazırlanmış görseller ve pilot çalışma uygulamaları

Bu uygulamaya ilişkin sayısallaştırma süreci, sayısal modele yön veren parametrelerin biçimlerden de oluşabileceğini gösterebilmek açısından önemlidir. Böylelikle biçimsel ilişkilerin arka planında da sayısal ilişkilerin olduğu fark edilebilmektedir.

▪ Anlamsal çözümlenme: Bu aşamada anlatılmış olan sayısal modelleme dış bir etkenle etkileşim kurmaya ve tasarlanmış olan modülün bu dış etkene bağlı dönüştürülmesine odaklanmaktadır. Tasarım mantığı bir nehir veya yola bağlı olarak tasarlanan kütleli değişimlere benzetilebilir.

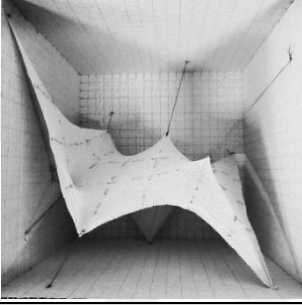
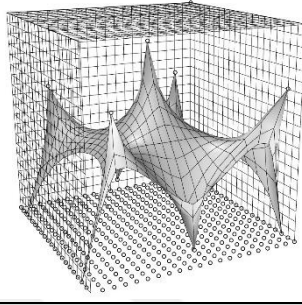
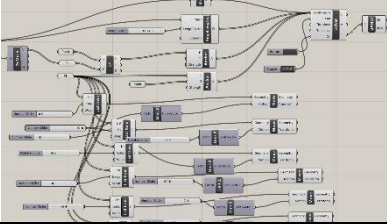
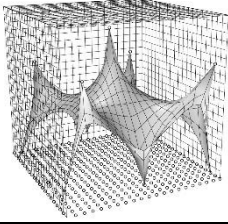
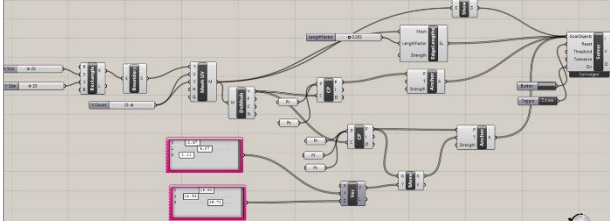
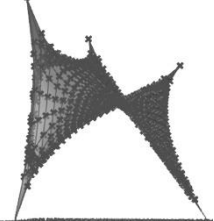
▪ Tepki: Öğrenci videoda gösterilen sayısal modeli uygulamaya çalışır. Öğrenci bu aşamada biçimler arası uzaklık hesaplamayı ve buradan elde edilen sayısal veriler ile birimleri fiziksel anlamda dönüştürebilmeyi öğrenmektedir.

▪ Alternatif geliştirme: Öğrenciler kendilerine verilmiş olan kompozisyonların bir benzerlerini üretmeye çalışırlar. Böylelikle tepki aşamasında birebir uygulamış oldukları sayısal modelleri, kendi çalışmaları bağlamında değiştirerek, sayısal modelin mantığını kavrayabilmektedirler.

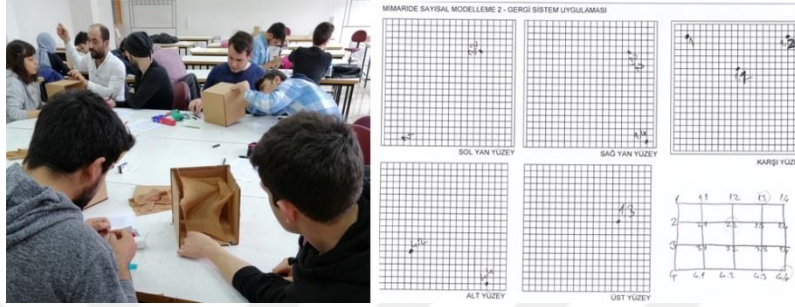
▪ Uygulama-4: Gergi Strüktür Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Uygulama kumaş niteliğindeki malzemelerin sayısal düşünme bağlamında ele alınarak hem fiziksel hem de sayısal olarak modellenenebilmesine odaklanmaktadır. Kumaş üzerinde belirlenen gergi noktalarının ve yüzeyler üzerinde belirlenen ankraj noktaları arasındaki ilişkinin kurularak kumaş malzemeden bir hacim oluşturulması beklenmektedir.

Tablo 28. Gergi Strüktür Egzersizi | Örnek Çalışma

Konvansiyonel	Sayısal
	
<p>Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması</p>	
<p>20 birime 20 birimlik bir dikdörtgen belirlendi. Yüzey meshe dönüştürüldü. Modeli oluşturabilmek için U’da ve V’de bölümlere ayrıldı. Mesh yüzeyinin köşe noktaları zemine ankre olacak şekilde parametreler belirlendi. Bu adım tekrarlanarak diğer noktalar da belirlendi. Sabit olacak noktalar ankraj ile birleştirildi. Taşınacak olan noktalar diğer ankraj parametresi ile bağlandı ve Z düzleminde yukarıya taşındı. Yüzeyde oluşan bozuklukları kaldırabilmek için kenar uzunlukları komutu malzeme esnekliğini sağlayacak şekilde belirlendi.</p>	
<p>Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	
<p>Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	

▪ Sayısallaştırma: Egzersiz süreci bir kumaş yüzeyinin küp hacmin yüzeyleri ile ilişkilendirilmesi üzerine kurgulanmıştır. Sayısallaştırma sürecinde her yüzey kendi içinde bir koordinat sistemi olarak ele alınmış olup gergi ve ankraj noktalarının yerleri bu mantık içerisinde sayısallaştırılmıştır (Şekil 36). Böylelikle sayısal modelleme süreci için gerekli olan tüm veriler yaparak öğrenme aşamasında elde edilebilmiştir.



Şekil 36. Pilot çalışma aşamasında gerçekleştirilmiş olan uygulama süreci ve sayısallaştırma eskizi

▪ Anlamsal çözümleme: Gerji strüktürün sayısal ortamda modellenmesine yönelik bir örnek anlatım yapılır. Bu aşamada, fiziksel modelin oluşturulması sürecindeki benzer şekilde, koordinatların sayısal model üzerinde belirlenmesi aşaması gerçekleştirilir. Gerji ve ankraj noktaları, strüktürü oluşturan düzen içerisinde birbirleri ile eşleştirilerek model oluşturulur. Bu aşamada malzeme esneklik katsayısı gibi malzeme özelliklerine etki eden parametreler de öğrenilmektedir. Sayısal modelleme süreci Kangaroo isimli eklenti ile gerçekleştirilmiştir. Böylelikle öğrenciler eklenti kurulumu, kullanımı gibi bilgileri de öğrenebilmektedirler.

▪ Tepki: Öğrenciler sayısal modelleme videosunda gösterilmiş olan sonuç ürünü, videoyu taklit ederek üretmeye çalışırlar. Bu aşamada, öğrenciler Kangaroo eklentisini ilk defa öğrendikleri için, bu eklenti ile ilgili de bilgilendirme yapılmıştır.

▪ Alternatif geliştirme: Öğrenciler ders sürecinde sayısallaştırdıkları fiziksel modelleri videoda öğrendikleri yolu kullanarak modellemeye çalışırlar. Gerji ve ankraj noktalarının yerini sayısal model üzerinde doğru bir şekilde tespit edebilen öğrenciler modelleme sürecinin sonunda fiziksel modele benzer bir sonuç ürün elde edebilmişlerdir. Sayısal model sürecinde sorun yaşayan öğrencilerin ise eksik yaptıkları noktalar tespit edilerek bir sonraki derste üzerinde tartışılmıştır.

▪ Uygulama-5: Parametrik Mutasyon Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Egzersiz süreci bir dizi hayali kürenin birbiri ile çarpışarak dağılmasına ilişkin dondurulmuş bir anının modellenmesine odaklanmaktadır. Bu durum bir davranışın simüle edilmesini içerdiği için malzeme davranışının modelleme süreçleri ile de ilişkilendirilebilmektedir. Fiziksel sonuç ürün, bir ahşap stok malzemenin robotik frezeleme yöntemi ile işlenmesi ile elde edilmiştir. Böylelikle robotik üretim yöntemlerinin taşıdığı potansiyeller öğrenci ile paylaşılabilmiştir.

Tablo 29. Parametrik Mutasyon Egzersizi | Örnek Çalışma

Sayısal	Ürün
	
<p>Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması</p>	
<p>Rhino ekranında eğrisel çizgi çizildi ve Grasshopper’da tanımlandı. Çizilen eğrisel çizginin üzerinde belli sayıda nokta tanımlandı ve seçildi. Noktalar arasındaki çizgiler tanımlandı. Çizgiler ve aralık parametreleri seçildi. “Bouncy solver” komutuyla sistem birleştirildi ve butonlarla açılıp kapatılabilir hale getirildi. Serbest halde olan çizgileri bir dörtgenin içine almak için Rhino ekranında yüzey tanımlandı ve mesh yüzey hale getirildi. Ve bu mesh yüzey de parçalara bölünerek sistemle birleştirildi.</p>	
<p>Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	
<p>Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	

- Sayısallaştırma: Egzersiz süreci doğrudan sayısal modelin üretilmesi ile başlamıştır. Sayısal modelleme sürecinde Kangaroo eklentisi kullanılmış, böylelikle eklentinin farklı özelliklerinin de keşfedilebilmesi sağlanmıştır. Egzersizin parametrelerini çarpışma şiddeti, malzeme esnekliği, dağılma sınırlarının ölçüleri oluşturmaktadır. Parametreler değiştirilerek, çarpışma kurgusu ve dolayısıyla elde edilen sonuç ürün de değişir.

- Anlamsal çözümlenme: Konuya ilişkin örnek bir modelleme süreci video üzerinden öğrenci ile paylaşılmıştır. Öğrenci bu aşamada hareketli bir kurguya ilişkin modelleme yapmayı, belirli bir anı durdurmayı ve animasyon süreci içerisindeki her anın aslında bir tasarım alternatifi olduğunu görmektedir. Belirli bir kuralı yokmuş gibi görünen sonuç ürünün arka planındaki parametrelerin farkına varmaktadır.

- Tepki: Bu aşamada öğrenci videoda gördüğü süreci kendi üretmeye çalışır. Öğrencilerin dönem içerisinde uyguladıkları egzersizler içerisinde en çok zorlandıkları bu egzersiz olmuştur. Bu durumun hem tasarım düşüncesi hem de modelleme açısından daha önce deneyimlemedikleri bir süreç olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu egzersiz ile öğrenci, farklı tasarım yaklaşımları da öğrenmektedir.

- Alternatif geliştirme: Videonun izlenmesi ile kurgulanmış olan model üzerinden parametrelerin değiştirilmesi ile farklı sonuç ürünler elde edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle sayısal modeli oluşturan parametre ve işlevlerin karşılıklı daha anlaşılır hale gelmektedir.

2.4.3. Sayısal Üretim Yöntemleri Odaklı Atölye Çalışmaları

Sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmaları mimarlık bölümü beşinci yarıyıl öğrencileri ile uygulanmıştır. Atölye süreci; biçim grameri, cisim açılımı, dilimleme, teselasyon, katlama-dökme olmak üzere, Iwamoto (2009)'nun da sınıflamalarını içeren beş adet egzersizden oluşmaktadır. Bu atölye çalışmaları çeşitli sayısal üretim yöntemlerinin deneyimlenmesine odaklanmaktadır.

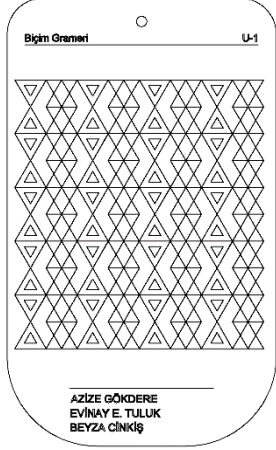
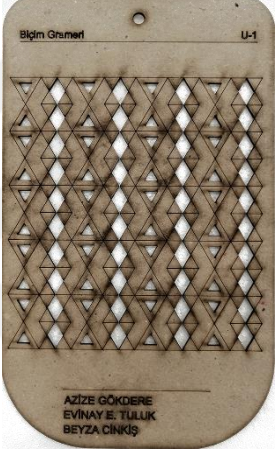
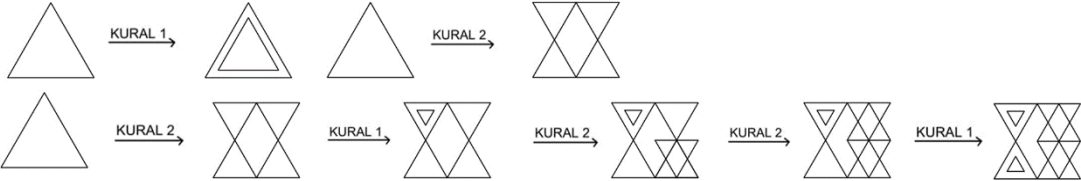
- Uygulama-1: Biçim Grameri Egzersizi:

- Problem tanımı: Biçim grameri egzersizi tüm derslerde ortak olarak uygulanan egzersizdir. Öğrenciden bir örüntü tasarımı yapması ve tasarım sürecini adım adım sayısal ilişkiler ile açıklaması istenir. Biçim grameri süreçlerine ilişkin örnekler gösterilir. Kural tanımlama ve bu kuralların başlangıç biçimine adım adım uygulanması anlatılır. Öğrencilerden benzer bir süreç ile örüntü tasarımı yapmaları istenir. Elde edilen sonuç ürünlerin CNC lazer kesim cihazı ile üretime hazır hale getirilmesi beklenir.

▪ Sayısallaştırma: Örüntü çalışması için belirlenen kurallar sayısal ilişkiler de gözetilerek çizilir ve anlatılır. Başlangıç biçimi belirlenir. Kurallar, belirlenen başlangıç biçimine birkaç adımda uygulanır. Her adım, sayısallaştırılarak anlatılır.

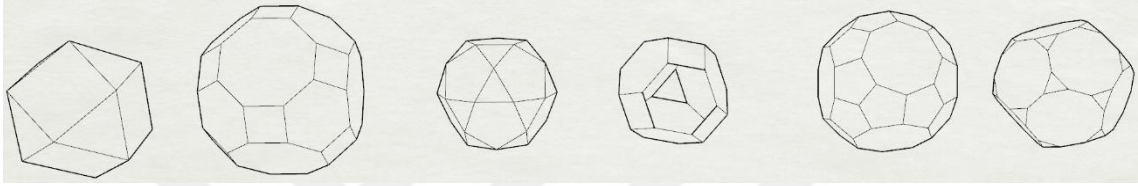
Bu uygulama sayısallaştırmanın öğretilmesine odaklandığı için “anlamsal çözümlenme”, “tepki” ve “alternatif üretimi” adımları başlangıç uygulamasında gerçekleştirilmemiştir.

Tablo 34. Biçim Grameri Egzersizi | Örnek Çalışma

Tasarım	Sonuç Ürün
	
Biçim Grameri Açıklaması	
	
<p>Seçilen birim olan eşkenar üçgenin motif oluşturabilmesi için 2 kural belirlendi:</p> <p>Kural 1 eşkenar üçgenin 1/10 oranında içe ötelenmesi, Kural 2 ise eşkenar üçgenin 180 derece döndürülüp üçgenin köşesi ile kenar orta noktasının çakıştırılması.</p> <p>Daha sonra adımlar sırayla uygulanarak biçim elde edildi.</p>	

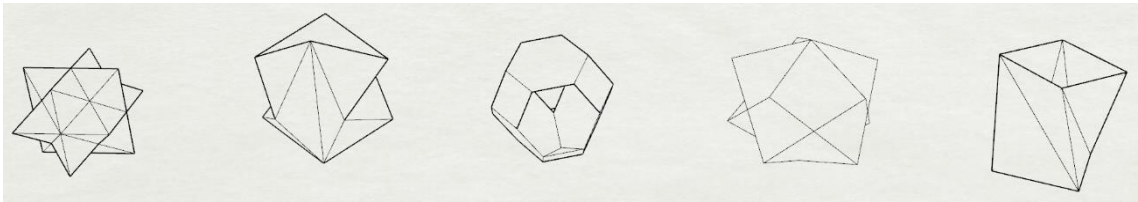
▪ Uygulama-2: Cisim Açılımı Egzersizi:

▪ Problem tanımı: Uygulama kapsamında iki adet çokyüzlü biçimin açılımının konvansiyonel ve sayısal yöntemlerle elde edilmesi istenmiştir. Verilen çokyüzlülerden ilki daha basit, ikincisi ise daha karmaşık bir geometriye sahiptir. Öğrencilerden her iki biçimin de hem konvansiyonel hem de sayısal yöntemlerle açılımını yapmaları istenmiştir. Uygulamanın ilk aşamasında öğrencilere verilen çokyüzlülerin ölçüleri, alt parçalarına ait geometrileri üzerinde tartışılmıştır. Öğrenciler cisimlerin açılımlarına ilişkin denemeler yapmışlardır.



Şekil 37. İlk aşamada verilen çokyüzlüler

Uygulamanın ikinci aşamasında ise daha karmaşık çokyüzlü biçimler verilmiştir. Öğrenciler bu çokyüzlülerin açılımlarını konvansiyonel yöntemle denemişler, ancak cisimler karmaşıktıkça konvansiyonel yöntemle açılımın elde edilmesi de zorlaşmıştır. Bu aşamada öğrencilere sayısal ortamda cisim açılımının nasıl elde edilebileceği anlatılmıştır.



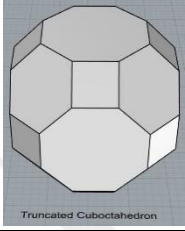
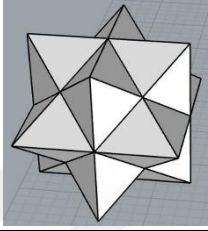
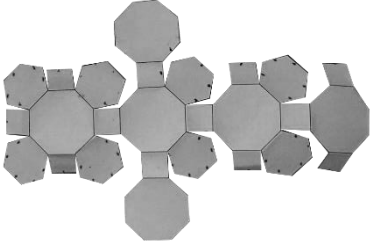
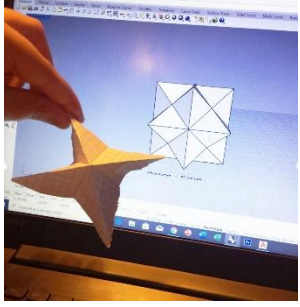
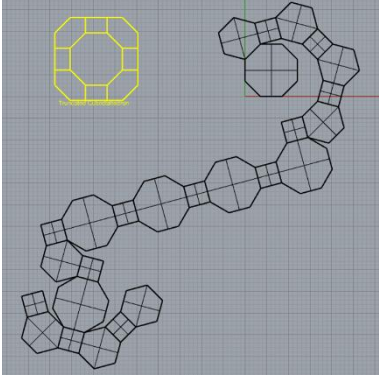
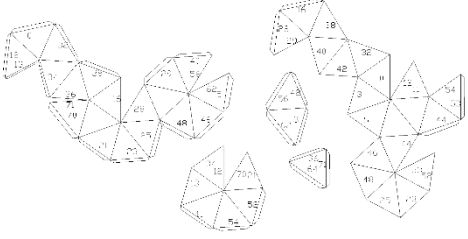
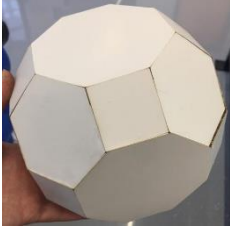
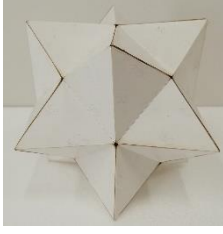
Şekil 38. İkinci aşamada verilen çokyüzlüler

▪ Sayısallaştırma: Bu uygulamada sayısallaştırma süreci cisimlere ait ölçülerle sınırlıdır. Bu nedenle öğrencilerden sayısal sürecin adım adım yazmaları istenmemiştir.

▪ Anlamsal çözümlenme: Konvansiyonel süreçteki denemelerden edinilen tecrübe ve yapılan hatalar, sayısal sürecin daha doğru bir biçimde uygulanmasını sağlamıştır. Örneğin kenarların birbiri ile daha düzgün bir araya gelebilmeleri için ek yerlerinin düşünülmesi gerektiğini deneyimlemişlerdir.

▪ Tepki: Cisimlerin sayısal ortamda açılımının elde edilmesine yönelik yöntem gösterilmiş ve öğrenciler bu yöntemi her iki cisim için de uygulamışlardır. Uygulamanın son aşamasında cisim açılımları CNC lazer kesim aşaması için hazırlanmış ve lazer kesim sürecinin ayrıntıları öğrencilerle paylaşılmıştır.

Tablo 30. Cisim Açılımı Egzersizi | Örnek Çalışma

Cisim – 1 Sayısal Model		Cisim – 2 Sayısal Model	
			
Cisim Açılımı Konvansiyonel Yöntem		Cisim Açılımı Konvansiyonel Yöntem	
Cisim Açılımı Sayısal Yöntem		Cisim Açılımı Sayısal Yöntem	
Cisim – 1 Sayısal Üretim		Cisim – 2 Sayısal Üretim	
			

▪ Alternatif geliştirme: Alternatif geliştirme süreci bu uygulamada arka planda kalmıştır. Çünkü uygulamanın hedefi konvansiyonel yöntemle sayısal yöntem arasındaki üretime hazırlık süreçleri arasındaki farklılıkları tartışabilmektir. Bu nedenle cisimlere ilişkin sayısal modeller yürütücü tarafından verilmiş, öğrenciler bu modelleri kendileri sayısal ortamda yeniden modellememişlerdir.

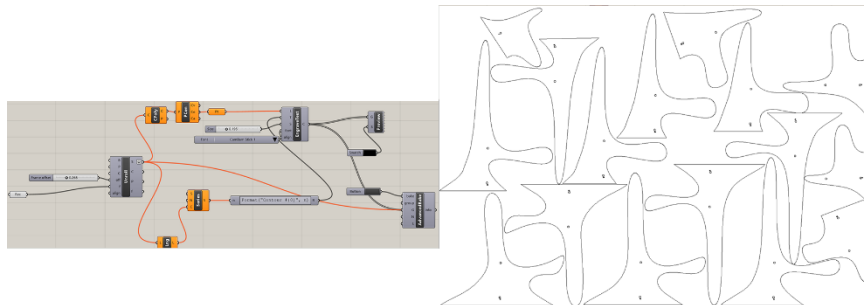
▪ Uygulama-3: Dilimleme Yöntemi:

▪ Problem tanımı: Uygulama kapsamında dilimleme yöntemi ile bank tasarımı ve bunun sayısal araçlarla üretilmesi problemi verilmiştir. Dilimleme yönteminde önemli olanın tasarım bütünlüğünün kaybedilmeden dilimleme işleminin yapılması gerekliliği üzerinde durulmuştur. Elde edilen çok sayıda alt birimin standart olmayan seri üretim mantığı ile üretime hazırlık süreci anlatılmıştır. Her bir parçanın kesilecek panel/malzeme içerisine yerleştirilerek üretime hazırlanması gerekliliği ve bunun nasıl gerçekleştirileceği aktarılmıştır.

▪ Sayısallaştırma: Bu uygulamada sayısal modele ilişkin temel parametre farklı biçimlerdeki kesit çizimleridir. Öncelikle tasarıma uygun sayıdaki kesitler çizilerek yüzey oluşturulmuş sonrasında bu yüzey dilimlere ayrılmıştır.

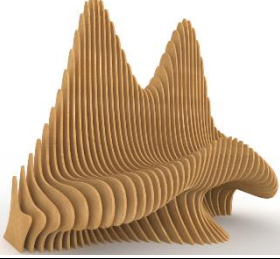

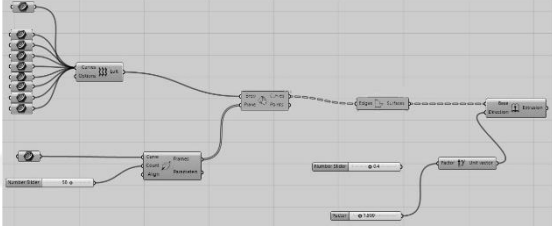
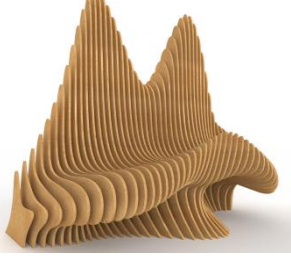
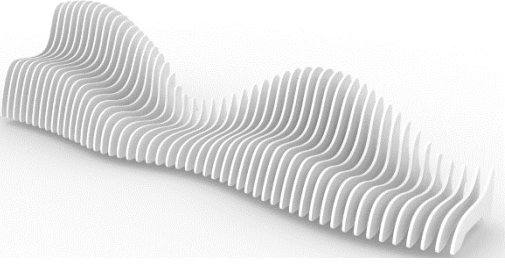
▪ Anlamsal çözümleme: Öğrencilere sayısal modele ilişkin süreç anlatılmış ve bu modelleme sürecinden yola çıkarak kendi bank tasarımlarını ve üretimlerini gerçekleştirmeleri beklenmiştir. Sayısal modelleme sürecinde tasarımın yanı sıra, dilimleme sonrası elde edilen yüzeylerin üretime nasıl hazırlanması gerektiği de aktarılmıştır.

Üretim dosyası hazırlanması işleminin sayısal model üzerinde hazırlanması dosyadan üretime gönderilmesi süreci için önemlidir. Böylelikle tasarımda yapılan bir değişiklik sonrasında üretim dosyası da doğrudan güncellenebilmektedir.



Şekil 39. Üretime hazırlık aşaması: Grasshopper tanımı ve panelizasyon

Tablo 31. Dilimleme Yöntemi | Örnek Çalışma

Sayısal Model	Sayısal Üretim
	
Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması	
<p>Rhino programı üzerinden bank tasarımı için kesitler çizildikten sonra grasshopper eklentisine çizilen kesitler tanıtıldı. Bu kesitler arasında yüzey tanımlandı. Oluşturulan yüzey dilimlendi ve elde edilen yüzeylere kalınlık verilerek tasarım elde edildi. Oluşturulan tasarım ergonomik ölçülerde çok işlevli olarak düşünüldü.</p>	
Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	
Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü	
	<p>Kesitler parametre olarak kullanıldı. Oransal bütünlük sağlaması için kesit biçimlerinde değişiklik yapıldı. Malzeme kalınlığıyla kütle orantılı olarak bölündü. Görünüşler ve plandaki eğrisellik bir bütün olarak düşünüldü ve kullanılan benzer eğrilerle form oluşturuldu.</p>

▪ Tepki: Anlatılan sayısal modelleme sürecinden faydalanarak öğrenciler kendi tasarımlarını gerçekleştirmişlerdir. Tasarımlar CNC lazer kesim cihazı kullanılarak üretilmiştir. Elde edilen sonuç ürünler incelendiğinde yüzey bütünlüğünün korunması, ölçek, gibi tasarıma ilişkin konularda ve yüzeylerin ayakta durması ve birbirine bağlanması gibi üretime ilişkin detaylarda sorunlar tespit edilmiştir. Bu nedenlerle sürecin tekrar edilmesine karar verilmiştir.



Şekil 40. İlk üretimlere ait görseller

Tekrarlanan çalışma sonucunda daha anlamlı tasarımlara ulaşılmıştır. Bağlantı problemlerine ilişkin sorunlar büyük ölçüde çözülmüştür. Tasarımlar da yenilenerek ergonomiklik, ölçü, oran gibi durumlar iyileştirilmiştir.



Şekil 41. Tekrarlanan üretimlere ait görseller

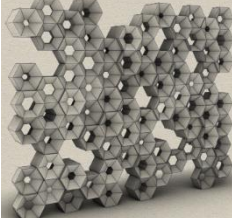

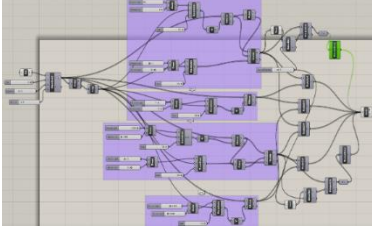
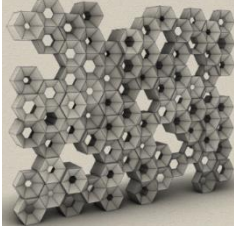
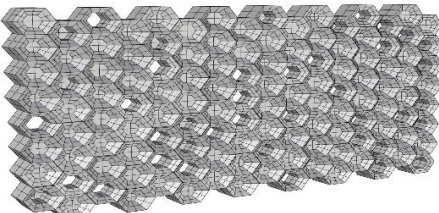
▪ Alternatif geliştirme: Uygulama sürecinde tasarım ve üretim süreçleri tekrarlanmıştır. Böylelikle hem tasarım sürecine hem de üretim sürecine ilişkin alternatif yöntemler deneyimlenebilmiştir.

▪ Uygulama-4: Teselasyon Yöntemi:

▪ Problem tanımı: Uygulama kapsamında altıgen alt parçaların teselasyon mantığı ile bir araya gelmesinden oluşan bir yüzeyin tasarımı ve uygulanması problemi verilmiştir. Uygulama sürecinde üretim yöntemlerinden teselasyona ilişkin tasarım ve üretim süreçleri tartışılabilmiştir. Bu uygulama aynı zamanda robotik üretimin deneyimlenmesine yönelik ilk uygulamadır. Bu nedenle üretilecek sonuç ürün yürütücü tarafından tasarlanmış ve üretim

süreci de yürütücü tarafından organize edilmiştir. Öğrenciler modelleme sürecinin bir benzerini gerçekleştirmiş ve alternatif üretimleri üzerine çalışmışlardır.

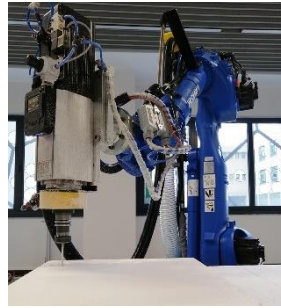
Tablo 32. Teselasyon Yöntemi | Örnek Çalışma

Sayısal Model	Sayısal Üretim
	
<p>Sürecin Sayısal İlişkiler ile Açıklanması</p>	
<p>İlk olarak altıgenlerden oluşan bir grid oluşturuldu. Bu gridin bir duvar oluşturması için XZ düzlemine getirildi. Altıgenin yarıçap değeri girildi. Daha sonra bu gridler +y yönünde kopyalandı. Bu işlem için önce bir değer aralığı (domain) ardından kaç tane değer üretmesi gerektiği ve son olarak da değer çeşitliliği sayısı girildi. Bu değer sayısını bulmak için önce altıgen grid aracına bir “flatten” işlemi uygulandı. Bunun amacı verilerdeki dallanmayı kapatıp her bir veriyi bir dal haline getirip net veri sayısını bulmaktır. Daha sonra her bir altıgen hücrenin merkezi bulundu. Merkez noktaları verisine bir liste uzunluğu aracı (list length) bağlandı. Bu sayede net veri sayısı tespit edildi. Bu veri parametre olarak kullanıldı. Ardından rastlantısal veriler ile geometri +y yönünde kopyalandı. Daha sonra bu gridler rastlantısal değerlerle ölçeklendirildi ve öndeki 1. altıgen grid yüzeyi oluşturuldu. Aynı işlem ile diğer üç altıgen grid de elde edildikten sonra yüzeyler oluşturuldu. Son olarak yarı çapı 3 cm den küçük olan altıgenleri kapatmak için veri yönetimi yapıldı. “Küçüktür” aracı ile veri kuralı girildi. Elde edilen çizgiler yüzeye dönüştürüldü.</p>	
<p>Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	
<p>Alternatif Sayısal Modelin Ekran Görüntüsü</p>	
	<p>“Küçüktür” değeri 30’a çıkarıldı. Ön 2 ve Arka 1 de veri çeşitliliği sayısı 37 ve 59 ‘a düşürüldü.</p>

▪ Sayısallaştırma: Uygulamaya ilişkin temel parametreler, teselasyonu oluşturan parçalar olan altıgen birimlere aittir. Üretilen sayısal modelde yüzeyin toplam eni ve boyu, altıgen birimlerin çapları ve derinlikleri parametreleri oluşturmaktadır. Öğrenciler sayısallaştırma sürecinde, sayısal modele ilişkin tüm değişkenleri ve tasarım adımlarını sayısal ilişkileri de gözeterek adım adım yazmışlardır.

▪ Anlamsal çözümleme: Bu uygulamanın temel hedefi öğrencilere robotik üretim sürecini baştan sona anlatmak ve robotik üretimin mantığını aktarmaktır. Bu bağlamda süreç, tasarımın sayısal ortamda gerçekleştirilmesi ile başlar. Uygulama kapsamında sayısal ortamda modelleme süreci öğrencinin de aktif olarak gerçekleştirdiği bir süreçtir. Tasarımın sayısal ortamda üretilmesine yönelik süreçte ise yürütücü aktif; öğrenci pasif bir roledir.

Sayısal modelden sonra, sayısal fabrikasyon aşamasına geçilmektedir. Öncelikle üretime ilişkin takım yolu üretimi MasterCam programında yapılır. Burada hangi üretim biçiminin hangi parametrelerle kullanıldığı öğrencilere aktarılmıştır. Takım yolu çıkarıldıktan ve takım yoluna ilişkin G-kodu üretildikten sonra elde edilen veri robotik üretim aşamasını simüle etmek üzere Octopuz yazılımına gönderilir. Bu programda da robotik üretime ilişkin G-kodu elde edilir.



Şekil 42. Robotik üretim süreci

Sayısal üretim sürecinin en son aşamasını ise fiziksel üretim oluşturmaktadır. Çeşitli yazılımlar aracılığı ile elde edilen veri robota aktarılır ve frezeleme yöntemi ile tasarlanan biçim ortaya çıkarılır. Bu uygulamada öğrenciler tasarımdan fiziksel üretime robotik üretime ilişkin tüm aşamaları görmüş olurlar.

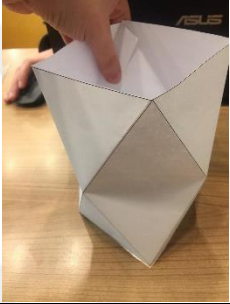

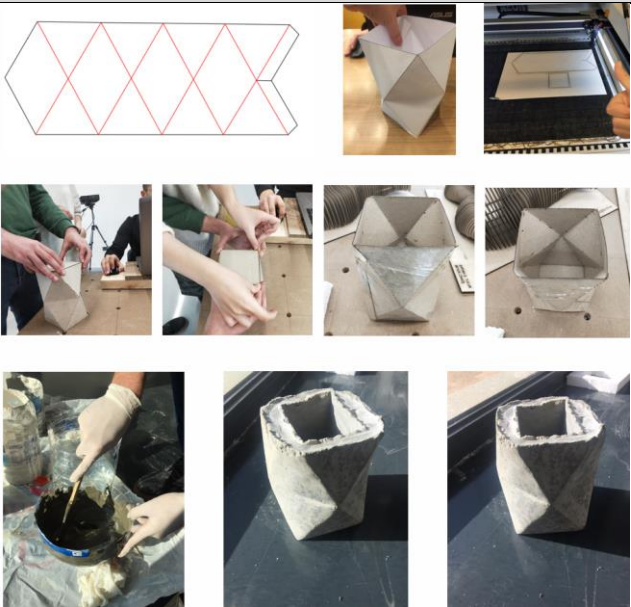
▪ Tepki: Sayısal üretim sürecinde öğrenci pasif bir rol oynadığı için tepki süreci yalnızca sayısal modelleme sürecinde gerçekleşmektedir. Bu aşamada öğrenci tasarlanan yüzeyin aynısını sayısal ortamda oluşturmaya çalışır. Bu süreçte, modelleme aşamalarını sayısal ilişkileri de düşünerek adım adım açıklar.

▪ Alternatif geliştirme: Yüzeyi oluşturan bütün altıgen alt parçaların parametreleri birbiri ile ilişkili olduğu için bir değişken yeniden tanımlandığında model güncellenebilmektedir. Sayısal modele ilişkin parametreler sayısallaştırma sürecinde belirlenmiştir.

▪ Uygulama-5: Katlama – Dökme Yöntemi:

▪ Problem tanımı: Sayısal üretim yöntemleri odaklı egzersizler serisinin sonuncusu olan katlama - dökme egzersizi, katlama örüntüsü kullanarak bir kalıp oluşturulmasına ve dökme yöntemi ile sonuç ürünün elde edilmesine odaklanmaktadır.

Tablo 33. Katlama - Dökme Yöntemi | Örnek Çalışma

Katlama	Dökme
	
Üretim Süreci	
	

▪ Sayısallaştırma: Sayısallaştırma süreci literatür araştırması ile bir katlama örüntüsünün bulunması ve bu örüntünün işleve uygun olarak CAD ortamına aktarılmasından oluşmaktadır. Egzersiz süreci sayısal üretime yönelik olduğu için, CAD ortamında çizilmiş

olan katlama açılımı, ayrıyeten sayısal modelleme ortamında üç boyutlu olarak modellenmemiştir. Öğrenciler üretmek istedikleri nesnenin ölçeğini dikkate alarak CNC lazer kesim için uygun üretim dosyalarını hazırlamışlardır.

- Anlamsal çözümleme: Bu adım, katlama – dökme uygulamasına ilişkin ilk denemeleri içermektedir. Öğrencilerin hazırlamış oldukları CAD dosyaları üzerinde tartışılmış, CNC lazer kesim öncesi kontroller yapılmış ve üretim sürecinde ortaya çıkabilecek sorunlar tespit edilerek düzeltilmeye çalışılmıştır.

- Tepki: Bu aşamada üretimler gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler belirledikleri işleve yönelik, örneğin; saksı, kalemlik, vb., üretim dosyalarını kesmiş ve kalıbı hazırlamışlardır. En son aşamada ise alçı, çimento, vb. malzemeler hazırlanarak kalıpların içine dökülmüştür.

- Alternatif geliştirme: Alternatif geliştirme aşaması CAD çizimlerinin hazırlanması aşamasında gerçekleştirilmiştir. Bu alternatifler arasından üretime uygun olanlar seçilerek üretim dosyaları hazırlanmıştır.

2.4.4. 1:1 Ölçekli Üretim Odaklı Atölye Çalışmaları

1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmaları atölye çalışmaları serisinin sonuncusudur ve mimarlık bölümü altıncı yarıyıl öğrencileri ile yürütülmektedir. Bu yarıyıldaki öğrenciler hem yapı detayları hakkında hem de tasarım süreçleri hakkında deneyimli oldukları için 1:1 ölçekli sayısal tasarım ürünlerini tasarlayabilecekleri ve üretebilecekleri düşünülmektedir. Atölye sürecinde bir ürün ortaya konulacağı için standart egzersiz çalışmaları belirlenmemiştir. Egzersiz süreçleri, dönem başında malzeme olanakları ve varsa ihtiyaçlar dikkate alınarak belirlenmektedir.

Atölye çalışmaları kapsamında pilot çalışma sürecinde altıgen duvar üretimi yapılmıştır. Yüz yüze eğitim sürecinde ise mimarlık bölümü merdiveninde bir örüntü uygulaması yapılmıştır. Uzaktan eğitim sürecinde ise MasterCAM programı üzerinde durulmuş ve robotik frezelemeye ilişkin ürünler sayısal ortamda üretilmiş, üretim dosyaları MasterCAM programı ile hazırlanmıştır. Bu egzersiz süreçlerine ilişkin sonuç ürünler “Bulgular ve İrdelemeler” başlığı altında tartışılmıştır.

1:1 ölçekli atölye çalışmaları diğer egzersiz süreçlerinde de olduğu gibi beş adımdan oluşmaktadır:

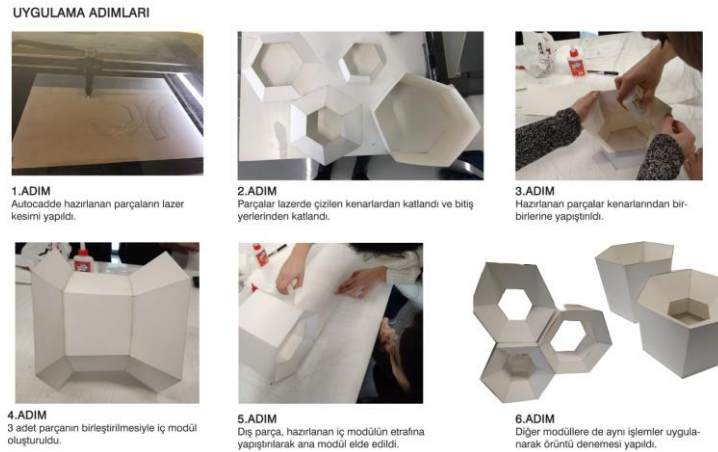
▪ **Problem tanımı:** Problemler, 1:1 ölçekli üretim üzerinden tanımlanmaktadır. Üretim sürecinde sayısal fabrikasyon araçlarından bir veya birkaçı mutlaka kullanılmalıdır. Egzersiz süreci dersi almış olan bütün öğrencilerin bir arada çalışabildiği bir ortam oluşturmalıdır.

▪ **Sayısallaştırma:** Bu aşamada egzersiz sürecine ilişkin sayısal ilişkiler belirlenir. Ürünün fiziksel özellikleri, konulacağı veya kurulacağı ortamla ilişkisi gibi tasarımsal yaklaşımlar sayısal ilişkileri ile ortaya konulmalıdır.

▪ **Anlamsal çözümlenme:** Grup bir araya gelerek tasarım ürünü hakkında fikirler ortaya koyar. Bununla ilgili eskiz çalışmaları yapılır. Süreç sonunda fikirler doğrultusunda sonuç ürün genel hatlarıyla belirlenir. Dersin yürütücüsü oluşturulan fikre yönelik sayısal modelleme sürecini anlatan bir video hazırlayarak sayısal modelleme sürecinde öğrenciyi yol göstermeye çalışır. Bu aşamada aynı zamanda üretim sürecine ilişkin ilk fikirler de ortaya konulmaktadır.

▪ **Tepki:** Bu aşamada hem sayısal modelleme süreci yürütülmekte hem de üretime ilişkin ilk fikirler fiziksel olarak üretilmektedir. Öğrenciler üretmiş oldukları fikirleri üreterek deneyimlemekte ve eksik noktaları tespit ederek fikirlerini geliştirmeye çalışmaktadırlar.

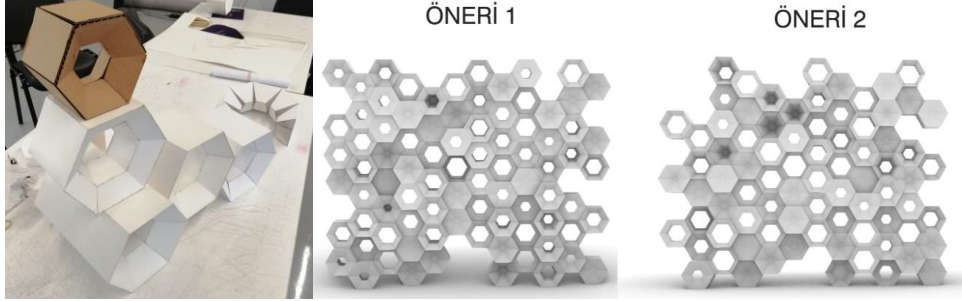
Atölye sürecinde bir ürün ortaya konulacağı için standart egzersiz çalışmaları belirlenmemiştir. Egzersiz süreçleri, dönem başında malzeme olanakları ve varsa ihtiyaçlar dikkate alınarak belirlenmektedir.



Şekil 43. Bir öğrenci grubunun geliştirmiş olduğu üretim uygulaması

▪ **Alternatif geliştirme:** Öğrenciler hem sayısal ortamda alternatif fikirler geliştirirler hem de üretim sürecine ilişkin alternatif denemeler yaparlar. Bu süreçte farklı malzeme

kullanımları, farklı detay çözümlmeleri denenerek en doğru üretim şekli tespit edilmeye çalışılmaktadır (Şekil 44).



Şekil 44. Altıgen duvar üretimine ve sayısal modele ilişkin denemeler

1:1 ölçekli egzersiz süreçleri sayısal modelleme süreçlerini, teknik bilgiyi, sayısal üretim yöntemlerini bir araya getirerek ürünler ortaya koymaya odaklanmaktadır. Bir dönem içerisinde bir veya iki tane üretim yapılır. Böylelikle süreç tasarımdan üretime kadar deneyimlenerek bir bütün halinde ele alınabilmiş olmaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Çalışma kapsamında değerlendirme amacıyla portfolyo yöntemi ve öğrenci görüşleri değerlendirme ölçeği kullanılarak öğrencilerden egzersiz süreçleri ile ilgili geri dönüşler alınmıştır. Bunlara ek olarak her dönem sonunda uygulanan final çalışmaları irdelenmiş ve öğrencilerin üretmiş oldukları ürünler üzerinden atölye süreçlerinin başarısı tartışılmıştır. Kullanılan değerlendirme yöntemlerine ilişkin bulgular, atölye süreçleri boyunca yapılan gözlemlerle de bütünleştirilerek tartışılmıştır.

Portfolyolar öğrenciler tarafından dönem boyunca düzenli bir biçimde hazırlanmıştır. Portfolyo yöntemi ile öğrencinin hem egzersizler özelinde hem de dönem boyunca sergilediği performans ölçülebilmektedir. Öğrencinin egzersize bakış açısı, nerede zorlandığı, nerede başarılı olduğu gibi konular portfolyo ile görünür hale gelmektedir. Ayrıca öğrencinin dönem başı ile dönem sonu arasındaki fark da böylelikle görülebilmektedir.

Öğrenci görüşlerinin ölçülmesine yönelik değerlendirme ölçeği dönem başında ve dönem sonunda uygulanmış olup, genel eğilimin değişimi gözlenmeye çalışılmıştır. Değerlendirme ölçeğinde sayısal düşünmeye ilişkin genel sorular ve egzersizlere yönelik sorular yer almaktadır.

Final çalışmalarına yönelik değerlendirmede ise her dönem sonunda atölyenin temasına uygun olarak belirlenmiş olan öğrenci çalışmaları irdelenmiştir. Final çalışmaları, öğrencilerin bir tasarım problemini, sayısal tasarım sürecinden sayısal üretim sürecine kadar kendi başlarına kurguladığı ve deneyimlediği bir süreçtir. Öğrencinin dönem sonunda geldiği seviyeyi görebilmek ve verilen tasarım problemine yaklaşımı, üretim sürecinde karşılaştığı problemleri çözebilme becerisini keşfedebilmek için ortaya çıkan sonuç ürünler ve final çalışması sürecinde yapılmış olan gözlemler önem taşımaktadır.

3.1. Portfolyo Yöntemine Yönelik Bulgular

Geometriye, sayısal üretim yöntemlerine, malzemeye ve 1:1 ölçekli üretim süreçlerine ilişkin uygulamalar, portfolyolardan edinilen bilgiler ve egzersiz süreçlerinde gerçekleştirilen gözlemler bağlamında irdelenmiştir.

Atölye süreçleri biçim grameri egzersizleri ile başlamaktadır. Bu uygulama sayısal düşünme sürecinin bir deşifresi gibi görüldüğü için uygulanmıştır. Tüm dönemler boyunca edinilen gözlemler kapsamında bu egzersizin sayısal düşünmenin ne olduğunu öğretmek açısından faydalı olduğu gözlenmiştir. Biçim grameri egzersizlerinde temel geometriye sahip bir başlangıç biçimin tanımlı kurallar çerçevesinde adım adım gelişerek karmaşıklaşması söz konusudur. Bu karmaşıklaşma sürecinin görünür bir biçimde gerçekleşmesi öğrencilerin bir tasarım sürecini adım adım ve sayısal ilişkileri ile deşifre etme konusunu doğru bir biçimde göstermektedir. Biçim grameri egzersizi öğrenci ile sayısal düşünme konusunda aynı dili konuşabilmek adına faydalı bir başlangıç egzersizidir.

Biçim grameri egzersizleri aynı zamanda sayısal tasarım ve fabrikasyon laboratuvarındaki araçlar ile tanışma konusunda da olanak sağlamaktadır. Bu egzersizin sonuç ürünleri CNC lazer kesim cihazı ile üretilmekte ve öğrenciler bir ürünün sayısal üretim araçları ile üretimi konusunda fikir sahibi olabilmektedirler. Üretim sürecinde öğrenciler CNC lazer kesim cihazı ile üretimi doğrudan deneyimledikleri için ders sürecine olan ilgi artmakta ve döneme motive bir başlangıç yapabilmektedirler. Bu durum öğrencinin egzersiz süreçlerine olan ilgisini artırmakta ve aidiyet duygularının gelişmesine yardımcı olmaktadır.

Portfolyo yöntemine ilişkin bulgular, öğrencilerin amaç ve öğrenim çıktılarına ilişkin yorumlarına da değinmektedir. Öğrencilerin portfolyolarında belirtmiş olduğu görüşler derlenerek tablolar halinde sunulmuştur. Bazı egzersiz çalışmalarının ikili öğrenci grupları halinde gerçekleştirilmiş olması nedeni ile öğrenci görüşlerinde belirtilmiş olan benzer ifadelerin yalnızca biri tabloda belirtilmiştir. Burada amaç istatistiki bir veri elde etmek değil, öğrenci görüşleri ile egzersiz süreçleri öncesinde yürütücü tarafından belirlenmiş olan amaç ve öğrenim çıktıları verilerini karşılaştırabilmektir. Böylelikle egzersizin öğrenci tarafından nasıl algılandığı ve hangi noktaların eksik kaldığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.1.1. Geometri Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular

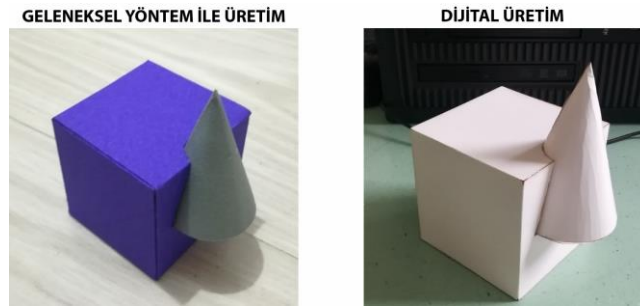
Geometri odaklı atölye çalışması odaklı MSM I dersi 26 öğrenci ile tamamlanmıştır. Atölye sürecine ilişkin bulgular her egzersiz için önceden hazırlanmış olan özet tablolarda yer alan egzersizin amacı ve öğrenim çıktıları ile her öğrencinin portfolyosundan alınmış olan “Sizce bu uygulamanın amacı nedir?” ve “Bu uygulamadan ne öğrendiniz?” sorularına verdikleri cevaplar tablolar halinde bir araya getirilmiştir. Yürütücünün egzersizleri hazırlama sürecindeki öngörülerini ile öğrencilerin yorumları karşılaştırılmıştır. Böylelikle

egzersizin öğrenci tarafından ne derece anlaşıldığı ve hedefine ulaştığı yorumlanmıştır. Yorumlar her bir egzersiz özelinden ayrı ayrı ele alınmıştır.

▪ Uygulama-2| Öklidyen Geometrilerin Sayısallaştırılması Egzersizi Bulguları:

Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizi sürecinde basit geometrik biçimler ve bunların belirli bir kompozisyon içerisinde birbirleri ile kurdukları ilişkiler sayısal olarak açığa çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu egzersizin basit geometrik biçimlerle yürütülmesinin sebebi öğrencinin geometrinin kendisinden sayısallaştırma sürecine yoğunlaşmasını sağlayabilmektir. Tasarım sürecinin sayısal ilişkiler ile adım adım deşifre edilmesi, açığa çıkarılan bu ilişkilerin parametrik modele aktarılması gibi dönem boyunca uygulanacak diğer egzersizlerin de temeli olan durumlar bu egzersiz üzerinden açıklanmaktadır.

Çalışmanın yapma odaklı kısmı hem geleneksel hem de dijital yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada birbiri içerisine girmiş iki öklidyen biçime ait açılım geleneksel yöntemlerle çizilmiş ve elle üretilmiştir. İkinci aşamada ise benzer işlemler sayısal modelleme aracıyla yapılmış ve cisim açılımı sayısal ortamda elde edilerek CNC lazer kesim cihazı ile kesilmiştir. Öğrencilerin geleneksel süreçte boşluklu öklidyen biçimin açılımını üretmekte zorlandıkları, bu durumu maket üzerinde deneyerek çıkarmaya çalıştıkları gözlenmiştir. Çalışmanın bu kısmında öğrenciler geleneksel ve dijital arasındaki farkları karşılaştırabilme fırsatı bulmuşlardır.



Şekil 45. Aynı ürünün geleneksel ve dijital olarak üretimi

Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizinin amacı öğrencilerin sayısal ilişkiler üzerine yoğunlaşabilmesini sağlayan temel öklidyen biçimlerin kullanılması ile sayısal düşünmenin temellerinin öğretilmesi olarak belirlenmiştir. Portfolyo çalışmalarından edinilen öğrenci görüşleri değerlendirildiğinde çalışmanın amacının öğrenciler tarafından da algılanabildiği görülmektedir.

Tablo 34. Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizinin amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırması

Amaç	Öğrenci Görüşleri
Öğrencilerin sayısal ilişkiler üzerine yoğunlaşabilmesini sağlayan temel öklidyen biçimler kullanılarak sayısal düşünmenin temellerinin öğretilmesi.	Ö5: Sayısal ve mantıksal düşünmeyi geliştirerek doğru şekiller elde etmeyi sağlamak ve hayal gücünü geliştirmektir.
	Ö7: Burada amaç geleneksel yöntem ve dijital üretimle yapılan maket arasındaki farkı anlamaktır.
	Ö12: Çalışmadaki amaç cisimlerin açılımlarını bularak nasıl üretileceğini anlamaktır.
	Ö20: Çalışmanın amacı ise karmaşık cisimlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin algılanması ve tanımlanmasıdır.
	Ö22: İç içe girilmiş veya üst üste bulunan cisimlerin açılımlarını belirleyip dijital ortamda üretimini sağlamayı öğrenmektir.
Ö24: Bu çalışmanın amacı, iç içe geçmiş olan iki cismi birleşim yerlerinin belirlenip açılımının çizilip kolay bir şekilde birleştirilmesini ve dijital olarak üretimi sağlamaktır.	

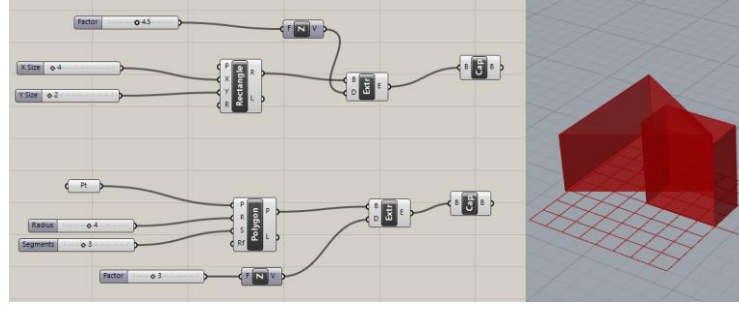
Egzersiz çalışmasına yönelik öğrenim çıktıları ve öğrenci görüşleri karşılaştırıldığında öğrencilerin en çok konvansiyonel yöntemle sayısal yöntem arasındaki farklılığa yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum sayısal tasarım süreçlerinin konvansiyonel tasarım yaklaşımları ile bütünleşik olarak ele alınmasının doğru bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Böylelikle öğrenci aşına olduğu konvansiyonel tasarım yöntemleri ile ilişki kurarak öğrenmeyi gerçekleştirebilmektedir.

Öğrenim çıktılarına yönelik öğrenci görüşlerinde parametrik modelleme süreçleri ile bağlantılı çıktılara yeteri kadar değinilmediği görülmüştür (Tablo 35). Bu durumun öğrencilerin parametrik model ile ilk kez karşılaşmış olmaları ve egzersiz sürecinin daha çok sayısal ilişkilerin belirlenmesi ve tasarım aşamalarının adım adım deşifre edilmesine odaklanması nedeniyle ortaya çıkmış olabileceği söylenebilir. Öğrenciler henüz parametre kavramına odaklanması gerektiğini anlayamamıştır. Bu durumun egzersiz süreçleri ilerledikçe değişmesi beklenmektedir.

Tablo 35. Öklidyen geometrilerin sayısallaştırılması egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Sayısallaştırma sürecine nasıl yaklaşması gerektiğini öğrenmek.	Ö4: Bu çalışmada alışagelen geleneksel yöntemlerle birlikte dijital ortamda ne tür mantıkla formların oluşturulduğu öğrenildi.
Sayısal düşünme sürecinin ne olduğu ve nasıl gerçekleştiği ile ilgili temel bilgileri edinmek.	Ö12: İç içe geçmiş olan karmaşık cisimlerin açılımının nasıl yapılacağı ve bu cisimlerin geleneksel ve dijital yollarla nasıl üretileceği öğrenildi.
Bir kompozisyonu oluşturan alt parçaları sayısal ilişkiler bağlamında keşfedebilmek.	Ö8: Koninin yarıçapının doğru hesaplanması gerektiği anlaşıldı. Ö13: Bu çalışma sonucunda açılımlarını çizilen cisimlerin her bir parçasının nereye geleceğini düşünmek, buna göre eklemeler(kulak vs.) ya da çıkartmalar yapılması gerektiğini ve aynı zamanda dijital ortamda üretimleri öğrenildi.
Grasshopper® modelindeki parametrelerin gerçek dünyadaki karşılığını öğrenmek.	Ö20: Açılımı çizilen şekillerin üçüncü boyutta nereye geleceği öğrenildi ve aynı zamanda maket yapılırken doğru şekli elde edebilmek için bazı eklemeler yapılması gerektiği öğrenildi.
Cisimlerin parametrelerinin değiştirilmesi ile farklı kompozisyonların oluşturulabildiğini öğrenmek.	<i>Öğrenciler bu öğrenim çıktısı ile ilgili görüş bildirmemişlerdir.</i>
Cisim açılımlarını konvansiyonel ve sayısal yöntemlerle gerçekleştirerek ikisi arasındaki farklılıkların kavranmasını sağlamak.	Ö5: Dijital üretimin geleneksel yöntemlerle üretimden daha kolay, temiz ve hızlı olduğu öğrenildi.
	Ö7: Bu çalışmayla dijital üretimin, geleneksel yöntem ile üretime kıyasla daha hızlı bir kesim ve düzgün bir cisim ortaya koyduğu anlaşıldı.
	Ö9: Üç boyutlu cisim hem dijital ortamda hem de geleneksel yöntemle modellendi. Bilgisayarla elde yapımın farkı anlaşıldı.
	Ö10: Geometrileri dijital ortama aktararak elde etmenin hem daha garantili hem de daha hızlı olduğunu öğrendim.
	Ö19: Dijital üretim ile geleneksel üretimin arasındaki farkları anladım.
	Ö21: Dijital yöntemin zor ve karışık olduğu ve geleneksel yöntemin daha verimli olabileceği hakkındaki görüşümü değiştirdi.
	Ö23: Farklı konumlandırılmış geometrik cisimlerin açılımının yapılması öğrenildi. Geleneksel yöntem üretimle dijital üretim arasındaki farklılıklar anlaşıldı.
	Ö26: Bu çalışmayla dijital üretimin, geleneksel yöntem ile üretime kıyasla daha kolay ve başarılı olduğunu öğrendim.

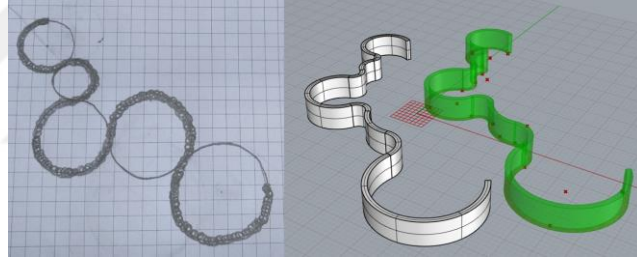
Süreç içerisindeki gözlemler ve öğrenci görüşlerinden hareketle öklidyen geometrilerin sayısallaştırması egzersizinin amaç ve hedefleri karşıladığı; geometriye yönelik uygulamalar serisinin başlangıç egzersizi olmasının olumlu sonuçlar verdiği söylenebilmektedir. Öğrenciler sayısal modelleme sürecinde istenilen biçimleri, sayısal modelleme mantığına uygun olarak modelleyebilmişlerdir (Şekil 46). Bu egzersizde sayısal ilişkiler temel biçimler kullanılarak sorgulanmış ve bu açıdan bir başlangıç egzersizi olarak başarılı olmuştur.



Şekil 46. Öğrenci 10 tarafından üretilmiş sayısal model

▪ Uygulama – 3| Eğrisel Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi Bulguları:

Eğrisel yüzeylerin uygulaması sürecinde öğrencilerin eğrisel kompozisyonların sezgisel yollarla oluşturulduğu varsayımına farklı bir bakış açısı getirilmeye çalışılmıştır. Bu uygulama ile eğrisel biçimlerin aslında birer kuralı olduğunu, bu kuralın açığa çıkarılması ile aynı eğrinin tekrar tekrar aynı şekilde çizilebileceği gösterilmektedir (Şekil 47).



Şekil 47. Öğrenci 1'e ait çizim ve sayısal model

Eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizinin amacı geometrik ilişkilerin yalnızca temel öklidyen biçimlerde değil; eğrisel biçimlerde de olabileceğini göstermek ve kurallı geometrilerin oluşum mantığını tartışabilmek olarak belirlenmiştir. Öğrenci görüşleri değerlendirildiğinde çalışmanın amacı ile doğrudan bağlantılı ifadelerin yer aldığı görülmektedir. Bu ifadelerde geometrik biçimlerden yola çıkılarak eğrisel yüzeyler elde edebilmek, belirli kurallar çerçevesinde eğrisellikler oluşturmak, dairesel biçimlerden yola çıkılarak kurallı eğrisellikler üretmek gibi tespitler ön plana çıkmaktadır. Bu durum öğrencilerin çalışmanın amacını anlayabildiklerini göstermektedir.

Tablo 36. Eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

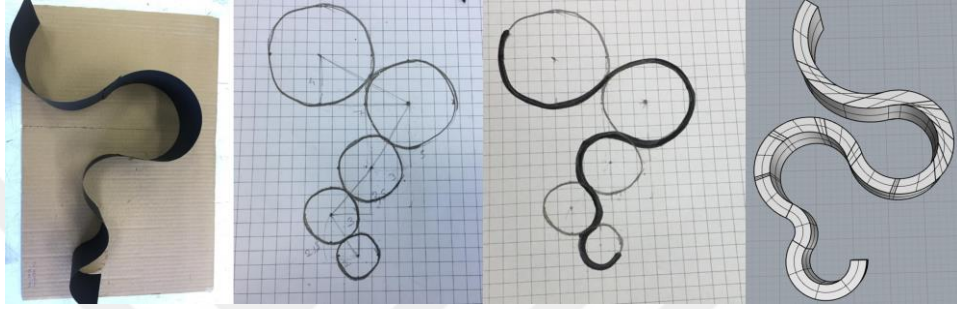
Amaç	Öğrenci Görüşleri
Geometrik ilişkilerin yalnızca temel Öklidyen biçimlerde değil; eğrisel biçimlerde de olabileceğini göstermek ve kurallı geometrilerin oluşum mantığına ilişkin fikir verebilmektir.	Ö3: Aslında en başında düzgün bir geometriye sahip olan cisimleri eğrisel yüzeylere çevirirken adım adım neler yapılacağını öğretmek.
	Ö4: Amaç geleneksel yöntemlerle yapılan bu çalışmanın dijital ortama nasıl, hangi yöntemlerle aktarılacağı ve aralarında nasıl bir ilişki kurulacağını anlaşılmamasını sağlamaktır.
	Ö6: Bu çalışmanın amacı daireler arasındaki ilişkileri belirleyip modelleyebilmektir.
	Ö8: Şekiller arasında kurulan ilişkinin doğru aktarılmasının önemi anlatıldı.
	Ö10: Bence bu çalışmanın amacı eğrisel organik yüzeylerin, asal geometrik şekillerden elde edilebileceğini görmemizi sağlamaktır.
	Ö12: Geometrik şekilleri belirlenen bir kurala göre öteleyip elde edilen biçimlerden eğrisel yüzeyler oluşturmak amaçlanmıştır.
	Ö13: Bu çalışmanın amacı eğrisel bir form oluşturulurken bu formun elde edilmesinin kavratılmasıydı.
	Ö16: Çalışmanın amacı eğrisel formların da belirli geometrik cisimler sayesinde oluşunun kavranmasıdır.
	Ö22: Geometrik şekilleri belirlenen kurala göre ilişkilendirerek öteleyip yüzeyler arasında eğrisellikler oluşturmak amaçlanmıştır.
	Ö23: Çalışmanın amacı farklı yarıçaplı silindiler arasındaki düzeni algılayarak bir form oluşturmak.
	Ö25: Bütünden parçaya doğru bir şekil elde etmek .Bu şekilde çemberin yaylarını kullanarak birleşik farklı yaylar elde etmek.

Egzersiz çalışmasının öğrenim çıktıları, bir biçimin arka planında yer alan geometrik ilişkileri sorgulamak, karmaşık geometrileri basite indirgeyerek düşünebilmek ve konvansiyonel süreçler ile sayısal süreçlerin bir bütün halinde değerlendirebilmektir. Öğrencilerin görüşleri ile öğrenim çıktılarının büyük ölçüde çakıştığı görülmektedir. Bu bağlamda egzersizin öğretme yönünden hedefine ulaştığı söylenebilir. Öğrencilerin çoğunluğu karmaşık geometrilerin içerisindeki temel geometrileri farkına varmayı öğrendiklerini söylemişlerdir.

Tablo 37. Eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Bir biçimin arka planında yer alan sayısal ilişkileri sorgulamak.	Ö8: Elle yapılan formda değerler tahmini verildiği için oluşan şekil daha düzensiz ve tahminiydi. Rhino programı kullanıldığında oluşan sonuç tahmini değil kesindi. Rhino programında matematiksel değerlerin nerede ve nasıl kullanılacağı daha iyi anlaşıldı.
	Ö14: Aynı tür geometrik cisimlerin farklı oranlarda birleşmesiyle örüntü oluşturulması öğrenildi.
	Ö16: Bu çalışma sayesinde eğrisel yüzeylerde parametrelerin ne şekilde ve hangi geometriler üzerinde kullanılacağı daha iyi kavrandı.
	Ö25: Çalışmada farklı boydaki çemberlerden farklı farklı yaylar elde etmeyi öğrendim.
Karmaşık geometrilerin içerisindeki temel geometrilerin farkına varabilmek. Geometriye ilişkin bilgileri katmanlaştırarak daha karmaşık geometriler elde edebilmek.	Ö1: Silindirlerin kesilerek eğrisellik oluşturulduğu öğrenildi.
	Ö2: Eğrisel yüzeylerin silindir ve benzeri cisimlerden oluştuğu öğrenildi.
	Ö4: Daire biçimlerinin birbirine bir noktadan bağlı olmasından farklı olarak İki daire biçiminin arasında yay elde edilebildiği durumu öğrenildi.
	Ö6: Bu çalışmadan dairelerin merkezleri ve teğetlik durumları arasında ilişki kurma öğrenildi.
	Ö7: Bu çalışmayla silindirler arasında ilişki kuruldu. Belli bölgelerde seçilen yaylar çıkartılarak eğrisel bir yüzey oluşturma öğrenildi.
	Ö10: Eğrisel yüzeyler elde etmek için asal formlardan yararlanabileceğimi öğrendim.
	Ö11: Yaptığımız işlemlerin tanjant yayıyla kesişim noktalarının belirlenip kesilerek yapıldığı öğrenildi. Silindirlerin kesilerek eğrisellik oluşturulduğu öğrenildi.
	Ö12. Bu çalışmadan geometrik biçimlerin birbiriyle ilişki durumları ve bunların bir ürüne nasıl dönüştürüleceği öğrenildi.
	Ö13: Daha önceden kavranılmayan bütüncül yaklaşımdan parçaya inme durumu kazanıldı. Eğrisel formun oluşturulurken ne tür deformasyonların ya da eklemelerin kullanılabileceği öğrenildi.
	Ö18: Daireler yan yana gelince farklı noktalardan dikey yönde kestiğimizde eğrisel yüzeylerin oluştuğunu öğrendim.
	Ö19: Geometrik cisimlerin boyut farklarının oluşması ile ve bu geometrilerin birleşmesiyle yeni bir geometrinin oluşmasının kolaylığı öğrenildi.
	Ö21: Bu çalışma ile dizdiğimiz silindirlerin ortak ilişkilerini (teğetlik) bulup bu ilişkiler yardımı ile ortaya çıkan yayları birleştirmeyi ve bu yaylardan 3 boyutlu bir sonuç ürünü ortaya çıkarmayı öğrendik.
	Ö22: Geometrik biçimlerin birbiriyle ilişki durumları ve sonuç ürüne dönüşümleri öğrenildi.
	Ö23: Oluşan sonuç formunun belirli düzgün bir geometriye bağlı olduğunu ve bu düzgün geometriden yola çıkılarak bu forma ulaşıldığı öğrenildi.
Konvansiyonel yöntemde uygulama / ortaya çıkarma süreçleri ile sayısal yöntemdeki düşünme / ortaya çıkarma süreçlerinin benzer olabileceğini göstermek.	Ö3: Geleneksel yöntemle düzgün geometriden eğrisel geometri oluşturma öğrenildi.
	Ö9: Eğrisel modellerin bilgisayarda ve elle nasıl yapılacağı anlaşıldı. Bu eğrilerin dairelerin birbirleriyle olan bağlantılarından ortaya çıktığı anlaşıldı.

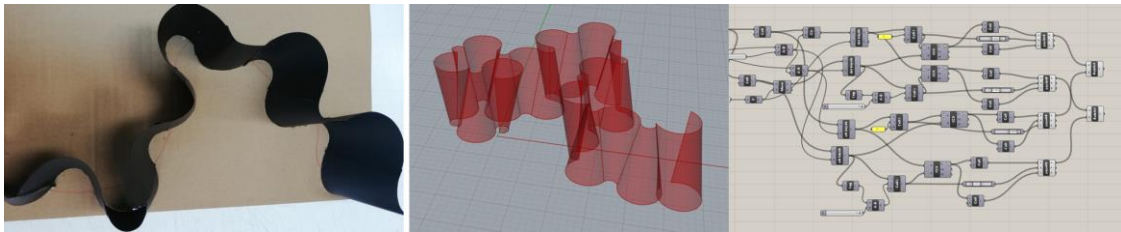
Öğrenci portfolyoları incelendiğinde öğrencilerin derste üretmiş oldukları eğrisel yüzeyleri sayısal ortamda modelleyebildikleri görülmektedir (Şekil 48). Öğrencilerin ders uygulaması sürecinde belirlemiş oldukları sayısal ilişkileri parametrik modelleme sürecinde doğru bir şekilde kullanabildikleri tespit edilmiştir. Bu durum, egzersizin öğrenciler tarafından başarı ile sonuçlandırıldığını ve sayısal düşünmenin geliştirilmesi açısından faydalı bir egzersiz olarak nitelendirilebileceğini göstermektedir.



Şekil 48. Öğrenci 6'ya ait eskizler, fiziksel ve sayısal modeller

▪ Uygulama-4| Çift Eğrilikli Yüzeylerin Sayısallaştırılması Egzersizi Bulguları:

Çift eğrilikli yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi Uygulama-3'te elde edilen eğrisel hattı altlık olarak kullanarak, aynı hat üzerinde çift eğrilikli bir yüzeyin kurgulanmasına odaklanmıştır. Böylelikle bilgiyi katmanlaştırarak yeni kurguların üretilmesi sağlanmıştır. Parametrik model sürecinde de önceki modelde elde edilen verilerin dönüştürülmesi ve üzerine yeni parametrelerin eklenmesi söz konusudur. Böylelikle gittikçe karmaşıklaşan bir parametrik modelin aşama aşama üretilmesi sağlanmaktadır. Bu durum öğrenciye karmaşık gibi gözükken parametrik modellerin altında yatan mantığı gösterebilmek açısından önemlidir.



Şekil 49. Öğrenci 8'e ait konvansiyonel ve sayısal üretim

Egzersiz kapsamında yürütücü tarafından tanımlanmış olan amaç, temel geometrileri kullanarak çift eğrilikli bir yüzey elde edebilmek ve böylelikle karmaşıklığın içindeki basit geometrinin sorgulanmasını sağlamaktır. Öğrencilerin tespit etmiş oldukları amaçlar ile yürütücü tarafından belirlenmiş olan amaçların örtüştüğü gözlenmektedir. Egzersizin temel geometrik biçimleri ele alarak karmaşık geometrileri üretme amacının öğrenciler tarafından da vurgulandığı görülmektedir.

Tablo 38. Çift eğrilikli yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

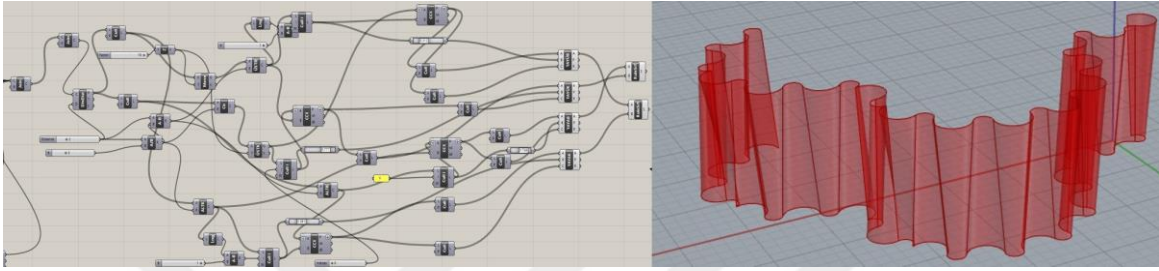
Amaç	Öğrenci Görüşleri
Temel geometrileri kullanarak çift eğrilikli yüzeyin elde edilmesi ve böylelikle karmaşıklığın içindeki basit geometrinin sorgulanmasıdır.	Ö2: Bu çalışmanın amacı düzgün geometrik şekillerden eğrisel bir yüzey elde etmektir.
	Ö3: Amaç ise böyle zor bir eğrisel yüzeyin aslında basit geometrilerden elde edilebileceğini göstermektir.
	Ö6: Amaç karmaşık yüzeylerin nasıl kolay bir şekilde oluşturulduğunun anlaşılmasıdır.
	Ö9: Çalışmanın amacı düzgün geometrik cisimlerden eğrisel bir cisim elde etmektir.
	Ö16: Çalışma ile beraber eğrisel yüzeylerin oluşturulmasındaki temel geometrik cisimlerden geçtiği anlaşıldı.
	Ö20: Çalışmanın amacı karışık eğrisel yüzeyleri kolayca üretebilmeyi fark etmektir.

Egzersiz çalışmasının öğrenim çıktıları, konvansiyonel üretim ile sayısal modelleme arasında bağlantı kurabilme, geometrik ilişkileri görme becerilerini geliştirebilme olarak belirlenmiştir. Öğrencilerin egzersiz sürecinden öğrendiklerini düşündükleri durumlar ile öğrenim çıktılarının büyük ölçüde çakıştığı görülmektedir. Özellikle geometrik ilişkileri görme becerilerini geliştirdiklerini düşünen öğrenci sayısının çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu uygulama kapsamında parametrik modelleme süreçlerine atıfta bulunan öğrenci sayısının da artmış olduğu görülmektedir. Bu durum öğrencilerin parametrik modelleme süreçleri ile fikirlerinin oluşmaya başladığını göstermektedir.

Tablo 39. Çift eğrilikli yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Öğrenci sonuç ürünü bilmeden üretim adımlarını gerçekleştirmektedir. Üretim adımları Grasshopper® ortamında da benzer adımlarla gerçekleştirilmektedir. Böylelikle konvansiyonel üretim ile sayısal üretim arasındaki ilişki kurulabilmektedir.	Ö3: En sonunda çıkan ürün belirli parametrelere sahip bir eğrisel yüzeydir.
	Ö20: Bir eğrisel formu nasıl birden fazla yolla elde edilebileceğini ve aslında karışık görünen bu yüzeylerin nasıl kolayca üretilebileceğini öğrendim.
	Ö21: Bu çalışmadan karmaşık ve parametrik dizinlerin nasıl oluştuğunu ve hangi parametrelere bağlı olduğunu kısacası bu dizinlerin iç yüzünde hangi geometrik temelleri olduğunu öğrendik.
	Ö4: Konilerin belli oranla bir araya gelerek nasıl çift yüzeyler oluşturulduğu öğrenildi.
	Ö6: Karmaşık eğrisel bir yüzeyin basit bir geometrik form ile nasıl kolayca elde edildiği öğrenildi.
	Ö7: Oluşturulması zor olarak görülen eğrisel yüzeyler aslında geometrik şekillerin belirli bir hat üzerinde bir araya gelip tekrarlanması sonucu oluşur. Çalışmada kullanılan konilerin alt ve üst tabanlarında bulunan daireler farklı yarıçaplara sahip oldukları için yatayda ve düşeyde farklı eğrisel yüzeyler elde edildi.
	Ö8: Organik formlar belirli bir geometriye oturtulduğunda elde edilen form daha düzenli bir hale gelmektedir.
	Ö9: Eğrisel yüzeylerin düzgün geometrik cisimlerden elde edileceği öğrenildi.
	Ö10: Farklı asal formlardan eğrisel yüzeyler oluşturabileceğimi öğrendim.
	Ö11: Eğrisel yüzeyleri bütün olarak algılamaya başlandı.
	Ö12: Çeşitli biçimlerin nasıl birbiriyle ilişkilendirildiği ve bunlarla nasıl eğrisel yüzeyler oluşturulabileceği öğrenildi.
	Ö13: Eğrisel yüzeyleri bütün olarak algılamaya başlandı ve aslında başka formların boşaltılması ya da eklenmesi ile elde edilebilecekleri öğrenildi.
	Ö15: Geometrik cisimlerden farklı değişkenler nasıl yüzeyler oluşturulduğunu öğrendim.
	Ö16: Çalışma ile beraber eğrisel yüzeylerin oluşturulmasındaki temel geometrik cisimlerden geçtiği anlaşıldı.
	Ö18: Geometrik cisimlerden farklı değişkenler nasıl yüzeyler oluşturulduğunu öğrendim.
Ö19: Organik formların da bir düzeni olduğu öğrenildi.	
Ö23: Çift eğrilikli yüzeyler oluşturmak için belirli geometrilerden faydalanılarak daha kurallı bir sonuç elde edilebileceği öğrenildi.	
Ö24: Eğrisel hat veya yüzeylerin aslında belli bir geometrik şekiller yardımıyla oluşturulabileceği öğrenildi.	
Ö26: Oluşturulması zor olarak görülen eğrisel yüzeyler aslında geometrik şekillerin belirli bir hat üzerinde bir araya gelip tekrarlanması sonucu daha kolay bir şekilde elde edilebildiğini öğrendim	
Öğrencinin geometrik ilişkileri görme becerisi gelişmektedir.	

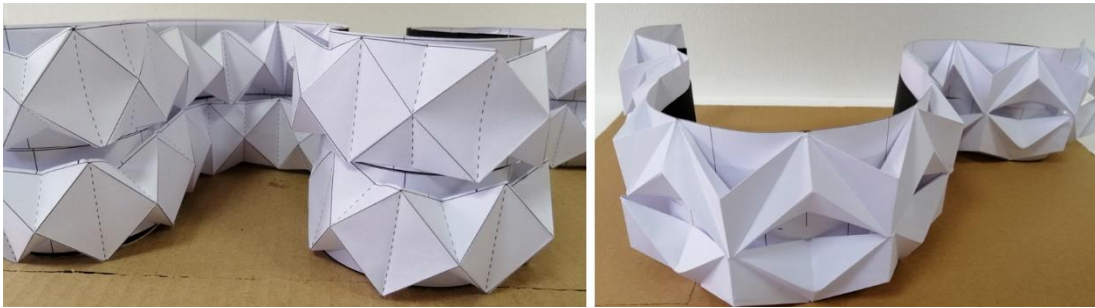
Portfolyolarda yer alan sonuç ürünler incelendiğinde öğrencilerin çoğunluğunun sayısal modelleme sürecini derste üretmiş olduğu fiziksel modele uygun olarak başarabildiği görülmektedir. Bu uygulama ile birlikte sayısal modelin karmaşıklaştığı ama yine de öğrencilerin sayısal ilişkileri doğru bir biçimde bir araya getirebildikleri görülmektedir. Sayısal modelleme süreci ile ilgili sorunları olan öğrencilerin çalışmaları ise derste irdelenmiş ve öğrencilerin modelleme sürecini tam olarak anlayabilmeleri sağlanmıştır.



Şekil 50. Öğrenci 13 tarafından üretilmiş sayısal model

▪ Uygulama-5| Dönüşen Birimler Egzersizi Bulguları:

Dönüşen birimler egzersizi de Uygulama-3'te elde edilmiş olan eğrisel yüzeyi altlık olarak kullanmaktadır. Egzersiz katlama yöntemi ile elde edilmiş bir yüzeyin mevcut eğrisel yüzeye uygulanması sürecine odaklanmaktadır. Katlanarak oluşturulan yüzeyin eğrinin biçimine göre boyut değiştirmesine ve benzer bir sistemin parametrik model üzerinde kurgulanmasına odaklanılmaktadır. Bu egzersizde biçimin kendisinin de bir parametre olabileceği gösterilmektedir.



Şekil 51. Uygulamanın yapma odaklı aşamasında üretilen çalışmalardan örnekler

Egzersizin amacı her biri aynı ölçüye sahip alt birimlerin eğrisel bir yüzeye uygulandığında farklı ölçü ve açılarda dönüşümünü deneyimleyebilmek olarak belirlenmiştir. Öğrenci görüşleri irdelendiğinde; eğrisel bir yüzey üzerinde doku oluşturmak, geleneksel yöntemler kullanılarak üretim mantığını anlayabilmek, bir alt birimin yüzeye dönüşmesini deneyimlemek gibi ifadelerin kullanıldığı görülmektedir. Egzersiz için belirlenmiş olan amacın görüşlerle paralel olduğu görülmektedir.

Tablo 40. Dönüşen birimler egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

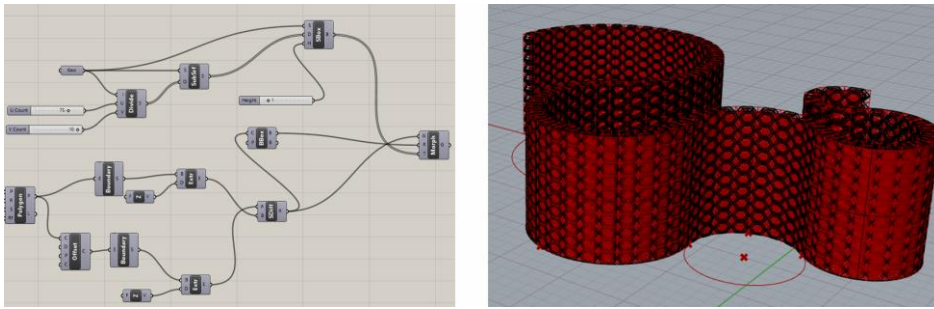
Amaç	Öğrenci Görüşleri
Her biri aynı ölçüye sahip alt birimlerin eğrisel bir yüzeye uygulandığında farklı ölçü ve açılarla dönüşümünü deneyimlemektir.	Ö4: Amaç yüzeyde farklı tip formun nasıl duracağını görüp karşılaşılan zorluklarda nasıl çözümlerin elde edileceğini bulmak.
	Ö6: Bu çalışmanın amacı dokulu bir eğrisel yüzey oluşturmaktır.
	Ö7: Çalışmada cephe kaplamaları hakkında fikir elde edildi.
	Ö8: Tasarlanan bir alt birimin nasıl yüzeye dönüştürüleceği ve bu yüzeye nasıl doku verileceği öğrenildi.
	Ö9: Yüzeysel parametrik cisim oluşturmaktır.
	Ö12: Bu çalışmadaki amaç eğrisel bir yüzey üzerine farklı bir doku oluşturmaktır.
	Ö13: Çalışmanın amacı 2 boyuttaki biçimleri farklı parametreler ile katlayarak üç boyuta aktarmak ve bu farklı formların eğrisel yüzeyin üzerindeki etkisini görmektir.
	Ö21: Çalışmanın amacı; karmaşık dizinleri belli parametrelerle nasıl oluşturduğumuzu ve olan dizini parametrelere nasıl indirgeyebileceğimizi üç boyutlu düşünerek kavramak.
	Ö22: Çalışmanın amacı eğrisel yüzeyler üzerinde doku oluşturmayı öğrenmektir.
	Ö26: Amaç ; dijital ortamda üretebileceğimiz dokulu yüzeyin üretim mantığını geleneksel yöntemler kullanarak anlamaktır.

Egzersize ilişkin öğrenim çıktıları, standart olmayan seri üretim mantığını öğrenebilmek, tasarlanan bir alt birimin bir yüzeye uygulanma mantığını çözebilmek ve benzer fakat farklı ölçülere sahip parçaların sayısal ortamda modelleyebilmek olarak belirlenmiştir. Öğrenim çıktıları ile ilgili görüşler irdelendiğinde öğrencilerin çoğunlukla yüzey tasarımı ile ilgili çıkarımlara yer verdikleri görülmektedir. Egzersizin önemli öğrenim çıktılarından biri olan standart olmayan seri üretime yapılan vurgu hiçbir öğrenci tarafından raporlanmamıştır. Bu durum egzersizin bu yönünün zayıf kaldığına işaret etmektedir. Standart olmayan seri üretime vurgu yapabilmek için elde edilen sonuç ürünün sayısal üretim araçları ile de üretilmesi sağlanabilir. Böylelikle öğrenciler konvansiyonel ve sayısal üretim yöntemleri arasındaki farkı görebilirlerdi. İleriki çalışmalarda egzersizin bu eksiği giderilerek uygulanması daha doğru bir sonuç verecektir.

Tablo 41. Dönüşen birimler egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Öğrenci standart olmayan seri üretimin mantığını öğrenmektedir.	<i>Öğrenciler bu öğrenim çıktısı ile ilgili görüş bildirmemişlerdir.</i>
Tasarlanan bir alt birimin geniş bir yüzeye uygulanması mantığı öğrenilmektedir.	Ö3: Bir cephenin daha doğrusu eğri bir cephenin başka bir eğri yüzeyle kaplanması öğrenildi.
	Ö4: Eğrisel yüzeylerde farklı formların nasıl elde edildiği öğrenildi.
	Ö5: Düz eğrisel bir yüzey üzerine dokunun nasıl oluşturulabileceği öğrenildi.
	Ö8: Düzensiz formların yüzeyinin nasıl kaplanabileceği öğrenildi.
	Ö11: Farklı formların eğrisel yüzeye aktarımı öğrenildi.
	Ö12: Geometrik biçimlerden oluşan bir dokunun eğrisel bir yüzey ile nasıl birleştirileceği öğrenildi.
	Ö23: Düzgün olmayan geometrik bir formun yüzeylerini, istenilen geometrilerle ve şekillerle kaplanması öğrenildi.
Birbirine benzer fakat farklı ölçülerdeki parçaların sayısal tasarım yöntemleri ile modellenmesi öğrenilmektedir.	Ö25: Eğrisel yüzeylere parametrik elemanlar eklemeyi öğrendik. Eğrisel yüzeylere parametrik eleman ekleyince deformasyon olduğunu gördük.
	Ö24: Bu çalışmada yeni bir yüzey veya kabartılı bir desen oluşturmak için ne yapılabilir öğrenildi. Yapılan bu yüzey Rhino ve Grasshopper'da nasıl modellenir öğrenildi. Bu çalışmayla birçok farklı yüzey oluşturulabilir.
	Ö26: Bu çalışmada Grasshopper'da üretebileceğimiz yüzeylerin geleneksel yöntemle nasıl yapılacağını öğrendim .

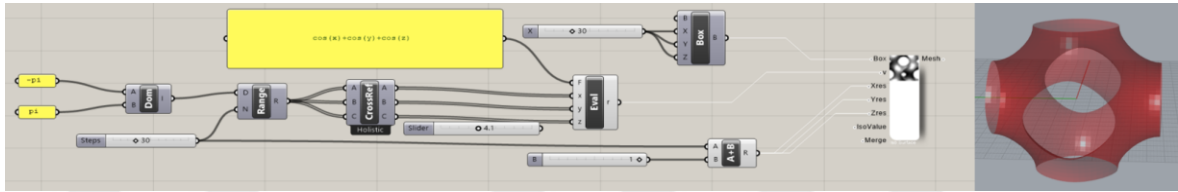
Çalışmanın sayısal modelleme süreci öğrencilerin çoğunluğu tarafından başarı ile tamamlanabilmiştir. Sayısal modelleme sürecinde bir yüzeyin belirlenmiş olan bir modül ile kaplanması sağlanmış ve modüllerde meydana gelen ölçü farklılıkları gözlenmiştir (Şekil 52). Buna benzer durum origami ile üretilmiş olan yüzeylerde de gözlemlendiğinden, öğrencinin yaparak deneyimlediği sonucu sayısal ortamda da deneyimleyebilmesi sağlanmıştır.



Şekil 52. Öğrenci 23 tarafından üretilen sayısal model

▪ Uygulama-6| Karmaşık Geometriler Egzersizi Bulguları:

Karmaşık geometriler egzersizi dönem boyunca yürütülmüş olan uygulamaların sonucusudur. Bu uygulamada parametresi matematiksel fonksiyonlar olan karmaşık geometriler kullanılmıştır. Bu egzersiz aynı zamanda final çalışmasının da altlığını oluşturmaktadır. Egzersiz çalışmasında doğrudan sayısal modelleme üzerinde çalışılmaya başlanmış ve matematiksel denklemlerin görsel karşılıkları araştırılmıştır (Şekil 53).



Şekil 53. Öğrenci 6'nın ürettiği sayısal model

Karmaşık geometriler egzersizinin amacı bir matematiksel fonksiyondan yararlanarak geometrik bir biçim üretmek ve fonksiyonun parametrelerini değiştirerek alternatif geometriler modelleyebilmektir. Öğrenci görüşleri irdelendiğinde öğrencilerin matematik ile tasarım arasındaki ilişkiyi alışageldiklerinden farklı bir tarzda yorumlayabildikleri görülmektedir. Formların aslında birer matematiksel karşılığı olduğu ve bu matematiksel karşılığın tasarımın bir parametresi olabileceği kavranmıştır.

Tablo 42. Karmaşık geometriler egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Amaç	Öğrenci Görüşleri
Bir matematiksel fonksiyondan yararlanarak geometrik bir biçim üretmek ve bu fonksiyonun parametrelerini değiştirerek alternatif karmaşık geometriler modelleyebilmek.	Ö4: Çalışmanın amacı farklı formüller kullanarak ve farklı formüller elde ederek parametrik biçimlerin elde edilmesini kavramak.
	Ö6: Bu çalışmanın amacı karmaşık cisimlerin matematiksel bir formülünün olduğunun farkına varılmasıdır.
	Ö10: Matematiksel formüller kullanarak karmaşık geometriler oluşturmaktır.
	Ö11: Çeşitli formüller kullanılarak geometriler oluşturmaktır.
	Ö12: Çalışmadaki amaç karmaşık geometrileri formüller kullanarak oluşturmaktır.
	Ö13: Geometriler kullanılarak tasarlanması zor formlara kolayca ulaşıldı.
	Ö15: Matematik ve geometriyi birleştirerek katı cisim elde etmektir.
	Ö21: Çalışmadaki amaç matematik denklemlerinin varyasyonlarını kullanarak karmaşık parametreler öğrenmek ve uygulamaktır.
	Ö23: Bu çalışmanın amacı, düzgün geometride olmayan cisimlerin formüller yardımıyla oluşturulabileceğidir.
Ö26: Sayısal değerler kullanarak belirli formüllere sahip olan geometrik formlar oluşturmak.	

Öğrencilerin son egzersizle birlikte parametre, alternatif üretimi gibi konulara daha fazla vurgu yaptıkları görülmektedir. Bu durum dönem boyunca yürütülmüş olan bütün egzersizlerde vurgulanmış olup, sayısal tasarımın ve parametrik modelleme mantığının en önemli taraflarından biridir. Öğrenciler dönem içerisindeki egzersizler ilerledikçe bunun farkına daha çok varmaya başlamışlardır.

Tablo 43. Karmaşık geometriler egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Sayısal modelleme süreçleri ile matematiksel formüllerin nasıl bir arada kullanılabileceği öğrenilmektedir. Karmaşık geometrik biçimlerin de bir matematiksel karşılığı olduğu öğrenilmektedir. Geometrik biçimin matematiksel fonksiyonunda değişiklikler yapılarak da manipüle edilebileceği öğrenilmektedir.	Ö4: Formüllerin geometrik formları oluşturmada görevi ve bu formüllerde x y z değişkenleri ya da değerlerinin değişmesi durumunda formlara ne tür etkisi olduğu öğrenildi. Değerlerin değişmesi halinde formun hangi sınırlar içinde değiştiği öğrenildi.
	Ö5: Bu çalışmada matematik denklemleriyle çok sayıda ve çeşitte parametrik form oluşturulabileceği anlaşıldı.
	Ö7: Grasshopper ekranında parametreleri değiştirdiğimiz zaman farklı şekiller elde edildi. Karmaşık şekillerin düzgün geometrik cisimlerden oluştuğu anlaşıldı.
	Ö8: Düzgün olmayan şekillerin belirli bir denklem oluşturularak modellenmesi öğrenildi.
	Ö15: Matematiksel formüllerden üç boyutlu cisimlerin nasıl elde edildiğini öğrendim.
	Ö21: Bu çalışmada karmaşık matematik denklemleriyle oynayarak parametrelili şekilleri yapmayı öğrendik.
	Ö23: Düzgün olmayan cisimlerin formüller yardımıyla modellenmesi öğrenildi.
	Ö24: Bu çalışmada belirsiz biçimdeki modellerin aslında temelinde bir matematik ve geometriye dayandığı öğrenildi. Matematiksel formüllerle şekil oluşumu gözlemlendi.
	Ö25: Düzgün geometriden parametrik tasarım yapmasını öğrendik. Bazı formüllerin oluşturduğu şekilleri öğrendik.
	Ö26: Bütün geometrik formların bir formülü olduğunu öğrendim.
Grasshopper® programının farklı eklentilerle bir arada çalışma mantığı öğrenilmektedir. Bu sayede sayısal modelleme sürecinin zenginleştirilmesi sağlanmaktadır.	Ö6: Bu çalışmada karmaşık geometrik cisimlerin Grasshopper'da nasıl modelleneceği öğrenildi.
	Ö11: Geometrilerin formülleri kullanılarak Grasshopper ortamında nasıl yansıtıldığı öğrenildi.
	Ö12: Karmaşık geometrilerin formüller kullanılarak Grasshopper üzerinde nasıl modelleneceği öğrenildi.
	Ö22: Bu çalışmadan belirgin bir formu olmayan karmaşık geometrilerin formüller aracılığıyla Grasshopper ile nasıl oluşturulacağı öğrenildi.

Karmaşık geometriler egzersizinin öğrenim çıktıları matematiksel fonksiyonların tasarım sürecinin bir parçası haline getirilmesi ve bu ilişkinin Grasshopper® üzerinde modellenebilmesi olmak üzere iki ana başlıkta değerlendirilmektedir. Öğrenci görüşleri

çoğunlukla formun matematik ile ilişkisine odaklanmaktadır. Buna ek olarak formun Grasshopper® üzerinde modelleme süreçlerini öğrendiklerine de vurgu yapmaktadırlar.

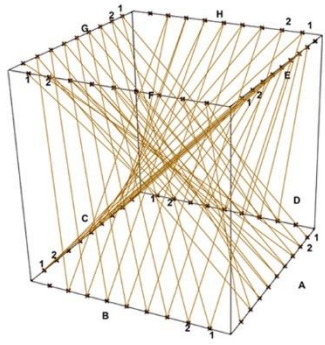
Geometri odaklı egzersizler bir bütün halinde ele alındığında basitten başlayarak giderek karmaşıklaşan geometrilerin sayısal ilişkilerinin tartışıldığı ve elde edilen verilerin parametrik model oluşturma sürecinde kullanıldığı bir süreç olduğu görülmektedir. Geometri odaklı egzersizler dört dersten oluşan seçmeli ders serisinin ilkinde gerçekleştirildiği için konvansiyonel yöntemle sayısal tasarım süreçlerinin ortak noktalarına odaklanmaya çalışılmıştır. Böylelikle dersi almış olan dördüncü dönem öğrencilerinin mevcut bilgileri ile sayısal tasarım süreçlerini bağdaştırabilmeleri hedeflenmiştir. Egzersizlerle ilgili öğrenci görüşleri ve yürütücü tanımlamaları bir bütün halinde değerlendirildiğinde uygulamalar ilerledikçe yürütücü ve öğrencinin aynı dili konuşmaya başladıkları görülmektedir. Ders içi gözlemlerden ve öğrenci görüşlerinden hareketle uygulamalar ilerledikçe öğrencilerin sayısallaştırma konusuna daha bilinçli yaklaşmaya başladıkları görülmektedir. Bu durum egzersizlerin gerçekleştirilme sırası ve yöntemi açısından uygulanabilir olduğu sonucunu getirmektedir.

3.1.2. Malzeme Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular

Malzeme odaklı egzersizlere yönelik bulgular, sayısal düşünmeye yönelik belirlenmiş olan egzersiz süreçlerinin malzeme ile ilişkisi üzerinden değerlendirilmesini içermektedir. Öğrencilerin portfolyolarında belirtmiş olan görüşler ele alınarak, egzersiz süreçlerinin amaç ve öğrenme çıktılarının başarısı yorumlanmıştır.

▪ Uygulama-2| Örüntü Egzersizi Bulguları:

Örüntü egzersizi sürecinde öğrenciler, aynı özelliklere sahip küp alan içerisinde farklı kurullarla oluşturulan örüntüler elde etmişlerdir. Belirli sabitlerin farklı kurgular ile ele alınması ile tasarlanan örüntüler, tasarım sürecinde parametre kullanımının önemini açığa çıkarmaktadır. Her öğrenci, arkadaşının tarif ettiği adımları gerçekleştirerek fiziksel ürünü ortaya çıkarmıştır. Bu durum, makine dilinin bir simülasyonu olarak tarif edilebilir. Bu egzersiz sürecinde öğrenciler, makine çalışma prensibini ilkel yollarla deneyimlemişlerdir.



SAYISAL AÇIKLAMA

1.ADIM	2.ADIM	3.ADIM	4.ADIM	5.ADIM	6.ADIM	7.ADIM	8.ADIM
A1-G1	A2-G2	A3-G3	A4-G4	A5-G5	A6-G6	A7-G7	A8-G8
G1-B1	G2-B2	G3-B3	G4-B4	G5-B5	G6-B6	G7-B7	G8-B8
B1-H1	B2-H2	B3-H3	B4-H4	B5-H5	B6-H6	B7-H7	B8-H8
H1-C1	H2-C2	H3-C3	H4-C4	H5-C5	H6-C6	H7-C7	H8-C8
C1-E1	C2-E2	C3-E3	C4-E4	C5-E5	C6-E6	C7-E7	C8-E8
E1-D1	E2-D2	E3-D3	E4-D4	E5-D5	E6-D6	E7-D7	E8-D8
D1-F1	D2-F2	D3-F3	D4-F4	D5-F5	D6-F6	D7-F7	D8-F8
F1-A2	F2-A3	F3-A4	F4-A5	F5-A6	F6-A7	F7-A8	F8-A9

Süreklilik sağlaması için F1-A2 bağlanarak devam edildi.

ÖRÜNTÜ AÇIKLAMASI

Örüntü ilk olarak 1 den başlayarak aynı sayılar bağlandı. Karşılık gelecek kenarlar ilk önce düz-çapraz, çapraz-çapraz, düz-çapraz, çapraz-çapraz... olacak şekilde ilerleyecektir.

Şekil 54. Öğrenci 5 tarafından tarif edilen örüntü adımları

Örüntü egzersizinin amacı, belirli kurallar içerisinde oluşturulan örüntünün ortaya çıkış sürecinin açığa çıkarılarak üretim adımlarının belirlenmesidir. Çalışmanın amacı ile ilgili öğrenci görüşleri irdelendiğinde, öğrencilerin çoğunluğunun “örüntü oluşturma” fikrinin üzerinde durduğu görülmektedir. Öğrenciler, örüntüyü oluşturan her bir noktanın küp içerisindeki yerini birer parametre olarak tanımlamakta, bu noktaların birleştirilmesiyle oluşturulan çizgilerin kendi içinde bir kuralı olduğuna da değinmektedir. Öğrenci görüşleri (Tablo 44) ile çalışmanın amacının çakışmakta olduğu görülmektedir. Bu durum, egzersizin amacına uygun olarak kurgulanabilmiş olduğunu göstermektedir.

Tablo 44. Örüntü egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Amaç	Öğrenci Görüşleri
Belirli bir kural içerisinde örüntü oluşturulması ve bu örüntünün adım adım yazılarak üretim adımlarının belirlenmesi.	Ö1: Parametrik bir örüntünün nasıl yapıldığını öğrenmek. Bir küp üzerinde parametrik olarak bir noktadan bir noktaya çizgi çizilerek örüntü elde edebilmektir.
	Ö2: Belirli noktalar arasında doluluk-boşluk ve tekrara dikkat ederek örüntü oluşturmaktır.
	Ö3: Küp üzerinde bulunan her bir nokta ve çizgiyi birer parametre olarak değerlendirmek. Bir noktadan farklı bir noktaya çizgiler çizerek bir örüntü elde etmek.
	Ö5: Küp ile belirlenmiş alanda kenar nokta ilişkisi kurarak örüntü ve düzen oluşturmak.

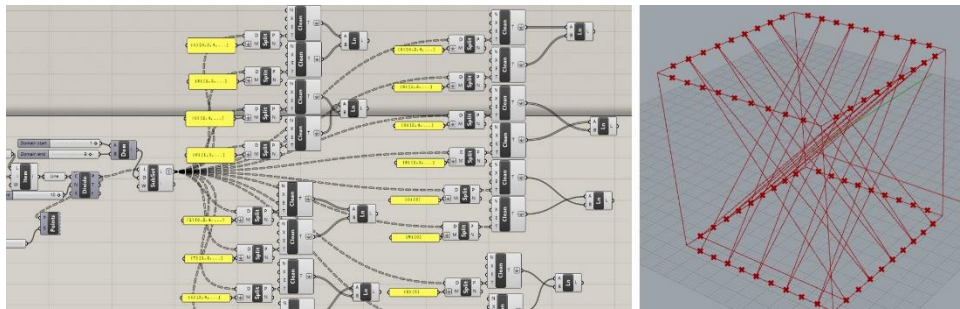
Örüntü egzersizinin öğrenme çıktıları iki boyutlu bir malzemenin belirli sayısal ilişkiler içerisinde çoğaltılarak üç boyutlu bir etki elde edilmesi ve örüntüyü oluşturan her bir adımın koordinat sistemi içerisinde bir karşılığı olduğuna dikkat çekmektedir. Bunlara ek olarak çalışma, makine dili olan G-kodunun çalışma mantığına da atıfta bulunmaktadır. Öğrenciler açıklamalarında (Tablo 45) örüntüyü oluşturan nokta ve çizgilerin parametre olarak tanımlanması sayesinde, bu parametrelerde yapılan değişikliklerle farklı örüntülerin

oluşturulabileceğine dikkat çekmiştir. Öğrencilerden biri, yapılan çalışmayı bir kodlama sistemi olarak görmüştür. Çalışmanın sayısal düşünmeye yönelik gerçekleştirilen ikinci çalışma olmasına rağmen, parametre, seçenek üretme, kodlama gibi kavramların öğrencilerin zihinlerinde yer etmeye başladığı söylenebilmektedir.

Tablo 45. Örüntü egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
İki boyutlu bir malzemenin belirli kural/ lar içerisinde çoğaltılarak üç boyutlu bir etki elde edilmesi öğrenilmektedir.	Ö2: Yapılacak şeylerin, aslında bir düzlem gibi dar bir kapsamda kalmayıp, bir nokta için bile birçok çizgisel seçeneğin olduğu öğrenildi.
Sayısal olarak belirlenen ilişkilerin üç boyuttaki karşılıkları deneyimlenmektedir.	Ö3: Parametrik tasarımda örüntü yaparken her bir şekli bir parametre olarak kullanmalıyız. Böylece kolayca farklı sonuçlar elde edebiliriz ve bu sonuçların kontrolünü sağlarız.
	Ö4: Farklı uzunlukta çizgilerin birbirini takip ederek kesilme olmadan 3 boyutlu bir görüntü oluşturmayı öğrendim.
	Ö5: Küp içerisinde belirlenmiş sayısal veriler kullanılarak örüntü-yüzey-biçim ilişkisini kavradım.
Örüntü oluşturulması sürecinde yapılan her bir hareketin belirli bir koordinat sistemi içerisinde karşılığı olduğu görülmektedir.	
Makine dili olan G-kodu'nun oluşturulma mantığı öğrenilmektedir.	Ö1: Parametrik örüntü yapmak için ilk olarak matematiksel kodlama gibi bir şey üretmemiz lazım. Böylece örüntü kontrol edilebilir ve isteğe bağlı olarak değiştirilebilir.

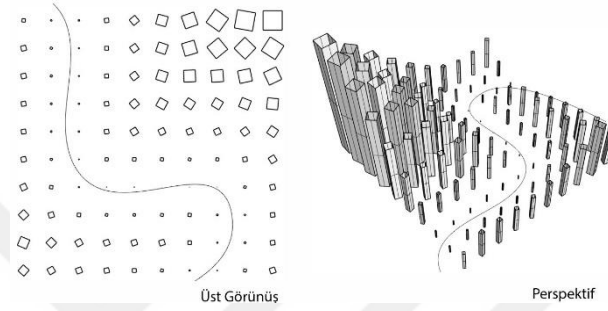
Çalışmanın ikinci aşamasında öğrenciler, yaparak öğrenme sürecinde elde etmiş oldukları fiziksel modellerin bir benzerini sayısal ortamda üretmişlerdir (Şekil 55). Bu süreçte noktaların birbirleri ile belirli kurallar içerisinde birleştirebilmeyi öğrenmişlerdir. Bu modelleme süreci karmaşık ilişkiler içermesine rağmen öğrenciler tarafından başarılabildiği görülmektedir.



Şekil 55. Öğrenci 2'nin ürettiği sayısal model

▪ Uygulama-3| Etkileşim Egzersizi Bulguları:

Etkileşim egzersizi 2,5 boyutlu etkiye sahip bir malzemenin üç boyutlu etkiye sahip bir kompozisyona dönüşüm sürecini ele almaktadır. Bu süreçte parametre bir sayısal değer değil bir dış etkidir. Kompozisyonu oluşturan alt parçaların yükseklik, genişlik, açı gibi fiziksel özellikleri dış etkene göre değişmektedir. Çalışma özelinde bu dış etken eğrisel bir çizgi olarak tanımlanmıştır (Şekil 56).



Şekil 56. Eğrisel çizgiye göre oluşturulan kompozisyon

Egzersizin amacı, ahşap malzemenin fiziksel özelliklerinin bir çizgiye veya noktaya olan uzaklığına göre belirlenen bir kural çerçevesinde dönüştürülmesidir. Öğrenci görüşlerinde bütün öğrencilerin bu duruma dikkat çektikleri görülmektedir. Uygulamada bir dış etken parametre olarak tanımlanmış olup bu dış etkenin şekli ve nerede durduğu bütün kompozisyonu etkilemektedir. Kompozisyonun sayısal değerleri tek tek hesaplanmamakta, referans biçimi ile kompozisyonu oluşturan biçimler arasındaki uzaklığa göre belirlenmektedir.

Tablo 46. Etkileşim egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

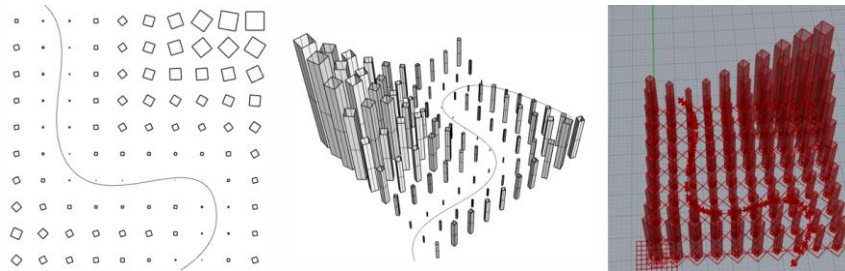
Amaç	Öğrenci Görüşleri
Ahşap blokların bir çizgi veya noktaya olan uzaklığına göre fiziksel özelliklerinin (yükseklik, açı, vb) kurallı bir biçimde dönüştürülmesi.	Ö1: Bir referans çizgiye bağlı olarak kare prizmaların yerleşimi ve büyüklüklerini farklılaşmakta ve bu durum tasarıma yansıtılmaktadır.
	Ö2: Bir nokta veya çizgi referans alınarak, yapılacak tasarımın ölçülerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.
	Ö3: Bir eğrisel çizgiye bağlı olarak kare prizmaların yerleşimi ve büyüklükleri farklı olacak şekilde tasarım yapılmıştır.
	Ö4: Bir eğriyi referans alarak, genişleyen alanlara doğru 3. boyutta farklılaşan geometriler oluşturmak.
	Ö5: Eğrisel çizgi referans alınarak, bu çizgiye göre yakınlık-uzaklık büyüklük-küçüklük arasında ilişki kurmak.

Egzersiziz öğrenim çıktıları, sayısal modeli oluşturan parametrelerin sayısal değerler yerine biçimlerin de olabileceğini ve dış bir etkene göre sayısal modelin nasıl oluşturulabileceğini göstermektedir. Bu durum, gerçekte bir nehrin çevresel yerleşimi etkilemesi olarak karşılık bulabilir. Öğrenci görüşleri incelendiğinde, öğrencilerin iki temel öğrenim çıktısına da değindiği görülmektedir.

Tablo 47. Etkileşim egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Bir malzemenin fiziksel özelliklerinin (yükseklik, açı, vb.) bir dış etkene bağlı olarak değişiminin modellenmesi öğrenilmektedir.	Ö3: Parametrik tasarım yaparken seçilen bir şekle bağlı olarak diğer şekillerin yerleşim düzeni ve büyüklükleri değişebilir. Bu çalışmada çizgi ile etkileşimli olarak kare prizmaların yerleşim açıları ve büyüklükleri değişmiştir.
Kurulan parametrik bir modelin dış etkene göre durumuna göre sürekli güncellenebileceği öğrenilmektedir.	Ö4: Bir eğrinin etrafında, belli sayısal verilere dayalı olarak, farklı şekillerde farklı yönlerde farklı uzunluklarda farklı uzaklıklarda geometriler çoğaltılabileceğini öğrendim.
Parametrik bir modelde parametrenin yalnızca sayıdan ibaret olmadığı, biçimlerin de birer parametre olabildiği öğrenilmektedir.	Ö5: Kare alan içinde belirlenmiş noktaları eğrisel çizgi üzerine kendine en yakın noktaya gelecek şekilde atayarak biçimler arası ölçeklendirme yapmayı öğrendim.
	Ö1: Parametrik tasarım yapmak için bir şekle bağlı olarak da yapabiliriz. Mesela bu çalışmada, eğrisel çiziyeye bağlı olarak, onu sağ sola çekerek, kare prizmaların yerleşimi açıları ve büyüklükleri değişmiştir.
	Ö2: Herhangi bir şey tasarımın parametrik referansı olarak kullanılabilir.

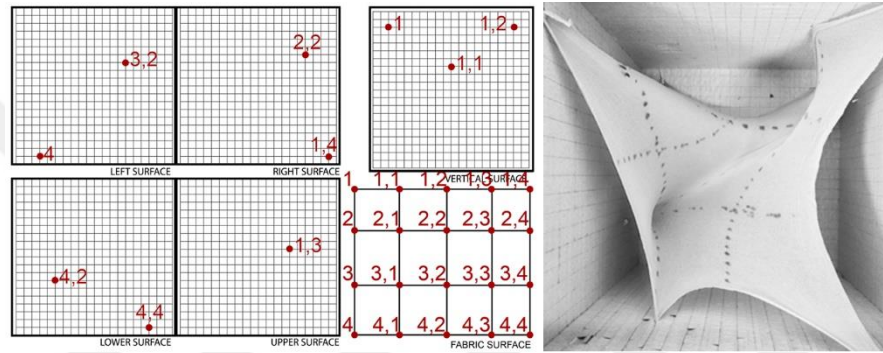
Malzeme odaklı atölye çalışmalarının bundan sonraki kısmı Covid-19 salgını nedeni ile uzaktan eğitim kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle egzersizler, pilot çalışma olarak gerçekleştirilmiş olan uygulamaların sonuç ürünleri ile desteklenmiş ve pilot çalışmada üretilen sonuç ürünler sayısallaştırma aşamasında kullanılmıştır. Öğrenciler sayısallaştırma süreçlerini görselleri yorumlayarak gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 57. Öğrenci 3 tarafından üretilmiş olan sayısal model

▪ Uygulama-4| Gergi Strüktür Egzersizi Bulguları:

Gergi strüktür egzersizi, kumaş gibi iki boyutlu etkiye sahip esnek bir malzemenin belirli gergi ve ankraj noktaları yardımıyla bir hacme dönüştürülmesine odaklanmaktadır. Egzersizde sayısal ilişkiler malzeme üzerindeki gergi noktalarının ve yüzeyler üzerindeki ankraj noktalarının sayısallaştırılması ile belirlenmiştir. Ankraj ve gergi noktaları eşleştirmeleri fiziksel modelde olduğu şekliyle sayısal modele taşınmış ve fiziksel modelin aynısının sayısal ortamda da elde edilmesi sağlanmıştır. Modelleme aşamasında “Kangaroo” eklentisinden de yararlanılmıştır.



Şekil 58. Gergi ve ankraj noktalarının sayısallaştırılması ve fiziksel model

Gergi strüktür egzersizinin amacı, iki boyutlu bir malzemenin üzerinde gergi noktalarının belirlenmesi ile kurallı bir hacim oluşturabilmektir. Böylelikle, gergi strüktürlerin tasarlanma ve sayısal ortamda modellenmesi ile ilgili süreç deneyimlenmiştir. Bu egzersizde problem tanımı, öğrencilerin daha önceden de bildikleri gergi sistemler üzerinden yapıldığı için, öğrencilerin amaç tanımlarını net bir biçimdeki yapabildikleri görülmüştür (Tablo 48).

Tablo 48. Gergi strüktür egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

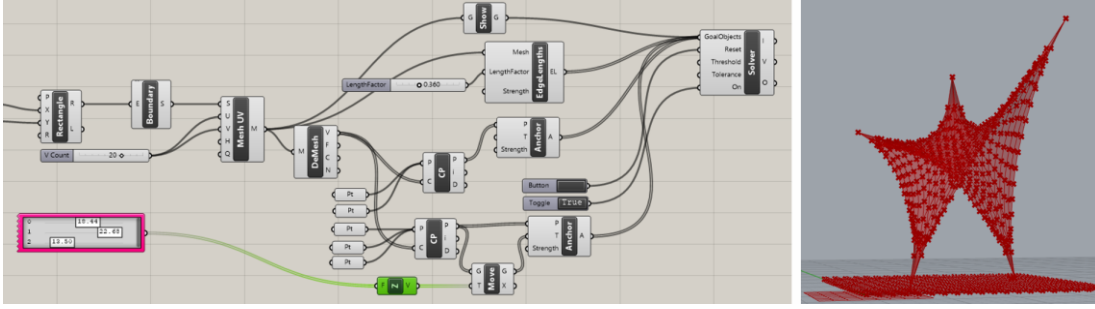
Amaç	Öğrenci Görüşleri
İki boyutlu malzeme üzerinde gergi noktalarının belirlenmesi ile kurallı bir hacim oluşturulması. Elde edilen strüktürün Grasshopper® programı ile modellenmesi.	Ö1: Gergi strüktür, germeye elverişli malzemeler kullanılarak ve belirlenen noktalardan gerilerek oluşturulur.
	Ö3: Germeye elverişli malzemeler üzerinde istenen noktalardan gerilerek gergi strüktür elde edilmiştir.
	Ö4: Bir yüzeyi bir gergi strüktüre dönüştürebilmek.
	Ö5: X,Y,Z yönlerinde noktalar belirlenerek bu noktalar arası gergi yüzey oluşturmak.

Gergi strüktür egzersizinin öğrenim çıktıları, iki boyutlu bir yüzeyin hacme dönüştürülmesini deneyimlemek ve strüktürü oluşturan gergi ve ankraj noktalarının sayısallaştırılarak sayısal ortamda modellenemesidir. Öğrenciler yapmış oldukları yorumlarda, malzeme üzerindeki noktalar ile yüzeyler üzerindeki noktaların eşleştirilmesinden söz etmişlerdir. Öğrenciler egzersiz sonunda gergi strüktürlerin hem fiziksel ortamda oluşturulmasına yönelik hem de sayısal ortamda modellenmesine yönelik fikir sahibi olmuşlardır.

Tablo 49. Gergi strüktür egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

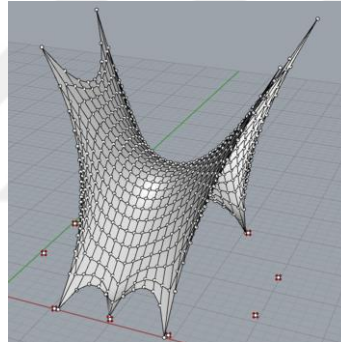
Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
İki boyutlu bir yüzeyin kurallı bir üç boyutlu hacme dönüştürülme sürecini deneyimlemek.	Ö3: Parametrik tasarımda gergi strüktürler üretilecek malzeme üzerinde ve çalışma yüzeylerinde belirlenen noktalar ile eşleşerek üretilir.
	Ö4: Yüzey üzerinde noktalar belirleyip bu noktaları çekerek gergi strüktürü oluşturmayı öğrendim.
Gergi strüktürlerin oluşturulma sürecindeki sayısal ilişkilerin farkına varabilmek.	Ö1: Gergi strüktür üretmek için birtakım parametreler gerekir. Malzeme üzerinde belirlenen noktalar ankraj noktaları ile eşleştirilerek gergi strüktür elde edilebilir.
Malzeme üzerindeki gergi noktalarını ve yüzeyler üzerindeki ankraj noktalarını sayısal olarak belirleyebilmek ve gergi strüktürü parametrik olarak modelleyebilmek.	Ö5: Bazı mimari yapılardaki amorf strüktürlerin ve gergi yüzeylerin nasıl elde edildiğini öğrendim. Bu yüzeylerin x,y,z yönlerinde belirlenmiş noktalarının farklı ölçülerde çekilmesi ile gergi yüzeyler elde edilmesini öğrendim.

Öğrenciler tarafından üretilmiş olan sayısal modeller değerlendirildiğinde, yalnızca bir öğrencinin sayısal modeli doğru bir biçimde oluşturabildiği, diğer öğrencilerin ise modelleme sürecinde sorun yaşadıkları tespit edilmiştir. Bu durumun, yaparak öğrenme odaklı üretim sürecinin uzaktan eğitim nedeni ile olması gerektiği gibi gerçekleştirilemediğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Y yaparak öğrenme aşamasında öğrenci konvansiyonel modelleme sürecini birebir deneyimleyerek sayısal ilişkileri elle gerçekleştirmekte ve bu nedenle süreci algılaması daha kolay olmaktadır. Ancak uzaktan eğitim sürecinde malzemeye ulaşma sorunları, pandeminin yeni başlamış olması gibi nedenlerden dolayı, başkası tarafından üretilmiş bir ürünün görseli üzerinden çıkarım yapmaya çalışmışlardır. Bu durum ise sayısal modelleme sürecine başarısızlık olarak yansımıştır.



Şekil 59. Öğrenci 5 tarafından üretilmiş sayısal model

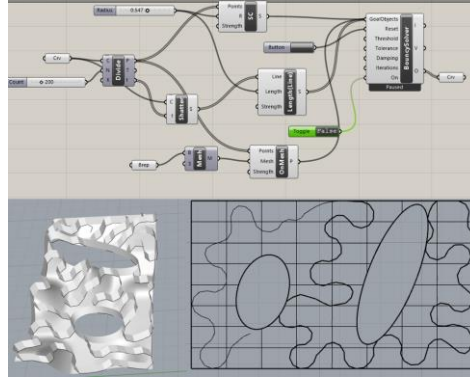
Pilot uygulamalar kapsamında gerçekleştirilmiş olan uygulamalarda ise sayısal modelleme süreçlerinin daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Bu durum, egzersiz süreçlerinin belki de değişmekte olan eğitim süreçlerine uyum sağlayabilmek açısından güncellenmesi gerekliliğini beraberinde getirmektedir.



Şekil 60. Pilot çalışma sürecinde bir öğrenci tarafından üretilmiş olan sayısal model

▪ Uygulama-5| Parametrik Mutasyon Egzersizi Bulguları:

Parametrik mutasyon egzersizi, malzeme odaklı atölye çalışması kapsamında ve final çalışması haricinde uygulanan son egzersizdir. Bu nedenle sayısal modelleme bilgisi bir adım ileri taşınarak “Kangaroo” eklentisi de modelleme sürecine dahil edilmiş ve malzeme davranışının modellenmesi öğretilmiştir. Bu egzersiz sürecinde, diğerlerinden farklı olarak, önce sayısal modelleme süreci gerçekleştirilmiş, sonrasında da elde edilmiş olan sonuç ürün ahşap stok malzeme içerisinde robotik frezeleme yöntemi ile üretilmiştir. Bu egzersiz, üç boyutlu bir malzemenin sayısal fabrikasyon yöntemleri ile işlenmesine odaklanmaktadır. Çalışmanın modelleme aşamasında bir çarpışma simülasyonu üretilerek ahşap yüzey üzerinde desen oluşturulmuştur.



Şekil 61. Parametrik mutasyon egzersizinin sayısal modellemesi

Çalışmanın amacı, birbiriyle çarpışıp dağılan birimlerin taklit edilmesiyle bir yüzey örüntüsü oluşturmak ve bu yüzeyi sayısal fabrikasyon yöntemi ile üretmektir. Öğrencilerden yalnızca iki tanesi bu amaca yönelik fikir belirtebilmişlerdir. Dönem boyunca yapılan diğer çalışmalara nazaran daha soyut bir düşünme içeren bu modelleme tekniği, öğrencilerin ilk defa karşılaştıkları bir teknik olması nedeniyle, egzersiz sürecini tam olarak anlayamamış olabilecekleri düşünülmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için, egzersize ayrılan ders sayısı artırılarak, çeşitli örneklerle öğrenme süreci pekiştirilebilir.

Tablo 50. Parametrik mutasyon egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Amaç	Öğrenci Görüşleri
Birbirleriyle çarpışıp dağılan birimlerin taklit edilmesiyle bir yüzey örüntüsü oluşturmak ve elde edilen ürünü sayısal fabrikasyon yöntemi ile üretmek.	Ö2: Çizgileri buldukları akstan şaşırtmaktır.
	Ö5: Düzgün bir biçim üzerinde eğrisel çizgiler üzerinde noktalar belirleyerek biçimde eksiltme boşaltma yapmak.

Parametrik mutasyon egzersizinin öğrenim çıktıları, sınırları belirli bir yüzey içerisinde malzeme davranışını taklit etmek, bu durumu sayısal ortamda modelleyebilmek ve robotik üretim sürecini deneyimleyebilmektir. Öğrenciler, ilk iki öğrenim çıktısı ile ilgili vurgu yapmışlardır. Ancak hiçbiri robotik üretim sürecine değinmemiştir. Bu durum, Covid-19 salgını nedeni ile uzaktan eğitim yapıldığı için öğrencilerin üretim sürecini birebir deneyimleyememiş olmalarından kaynaklanıyor olabilir. Egzersiz süreci yüz yüze yapılabilmiş olsaydı, üretimin tüm detayları tüm detayları yaparak öğrenme süreci ile gerçekleştirilebileceği ve böylelikle sürecin akılda kalıcılığının artırılacağı düşünülmektedir.

Tablo 51. Parametrik mutasyon egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Sınırları belirli bir yüzey içerisinde malzeme davranışını taklit etmek.	Ö2: Çizgilerin belli bir aksının olmayabileceği, sonsuzda veya bir çerçeve içinde birbirinden ayrılmadan serbestçe var olabileceği; tasarım yaparken de çizgilerimizi sabit bir bakış açısı içinde kalmadan serbest, özgürce kullanabileceğimiz öğrenildi.
	Ö3: Bir yüzey üzerinde eğrisel yüzeyler oluşturulabilir bu eğrisel yüzeyler çıkartılabilir yükseltilebilir. Parametrik tasarım ile tüm girdiler kontrol edilebilir ve kaydedilebilir.
	Ö5: Düzgün bir biçimin üzerine eğrisel çizgiler belirleyip bu çizgiler üzerine noktalar atayarak dikdörtgen alan içinde yüzey oluşturmayı öğrendim.
Grasshopper® ortamında ve Kangaroo eklentisini kullanarak hareketli bir sürecin dondurulmuş bir anımı modelleyebilmek.	Ö1: “Bouncysolver” komutunu öğrendim. Bir yüzey üzerinde eğrisel yüzeyler oluşturabilir bu eğrisel yüzeyler yükseltilebilir.
Robotik üretim sürecini deneyimleyebilmek.	Öğrenciler bu öğrenim çıktısı ile ilgili görüş bildirmemişlerdir.

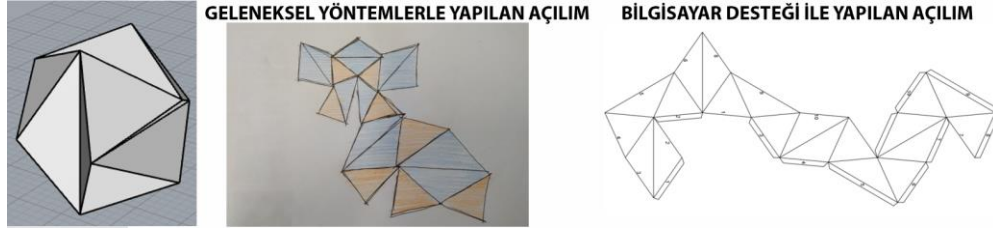
3.1.3. Sayısal Üretim Yöntemi Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular

Sayısal üretim yöntemi odaklı egzersizlere yönelik bulgular, Iwamoto (2009) tarafından ortaya konulmuş olan sayısal üretim süreçlerinin deneyimlenmesine yönelik egzersizlerin irdelenmesini içermektedir. Portfolyo değerlendirme yöntemi ile toplanmış olan öğrenci görüşlerinden de faydalanarak, egzersiz süreçlerinin değerlendirmesi yapılmıştır.

▪ Uygulama-2| Cisim Açılımı Egzersizi Bulguları:

Cisim açılımı egzersizi, sayısal üretime odaklanan egzersizlerin ilkidir. Bu uygulama iki aşamalı olup ilk aşamada çok yüzlü geometrik biçimlerin konvansiyonel yöntemlerle ve sayısal yöntemlerle açılımları elde edilmiştir. İkinci aşamada ise konvansiyonel üretim ve CNC lazer kesim ile üretim yapılarak iki süreç arasındaki farklar görülebilmştir.

Öğrencilerin ilk verilen daha basit çokyüzlü açılımlarını el ile daha kolay yapabildikleri, daha karmaşık olan ikinci çokyüzlülerin açılımlarında ise bilgisayar yardımı ile doğru açılımları ulaşabildikleri gözlenmiştir. Böylelikle öğrenci her iki süreç ile de açılım yaparak, üç boyutlu düşünme ile ilgili eksiklerini görmüşler ve konvansiyonel süreç ile sayısal süreç arasındaki farkları tartışma fırsatı bulmuşlardır.



Şekil 62. Öğrenci 1 tarafından yapılan cisim açılımları

Çalışmanın amacı üç boyutlu düşünebilme becerisinin geliştirilebilmesi olarak belirlenmiştir. Öğrenci görüşleri irdelendiğinde üç boyutlu formların iki boyutlu olarak bir kâğıt üzerine aktarılmasına vurgu yaptıkları görülmektedir. Bu çalışma birleşim detaylarını düşünme, katlama yöntemi ile bir hacim oluşturabilme gibi üretime yönelik detayların tartışılmasını da sağlamakta ve sonraki çalışmalar için bir temel egzersiz olma niteliği taşımaktadır. Öğrenci yorumlarında da iki boyut üç boyut ilişkisine atıf yapıldığı görülmekte ve bu anlamda çalışmanın amacına ulaştığı söylenebilmektedir.

Tablo 52. Cisim açılımı egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

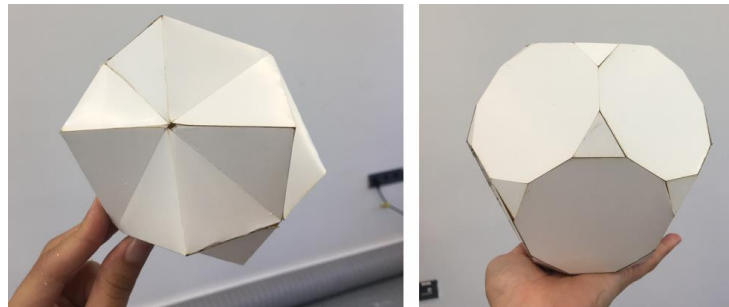
Amaç	Öğrenci Görüşleri
Üç boyutlu düşünebilme becerisinin geliştirilebilmesidir.	Ö1: Çalışmada iki boyut ve üç boyut arasında ilişki kurabilme ve üç boyutlu düşünebilme amaçlanmıştır.
	Ö3: 3 boyutlu şekiller 2 boyutlu olarak düşünmeye çalışıldı.
	Ö4: Çalışmanın amacı, 3 Boyutlu olarak görülen cisimlerin hayal edilerek hangi birimlerden oluştuğu ve nasıl birleştirildiği konusunda yorumlar yapabilmek ve sonucunda 3 boyutlu cismin açılımını çizebilmektir.
	Ö7: 3 boyut ve 2 boyut arasındaki ilişki daha iyi anlayabilmek için 3 boyutlu cismi 2 boyuta dönüştürdük sonrasında tekrar 3 boyutlu hale getirdik.

Egzersizin öğrenim çıktıları konvansiyonel ve sayısal üretim yöntemleri arasındaki farklılıkları görebilmek, fabrikasyon süreçlerine yönelik yöntemlerden biri olan cisim açılımı ve katlama yöntemlerini deneyimlemek ve bu süreçte birleşim detayı oluşturma gibi detay durumların farkına varılmasını, bir bütünü oluşturan alt parçaların birbirleri arasındaki ilişkinin kurgulanmasını sağlamaktır. Dönem boyunca derse devam eden 8 öğrenciden 6 tanesi bu öğrenim çıktılarından birine atıfta bulunmuştur. Sayısal yöntemler kullanılarak cisim açılımı elde etme ve bu açılımın üretimine ilişkin detaylar üretme gibi öğrenim çıktıları bir sonraki daha büyük ölçekli ve karmaşık üretim süreçlerine hazırlık niteliğindedir.

Tablo 53. Cisim açılımı egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Çok yüzlü bir geometrinin hem konvansiyonel hem de sayısal ortamda çözümlenmesinin öğrenilmesi.	Ö4: Bu çalışma sayesinde çok karmaşık görünen formların öncelikle en basit birime indirgenerek açılımları konusunda fikir sahibi olunabileceğini öğrendim.
Konvansiyonel üretim yöntemi ve CNC lazer kesim cihazı kullanılarak iki süreç arasındaki farkların deneyimlenebilmesi.	Ö5: Bu çalışmada önceleri geleneksel yöntemler ile büyük zaman ve enerji kaybı ile üretilen formların aslında daha kolay ve kısa sürede üretilebileceği görüldü.
Bir bütünü oluşturan alt parçalar arasındaki ilişkinin görülebilmesini sağlamak.	Ö1: Üç boyut ve iki boyut arasındaki ilişki daha net kavrandı. Üç boyuttan iki boyuta geçerken yaşanan kafa karışıklıkları iki boyuttan üç boyuta geçişte giderildi.
Fabrikasyon yöntemlerinden biri olan cisim açılımını deneyimlemek.	Ö2: Üç boyutlu üretimlerde malzeme kullanımının önemli olduğunu kalın malzemeler birleşim işlemini zorlaştıracağından ince malzemelerin daha uygun olduğunu deneyimledik.
Parçaların birbiri ile birleşim yerlerinde bir detay olması gerektiğini farkına varmak.	Ö6: Rhino programı üzerindeki açılım komutları öğrenildi. Açılımların kesimde birleştirilmesinde kullanılacak olan kulakçıkları elde etmek için pepakura programı öğrenildi. Ö8: Malzeme farklılıklarının üretimde bize ne gibi sorunların karşımıza çıkarabileceğini öğrenildi. Bu farklılıkların nasıl bir çözülebileceği öğrenildi.

Egzersiz sürecinin sonunda bütün çokyüzlüler CNC lazer kesim cihazı ile üretilmişlerdir. Bu aşamada yapıştırma ile ilgili detay sorunları üzerine tartışılmıştır. Her üretim sürecinde birleşim detaylarının üzerinde mutlaka düşünülmesi gerektiğini, öğrenciler deneyimleyerek öğrenmişlerdir. Bu durum, bundan sonraki üretim süreçleri için oldukça önemli anahtar bir bilgidir.

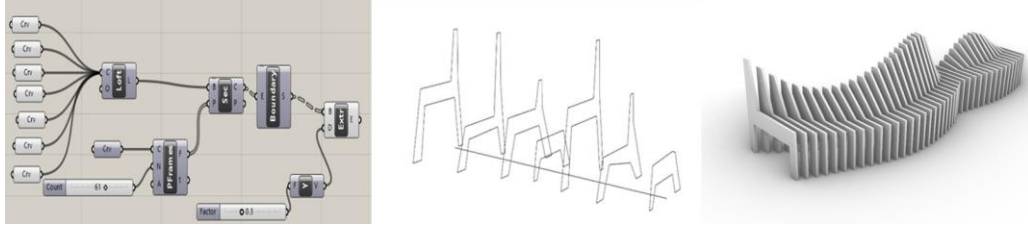


Şekil 63. Öğrenci 2'nin üretmiş olduğu sonuç ürünler

▪ Uygulama-3| Dilimleme Egzersizi Bulguları:

Dilimleme egzersizi sayısal üretime odaklanan egzersizlerin ikincisidir. Bu egzersiz sayısal modelleme yöntemleri ile elde edilmiş eğrisel bir yüzeyin, görsel bütünlüğünün

bozulmadan, dilimleme yöntemi ile üretilmesine odaklanmaktadır. Bu ve sonrasındaki egzersizler, sayısal modelleme süreci ile tasarlanmış bir ürünün sayısal fabrikasyon araçları kullanılarak üretilmesine dayanmaktadır.



Şekil 64. Öğrenci 3 ve 5 tarafından hazırlanmış olan ilk çalışma

Çalışmanın amacı dilimleme yöntemine yönelik sayısal ortamda model oluşturarak bu modeli üretime hazırlama ve standart olmayan seri üretim sürecinin deneyimlenebilmesidir. Öğrenciler görüşlerinde alışlagelmişten ve tekdüzelikten uzaklaşma gibi anahtar kelimeler ile amaca atıfta bulunmaktadır. Öğrenciler ayrıca sayısal modelin oluşturulması sürecinden de söz etmişlerdir. Bu bağlamda çalışma amacının öğrenci görüşleri ile örtüştüğü görülmektedir.

Tablo 54. Dilimleme egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Amaç	Öğrenci Görüşleri
Dilimleme yöntemine yönelik tasarım ve standart olmayan seri üretim sürecinin deneyimlenmesi.	Ö1: Çalışmanın amacı tekdüzelikten uzaklaşmış daha ergonomik ve insanların benimseyip zevk alabilecekleri bir bank üretmektir.
	Ö2: Oluşturduğumuz bank işlevi görecek olan modelimizin amacı Grasshopper kullanarak parametrik bir ürün oluşturmaktır.
	Ö4: Çalışmanın amacı Grasshopper kullanarak parametrik bir ürün oluşturmaktır.
	Ö6: Amaç alışlagelmiş formlardaki banklardan farklı bir tasarım yöntemi ile oluşturulması.

Çalışmanın öğrenim çıktıları dilimleme yöntemi ile ilgili modelleme ve üretime hazırlık aşamalarını deneyimlemek, sonuç ürün ile model arasındaki görsel bütünlüğün korunması gerekliliği, detay üretimi üzerine düşünmeyi sağlamak ve standart olmayan seri üretimi deneyimlemek gibi ana başlıklarda toplanabilir. Öğrenci görüşleri irdelendiğinde öğrencilerin üretim sürecinde karşılaştıkları sorunlardan ve bunlara getirmeye çalıştıkları çözümlerden söz ettikleri görülmektedir. Üretim süreci yalnızca sayısal ortamda veya kağıt üzerinde kalmayıp, birebir deneyimlenmeye başladığında öğrenme süreçleri de boyut

değiştirmektedir. Öğrencilerin detay geliştirmenin önemini farkına varmakta ve modelleme sürecinde de üretimi düşünmek gerektiğini kavramaktadır. Öğrencilerin üretim aşamasında öğrenim sürecinin sürdüğüne yönelik bu görüşler tez çalışmasının ana kurgusu olan yaparak öğrenmenin önemine vurgu yapmaktadır.

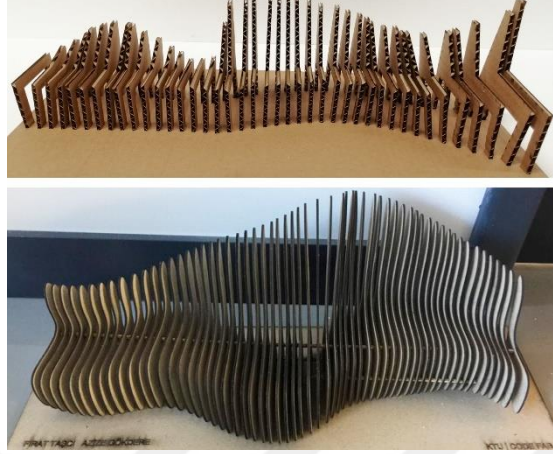
Tablo 55. Dilimleme egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Dilimleme yöntemine ilişkin modelleme ve üretime hazırlık aşamalarını deneyimlemek.	Ö1: Dilimleme yönteminin sayısal süreci öğrenildi. Ürün oluşturulurken yanlış kesit yapımından dolayı oluşan hatalar görülüp çözümleri öğrenildi. Eğrisel bir kesitte hata vermemesi için bütün kesitler aynı yönde ve aynı nokta sayısına sahip olmalıdır.
Bir formun görsel bütünlüğünün kaybedilmeden dilimlenerek alt parçalarını oluşturabilmek.	Ö2-Ö4: Oluşturduğumuz farklı kesitlerin birleşimiyle oluşturulan tasarımın sonucu üretim aşamasının parçadan bütüne üretim aşamasının ise bütünden parçaya inilerek yapıldığı hakkında bilgi edinildi. Aynı zamanda tasarım yaparken gerçek hayat kullanımını da düşünerek tasarlanması gerektiğinden günlük kullanım gereksinimleri de göz önüne alınarak tasarımın nasıl oluşturulması gerektiğini öğrenildi.
Farklı ölçülere sahip parçaların üretim sürecini öğrenmek.	Ö1: Üretim sürecinde malzeme ve yöntemden kaynaklı hatalar oldu ve nedenleri öğrenildi. Parçalar ayakta durmuyordu ve parçaların içinden en azından bir çubuk geçirilerek daha sağlam olabileceği öğrenildi.
Parçaların birbirleri arasındaki ilişkiyi sağlayan ara bağlantı elemanlarının tasarlanmasını sağlamak.	Ö7: Tasarım aşamasında parçaların taşıyıcısı düşünülmedi ve parçalar ayakta durmadı bu sebeple içlerinden çubuk geçirilerek taşıyıcısı çözüldü. Üretim sürecinde malzeme ve yöntemleri kaynaklı hatalar oldu ve nedenleri öğrenildi.
Standart olmayan seri üretim sürecini deneyimlemek.	Öğrenciler bu öğrenim çıktısı ile ilgili görüş bildirmemişlerdir.

Dilimleme çalışmasının bir diğer önemli öğrenim çıktısı standart olmayan seri üretim kavramının öğrenciler tarafından birebir deneyimlenmesidir. Ancak öğrenci görüşlerine bakıldığında hiçbir öğrencinin bu kavrama değinmediği görülmektedir. Bu durum egzersiz sürecinin eksi tarafı olarak değerlendirilebilir. Dönem başında sayısal üretim yöntemleri ile ilgili sunumlar yapılsa da bu sunumlarla dönem içi çalışmaları arasında öğrencilerin bağlantı kuramadığı görülmektedir. Üretim süreçlerine yönelik örnek gösterimlerinin dönem başında toplu olarak değil de her egzersiz öncesi konu ile ilgili olması öğrenim sürecini geliştirebilir ve çalışmanın hedeflerine ulaşmasını kolaylaştırabilir.

Egzersiz süreci, ilk çalışmalardaki görsel ve teknik eksiklikler nedeni ile egzersizin ikinci haftasında yeniden ele alınmıştır. Öğrenciler ilk çalışmadan tespit etmiş oldukları birleşim detayları ve estetik ile ilgili sorunları çözerek tasarımlarını yenilemişler ve yeniden

üretmişlerdir. İkinci çalışmadaki sonuç ürünler ilkinden oldukça farklı olmuş (Şekil 65) ve çalışma süreci başarı ile tamamlanmıştır.



Şekil 65. Öğrenci 3 ve 5 tarafından üretilmiş olan ilk ve ikinci çalışmalar

▪ Uygulama-4| Teselasyon Egzersizi Bulguları:

Teselasyon egzersizi sayısal üretim yöntemlerine yönelik egzersizler serisinin üçüncüsü olup, robotik üretim sürecinin deneyimlenmesi hedeflenmektedir. Üretim süreci robot kullanımını gerektirdiği için bu süreç tamamen dersin yürütücüsü tarafından organize edilmiştir. Süreç öğrencilerle paylaşılarak robotik üretim ile ilgili fikir sahibi olabilmeleri sağlanmıştır.



Şekil 66. Egzersiz kapsamında üretilmiş olan sonuç ürün

Teselasyon egzersizinin amacı, teselasyon mantığı ile üretilmiş bir ürünün, eksiltme yöntemi kullanılarak robotik üretim sürecini deneyimleyebilmektir. Öğrencilerin büyük çoğunluğunun görüşünün çalışmanın amacına atıfta bulunduğu görülmektedir.

Tablo 56. Teselasyon egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Amaç	Öğrenci Görüşleri
Robotik üretim sürecinin deneyimlenmesi.	Ö1: Parametrik olarak oluşturulmuş modelinin robot kol kullanılarak üretimi yapılırken nasıl bir yol izleneceği, robot kolun çalışma prensibi ve oluşabilecek sorunlara nasıl çözümler üretilebileceği hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır.
	Ö2: Dijital ortamda üç boyutlu olarak hazırlanmış bir duvar modelinin robot kol kullanılarak birebir veya ölçekli üretimin hangi aşamalardan geçerek üretildiğini kavramak, üretim aşamasına geçişte nelere dikkat edilmesi gerektiğinin farkına varmak amaçlanmıştır.
	Ö4: Robot kolun çalışma mantığı öğrenildi, bu sırada üretim için kullanılan yardımcı programlar görüldü. Programlar ve robot kol kullanılarak üretim yapıldı.
	Ö5: Robot kolun çalışma mantığı ve çalışma sırasında kullandığı yardımcı programlar görüldü. Bu programların görevleri öğrenildi.
	Ö6: Amaç Grasshopper ve Rhino ortamında tasarlanmış olan ürünün dijital üretim teknikleri ile üretimini uygulamalı olarak gösterilmesidir.
	Ö7: Parametrik olarak oluşturulan modelin robot kullanılarak üretimi yapılırken nasıl bir yol izlediğini görmek.

Çalışmanın öğrenim çıktıları teselasyon yöntemine yönelik modelleme ve üretim sürecini deneyimlemek ve robotik işleme sürecine yönelik çıktılar olmak üzere iki ana başlıkta toplanmaktadır. Öğrenim çıktılarına yönelik öğrenci görüşleri irdelendiğinde teselasyon yöntemine hiçbir öğrencinin atıfta bulunmadığı öğrencilerin ilgisinin robotik üretim süreci üzerinde toplandığı görülmektedir.

Öğrenciler tasarım sürecinde kendileri bir sonuç ürün tasarlamamışlar, yürütücünün üretmiş olduğu sayısal modeli yeniden üretmişlerdir. Öğrenciler tasarım sürecinde aktif rol almadıkları için teselasyon yöntemine atıfta bulunmamış olabilirler. Bunun bir diğer sebebi de sonuç ürünün teselasyon yöntemine uygun olarak birimlerin bir araya getirilmesi ile değil de sonuç ürünün bir stok malzeme içinde bütün olarak çıkartılarak üretilmesi olabilir. Bu bağlamda yalnızca tasarım süreci değil, üretim süreci de teselasyon yöntemine vurgu yapacak şekilde dönüştürülebilir.

Robotik üretim sürecinde hem öğrenci görüşlerinden görüldüğü üzere hem de gözlemlerden yola çıkılarak, öğrencilerin dikkatlerinin ders boyunca dağılmadığı gözlenmiştir. Aslında teknik bir anlatımı ders sürecini öğrencilerin doğru bir şekilde

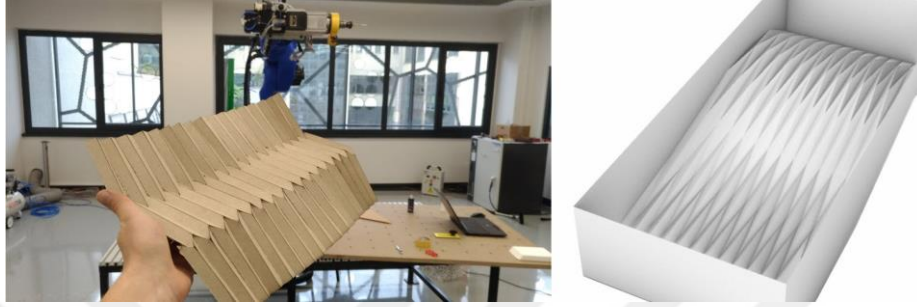
anlayabildiği görülmektedir. Bu durum öğretim sürecine yeni deneyimlerin entegre edilmesinin gerekliliğine vurgu yapmaktadır. Ayrıca robotik üretim yöntemlerine yönelik öğrenmenin lisans düzeyinde de yapılabileceği ve lisans döneminin bunun için erken bir dönem olmadığı görülmektedir.

Tablo 57. Teselasyon egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Teselasyon yöntemine ilişkin modelleme ve üretime hazırlık aşamalarını deneyimlemek.	<i>Öğrenciler bu öğrenim çıktısı ile ilgili görüş bildirmemişlerdir.</i>
Robotik işleme sürecini deneyimlemek.	Ö1: Bu çalışmada robot kolun çalışma prensibi öğrenildi. Robot kol ile üretim sürecine geçmeden sanal ortamda algoritmik olarak kodlandığını ve simülasyon ile birlikte kontrol edilerek hatanın en aza indirildiğini böylece iyi bir sonuç ürünü ortaya çıkarılabileceği öğrenildi. Malzeme, araç vb. seçimlerin sonuç ürünü etkilediği öğrenildi.
Bir formun üretimine ilişkin tasarım, takım yollarının çıkarılması ve robotik üretim sürecine ilişkin aşamalar hakkında fikir edinmek.	Ö2: Bu çalışma sonucunda tasarlanmış ve üretimi yapılacak olan modeli üretim aşamalarının, seçilecek malzemenin ayrıntılı düşünülerek üretim aşamasına geçilmesi gerektiğini öğrendik. Doğru seçimler yapıldığında ve üretim aşamaları doğru düşünüldüğünde tasarlanan modelin birebir üretimlerin yapılabileceğini öğrendik.
Robotik üretimin çalışma prensibini öğrenmek.	Ö3: Grassopher kullanarak tasarlanan bir modelin hangi aşamalardan geçerek üretildiği öğrenildi. Grassopher ve robot kol arasında bağlantıyı sağlayan alt programlar olan «Mastercam» ve «Octopuz» deneyimlendi. İlk olarak 3 boyutlu hazırlanmış form Mastercam programına gönderilerek takım yolu oluşturuldu. Daha sonra Mastercam'den alınan takım yolu Octopuz alt programına aktararak üretim aşamasının simülasyonu yapıldı. Bu program aracılığıyla sorunlar tespit edilip çözüm üretildi. Daha sonra üretim aşamasına geçildi. Üretim bittikten sonra sonuç üründe bazı problemler görüldü nasıl çözülebileceği hakkında konuşuldu.
Robotik üretimde kalibrasyon süreçleri ile ilgili bilgi edinmek.	Ö5: İlk olarak Grasshopper'da tasarlanan bir formun robot kol ile kısa sürede bire bir ve hatasız olarak üretilebileceği öğrenildi. Ardından bu 3 boyutlu formu robot kolun bir alt programı olan Mastercam 'e gönderileceği ve takım yolunun belirlenip daha sonra Octopuz'a atılıp herhangi bir çarpma ve sıkışma için simülasyon yapılacağı öğrenildi.
	Ö6: Tasarlanmış olan ürünün CAD ortamından CAM ortamına aktarılmasını ve CAM ortamında üretime hazırlanmasını, Mastercam arayüzünü ve modeli robotun okuyacağı bir "G-kodu" na dönüştürmeyi ve bunu robota yükleyerek üretimin yapılması öğrenildi.
	Ö7: Robot kol daha yakından incelendi ve çalışma prensibi öğrenildi. Robot kol ile üretim için hazırlık safhasında algoritmik olarak kodlandığı ve simülasyon ile hata payının en aza indirildiği böylece daha iyi sonuç ürünü ortaya çıkarılabileceği öğrenildi.
	Ö8: Bu çalışmada Grasshopper'da modellediğimiz modeli robotik kol ile nasıl üretilebileceği tartışıldı. MasterCam ara yüzünde nasıl çalışacağımız ve Ortopuz'da nasıl komutları çıktı alınabileceği öğrenildi.

▪ Uygulama-5| Katlama-Dökme Egzersizi Bulguları:

Katlama-dökme egzersizi sayısal üretim yöntemlerine yönelik egzersizler serisinin sonucusudur. Bu uygulamada iki farklı üretim tekniği bir arada kullanılarak bir ürün üretilmiştir. Konvansiyonel yöntemler ve sayısal yöntemler bir arada kullanılmıştır.



Şekil 67. Öğrenci 5 ve 6 tarafından üretilen katlama biçimi

Egzersizin amacı katlama yöntemi ile kalıp üreterek dökme yöntemi ile üretim yapmaktır. Öğrenci görüşlerinde iki boyutlu bir malzemenin üç boyutlu bir hacme dönüşme sürecine vurgu yapıldığı görülmektedir. Çalışma iki üretim yöntemini bir araya getirmek ve sayısal üretim süreçleri ile konvansiyonel üretim süreçlerinin harmanlanması bakımından önemlidir.

Tablo 58. Katlama-dökme egzersizi amacı ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Amaç	Öğrenci Görüşleri
Katlama yöntemi ile kalıp oluşturularak dökme yönteminin deneyimlenmesi.	Ö1: İki boyutlu bir malzemeden üç boyutlu bir ürün elde etmeyi amaçlayan çalışma kapsamında belirlenen origami formunun açılımı çizilip katlama yönlerine göre izler belirlendi.
	Ö2: Origami tekniğiyle bulunmuş olan katlama yöntemiyle elde edilen modelin açılımını kullanılarak üretim yapıldı.
	Ö4: Yaptığımız çalışmanın amacı, kağıt katlama tekniği ile 2 boyutlu malzemeye hacim katmak, 3 boyutlu hale getirmek ve bu sayede duvar modülü, strüktür vb. oluşturmaktır.
	Ö5: Bu çalışmada amacımız kağıt katlama tekniği ile bir form oluşturulmasıdır.
	Ö6: Bu çalışmada dijital üretim yöntemlerinden katlama yöntemi ile üretim yapıldı.

Egzersiziz öğrenim çıktıları katlama yöntemi ile kalıp oluşturmak, katlama şablonunun CNC lazer kesim cihazı ile üretmek ve döküm sürecini deneyimlemek olmak üzere üç başlıkta toplanmaktadır. Öğrencilerin öğrenim çıktılarında daha çok katlama yöntemi ile kalıp oluşturma sürecine atıfta buldukları görülmektedir.

Tablo 59. Katlama-dökme egzersizi öğrenim çıktıları ile öğrenci görüşlerinin karşılaştırılması

Öğrenim Çıktıları	Öğrenci Görüşleri
Katlama yöntemi ile üç boyutlu bir hacim oluşturarak kalıp üretebilmek.	Ö1: Katlama yöntemiyle iki boyutlu bir malzemeden üç boyutlu bir form oluşturulabileceği öğrenildi.
	Ö2: Origami ile farklı formların oluşturulabileceğini gördük.
	Ö3: Kağıt katlama yöntemleri ile bir çok strüktürel form oluşturulabileceği öğrenildi.
	Ö6: Yapılan tasarımlar uygun geometri ve formda olduğu zaman açılımını elde ederek, cnc lazer kesimde kesilerek katlama yöntemiyle üretilebilir. Bu üretimler yapılacak olan tasarımlar için kalıp görevi görebilir.
Katlama şablonunun CNC lazer kesim ile kesilmesi sürecinde ters katlama, düz katlama gibi durumları organize etmeyi öğrenmek.	Ö7: Kağıt katlama tekniği ile bir çok formun oluşturulabileceği ve lazer kesim makinası ile kesikli kesimler yapılabilceği öğrenildi.
	Ö1: Lazer kesim cihazında malzemeyi hareket ettirmeden ve parçalamadan iki yüzeyde de izleri belli olabilecek kesim yöntemi öğrenildi.
Dökülecek malzemenin hazırlık aşamalarını ve döküm sürecini deneyimlemek.	Ö2: Açılımı bilinen modelin üretim kısmında lazer kesim evresinde farklı kesim yöntemlerinin üretim için avantaj sağlayabileceği öğrenildi.
	Ö1: Döküm tekniğinde kalıbın daha az su emen bir malzemeden yapılması veya harcın daha kıvamlı olması gerektiği öğrenildi.

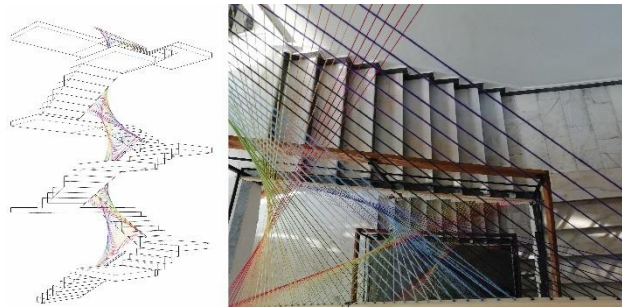
Sayısal üretim süreçlerine odaklanan egzersiz çalışmaları bütün olarak değerlendirildiğinde, üretme süreçlerinin öğrenci tarafından birebir deneyimlenmesinin öğrencinin motivasyonunu artırdığı söylenebilir. Süreçte öğrencilerin sorunla karşılaşmasının, o soruna tek başına veya ekip olarak çözüm bulmaya çalışmasının öğrenme sürecine olumlu etki ettiği gözlenmiştir. Öğrenciler Iwamoto (2009) tarafından belirtilmiş olan sayısal fabrikasyon yöntemlerinin hepsini deneyimlemişlerdir. Böylelikle sayısal fabrikasyon yöntemi seçiminin de tasarımın bir parçası olduğunun farkına varmış olmaları beklenmektedir.

3.1.4. 1:1 Ölçekli Üretim Odaklı Egzersizlere Yönelik Bulgular

1:1 ölçekli üretim odaklı egzersizler, dönem içerisinde bir veya daha fazla sayıda yapılması planlanan 1:1 ölçekli üretim süreçlerini içermektedir. Uygulanması düşünülen egzersizlerin her dönem değişeceği düşünüldüğü için egzersizler özelinde amaç ve öğrenim çıktıları belirlenmemiş dönemin bir bütün halinde değerlendirilmesi düşünülmüştür. Bu nedenle bu bölümde amaç ve öğrenim çıktıları ile ilgili öğrenci görüşlerine yer verilmemiştir.

2019 – 2020 Eğitim Öğretim Yılı Bahar Dönemi'nde gerçekleştirilmiş olan atölye süreci Covid-19 salgını nedeniyle yüz yüze olarak tamamlanamamış ve dönemin devamı uzaktan eğitim üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, yalnızca bir adet 1:1 ölçekli olarak uygulama tamamlanabilmiştir. Dersin devamındaki süreçte öğrencilerin üretim için kullanabilecekleri MasterCAM programı giriş seviyesinde öğretilmiş ve üretimin sanal ortamda gerçekleştirilebilmesi sağlanmıştır. 1:1 ölçekli atölye çalışmaları hakkında fikir vermesi açısından pilot çalışma olarak yürütülen egzersiz çalışmasından da bahsedilmiştir. Bu uygulamalar, öğrenci görüşleri ile değil yürütücünün değerlendirmeleri ile irdelenmiştir.

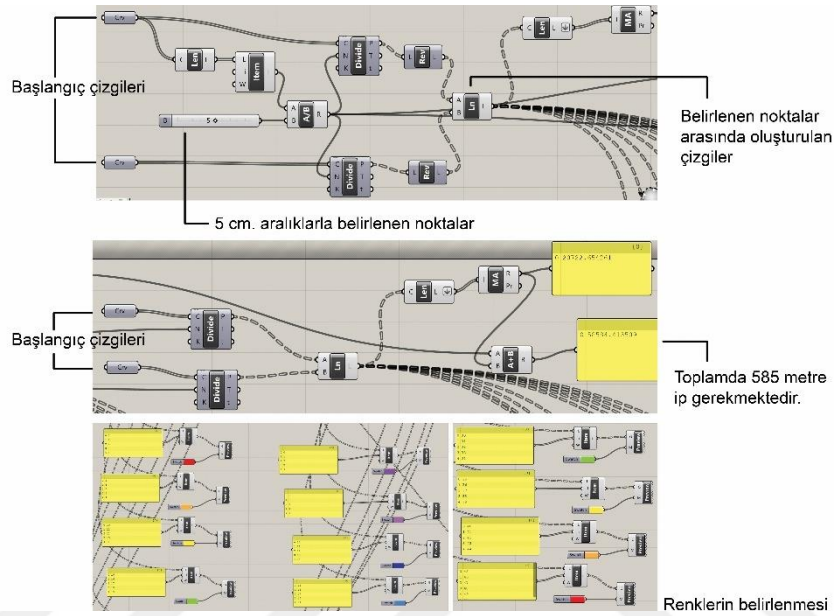
Dönem içerisinde uygulanan ilk ve tek 1:1 ölçekli uygulama bölüm merdiveninde gerçekleştirilmiş olan örüntü uygulamasıdır. Uygulama, MSM II dersi kapsamında yapılmış olan örüntü uygulamasına referans vermektedir. Böylelikle atölye süreçleri arasında bir bağlantı sağlanması da amaçlanmıştır. 1:1 ölçekli uygulamaların amacı, öğrencilerin sayısal üretim yöntemlerini detaylı olarak deneyimleyebilmelerini sağlamaktır.



Şekil 68. 1:1 ölçekli uygulamaya ilişkin sayısal model ve sonuç ürün

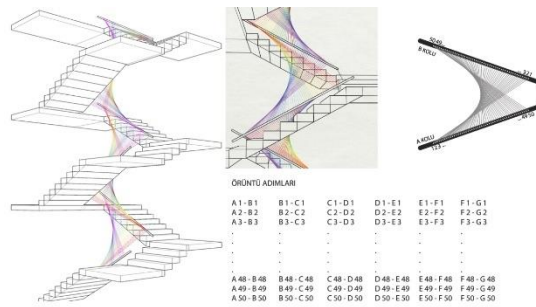
Üretim ölçeğinin büyümesi beraberinde çözülmesi gereken detay problemlerini de getirmektedir. Öğrenciler uygulama öncesinde sayısal modeli üretmiş, parametreleri

değiştirerek alternatifler denemiş ve en sonunda seçeneklerden birine karar verilerek üretim süreci planlanmıştır. Üretim süreci planlaması tamamıyla sayısal model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örüntünün düzeni, kullanılmış olan ip malzemenin renkleri, kaç metre malzeme gerektiği gibi detaylar sayısal model üzerinde belirlenmiştir (Şekil 69).



Şekil 69. Üretim sürecinin sayısal model üzerinde planlanması

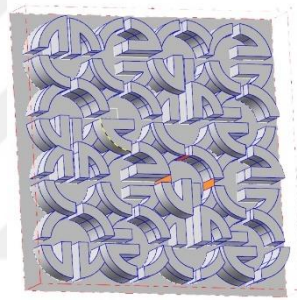
Çalışma dersi almış olan bütün öğrencilerle birlikte uygulandığı için, bir üretim şemasının oluşturulması herkesin doğru üretim adımlarını gerçekleştirebilmesi açısından önem taşımaktadır. Uygulama öncesinde örüntü adımları şeması oluşturulmuş ve sayısal modelde oluşturulmuş olan tasarımın aynısının üretilebilmesi sağlanmıştır. Böylelikle atölye süreçlerinde uygulanan bütün egzersizlerde üzerinde durulmuş olan, sayısallaştırma sürecinin adım adım aktarılması sürecinin karşılığı bu çalışmada deneyimlenebilmiştir.



Şekil 70. Örüntü adımlarının oluşturulması

Egzersiz süresince öğrencilerin üretim sürecinin her aşamasına katkı vermeye çalıştıkları gözlenmiştir. Öğrenciler bir ekip içerisinde çalıştıkları için bir tartışma ortamı oluşmuş ve kendi aralarında bir fikir birliğine varmaya çalışmışlardır. Öğrencilerin ders süreçlerinde derse odaklı kalabildikleri görülmüştür. Ders sürecinin üretme eylemi ile bütünleşmesi, öğrencinin bunu bir ders yerine bir etkinlik olarak görebilmesini sağlamıştır.

1:1 ölçekli atölye çalışmaları kapsamında uzaktan eğitim sürecinde uygulanan bir diğer üretime yönelik çalışma, CAM sürecinin öğretilmesi üzerine olmuştur. Bu çalışmanın amacı lisans öğrencilerinin CAM programlarını öğrenebilmeleri için erken bir dönem olup olmadığını deneyimlemektir. Çalışma kapsamında dönem başında yapmış oldukları biçim grameri çalışmalarından hareketle frezeleme yöntemi ile üretime uygun bir model belirlenmiştir.

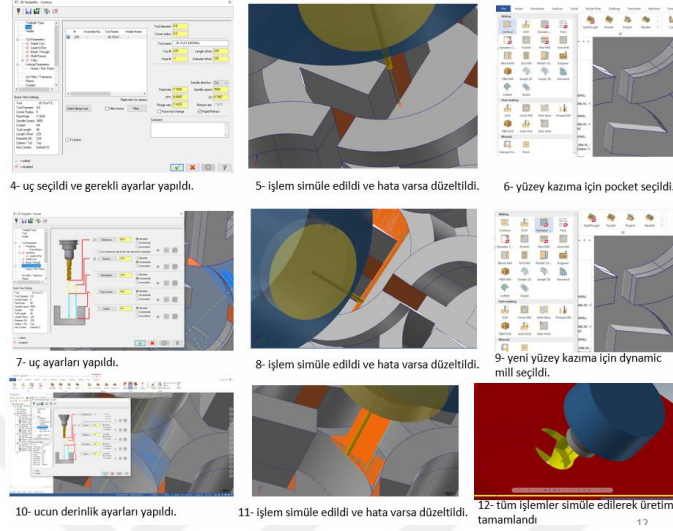


Şekil 71. Üretim için belirlenmiş model

Öğrencilere benzer bir üretim süreci video üzerinden anlatılmış ve öğrendiklerini MasterCAM programı üzerinde uygulamaları istenmiştir. Öğrencilerin çok büyük bir çoğunluğu CAM yolunun çıkarılması sürecini başarıyla tamamlamışlardır. Bu durum, MasterCAM gibi ileri seviye üretim programlarının lisans düzeyinde de öğretilebilir olduğunu kanıtlamaktadır. CAM yolunun oluşturulması sürecinde freze ucu seçimi, uç tanımlama, işleme stratejisine karar verme, üretim sürecinde karşılaşılabilecek olası problemleri görebilme gibi ileri seviye üretim konularında öğrencilerin fikir sahibi olmaları sağlanmıştır.

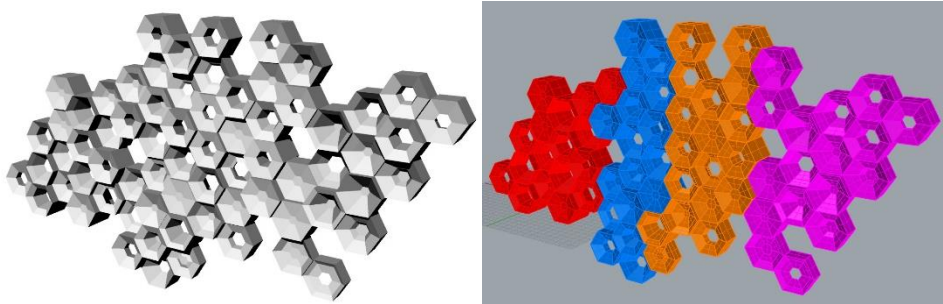
Pilot çalışma kapsamında uygulanan 1:1 ölçekli egzersiz sürecinde, öğrenciler açısından zor olacağı düşüncesi ile CAM yolunun da hazırlanmasını içeren robotik üretim yöntemi uygulanmamıştır. Ancak MasterCAM ile ilgili yapılan uygulama, öğrencilerin robotik üretim sürecini deneyimleyebilmeleri için lisans döneminin erken bir dönem

olmadığını göstermiştir. Bundan sonra yüz yüze yapılacak olan uygulamalarda bu değerlendirme ışığında kurgulanacaktır.



Şekil 72. Öğrenci 6'ya ait üretim aşamaları görseli

Pilot çalışma kapsamında uygulanmış olan 1:1 ölçekli üretim altıgen alt parçalardan oluşan bir yüzeyin üretilmesi üzerine kurgulanmıştır. Bu uygulamada uygulanacak olan sayısal modele karar verildikten sonra model dört parçaya ayrılmış ve her bir öğrenci grubundan kendi parçalarını üretmelerini istenmiştir. Dört grubun oluşturacağı parçalar tek yüzeyi oluşturacağı için grupların hem kendi içlerinde hem de diğer gruplarla uyumlu çalışmaları beklenmiştir.



Şekil 73. Sonuç ürün ve grupların üretecekleri parçalar

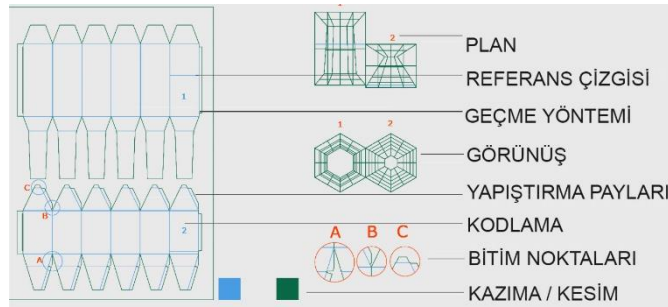
Öğrenciler ilk aşamada birleşim detaylarının nasıl olması gerektiği ile ilgili fikirler üretmişler ve çeşitli prototip denemeleri yapmışlardır. Duvarı oluşturan altıgen alt parçaların

her birinin ölçüsü ve yeri birbirinden farklıdır. Bu nedenle altıgen parçalar arasındaki ilişkilerin doğru bir şekilde kurgulanabilmesi de bir üretim problemi olarak düşünülmüştür.



Şekil 74. Öğrenciler tarafından üretilmiş olan ilk prototip ve üretim süreci

Çalışmada sayısal fabrikasyon aracı olarak, daha önce de belirtilen endişeler nedeni ile, yalnızca CNC lazer kesim cihazı kullanılmıştır. Öğrenciler her bir parçanın açılımını sayısal modelleme ortamında üreterek lazer kesim için uygun hale getirmişlerdir. Öğrenciler bu süreçte yüzeylerin birbirine yapışmasını sağlayan detayın çözülmesi gerektiğinin farkına varmışlar ve tespit etmiş oldukları bu probleme yönelik çözüm geliştirmeye çalışmışlardır (Şekil 75).



Şekil 75. Öğrenci gruplarından biri tarafından geliştirilmiş olan detay çözümlemesi

Ara sınav döneminden önce modellemesine başlanmış olan duvar çalışması final döneminde öğrenciler tarafından bir araya getirilerek tamamlanmıştır. Bu süreçte öğrenciler bir ürünü, sayısal modelleme sürecinden sayısal üretim sürecine kadar tüm aşamalarını birebir deneyimleme fırsatı bulmuşlardır. Süreç içerisinde problemlerle karşılaşmaları, üretim aşamasında meydana gelen problemlere çözüm bulabilme yetilerine olumlu katkı sağlamıştır. Yapma eyleminin ders sürecinin bir parçası olması sayesinde öğrencilerin

odaklanma problemi yaşamalarının önüne geçilmiştir. Öğrenciler süreçte bir sayısal üretim aracı olan CNC lazer kesim cihazını etkin bir biçimde kullanabilmişlerdir.



Şekil 76. Sonuç ürün

1:1 ölçekli atölye çalışmaları sayısal düşünmenin yapma odaklı olarak geliştirilmesine yönelik kurgulan atölye çalışmalarının sonuncu ayağını oluşturmaktadır. Bu çalışmalar, geometri, malzeme ve sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmalarında öğrenilen bilgilere atıfta bulunmakta ve bu bilgilerin 1:1 ölçekli üretimlerde karşılığının deneyimlenmesine fırsat vermektedir. Bu nedenle 1:1 ölçekli atölye süreçleri için standart egzersizler belirlenmemiş her dönem farklı bir şekilde kurgulanabilecek egzersizler olarak düşünülmüştür.

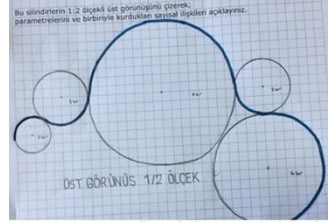
Uygulanan atölye süreçleri öğrencilerin sayısal ortamda modelleme ve sayısal üretim araçlarını kullanabilme konusundaki becerilerini apaçık bir biçimde ortaya koymaktadır. Gelişmekte olan teknolojinin lisans eğitim düzeyi ile bütünleştirilmesinin öğrenci açısından ufuk açıcı bir nitelikte olduğu görülmektedir. Öğrenci, öğrenmiş olduğu bilgiler ışığında bir ürün ortaya koyunca öğrenme motivasyonunun daha da arttığı gözlenmiştir. Bu nedenlerle uygulanmış olan atölyeler serisinin sonuncusunun 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye olmasının doğru bir seçim olduğu görülmektedir.

3.1.5. Portfolyo Yöntemi Bulgularına İlişkin Tartışmalar

Konstrüktivist eğitim yaklaşımlarında öğrenci, öğrenme sürecini kendisi kurguladığı için süreci geleneksel yöntemler ile değerlendirmek mümkün olamamaktadır. Kullanılmış olan portfolyo yöntemi, öğrencinin dönem başından sonuna gelişimini ortaya koyduğu için konstrüktivist öğrenme sürecini değerlendirmek açısından uygun bir yöntem olduğu

söylenmektedir. Portfolyoda öğrenci hem uygulamayı hem de Grasshopper® sürecini sayısal ilişkileri ile açık bir şekilde anlatmaktadır. Bu durum, öğrencinin yaparak öğrenme sürecinde elde etmiş olduğu veriler ile sayısal modellemede kullandığı parametreler arasında bağlantı kurmasına yardımcı olmaktadır.

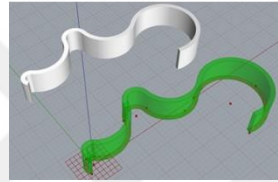
UYGULAMANIN SAYISAL İLİŞKİLER İLE AÇIKLANMASI



- 2 br , 3 br, 3 br, 6 br ve 8 br yarıçaplarında yükseklikleri 9 birim olan 5 adet silindir çizilerek birbirleriyle ilişki kuruldu ve kompozisyon oluşturuldu.
- Oluşturulan kompozisyon üç boyuta aktarıldı.
- Belirlenen yüzeyler dışındaki yüzeyler kesilerek sonuç ürüne ulaşıldı.

GRASSHOPPER SÜRECİNİN SAYISAL İLİŞKİLER İLE AÇIKLANMASI

- 1) 2,8 ve 6 yarıçaplı daireler belli aralıklarla çizildi.
- 2) Yarıçapları 3 olan iki daire ise diğer dairelere teğet olacak şekilde ilişki kurularak yerleştirildi.
- 3) Oluşan çizimde belirli noktalar atanarak eğri oluşturuldu.
- 4) Oluşturulan eğriye yüzey tanımlandı ve bu yüzeysel cisme hacim kazandırılarak form oluşturuldu.



Şekil 77. Uygulama süreci ve sayısal modelin sayısal ilişkiler ile anlatılması

Portfolyo, her egzersiz sonrasında düzenli olarak hazırlandığı için öğrencinin egzersize ilişkin anlayamadığı noktalar vakit kaybedilmeden tespit edilmekte ve takip eden derste bu noktalar yeniden anlatılarak öğrencilerin bütün egzersizleri tam olarak anlamaları sağlanmaktadır. Çünkü her bir egzersiz süreci aynı zamanda sayısal modellemeye ilişkin de bir süreci öğretmekte ve zorluk derecesi giderek artarak verilmektedir. Bu zincirde meydana gelebilecek bir kopukluk, öğrencinin bir sonraki egzersizde daha da başarısız olmasına neden olacaktır. Portfolyo ile öğrenci takibi yapılarak bu durumun önüne geçilebilmiştir.

Öğrencilerin egzersizlere ilişkin amaç ve öğrenim çıktısı değerlendirmeleri, varsa, eksik kalan noktaların görülebilmesi açısından önemlidir. Bu sayede egzersiz sürecinin öğretmeyi hedeflediği, ancak öğrencilerin algılayamadığı noktalar tespit edilebilmiştir. Bu durum, ilerleyen çalışmalar açısından önem taşımaktadır.

3.2. Öğrenci Görüş Ölçeğine Yönelik Bulgular

Öğrencilerin dönem başındaki ve dönem sonundaki değişimlerini ölçebilmek için 5’li Likert tipi ölçek uygulanmıştır. Öğrenciler ölçekteki her bir maddeyi “tamamen katılıyorum”, “katılıyorum”, “fikrim yok”, “katılmıyorum” ve “hiç katılmıyorum” şıklarından birini seçerek yanıtlamışlardır. Ölçeği oluşturan her bir madde ayrı ayrı irdelenerek yorumlanmıştır.

Atölye çalışmalarının gerçekleştirildiği derslerin seçmeli ders olması, dersleri almış olan öğrenci sayılarının da farklı olmasına yol açmıştır. Bu aşamada öğrencinin konuya ilgisi ve o dönem açılmış olan toplam seçmeli ders sayısı örneklem grubunun niteliğine doğrudan etki etmiştir. Bunun yanı sıra atölye çalışmalarının bahar döneminde gerçekleştirilen kısmının Covid-19 nedeni ile uzaktan eğitim süreci ile tamamlanmak zorunda kalınması dönemi tamamlayabilen öğrenci sayısında düşüşe neden olmuştur. Özellikle malzeme odaklı çalışmanın yürütüldüğü MSM II dersi beş öğrenci ile tamamlandığı için veriler pilot çalışmada elde edilmiş olan veriler ile bütünleştirilerek değerlendirmeye katılmıştır. Pilot çalışma ve uzaktan eğitim ile gerçekleştirilmiş olan egzersizler aynı olduğu için sonuçlara farklı bir etkisinin olmayacağı düşünülerek bu karar alınmıştır. Böylelikle örneklem grubu geniş tutularak daha doğru bir veri elde edileceği düşünülmüştür.

Ölçek formu dört ana başlıktan oluşmaktadır. Bu başlıklardan ilk üçü olan “sayısal tasarım ile ilgili değerlendirme”, “sayısal üretim ile ilgili değerlendirme”, “sayısal düşünme ile ilgili değerlendirme” başlıkları bütün seçmeli derslerde sorulan ortak sorulardır. “Geometri çalışmaları ile ilgili değerlendirme” başlığı yalnızca geometri odaklı atölye çalışmalarına katılan MSM I öğrencilerine sorulmuştur. MSM I dersi dört adet atölye sürecinin ilki olduğu için öğrencilerin sayısal tasarım süreçleri ile ilgili bir deneyimleri bulunmamaktadır. Bu aşamada dersi tamamlayan 26 öğrencinin görüşü alınmıştır. Öğrencilerin sayısal tasarım süreçleri ile ilk kez karşılaşmaları nedeniyle görüş değişimlerinin diğer gruplara göre daha çarpıcı olduğu gözlenmiştir.

“Malzeme ile ilgili değerlendirme” başlığı yalnızca malzeme odaklı atölye çalışmalarına katılan MSM II öğrencilerine sorulmuştur. Covid-19 salgını nedeniyle uzaktan eğitime geçildiği için bu dersi yalnızca 5 öğrenci tamamlamıştır. Bu nedenle pilot çalışmayı tamamlamış olan 18 öğrenci de değerlendirmeye katılmıştır. Değerlendirmeye katılan MSM II öğrencilerinden 10 tanesi daha önceki MSM I dersini de almıştır.

“Sayısal üretim yöntemleri ile ilgili değerlendirme” başlığı yalnızca sayısal üretim yöntemleri odaklı atölye çalışmalarına katılan MSM III öğrencilerine sorulmuştur. MSM III öğrencilerinden 8 tanesi dönemi tamamlamıştır. Bu öğrencilerden 6 tanesi MSM I ve MSM II derslerini; 1 tanesi yalnızca MSM I dersini almıştır. 1 öğrenci ise daha önce açılmış olan derslerden hiçbirini almamıştır.

“Yapma / üretme ile ilgili değerlendirme” başlığı ise yalnızca 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmalarına katılan PTU öğrencilerine sorulmuştur. PTU dersi de MSM II’ye benzer şekilde uzaktan eğitim süreci ile tamamlanmıştır. Bu derste yürütülen egzersiz süreçleri pilot çalışmada yürütülenden farklı olduğu için veriler birleştirilmemiştir. PTU dersini 8 öğrenci tamamlamıştır. Değerlendirmeye katılan öğrencilerden 1 tanesi daha önce açılmış olan derslerin hiçbirini almamıştır.

Öğrenci görüşlerinin değerlendirilmesi sürecinde bütün maddelerin ne amaçla sorulduğu tek tek açıklanmıştır. Öğrenci görüşleri her madde için değerlendirilmiş ve bazı maddeler grafiklerle desteklenerek tartışılmıştır.

3.2.1. Sayısal Tasarım ile İlgili Değerlendirmeler

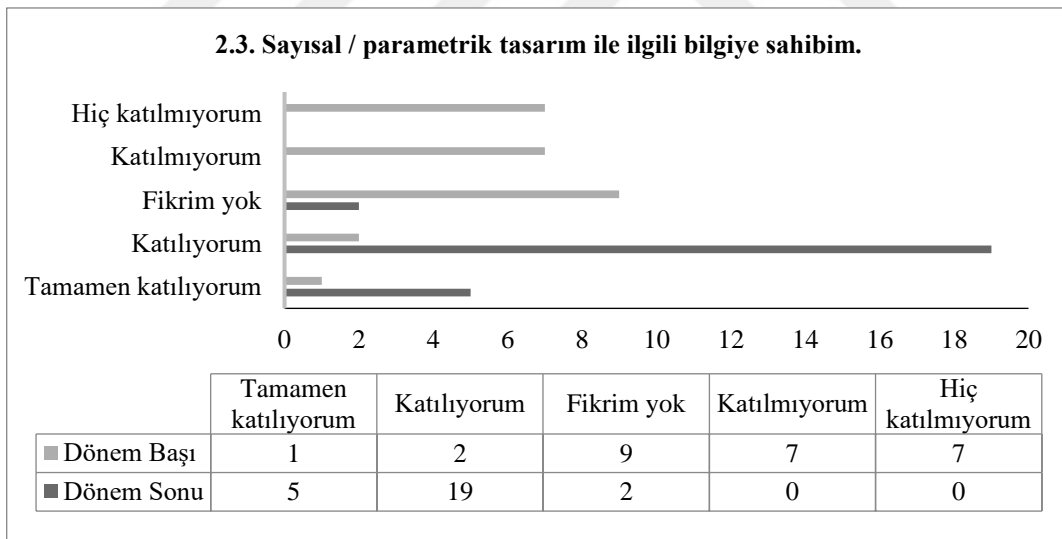
Sayısal tasarım ile ilgili ölçek maddeleri sayısal tasarım araç ve süreçleri ile ilgili öğrencinin genel durumunu ölçebilmeyi hedeflemektedir. Bu başlıkta 14 adet ölçek maddesi bulunmaktadır.

M.2.1. “Grasshopper® bir parametrik modelleme aracıdır.” maddesi öğrencilerin derste kullanılmakta olan yazılım ile ilgili ön bilgiye sahip olup olmadıklarını ve dönem sonunda bununla ilgili fikir edinip edinmediklerini öğrenmek amacıyla yazılmıştır. Dört atölye sürecinden ilkinde katılmış olan MSM I öğrencilerinin %65’i dönem başında bu soruya “fikrim yok” yanıtını vermişler; öğrencilerin bu görüşleri dönem sonunda olumlu yönde değişmiştir. Diğer üç atölye sürecini deneyimlemiş öğrencilerin ise, dönem başında verdikleri cevaplara istinaden, Grasshopper® programını duymuş oldukları tespit edilmiştir.

M.2.2 “Daha önce Grasshopper® ile ilgili ders / kurs aldım.” maddesinin amacı öğrencinin Grasshopper® ile ilgili bilgisini ölçmeyi hedeflemektedir. MSM I dersini almış olan öğrencilerin hiçbirinin parametrik modelleme konusunda deneyimlerinin olmadığı görülmüştür. MSM II, MSM III ve PTU dersini almış olan öğrencilerin ise daha önce bu seçmeli derslerden birini veya birkaçını alıp almadıkları anlaşılabilmiştir.

M.2.3. “Sayısal / parametrik tasarım ile ilgili bilgiye sahibim.” maddesi öğrencinin dönem boyunca sayısal tasarım ile ilgili bir öğrenme gerçekleştirme durumunu sorgulamaktadır. Bu maddedeki en çarpıcı değişimin MSM I dersini almış olan öğrenciler açısından gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu dersi almış olan öğrencilerin %88’i dönem başında parametrik tasarım ile ilgili bilgiye sahip olmadıklarını beyan etmişlerdir. Dönem sonu görüşlerinde ise öğrencilerin yalnızca ikisinin “fikrim yok” cevabını verdiği, diğerlerinin ise artık parametrik tasarım ile ilgili bilgiye sahip oldukları görülmektedir (Tablo 60). MSM II, MSM III ve PTU dersini almış olan öğrencilerin ise ortalama %90’ı dönem başındaki cevaplarında parametrik tasarım ile ilgili bilgiye sahip olduklarını söylemişlerdir. Bu durum, farklı dönemler için kurgulanmış olan dört atölye sürecinin aslında birbirleri ile bağlantılı olduğunu ve bu derslerin tamamını veya bir kısmını almış olan öğrencilerin sayısal tasarım ile ilgili bilgilerini üst üste koyarak artırabilecekleri anlamına gelmektedir.

Tablo 60. MSM I öğrencilerinin M.2.3. için vermiş oldukları cevaplar

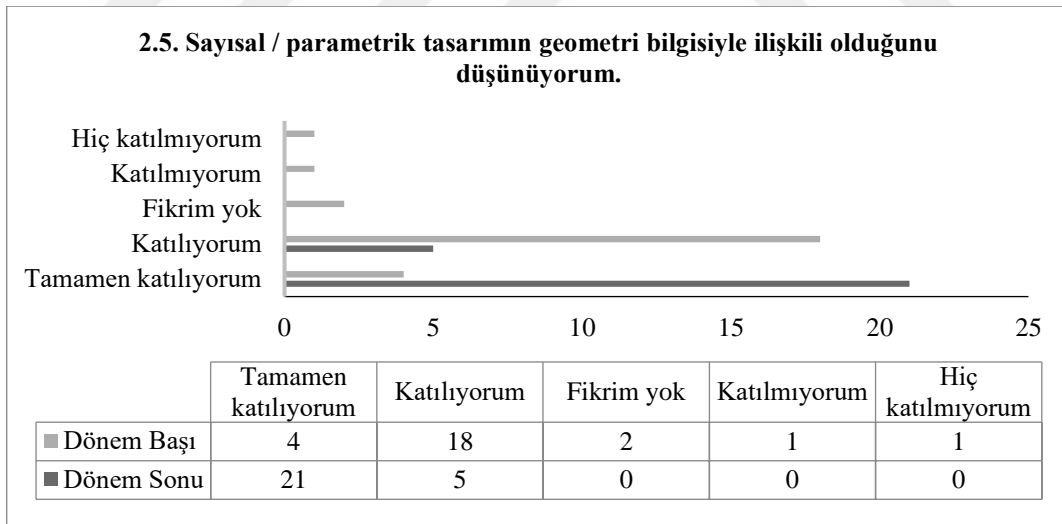


M2.4. “Sayısal / parametrik tasarımın matematik bilgisiyle ilişkili olduğunu düşünüyorum.” maddesi öğrencinin matematik – mimarlık ilişkisi hakkında fikirlerini ölçebilmeyi hedeflemektedir. Bu soruya dört atölye sürecini alan öğrenciler de hem dönem başında hem de dönem sonunda olumlu cevap vermişlerdir. Bu durum, matematik ile mimarlık ilişkisinin sayısal tasarım ile ortaya çıkmadığını ve zaten hep var olduğunu göstermektedir. Egzersiz çalışmalarının sayısallaştırma süreçlerinde gerçekleştirilen de var

olan bu ilişkiyi görünür kılabilmektedir. Öğrenci, daha önceden sezgisel olarak kurduğu sayısal ilişkileri, egzersiz süreçlerinde adım adım açıklayarak aktarmıştır. Böylelikle kara kutu süreci saydam kutuya dönüştürülebilmektedir.

M2.5. “Sayısal / parametrik tasarımın geometri bilgisiyle ilişkili olduğunu düşünüyorum.” maddesi geometri – mimarlık ilişkisi hakkında görüşleri ölçebilmek için sorulmuştur. Öğrencilerin, özellikle eğrisel geometriler üzerinde çalışırken, çizdikleri bir eğrisel çizgiyi yeniden çizemedikleri çoğunlukla stüdyo derslerinde gözlemlenen bir durumdur. Egzersiz süreçlerinde, özellikle geometri odaklı atölye çalışmalarının yürütüldüğü MSM I dersi sürecinde, bir eğrinin öklidyen geometriler üzerinden nasıl çizilebileceği üzerinde durulmuştur. Dolayısıyla bu durum MSM I öğrencilerinin geometri – mimarlık ilişkisi hakkındaki fikirlerinde değişime yol açmış ve dönem başında konu hakkında olumsuz görüş bildiren veya fikri olmayan dört öğrencinin dönem sonunda olumlu fikir belirttikleri görülmüştür (Tablo 61). MSM II, MSM III ve PTU derslerini almış olan öğrencilerin dönem başındaki olumlu görüşlerinde değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 61. MSM I öğrencilerinin M.2.5. için vermiş oldukları cevaplar

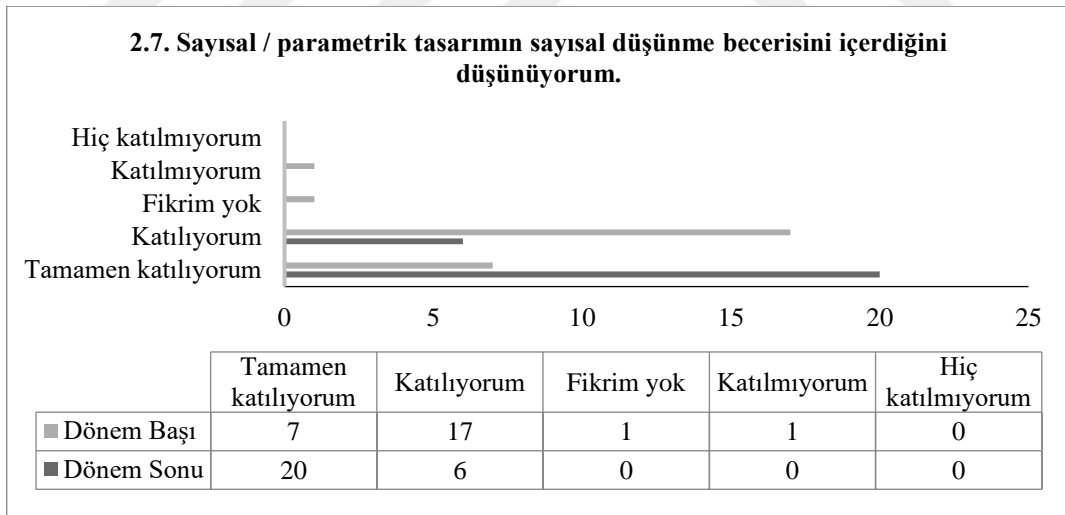


M.2.6. “Bir geometrik biçimin matematiksel olarak ifadesinin karşılığını bilmek mimari form üretimini zenginleştirir.” maddesi ile tasarım sürecini sayısal olarak çözümlenmek ve bunu matematiksel olarak sistematik hale getirebilmek üzerine görüşleri ölçebilmek amaçlanmaktadır. Her dört atölye sürecinde de sorulan bu soru hakkında öğrencilerin ortalama %95’i hem dönem başında hem de dönem sonunda olumlu düşünceye

sahiptir. Yalnızca PTU dersini almış olan bir öğrencinin fikri olumluya; MSM II dersini almış olan bir öğrencinin fikri ise olumsuzu dönmüştür. Bu maddeye hem dönem başında hem de dönem sonunda olumlu cevap verilmesi, maddedeki ifadenin sayısal tasarım sürecinin bir parçası olmasından kaynaklanıyor olabilir.

M.2.7. “Sayısal / parametrik tasarımın sayısal düşünme becerisini içerdiğini düşünüyorum.” maddesi öğrencinin uygulamaların temeli olan sayısal düşünme kavramı ile ilgili fikirlerini ölçmek için sorulmuştur. Bu maddeye verilen cevaplardaki en büyük değişimin MSM I dersini almış olan öğrencilerin cevaplarında olması beklenmiştir. Ancak MSM I öğrencilerinin cevaplarında beklediği kadar büyük bir değişim gerçekleşmemiş, fikri olmayan ve olumsuz düşünen iki öğrencinin fikirleri olumluya dönmüştür. Diğer dersleri almış olan öğrencilerin ise tamamı hem dönem başında hem dönem sonunda olumlu fikre sahiptir. Bu durum, öğrencilerin erken yarıyıldan itibaren sayısal tasarım ile ilgili fikir sahibi oldukları ve sayısal düşünme ile sayısal tasarım arasındaki ilişkiyi kurabildiklerini göstermektedir.

Tablo 62. MSM I öğrencilerinin M.2.7. için vermiş oldukları cevaplar



M.2.8. “Daha önce Grasshopper gibi bir sayısal / parametrik tasarım yazılımı kullandım.” maddesi M.2.2.’yi teyit etmek ve öğrencinin değerlendirme formuna olan doğruluk yaklaşımını ölçmek için konulmuştur. Sonuçlar benzer olduğu için öğrencinin testi anlamlı bir şekilde cevapladığı söylenebilmektedir.

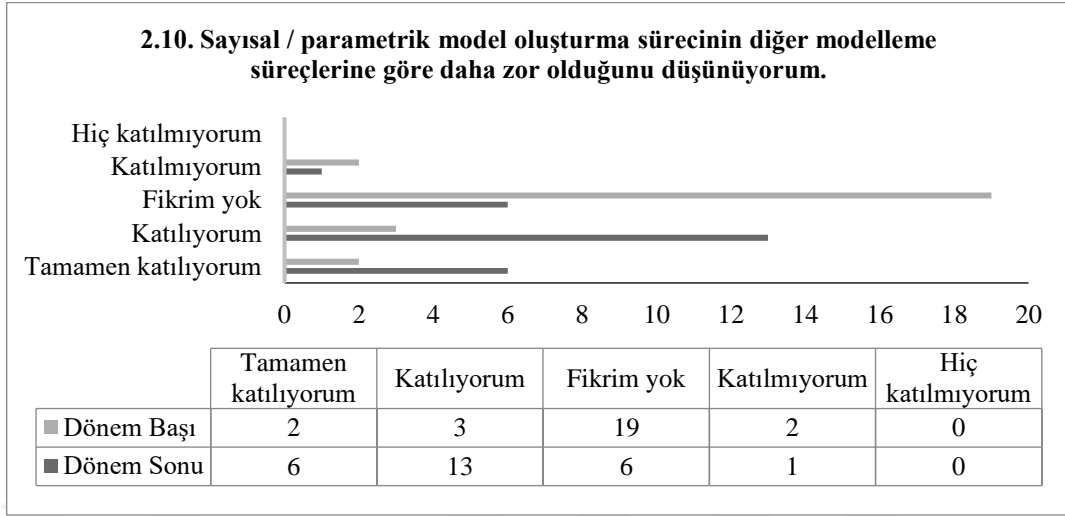
M.2.9. “Sayısal / parametrik modelleme araçları tasarım sürecini ve tasarım ürününü zenginleştirmektedir.” maddesi parametrik tasarım araçları ile alternatif ürün üretimlerinin

kolay bir şekilde yapılabilmesine atıfta bulunmaktadır. Bu maddeye dönem başında verilen cevaplarda MSM I ve MSM II öğrencilerinden üçü fikri olmadığını belirtmiş; dönem sonunda ise MSM I öğrencilerinden yalnızca birinin MSM II öğrencilerinden ise ikisinin fikri olumluya dönmüştür. Bu maddedeki fikir değişiminin daha keskin olması ve dönem sonu fikirlerinde bütün öğrencilerin olumlu görüş belirtmeleri beklenmiştir. Ancak, öğrencilerin tepkileri beklendiği gibi olmamıştır. Bu durum, öğrencilerin düşündükleri tasarımı sayısal tasarım ortamında ifade edebilmeleri için programı aktif bir şekilde kullanmaya ihtiyaç duymaları nedeni ile ortaya çıkmış olabilir.

M.2.10. “Sayısal / parametrik model oluşturma sürecinin diğer modelleme süreçlerine göre daha zor olduğunu düşünüyorum.” maddesi sayısal modelleme süreçlerinin kendine özgü bir mantığı olduğuna atıfta bulunmaktadır. Sayısal modelleme süreci, konvansiyonel süreçlere göre daha sistematik olarak kurgulanmalı ve kullanılan parametreler birbirleriyle doğru ilişkilendirilmelidir. Sayısal modelleme, tasarım sürecinin de tasarlanması gerekliliğini beraberinde getirmektedir. Bu yönüyle sayısal tasarım, öğrencilerin alışageldikleri tasarım düşüncesinden farklılaşmaktadır. Bu maddeye verilen cevaplar dört atölye süreci için de ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

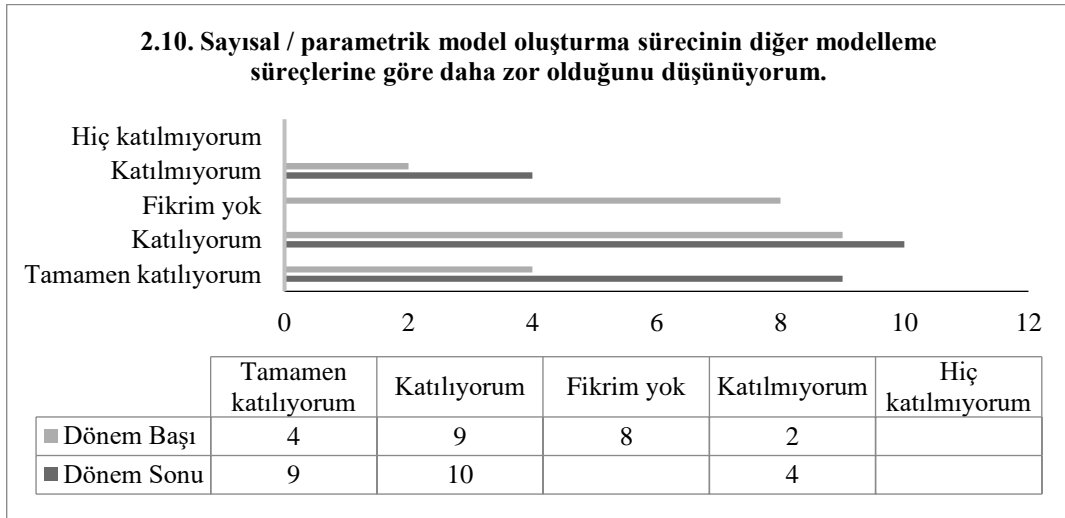
MSM I öğrencilerinin %73’ünün konu ile ilgili dönem başında fikri yok iken; dönem sonunda yine öğrencilerin %73’ü sayısal modelleme süreçlerini zor bir süreç olarak tanımlamışlardır. Öğrencilerin sayısal modelleme süreçleri ile ilk defa karşılaşmalarının bu düşüncede etkili olduğu düşünülmektedir. Öğrencilerin bu süreci zor olarak nitelermelerine rağmen, dönem içi çalışmalarında verilen egzersiz süreçlerini başarıyla tamamladıkları gözlenmiştir. Bu durum bir çelişki olarak görünse de öğrencilerin sayısal tasarım sürecini bütün ayrıntılarıyla öğrenememiş olmaları ve sayısal tasarım süreçlerinin oldukça detay bilgi içeriyor olması, öğrencinin zihninde bir takım karanlık noktalar bırakmış olabilir. Bu durum, öğrenme sürecinin doğal bir akışı olarak nitelendirilebilir.

Tablo 63. MSM I öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar



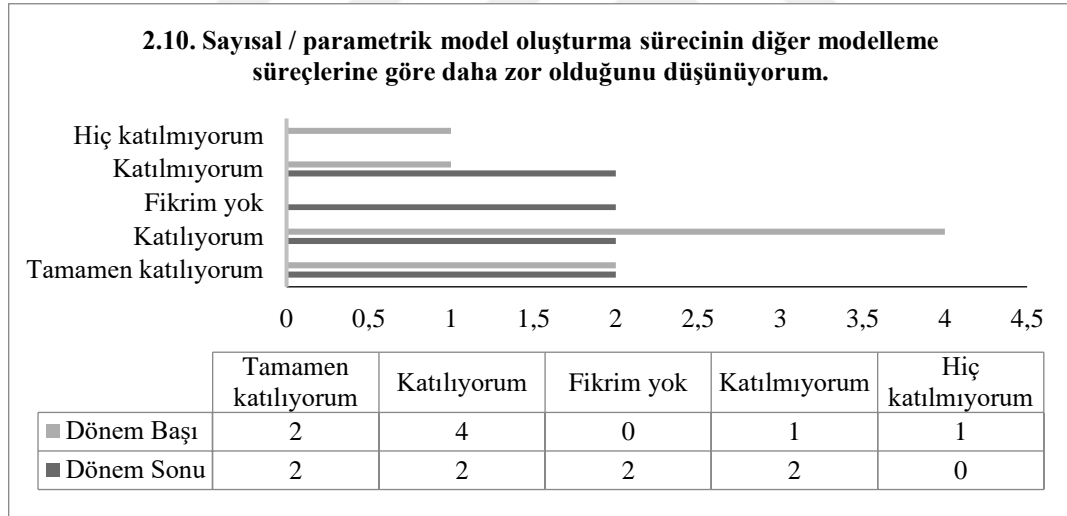
MSM II öğrencilerinin vermiş oldukları cevaplar değerlendirildiğinde sayısal modellemeyi zor bulanların oranında bir miktar azalma görülse de 19 öğrencinin bu süreci zor bulduğu, hatta dönem başında konu ile ilgili fikir sahibi olmayan öğrencilerin fikirlerinin çoğunlukla olumsuz yöne kaydığı görülmektedir. Bu durum, seçmeli derslerin ön koşullu ders olmaması nedeniyle, MSM I dersini almamış olan öğrencileri de içeren bir grup olmalarından kaynaklanıyor olabilir. MSM I için yapılmış olan değerlendirmeler, bu ders süreci için de geçerli olmaktadır.

Tablo 64. MSM II öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar



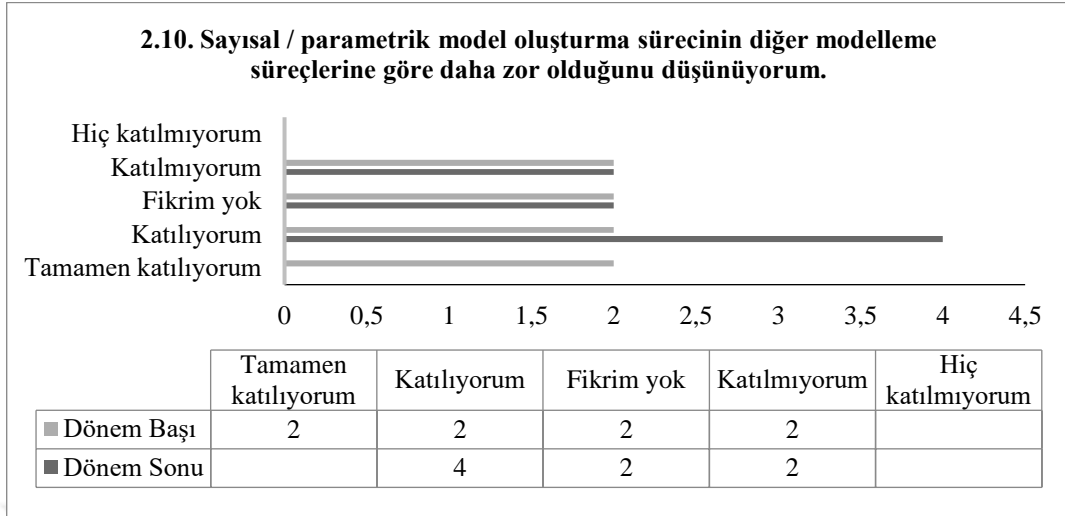
MSM III öğrencilerinin vermiş oldukları cevaplarda ise dönem başı ve sonundaki fikirlerde çok büyük bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Dönem sonu verilere istinaden, öğrencilerin yarısının süreci zor buldukları, diğer yarısının ise fikri olmadığı ya da zor olmadığını düşündükleri görülmektedir. MSM III öğrenci değerlendirmelerinde büyük bir fark olmamasının bir nedeni de dönem içerisinde yalnızca 8 öğrencinin dersi almış olmaları ve örneklem grubunun çok geniş olmamasıdır. Ancak, derse katılmış olan öğrencilerin çoğunluğunun MSM I veya MSM II derslerinden en az birini almış oldukları halde, süreci zor olarak nitelendirmeleri beklenmeyen bir sonuçtur. Bu durum, ders sürecinin sayısal üretim yöntemleri odaklı olmasına ve üretim süreçlerinin sayısal model üzerinden hazırlanmasının bir sonucu olabilir. Ders sürecinde öğrencilerin üretim dosyalarını hazırlarken çokça zorluklarla karşılaştıkları gözlenmiştir. Cevaplara bu durumun yansımış olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 65. MSM III öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar



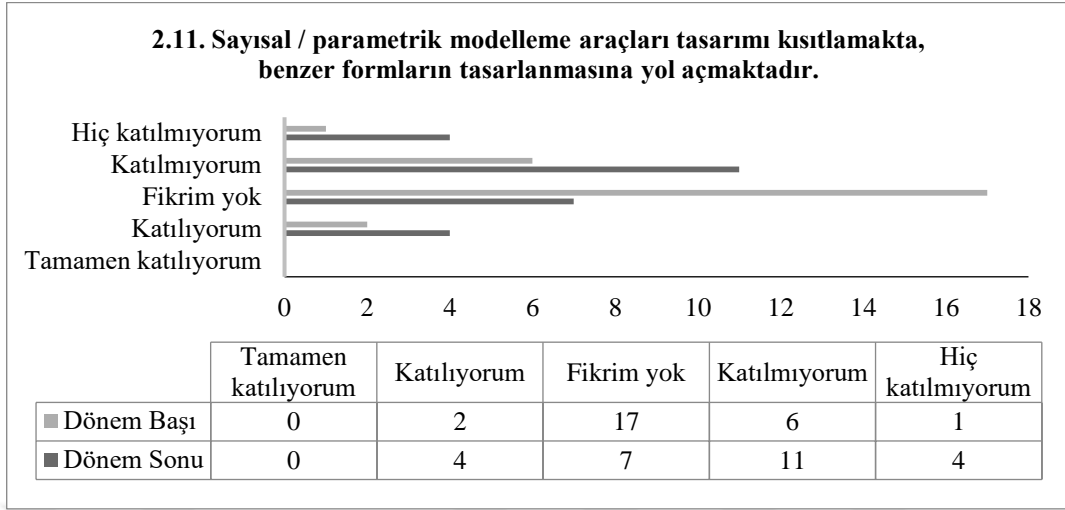
PTU öğrencilerinin vermiş oldukları cevaplar ise öğrencilerin fikirlerinde olumlu ya da olumsuz anlamda hiçbir değişiklik olmadığını göstermektedir. PTU dersi 1:1 ölçekli üretime odaklandığı için sayısal modelleme süreçleri biraz daha arka planda kalmakta ve üretim süreçlerine ağırlık verilmektedir. Bu sonuçlar, PTU dersinde sayısal modelleme süreçlerine biraz daha ağırlık verilmesinin daha faydalı olabileceği çıkarımını beraberinde getirmektedir.

Tablo 66. PTU öğrencilerinin M.2.10. için vermiş oldukları cevaplar



M.2.11. “Sayısal / parametrik modelleme araçları tasarımı kısıtlamakta, benzer formların tasarlanmasına yol açmaktadır.” maddesi parametrik tasarım denilince akla gelen benzer eğrisel formlara atıfta bulunmaktadır. Sayısal tasarımın amacı ise, karmaşık formlar üretmek değil bir tasarım problemine ilişkin çok sayıda alternatifi içeren bir tasarım uzayı oluşturabilmektir. Sayısal tasarım süreçleri ile ilk defa karşılaşmış olmaları açısından MSM I öğrencilerinin soruya vermiş oldukları cevaplar önem taşımaktadır. Buna paralel olarak yanıtlardaki en önemli değişim de MSM I dersini almış olan öğrencilerde gözlenmiştir. Konu ile ilgili fikri olmayan 17 öğrenci varken; dönem sonunda 15 öğrenci maddedeki önermenin yanlış olduğunu belirtmiştir. Bu durum, öğrencilerin egzersiz süreçlerinin sayısal tasarımın hedeflerine yönelik kurgulanabildiğini ve öğrencilere de bunu aktarabildiğini göstermektedir. Diğer dersleri alan öğrencilerin olumlu / olumsuz görüşlerinin ise sabit kaldığı görülmektedir. Bu durum, öğrencilerin sayısal tasarım ile ilgili dönem başında da fikir sahibi oldukları ve bu fikirlerinin dönem boyunca değişmediği söylenebilir. PTU dersini almış olan öğrencilerin ise dönem sonu cevaplarında yalnızca bir kişinin fikri olmadığı, diğer bütün öğrencilerin ise sayısal tasarımın benzer formların tasarlanmasına yol açmadığı görüşünü belirttikleri gözlenmektedir. Bu sonuç, PTU dersinin sayısal düşünmeye yönelik atölyeler serisinin sonuncusu olması açısından değerlidir. Bu atölyeler bütün bir süreç olarak ele alındığında hedefe ulaşılabilirliğini göstermektedir.

Tablo 67. MSM I öğrencilerinin M.2.11. için vermiş oldukları cevaplar



M.2.12. “Sayısal / parametrik tasarım sürecinde sayısal ilişkilerin kurgulanması tasarım sürecinin doğru işlemesi açısından önemlidir.” maddesi sayısallaştırma süreci ile sayısal modelleme sürecinin bağlantısının yorumlanmasını amaçlamaktadır. Madde ile ilgili MSM I öğrencilerinin dokuzunda dönem başında fikri olmadığını, dönem sonunda ise sekizinin fikrinin olumlu yönde değiştiği görülmektedir. Diğer dersleri alan öğrencilerin ise yalnızca bir tanesi fikri olmadığını belirtmiş, diğer bütün öğrenciler ise hem dönem başında hem de dönem sonunda olumlu görüş bildirmiştir. Egzersiz süreçlerinde sayısal düşünme kavramına sıklıkla vurgu yapılmış olması, maddeye verilen cevapların çoğunlukla olumlu olmasında etkili olmuştur.

M.2.13. “Sayısal / parametrik tasarım aracı / yazılımı kullanmamın iş hayatında işime yarayacağını düşünüyorum.” maddesi öğrencinin sayısal tasarımın geleceği ile ilgili fikrini ölçebilmek için sorulmuştur. Her dört dersi almış olan öğrencilerin içinde maddeye olumsuz yanıt veren hiçbir öğrenci bulunmamaktadır. Bu durum öğrencilerin sayısal tasarım konusunda bir ön görüşlerinin olduğunu göstermektedir.

M.2.14. “Bir mimari formu matematiksel karşılığını bilmeden de üretebilirim.” maddesi konvansiyonel tasarım süreçleri ile sayısal tasarım süreçleri arasındaki temel fark olan sayısallaştırma sürecine matematiksel karşılıklar üzerinden yaklaşmaktadır. Bu maddeye dört dersin öğrencilerinin vermiş oldukları cevaplar incelendiğinde bir fikir birliğine varamadıkları görülmektedir. Sayısal modelleme süreçlerinde formun matematiksel karşılığının bilinmesi bir gereklilik değildir. Önemli olan sürecin sayısal ilişkilerinin net biçimde ortaya konulabilmesidir. Uygulanan egzersiz süreçlerinde de bazen

bir biçim bile parametrenin kendisi haline gelebilmektedir. Öğrencilerdeki farklı görüşlerin de bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

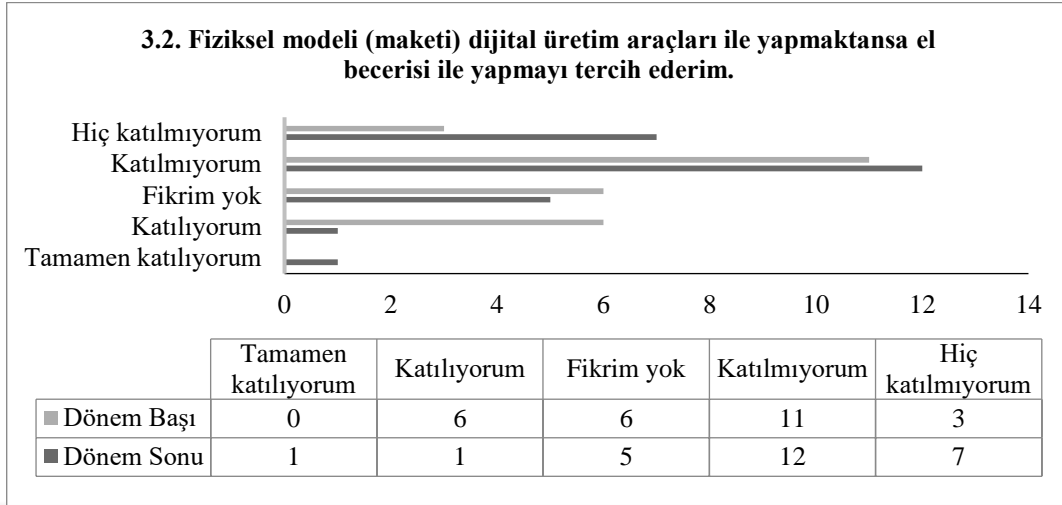
3.2.2. Sayısal Üretim ile İlgili Değerlendirmeler

Sayısal üretim ile ilgili ölçek maddeleri sayısal araçları ile ilgili öğrencinin genel görüşlerini ölçebilmeyi hedeflemektedir. Öğrencilerin sayısal üretim araçlarını daha önce kullanıp kullanmadıkları, sayısal üretim araçları ile sayısal düşünme arasındaki ilişki gibi konularda fikirleri alınmıştır. Bu başlıkta 6 adet ölçek maddesi bulunmaktadır.

M.3.1. “Dijital üretim araçlarının, bir tasarımın fiziksel olarak üretilebilmesini kolaylaştıracağını düşünüyorum.” maddesi ile öğrencinin dijital üretim araçlarına bakış açıları ölçülmeye çalışılmaktadır. Dönem sonunda yapılan ölçeklere verilen cevaplar incelendiğinde bütün öğrencilerin olumlu yönde görüş bildirdikleri görülmektedir. CNC lazer kesim gibi yöntemlere öğrenciler aşina oldukları için bu deneyimlerinin sonuçlara da yansıdığı görülmektedir. Bunun yanında öğrenciler egzersiz süreçlerinde üç boyutlu yazıcı, robot manipülatör gibi daha önce deneyimleme fırsatı bulamadıkları üretim süreçlerini de görmüşlerdir. Böylelikle sayısal üretim teknolojisinin olanaklarını deneyimlemişlerdir.

M.3.2. “Fiziksel modeli (maketi) dijital üretim araçları ile yapmaktansa el becerisi ile yapmayı tercih ederim.” maddesi öğrencilerin maket yapma süreçlerindeki tercihleri ile ilgili durumu tespit etmek üzere sorulmuştur. Bu maddeye verilen cevaplar incelendiğinde MSM II, MSM III ve PTU öğrencilerinin dönem başı ve sonunda vermiş oldukları olumlu /olumsuz cevap dağılımında çok büyük değişimler meydana gelmediği görülmektedir. MSM I öğrencilerinin sayısal üretim araçlarını tercih eden öğrenci sayısında artış yaşanmıştır. Bu durum, öğrencilerin sayısal üretim araçlarını birebir olarak ilk kez deneyimlemiş olmalarına bağlanabilir.

Tablo 68. MSM I öğrencilerinin M.3.2. için vermiş oldukları cevaplar



M.3.3. “Bu dersi almadan önce hiç dijital üretim aracı kullanmadım.” sorusu özellikle dönem başı için anlamlıdır ve öğrencilerin ders başlangıcındaki durumlarını tespit etmek üzere sorulmuştur. Bu oran özellikle MSM I öğrencilerinde %85’tir. Bu durum M.3.2.’deki artışı da destekler niteliktedir. Öğrencilerin sayısal üretim araçlarını ilk kez deneyimlemiş olmaları, bu araçlarının potansiyellerinin farkına varmalarını sağlamıştır.

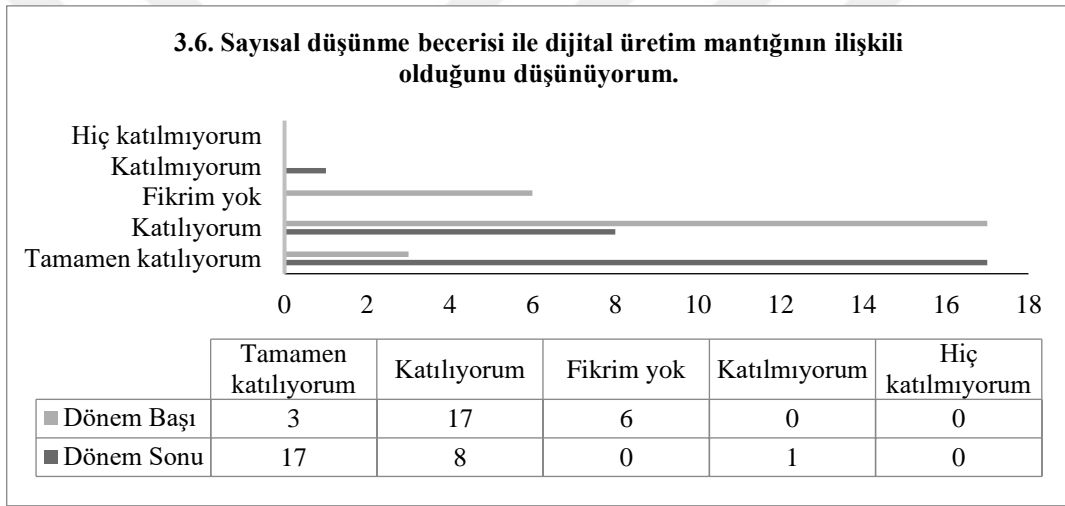
M.3.4. “Dijital üretim araçları sayesinde şimdiye kadar kullandığımdan farklı formlar üretebileceğimi düşünüyorum.” maddesi öğrencilerin form üretimi ile sayısal fabrikasyon araçları arasındaki ilişkiye yönelik görüşlerindeki değişimi ölçmeyi amaçlamaktadır. Bütün öğrencilerin cevapları incelendiğinde öğrencilerin %95’inden fazlası dönem başında yapılan değerlendirmede olumlu cevap vermesi nedeniyle, dönem sonu cevaplarında büyük bir değişim gözlenmemiştir. Ancak MSM II öğrencilerinden fikri olmayan dört öğrenciden yalnızca biri görüşünü değiştirmiştir. Bu dersi almış olan öğrencilerin konu ile ilgili dönem sonunda da fikrinin olmaması ders sürecinde sayısal üretim süreçlerinin eksik kalmış olabileceğine işaret etmektedir. Egzersiz süreçleri güncellenerek sayısal üretim ile daha da bağlantılı hale getirilebilir.

M.3.5. “Dijital üretim araçlarının tasarım sürecinin bir parçası haline gelmesinin mimarlığın geleceğini değiştireceğini düşünüyorum.” maddesi ile sayısal tasarım araçlarının mimariyi form, üretim süreçleri gibi yönlerden dönüştürme ve bunun geleceğin mimarlığını değiştirme potansiyelini sorgulatmaktadır. Madde ile ilgili hiçbir öğrenci ne dönem başında ne de sonunda olumsuz fikir belirtmiştir. MSM I öğrencilerinden dört, MSM II öğrencilerinden ise iki kişi fikri olmadığı yönündeki görüşünü dönem sonunda olumlu yönde

değiştirmiştir. Bu durum, öğrencilerin sayısal tasarım araçlarının taşıdıkları potansiyelin farkında olduklarını göstermektedir.

M.3.6. “Sayısal düşünme becerisi ile dijital üretim mantığının ilişkili olduğunu düşünüyorum.” maddesi egzersizlerin temel hedeflerinden biri olan sayısal düşünme ile sayısal üretim süreçleri arasındaki ilişkinin sorgulanmasını hedeflemektedir. Bu madde için verilen cevaplarda en büyük değişim MSM I öğrencilerine ait ölçekte görülmüştür. Dönem başında altı öğrencinin konu ile ilgili fikri yok iken dönem sonunda yalnızca bir öğrencinin fikri olumsuz dönmüş, diğer öğrenciler olumlu fikir belirtmişlerdir.

Tablo 69. MSM I öğrencilerinin M.3.6. için vermiş oldukları cevaplar



MSM III ve PTU öğrencilerinin ise hem dönem başında hem de dönem sonunda olumlu görüş belirttikleri tespit edilmiştir. MSM III ve PTU öğrencilerinin olumlu görüşleri, birbiri ile bağımlı atölyeler serisi olarak kurgulanmış olan uygulama sürecinin öğrencide giderek artan bir sayısal tasarım bilinci oluşturduğunu göstermektedir.

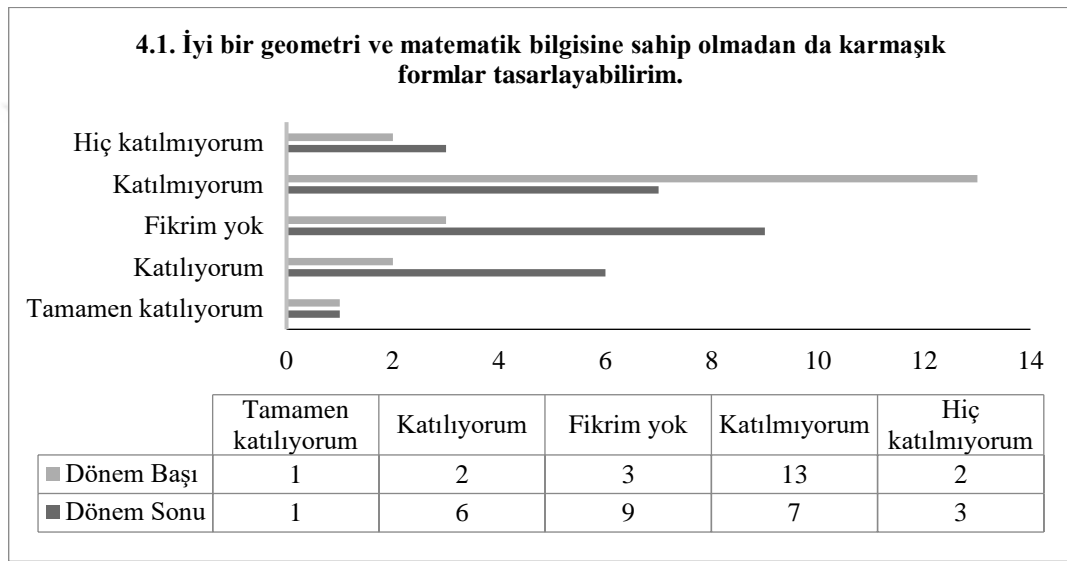
3.2.3. Sayısal Düşünme ile İlgili Değerlendirmeler

Sayısal düşünme ile ilgili ölçek soruları genel olarak sayısal düşünme süreçleri ve bunun sayısal modelleme süreçleri ile ilişkisini kapsamaktadır. Bu başlıkta 8 adet ölçek maddesi bulunmaktadır.

M.4.1. “İyi bir geometri ve matematik bilgisine sahip olmadan da karmaşık formlar tasarlayabilirim.” maddesi öğrencilerin matematik ve geometri bilgisi ile karmaşık form

tasarımı arasındaki görüşlerini tespit edebilmek amacıyla sorulmuştur. Bu soruya ilişkin cevaplar incelendiğinde öğrencilerin farklı görüşler belirttikleri görülmektedir. Bu soru geometri odaklı atölye süreçlerine odaklanan MSM I öğrencileri için daha fazla anlam taşımaktadır. O nedenle MSM I öğrencilerinin dönem başı ve sonu cevapları arasında keskin farklar olması beklenmiştir. Geometri odaklı egzersizlerin sonuncusunun doğrudan matematiksel fonksiyonlar ile yürütülmüş olması bu beklentiyi doğurmaktadır.

Tablo 70. MSM I öğrencilerinin M.4.1. için vermiş oldukları cevaplar



MSM I öğrencileri tarafından verilmiş cevaplar incelendiğinde (Tablo 70), dönem sonunda, iyi bir geometri ve matematik bilgisi olmasının gerekmediğini söyleyenlerin ve kararsız öğrencilerin sayısında artış olduğu görülmüştür. Tam tersi olması beklenen bu durumun nedeni, öğrencilerin sayısal tasarım süreçlerine tam olarak hâkim olamamaları ve bu nedenle zihinlerinde canlanan tasarımı sayısal ortama aktarırken sorun yaşamaları olmuş olabilir. Öğrenciler egzersiz sürecinde matematiksel tanımlarla tasarlama sürecinde zorluklar yaşamışlar ve bunların üretimi aşamasında da sıkıntılar çekmişlerdir. Bu durum öğrenci görüşlerine bir olumsuzluk olarak yansımış olabilir.

Diğer dersleri almış olan öğrencilerin cevaplarında da benzer şekilde iyi bir geometri ve matematik bilgisine sahip olmanın gerekli olmadığı görüşünün arttığı ve dönem sonunda hala konu ile ilgili kararsız öğrencilerin olduğu belirlenmiştir. Bu durum, sayısal düşünme ile geometrik ve matematiksel çözümler arasındaki ilişkilerin daha net tanımlanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. PTU dersinde bile olumlu olumsuz oranlarının yarı yarıya

olması, egzersiz süreçlerinde gerçekleştirilmiş olan geometrik ve matematiksel çözümlerinin öğrenciler tarafından çok da farkına varılmadığını göstermektedir.

Önermenin yalnızca tasarım üzerinden tartışmaya açılması da farklı görüşlerin ortaya çıkmasına neden olmuş olabilir. Bu bağlamda önerme yanlış bir açıdan değerlendirilmiş olabilir. Karmaşık formların rastlantısal biçimde veya arkasındaki sayısal ilişkileri ortaya çıkarmadan bir modelleme programı üzerinde tasarlamak mümkündür. Ancak ortaya çıkan sonucun aynı zamanda üretilebiliyor olması da önemlidir. Aynı önerme üretim üzerinden de tartışılıyor olsaydı geometri ve matematik bilgisinin gerekliliği daha fazla vurgulanabilirdi. Günümüzde tarama teknolojisi sayesinde elle biçimlendirilmiş bir karmaşık formun bile taranarak sayısal ortama aktarılması mümkün olmaktadır. Ancak üretim süreci düşünülme başladığında matematik ve geometri bilgisi işin içine daha fazla dahil olmaktadır. Üretim ve tasarım süreçlerindeki bu farkın öğrenci görüşlerinde de çok sesliliğe yol açtığı görülmektedir.

M. 4.2. “Matematik, mimarlık ile bire bir ilişkilidir.” maddesi sayısal düşünme süreçleri ile matematiksel düşünme arasındaki bağlantıya dayanarak sorulmuş olup, öğrencinin dönem içerisindeki fikir değişimini ölçmeyi hedeflemektedir. Ölçek maddesine tüm öğrenciler tarafından verilmiş olan cevaplar incelendiğinde dönem sonunda yalnızca bir öğrencinin kararsız kaldığı, diğer tüm öğrencilerin olumlu görüş bildirdikleri görülmektedir.

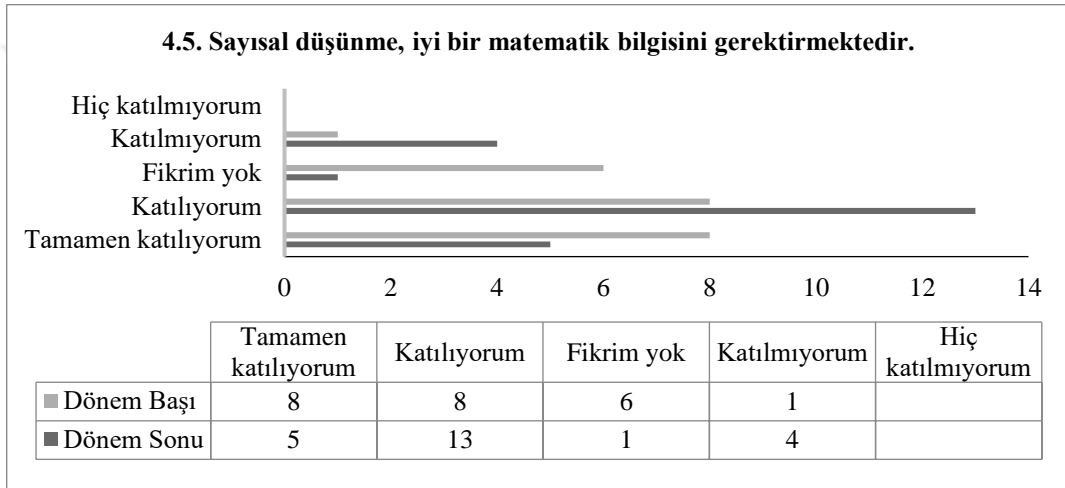
M.4.3. “Geometri, mimarlık ile bire bir ilişkilidir.” maddesi geometrinin sayısallaştırılabilmesi, formlar arasındaki sayısal ilişkilerin görülebilmesi gibi konular üzerinden geometrinin mimarlık ile ilişkisini tartışmaktadır. Öğrenci cevaplarının M.4.2.’ye benzer şekilde olduğu tespit edilmiştir. Geometri ile mimarlık ilişkisi konvansiyonel tasarım süreçlerinde de tartışılmakta olan bir konu olduğu için öğrencilerin bu konuda derslerden önce de fikir sahibi oldukları görülmektedir. Uygulanan egzersizlerin sonunda konu ile ilgili olumsuz fikri olan ya da fikri olmayan öğrencilerin de dönem sonunda olumlu yönde fikir beyan ettikleri, olumlu ön görüye sahip öğrencilerin ise bu ön görüşlerini kesinleştirdikleri tespit edilmiştir.

M.4.4. “Teknoloji, mimarlık ile bire bir ilişkilidir.” maddesi hem sayısal üretim hem de sayısal modelleme ile ilgili teknolojilerin mimarlığa yansımaları üzerine düşündürmeyi amaçlamaktadır. Tüm öğrencilerin vermiş oldukları dönem sonu cevapları incelendiğinde yalnızca bir öğrencinin konu ile ilgili fikri olmadığı, diğer öğrencilerin ise teknoloji ile mimarlığın ilişkili olduğunu düşündükleri görülmektedir. Günümüzde teknolojinin gündelik

hayatın içinde bile çok yoğun olarak kullanıldığı düşünüldüğünde bu sonuçlar şaşırtıcı olmamaktadır.

M.4.5. “Sayısal düşünme, iyi bir matematik bilgisini gerektirmektedir.” maddesi matematik bilgisi ile sayısal düşünme arasındaki ilişkiyi düşündürmeyi amaçlamaktadır. Bu ölçek maddesine ilişkin dönem sonu yanıtları incelendiğinde MSM I öğrencilerinden bir, MSM II öğrencilerinden ise dört tanesinin sayısal düşünmenin iyi bir matematik bilgisi gerektirmediğini düşündükleri görülmüştür.

Tablo 71. MSM II öğrencilerinin M.4.5. için vermiş oldukları cevaplar

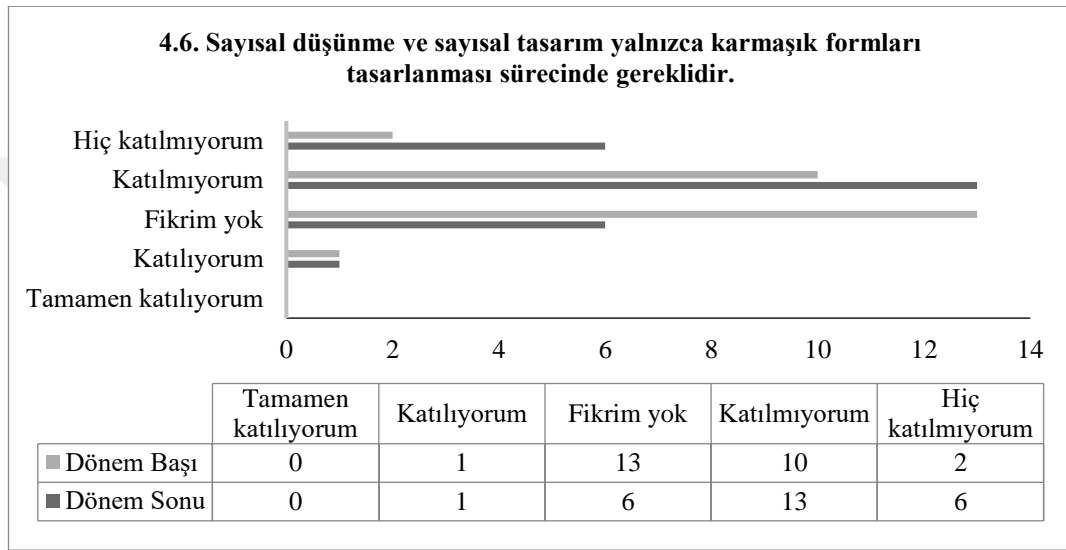


MSM II dersinde bu sayının yüksek çıkması beklenmeyen bir durum olmuştur. Bu ders kapsamında malzeme odaklı atölye çalışmaları gerçekleştirilmiş ve önce konvansiyonel yöntemlerle yaparak öğrenme süreci, sonrasında da sayısal modelleme süreci gerçekleştirilmiştir. Verilen cevaplar, öğrencilerin sayısal düşünmenin aslında bir matematiksel kurguyu da içerdiğini göremediklerini göstermektedir. M.4.1.’de de öğrencilerde benzer bir anlayamama durumu olduğu tespit edilmiştir. Bu iki ölçek maddesinden hareketle, egzersizlerin matematik ile ilişkisinin daha vurgulu bir biçimde anlatılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

M.4.6. “Sayısal düşünme ve sayısal tasarım yalnızca karmaşık formları tasarlanması sürecinde gereklidir.” maddesi sayısal tasarım süreçleri ile yalnızca karmaşık formlar üretilir genelmesi ile ilgili fikirlerini sorgulamak amacıyla sorulmuştur. Bu algıyı yıkabilmek adına özellikle geometriye odaklanan egzersizler serisinde öklidyen geometriler ile başlayan temel geometrilerin sayısal mantık içerisinde tasarım sürecinin içerisinde yer almasına

odaklanılmıştır. MSM I dersini almış olan öğrencilerin görüşlerinde fikri olmayan öğrencilerin neredeyse yarısının fikirlerini sayısal tasarımın yalnızca karmaşık formların tasarlanması için gerekli olmadığı yönünde değiştirmişlerdir. Ancak yine de dönem sonunda hala fikir sahibi olmayan altı öğrencinin olması sayısal tasarımın her türlü tasarım ürünü için kullanılabilmesine yapılan vurguyu artırmak gerektiğine işaret etmektedir.

Tablo 72. MSM I öğrencilerinin M.4.6. için vermiş oldukları cevaplar

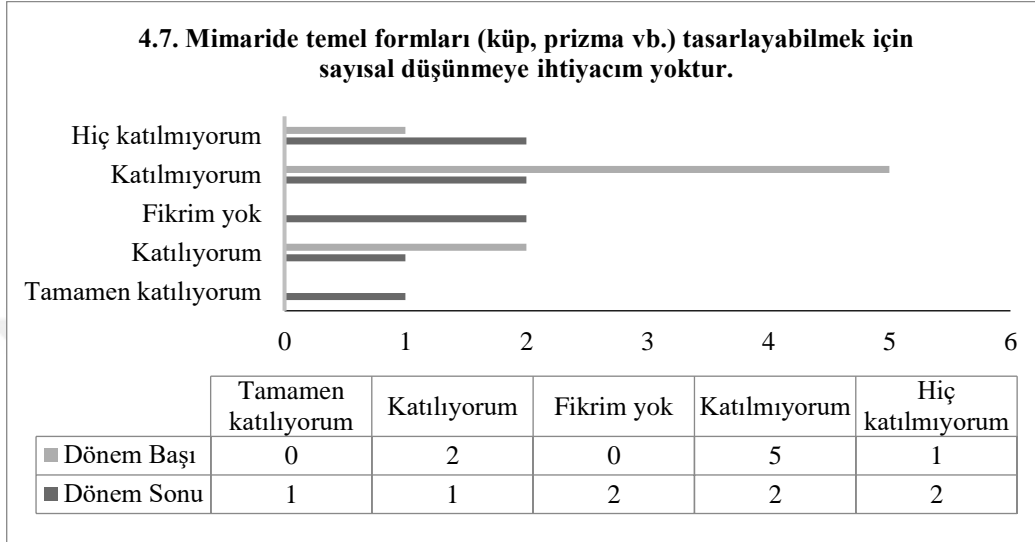


MSM II ve PTU dersini almış olan öğrencilerin dönem başı ve sonundaki fikirlerinde büyük bir fark olmamış, yalnızca MSM II grubundan bir öğrenci fikrini dönem sonunda “tamamen katılıyorum” şeklinde değiştirmiştir. MSM III grubundan ise iki öğrenci ölçek maddesine katıldığı yönünde fikir belirtmiştir. Genel duruma bakıldığında, öğrencilerin çoğunluğunun sayısal tasarım süreçlerinin yalnızca karmaşık formların tasarlanması aşamasında gerekli olmadığını farkında oldukları görülmektedir.

M.4.7. “Mimaride temel formları (küp, prizma vb.) tasarlayabilmek için sayısal düşünmeye ihtiyacım yoktur.” maddesi öğrencilerin temel geometriler ile sayısal düşünme arasındaki ilişkiye yönelik fikirlerini ölçebilmek için sorulmuştur. Ölçek maddesine verilmiş olan cevaplar incelendiğinde MSM I öğrencilerinden kararsız olanların %70’inin fikirleri sayısal düşünmeye ihtiyaç olduğu yönünde değişmiştir. MSM III öğrencilerinde ise dönem başında hiç kararsız yokken, dönem sonunda iki kararsız öğrencinin olduğu tespit edilmiştir (Tablo 73). Yine MSM III öğrencilerinden ikisi temel formları tasarlarken sayısal düşünmeye ihtiyaçları olmadığını düşünmektedir. Bu durum, sayısal üretim yöntemleri

odaklı atölye sürecinde formun sayısallaştırılması aşamasına biraz daha ağırlık verilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 73. MSM III öğrencilerinin M.4.7. için vermiş oldukları cevaplar



M.4.8. “Sayısal düşünme becerisinin matematik ve geometri bilgisi ile bir ilgisi yoktur.” maddesi daha önce sorulmuş olan soruları için bir teyit niteliği taşımaktadır. Sonuçlar, daha önce sorulmuş olan maddeler ile paralellik göstermektedir. Ölçek değerlendirmesinin doğruluğu açısından önem taşımaktadır.

Değerlendirme ölçeğinin ilk dört başlığı, tüm derslerde uygulanmış ve bütün öğrencilere sorulmuş olan sorulardan oluşmaktadır. Beşinci başlık ise atölye süreçlerinin teması çerçevesinde özelleşmiş sorulardan oluşmaktadır.

3.2.4. Geometri, Malzeme, Sayısal Üretim Yöntemleri ve Yapma / Üretme ile İlgili Değerlendirmeler

Değerlendirme ölçeğinin beşinci bölümü, ders özelinde sorulmuş olan ve geometri, malzeme, sayısal üretim veya yapma / üretme ile ilgili sorulardan oluşmaktadır. Bu sorular, dönem içinde uygulanmış olan egzersizlerde üzerinde durulan konular hakkında öğrenci görüşlerini almak amacıyla sorulmuştur.

▪ Geometri ile ilgili değerlendirmeler:

Geometri ile ilgili değerlendirmeler yalnızca MSM I öğrencilerine sorulmuştur. Bu başlıkta dört adet ölçek maddesi bulunmaktadır.

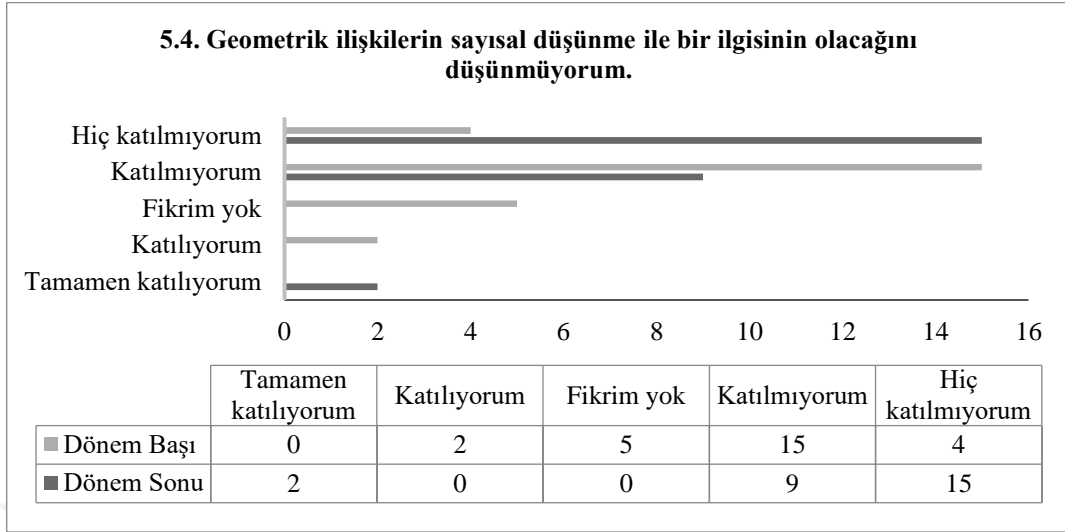
M.5.1. “Bir tasarımı oluşturan parçaların parametrelerinin belirlenmesi geometrilerin tanımlanması açısından önemlidir.” maddesi sayısallaştırma süreçleri ile geometrilerin tanımlanması süreci arasındaki ilişkiye atıfta bulunmaktadır. Dönem boyunca yapılan egzersizlerde tasarım süreçlerinin sayısal ilişkileri ile açıklanmasına odaklanılmıştır. Bu durumun öğrenci görüşlerine de yansıdığı görülmektedir. Konuya tamamen katılan öğrencilerin sayısının artmış olması, olumsuz görüş olmaması ve yalnızca bir öğrencinin konu ile ilgili kararsız kalması egzersiz süreçlerinin hedefine uygun olduğunu göstermektedir.

M.5.2. “Geometrik ilişkilerin kurulması sayısal / parametrik tasarımın bir parçasıdır.” maddesi egzersizlerin ilk bölümünde gerçekleştirilen sayısallaştırma süreçlerinin ikinci aşaması olan parametrik modelleme sürecinin bir parçası olmasına atıfta bulunmaktadır. Dönem sonu verilerine bakıldığında bütün öğrencilerin konu ile ilgili olumlu görüşe sahip oldukları görülmektedir. Bu bağlamda geometriye odaklanan egzersizlerin hedefine ulaştığı söylenebilir.

M.5.3. “Bir tasarım sürecinin sayısal olarak kurgulanabilmesi için tasarımı oluşturan geometrilerin matematiksel karşılıklarının bilinmesi gereklidir.” maddesi diğer maddelere benzer şekilde sayısallaştırma sürecinin matematiksel düşünme ile ilişkilendirilerek ele alınmasına odaklanmaktadır. Dönem başında fikri olmayan veya olumsuz düşünen öğrencilerin çoğunluğu fikirlerini olumlu yönde değiştirmiştir. Dönem sonunda 26 öğrencinin yalnızca ikisinin konu hakkında kararsız kalması, sayısal tasarım matematik ilişkisinin anlaşılabilirliğine işaret etmektedir.

M.5.4. “Geometrik ilişkilerin sayısal düşünme ile bir ilgisinin olacağını düşünmüyorum.” maddesi sayısallaştırma süreçleri ile geometrik ilişkilerin arasındaki ilişkiye yönelik öğrenci görüşlerinin değişiminin ölçülmesine odaklanılmaktadır. Dönem sonu görüşlerine göre öğrencilerin büyük çoğunluğu bu duruma kesinlikle katılmadıklarını bildirmişlerdir. Dönem sonunda verilen cevaplarda yalnızca iki öğrenci olumsuz görüş bildirmiş, geri kalan öğrenciler ise geometrik ilişkilerin sayısal düşünme ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 74. MSM I öğrencilerinin M.5.4. için vermiş oldukları cevaplar



Geometri odaklı sorular değerlendirildiğinde, öğrencilerin tutarlı cevaplar verdikleri, egzersizlerin hedeflerine uygun şekilde görüş bildirdikleri görülmektedir. Bu durum, geometri odaklı egzersizlere ilişkin kurgunun amaç ve hedeflere uygunluğunu destekler niteliktedir.

■ Malzeme ile ilgili değerlendirmeler:

Malzeme ile ilgili ölçek soruları yalnızca MSM II öğrencilerine sorulmuştur. Bu başlık dört adet ölçek maddesinden oluşmaktadır.

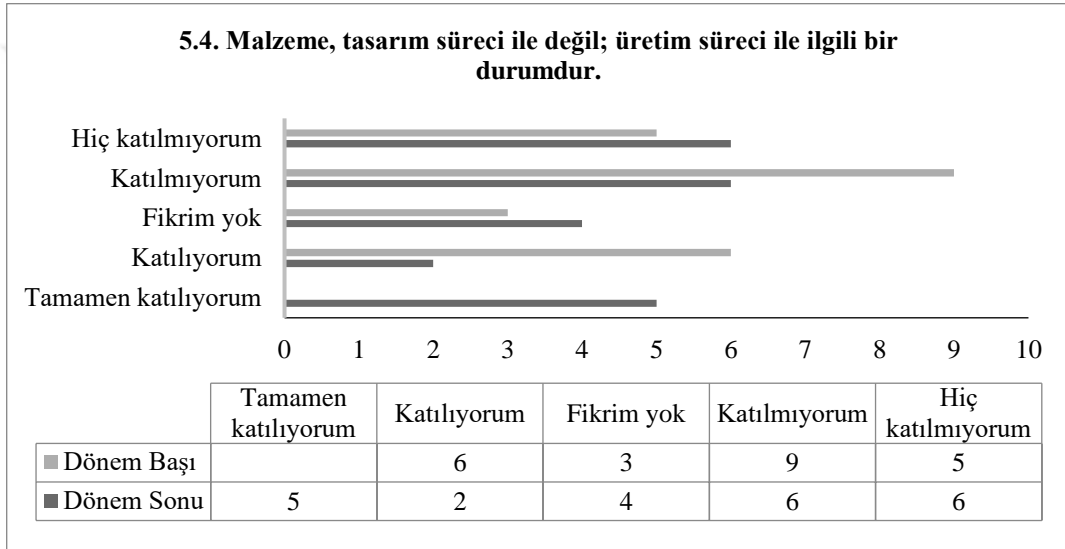
M.5.1. “Malzeme kullanımı sayısal / parametrik tasarımın bir parçasıdır.” maddesi sayısal tasarım süreci ile malzeme seçimi ilişkisinin sorgulanması hedeflemektedir. Dönem sonu cevaplarında öğrencilerden yalnızca ikisinin konu hakkında bir fikrinin oluşmadığı, diğer öğrencilerin ise malzemenin sayısal tasarımın bir parçası olduğunu belirttikleri tespit edilmiştir.

M.5.2. “Dijital üretim süreçlerinin tasarım sürecine katılması malzeme olanaklarının araştırılması açısından önemlidir.” maddesi sayısal tasarım araçlarının yaratmış olduğu yeni olanaklarla malzemeye ilişkin keşiflerin de yapılabileceği varsayımı üzerine kurgulanmıştır. Öğrencilerin dönem başında ve sonunda vermiş oldukları cevaplarda bir değişim olmadığı görülmüştür. Öğrenciler dönem başında da olumlu görüş belirttikleri için herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Yalnızca bir öğrenci dönem başı ve sonundaki sorulara fikri olmadığı yönünde cevap vermiştir.

M.5.3. “Dijital üretim sürecinde hangi malzemenin kullanıldığı önemlidir.” maddesi tasarım ve üretim sürecinde malzeme seçiminin etkisi üzerine düşündürmeyi

amaçlamaktadır. Kullanılacak olan sayısal üretim yöntemi, detaylar, sonuç ürünün nasıl görünmesi gerektiği gibi durumlar malzeme seçimine etki etmektedir. Maddeye ne dönem başında ne de sonunda olumsuz fikir bildiren öğrenci olmuştur. Konu ile ilgili fikirleri olmayan öğrencilerin ise dönem sonunda olumlu görüş bildirdikleri görülmektedir. Bu durum, malzeme seçiminin önemine stüdyo dersleri gibi diğer derslerde de vurgu yapılıyor olmasına bağlanabilir. Öğrenciler konu hakkında bilgiye sahip oldukları için dönem başındaki ve sonundaki görüşlerde çok büyük bir değişim meydana gelmemiştir.

Tablo 75. MSM II öğrencilerinin M.5.4. için vermiş oldukları cevaplar



M.5.4. “Malzeme, tasarım süreci ile değil; üretim süreci ile ilgili bir durumdur.” maddesi öğrenciyi malzeme kullanımı üzerine hem üretim süreci hem de tasarım süreci açısından düşündürebilmek için sorulmuş bir sorudur. Bu soruya verilmiş olan cevaplarda öğrencilerin fikir birliğine varamadıkları görülmektedir. Malzeme kullanımı hem tasarım sürecine hem de üretim sürecine etki ettiği için bu düşüncelerin hepsi doğru olarak kabul edilebilir.

Malzeme odaklı sorulara verilen cevaplar incelendiğinde, cevapların kendi içerisinde tutarlı oldukları görülmektedir. Sayısal tasarım, sayısal üretim ve malzeme ilişkisine doğru yorumlar yapabildikleri görülmektedir. Ancak dönem başında verilen cevaplar da göz önüne alındığında, öğrencilerin malzeme konusundaki doğru yorumları egzersiz süreçleri öncesinden de yapabildikleri görülmektedir. Bu nedenle, egzersiz süreçlerinin öğrencilerin fikirlerine olan etkisi bu ölçek maddelerinden tam olarak ölçülememektedir.

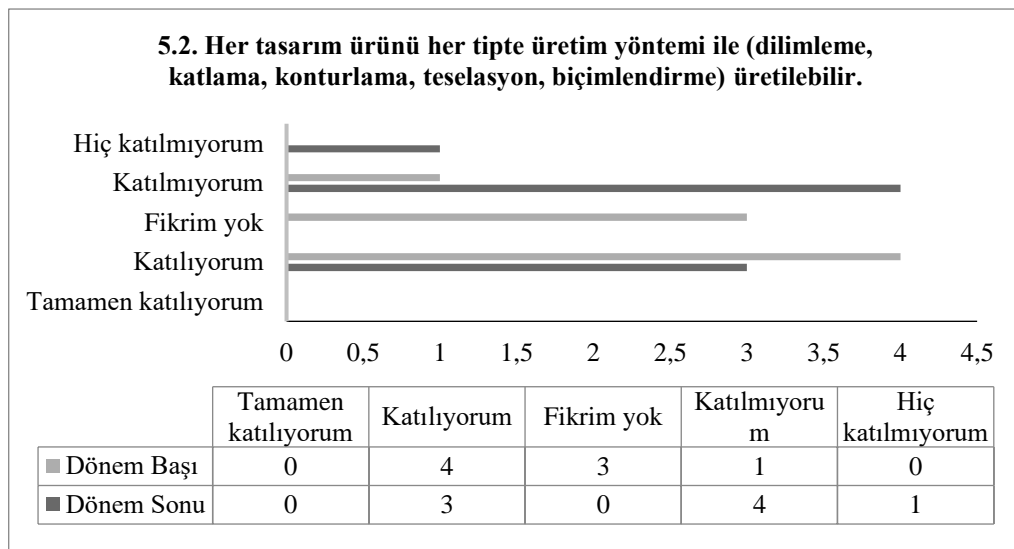
▪ Sayısal üretim yöntemleri ile ilgili değerlendirmeler:

Sayısal üretim yöntemleri ile ilgili değerlendirmeler başlığındaki maddeler yalnızca MSM III öğrencilerine sorulmuştur. Başlık dört adet maddeden oluşmaktadır.

M.5.1. “Bir tasarımı dijital üretim araçları ile üretebilmek için o tasarımı sayısallaştırmamız gerekmektedir.” maddesi sayısal üretim süreçleri ile sayısal düşünme arasındaki ilişkinin tartışılmasını hedeflemektedir. Verilen cevaplardan hareketle dönem başında ve sonunda benzer veriler elde edilmiştir. Konu ile ilgili fikri olmayan iki öğrencinin ise dönem sonu görüşünde değişim meydana gelmemesi egzersiz süreçlerinde sayısallaştırma temasına daha net vurgu yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

M.5.2. “Her tasarım ürünü her tipte üretim yöntemi ile (dilimleme, katlama, konturlama, teselasyon, biçimlendirme) üretilebilir.” maddesi üretim sürecinin tasarlanmasına atıfta bulunan bir maddedir. Bu bağlamda öğrencilerle yapılmış olan uygulamalarda her üretim yönteminin farklı etkiye sahip bir sonuç ürün ortaya çıkaracağı ve bu nedenle de üretim yöntemi seçiminin önemli olduğuna vurgu yapılmaya çalışılmıştır. Dönem başında konu ile ilgili fikri olmayan üç öğrencinin dönem sonunda üretimin özelleşmesi yönünde fikir beyan ettiği görülmektedir. Ancak dönem başında üretim süreci seçiminin önemli olmadığını öne süren üç öğrencinin fikrinde dönem sonunda bir değişiklik meydana gelmemiştir.

Tablo 76. MSM III öğrencilerinin M.5.2. için vermiş oldukları cevaplar



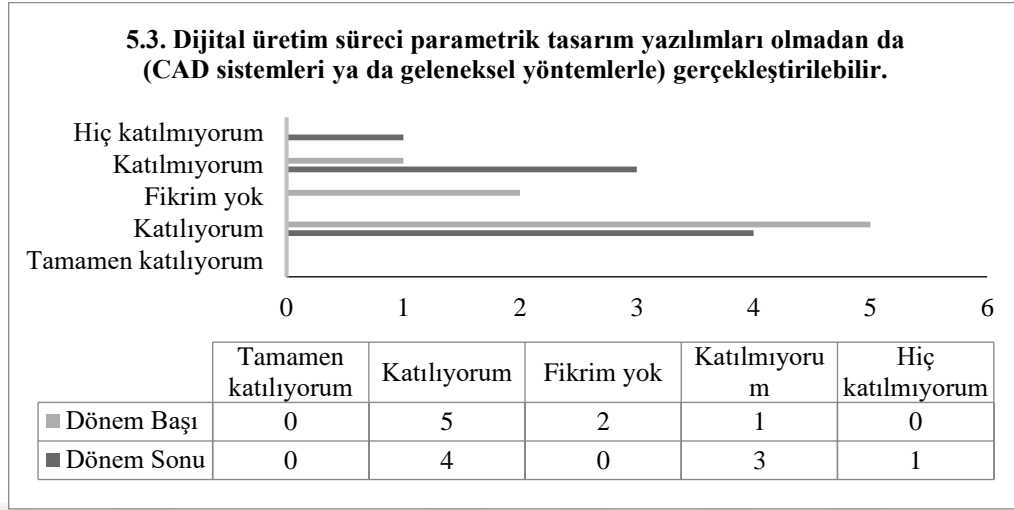
Pilot çalışma kapsamında uygulanmış, ancak bu dönem uygulanmamış olan aynı tasarım ürününün farklı üretim teknikleri ile üretilmesi egzersizinin (Şekil 78) gelecek çalışmalarda uygulanmaya devam edilebilir. Böylelikle öğrenci aynı ürünün farklı sonuçlarının görme ve tartışma fırsatı yakalayabilir.



Şekil 78. Pilot çalışma kapsamında uygulanmış olan egzersiz çalışması sonuç ürünleri

M.5.3. “Dijital üretim süreci parametrik tasarım yazılımları olmadan da (CAD sistemleri ya da geleneksel yöntemlerle) gerçekleştirilebilir.” maddesi sayısal olarak tasarlanmış bir ürünün üretim sürecine hazırlık aşamasına odaklanmaktadır. Ders kapsamında uygulanan egzersiz süreçlerinde sayısal ortamda elde edilen modeller zaman zaman CAD sistemleri ile zaman zaman da sayısal model üzerinden üretime hazırlanmıştır. Uygulanmış olan bu ikili sistem maddeye verilen cevaplarda da görülmektedir (Tablo 77). Öğrencilere esneklik tanımak için kullanılan bu sistemin öğrencide kafa karışıklığı yarattığı görülmektedir. Bu bağlamda egzersizlerin üretim süreçlerinin parametrik modeller üzerinden gerçekleştirilmesine ağırlık verilebilir.

Tablo 77. MSM III öğrencilerinin M.5.3. için vermiş oldukları cevaplar



M.5.4. “Bir tasarımın işlevine göre dijital üretim yöntemi de özelleşmelidir.” maddesi işlev ile üretim süreci arasındaki ilişkinin sorgulanmasını hedeflemektedir. Değerlendirme sonuçları işlev ile üretim şekli arasında bir ilişki olduğunu düşünen öğrenci sayısında bir artış olduğunu göstermektedir. Bu soru M.5.2. ile paralellik gösterse de öğrenciler bu soruya daha doğru yaklaşmışlar ve dönem sonu cevaplarında bir adet kararsız öğrenci dışında olumlu cevap vermişlerdir.

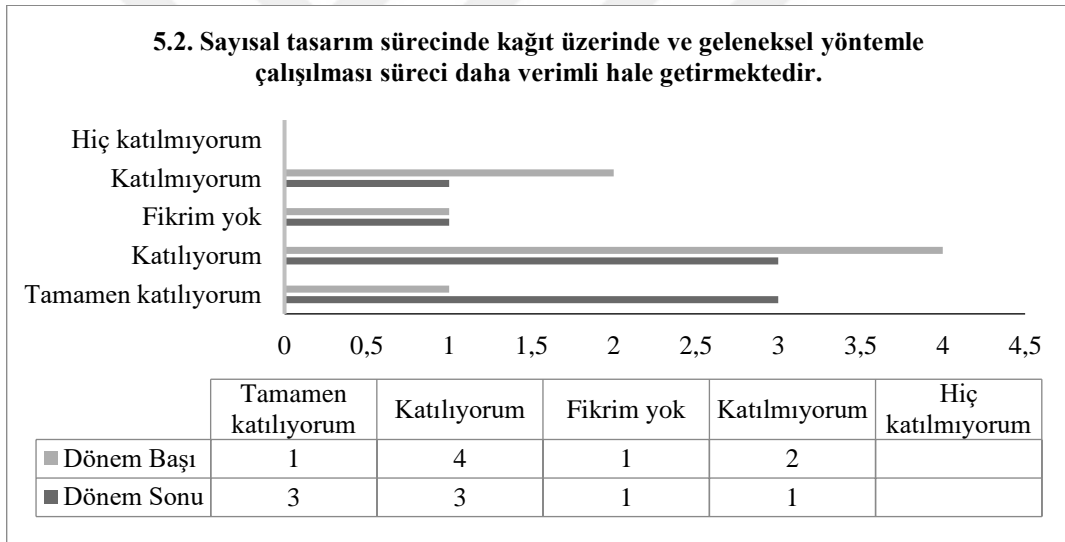
▪ Yapma / üretme ile ilgili değerlendirmeler:

Yapma / üretme ile ilgili ölçek soruları yalnızca PTU öğrencilerine sorulmuştur. Bu başlık beş adet ölçek maddesinden oluşmaktadır.

M.5.1. “Bir tasarımı sanal ortamda (3 boyutlu modelleme araçları ile) üretmek sorunları görmemiz açısından yeterlidir.” maddesi sanal ortamda bir model oluşturma ile prototip üretme arasındaki farkları sorgulamayı amaçlamaktadır. Modeli sayısal ortamda üretmenin yanı sıra fiziksel olarak da üretilmesi detay sorunlarının farkına varılmasını sağlayabilir. Bu nedenle hem sayısal hem de fiziksel ortamda üretimin önemli olduğuna ders işleyiş sürecinde de dikkat çekilmiştir. Verilen cevaplar incelendiğinde, bir öğrencinin sadece sayısal modellemenin yeterli olduğunu belirttiği iki öğrencinin ise kararsız kaldığı görülmüştür. Öğrencilerin büyük çoğunluğu ise fiziksel üretimin gerekli olduğunu düşünmektedir. PTU ders süreci Covid-19 salgını nedeni ile uzaktan eğitim ile devam ettiği için, üretim süreçleri etkin bir biçimde uygulanamamıştır. Bu nedenle de öğrencilerde bir fikir değişimi görülememiştir.

M.5.2. “Sayısal tasarım sürecinde kâğıt üzerinde ve geleneksel yöntemle çalışılması süreci daha verimli hale getirmektedir.” maddesi öğrencilerin alışageldikleri konvansiyonel yöntemler ile hâlâ öğrenme sürecinde oldukları sayısal yöntemler arasındaki verimlilik farkını değerlendirmelerini amaçlamaktadır. Grafikte (Tablo 78) öğrencilerin dönem başı ile sonunda belirttikleri fikirler arasında büyük bir fark olmadığı görülmektedir. Dönem sonunda da öğrencilerin %75’inin kâğıt üzerinde ve geleneksel yöntemlerle çalışmanın daha verimli olduğunu düşündükleri görülmektedir. Bu durum, sayısal tasarım eskizi öldürür, sayısal tasarım gelenekselin karıştıdır gibi düşüncelere karşı bir görüş olarak sunulabilir. Eskizler ve kâğıt üzerindeki ön çalışmaların atölye süreçlerinde sıklıkla kullanılmasının da bu düşüncelerin oluşmasına katkısı olmuş olabilir.

Tablo 78. PTU öğrencilerinin M.5.2. için vermiş oldukları cevaplar



M.5.3. “Bir tasarımı fiziksel olarak üretmek (maket) sorunları görmemizi sağlar.” maddesi M.5.1.’de sunulmuş olan önermeyi destekleyen ancak o maddeye göre biraz daha açık bir önerme sunmaktadır. Bu maddede doğrudan maket üzerinden değerlendirme yapılması istendiği için öğrencilerin hepsi hem dönem başında hem de dönem sonunda maketin gerekli olduğu yönünde fikir belirtmişlerdir. Çünkü maket yapma, öğrencilerin özellikle stüdyo derslerinden aşına oldukları ve tasarımlarındaki problemleri görebilmek açısından sıklıkla başvurdukları bir yöntemdir.

M.5.4. “1:1 ölçekli / prototip üretimler bir tasarımına ilişkin detayların çözülmesi açısından önemlidir.” maddesi bir tasarımın inşasına başlamadan önce, onun bir parçasının

prototip olarak üretilmesi ile ilgili görüşleri almayı hedeflemektedir. Bu ölçek maddesine bütün öğrenciler hem ilk hem de son ölçekte olumlu yanıt vermişlerdir. Prototip üretimi durumu da tıpkı maket yapmak gibi, gerekliliği herkesçe kabul edilen bir durumdur. Bu durum, öğrencilerin fikirlerine de yansımıştır.

M.5.5. “Bir tasarımı fiziksel olarak üretebilmek için o tasarımı sayısallaştırmak gereklidir.” maddesi sayısal düşünme ile üretim süreçlerinin ilişkisini sorgulatmayı amaçlamaktadır. Öğrencilerin özellikle dönem sonu fikirlerinde bu ölçek maddesine olumlu yanıt vermeleri beklenmiştir. Verilen cevaplar incelendiğinde cevaplarda çok küçük bir değişim olduğu, öğrencilerin %75’inin dönem başında ve sonunda bu önermeye katıldıklarını belirttikleri tespit edilmiştir. İlk ankette bu maddeye katılmayan bir öğrencinin fikrinin dönem sonunda da değişmediği görülmüştür. Yine dönem sonunda bir öğrencinin kararsızlık durumunun devam ettiği görülmektedir.

PTU dersinin, atölyeler serisine ait son ders olması ve öğrencilerin sayısal tasarım ile ilgili belirli bir bilgi birikimine sahip oldukları varsayılarak bu soruya öğrencilerin tamamının olumlu cevap vermesi beklenmiştir. Çünkü sayısallaştırma kavramı atölye çalışmalarının temel kavramıdır ve her çalışmada özellikle vurgulanmaktadır. Bu durum, atölye çalışmalarının yüz yüze işlenmemesinden kaynaklanmış olabilir. Bir diğer neden ise olumsuz düşünen ya da fikri olmayan öğrencilerin derse katılımları ile ilgili sorunlardan dolayı olabilir. Yine de egzersiz süreçlerinde sayısallaştırma vurgusunun net bir biçimde yapılmasından emin olmak gerekmektedir.

3.2.5. Öğrenci Görüş Ölçeği Bulgularına İlişkin Tartışmalar

Öğrenci görüş ölçeğine ilişkin en belirgin dönüşümler MSM I dersinin sonuçlarında görülmüştür. MSM I dersi atölyeler serisinin ilk dersi olduğu için öğrencilerin doğrudan sayısal tasarımı konu edinen maddelerle ilgili fikir sahibi olmadıkları; dönem sonunda ise fikirlerinin egzersiz süreçlerinin hedeflediği doğrultuda değiştiği gözlenmiştir. Öğrenciler sayısal tasarıma belirli kalıplar içerisinde yaklaşmaktadır. Örneğin; sayısal tasarıma ilişkin bir form düşündüklerinde akıllarına eğrisel, karmaşık formlar gelmektedir. Bu algıyı yıkabilmek için geometri odaklı yürütülen MSM I dersinde öklidyen formlar ve konvansiyonel tasarım yaklaşımları esas alınarak bir atölye süreci kurgulanmıştır. Bunun öğrenci üzerindeki etkisi sayısal tasarım araçlarının benzer formlara yol açması ile ilgili ölçek maddesi ile ölçülebilmektedir. Dönem sonu fikirlerinde MSM I öğrencilerinin çoğu

bu fikre katılmadıkları yönünde fikir belirtmişlerdir. Bu durum, geometri odaklı atölye sürecinin kurgusunun öğrencide beklenen bir değişim yaratabildiğini göstermektedir.

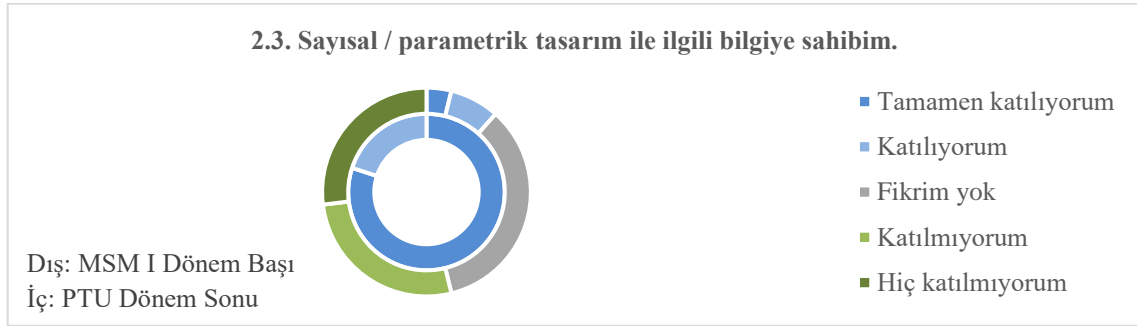
Tartışılması gereken bir başka madde ise öğrencilerin sayısal tasarım süreçlerini zor olarak niteledikleri maddedir. Konvansiyonel bir modelleme programında bir küp çizmek ile sayısal modelleme ortamında bir küp çizmek farklı bir düşünme sistemi gerektirmektedir. Konvansiyonel ortamda yalnızca küpün ölçülerinin girilmesi yeterli iken; sayısal ortamda küpe ilişkin her türlü sayısal ilişkinin düşünülerek bunun bir veri olarak kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda sayısal modelleme sürecini kurgulamanın biraz daha uzun sürdüğü bir gerçektir. Ancak konvansiyonel modelleme ortamında yalnızca bir adet sonuç ürün modellenmişken, sayısal model ortamında bir çözüm uzayı elde edilmiş olmaktadır. Öğrencilerin zor olarak niteledikleri bu süreci, portfolyolardan ve final çalışmalarından hareketle, başarı ile tamamlayabildikleri de göz ardı edilmemesi gereken bir gerçektir.

Derslerin seçmeli ders kategorisinde olması, dersi seçen öğrenciler arasında farka yol açmaktadır. Örneğin; MSM II dersi öğrencilerinin yarıya yakını bir önceki dersi almayan öğrenciler oluşturmuştur. Bu durum, dönem başı cevaplarının dönem sonuna göre daha homojen dağılmasına yol açmıştır. Dönem sonu cevaplarında ise öğrencilerin genellikle fikir birliğinde oldukları görülmektedir. Bu durum, egzersiz süreçleri sonunda bir önceki dersi almış ve almamış öğrencilerin benzer düşünce yapısına sahip olabildiklerini göstermektedir. MSM III ve PTU dersi öğrencilerinin ise çoğunluğu daha önce açılmış olan derslerden en az birini almış oldukları için sayısal tasarıma ilişkin bir fikirlerinin olması ölçek değerlendirmesine yansımıştır. Bu iki dersin sonuçlarında dönem başı ve sonundaki düşünce eğilimlerinin benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Dört atölye sürecini tamamlayan beş öğrenci bulunmaktadır. Beş öğrencinin PTU dersi dönem sonu görüşleri ile 26 adet MSM I öğrencilerinin dönem başında vermiş oldukları cevaplar karşılaştırılmıştır. Öğrenci sayıları farklı olduğu için cevaplar yüzdelik olarak ele alınmış ve bu nedenle daire grafik olarak verilmiştir. Daire grafiğinin dış bölümü MSM I öğrencilerinin dönem başı görüşlerini, iç kısmı ise beş öğrencinin PTU dersinin sonundaki görüşlerini temsil etmektedir. Grafikler iç içe verilerek değişimin karşılaştırmalı olarak okunabilmesi sağlanmıştır. Bu görüş karşılaştırması sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı geliştirilmesine yönelik eğitim modelini bütünüyle deneyimleyen öğrenciler ile bu model ile henüz karşılaşmamış öğrenciler arasındaki değişimi tartışmak amacıyla yapılmıştır. Karşılaştırma ölçek maddelerinin hepsi üzerinden yapılmamış, sayısal tasarım ile doğrudan bağlantılı ve görüş farklılıklarının okunabildiği maddeler üzerinden yapılmıştır.

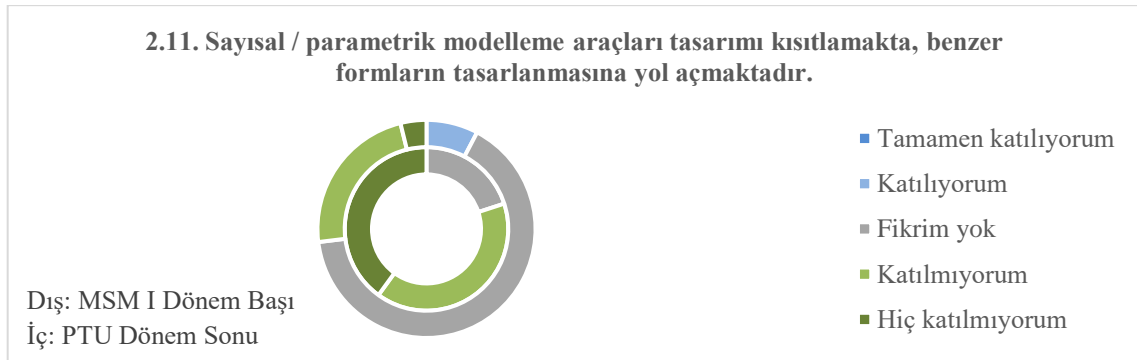
M.2.3. “Sayısal / parametrik tasarım ile ilgili bilgiye sahibim.” maddesine ilişkin ilk cevaplar çok büyük ölçüde olumsuzdur. Eğitim modeli uygulanmaya başlanmadan önce öğrencilerin sayısal tasarım hakkında bilgi sahibi olmadıkları görülmektedir. Eğitim modelini tamamlamış olan öğrenciler ise sayısal tasarım ile ilgili bilgiye sahip olduklarını beyan etmişlerdir. Bu karşılaştırma, eğitim modelinin öğrenim çıktılarında biri olan, öğrencide sayısal tasarıma ilişkin bir bilinç oluşturabilme çıktısı ile ilgili olumlu bir nitelik taşımaktadır.

Tablo 79. M.2.3. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



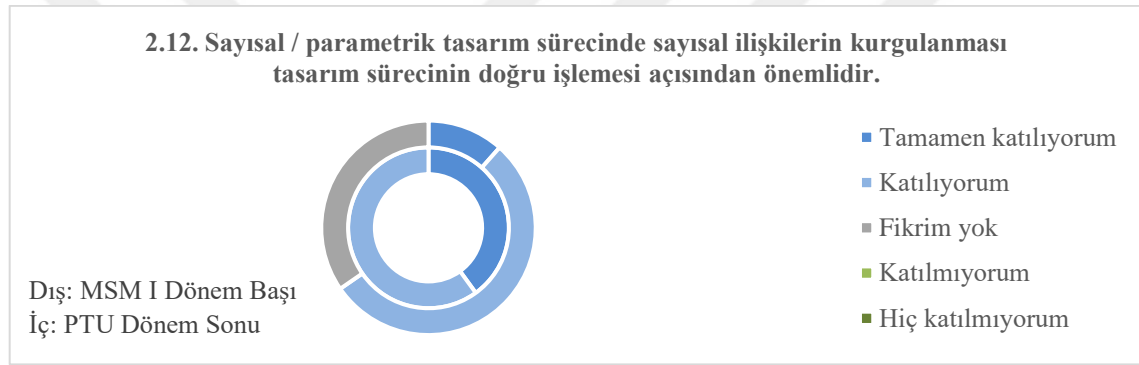
M.2.11. “Sayısal / parametrik modelleme araçları tasarımı kısıtlamakta, benzer formların tasarlanmasına yol açmaktadır.” maddesine verilen ilk cevaplar genellikle fikir sahibi olunmadığı yönünde verilmiştir. Süreci tamamlayan beş öğrenciden ise biri bu konuda fikir sahibi olmadığını belirtmiş, diğerleri ise bu ölçek maddesine katılmadıklarını söylemişlerdir. Eğitim sürecini tamamlayan her öğrencinin bu ölçek maddesine olumsuz cevap vermesi beklenirken, bir öğrencinin hâlâ kararsız olması egzersiz süreçlerinde uygulanan formların seçimine ilişkin bir eleştiri olarak kabul edilebilir.

Tablo 80. M.2.11. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



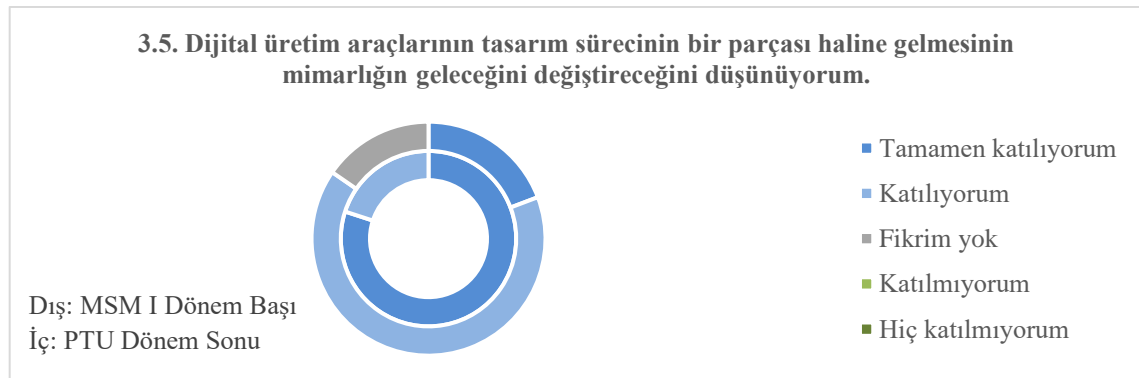
M.2.12. “Sayısal / parametrik tasarım sürecinde sayısal ilişkilerin kurgulanması tasarım sürecinin doğru işlemesi açısından önemlidir.” maddesi, egzersiz süreçlerinin ortak ve çok önemli bir noktası olan sayısallaştırma sürecine ve bu süreçte belirlenen ilişkilerin sayısal modelde karşılık bulmasına atıfta bulunduğu için önem taşımaktadır. Henüz dersleri almamış öğrencilerin yarıya yakınının bu konu hakkında fikir olmadıkları görülmektedir. Eğitim modelini tamamlamış olan bütün öğrenciler ise bu ölçek maddesine katıldıklarını belirtmişlerdir. Bu durum, sayısal ilişkilerin kurgulanması gerekliliğinin öneminin öğrenciler tarafından da anlaşılabilirliğini göstermektedir.

Tablo 81. M.2.12. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



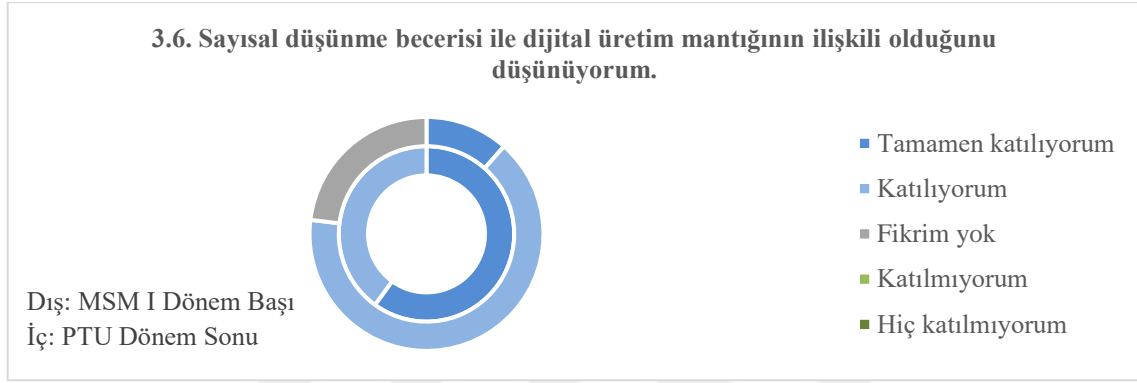
M.3.5. “Dijital üretim araçlarının tasarım sürecinin bir parçası haline gelmesinin mimarlığın geleceğini değiştireceğini düşünüyorum.” maddesine ilişkin cevapların da olumlu yönde değiştiği görülmektedir. Öğrenciler atölye süreçleri boyunca sayısal tasarım ve üretim araçları ile çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu araçların gelecek için taşıdıkları potansiyellerin farkına varmışlardır.

Tablo 82. M.3.5. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



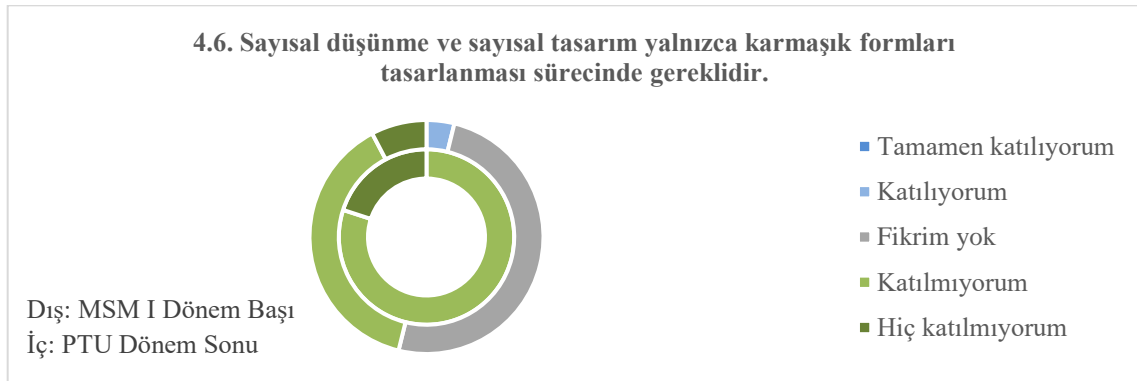
M.3.6. “Sayısal düşünme becerisi ile dijital üretim mantığının ilişkili olduğunu düşünüyorum.” maddesi eğitim modelinin temel öğrenim çıktılarında sayısal düşünmeye atıfta bulunmaktadır. Egzersiz süreçleri öncesinde konu ile ilgili fikri olmayan öğrencilerin olduğu görülmektedir. Süreci tamamlayan öğrenciler ise sayısal düşünme ile sayısal üretimin birbirleri ile ilişkili olduklarını düşünmektedirler.

Tablo 83. M.3.6. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



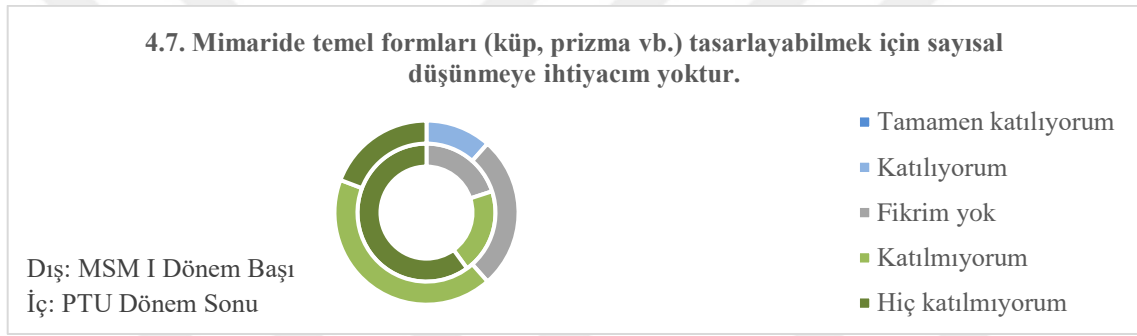
M.4.6. “Sayısal düşünme ve sayısal tasarım yalnızca karmaşık formları tasarlanması sürecinde gereklidir.” ölçek maddesine verilen cevapların atölye süreçleri sonunda katılmıyorum yönüne evrildiği görülmektedir. Atölye süreçlerinde sayısal tasarımın sonuç ürünün yalnızca karmaşık formlar olmadığına özellikle vurgu yapılmıştır. Bunun etkisi de görüş değişiminden okunabilmektedir.

Tablo 84. M.4.6. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



M.4.7. “Mimaride temel formları (küp, prizma vb.) tasarlayabilmek için sayısal düşünmeye ihtiyacım yoktur.” maddesine verilen cevaplar karşılaştırıldığında; başlangıçta bu maddeye ilişkin fikri olmayan veya katılan öğrenciler olduğu görülmektedir. Son cevaplarda ise bir öğrenci konu hakkında fikir sahibi olmadığını belirtmiştir. Atölye süreçleri sonunda öğrencilerin fikirlerinin olması gerektiği gibi dönüştüğü görülmektedir. Ancak fikri olmayan bir öğrencinin olmasına istinaden, aslında her türlü formun tasarım sürecinde sayısal düşünmeye ihtiyaç duyulduğu fikrinin daha fazla vurgulanabileceği çıkarımı yapılabilir.

Tablo 85. M.4.7. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



M.4.8. “Sayısal düşünme becerisinin matematik ve geometri bilgisi ile bir ilgisi yoktur.” maddesine ilişkin cevaplar karşılaştırıldığında; başlangıçta konu ile ilgili fikir sahibi olmayan öğrencilerin olduğu sonuçta ise bu fikirlerin atölye süreçlerinin hedeflediği doğrultuda dönüştüğü görülmektedir. Özellikle geometri odaklı egzersiz sürecinde bu ölçek maddesine atıfta bulunan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların olumlu katkıları öğrenci görüşleri üzerinden de fark edilebilmektedir.

Tablo 86. M.4.8. ölçek maddesine ilişkin karşılaştırma



Sonuç olarak; öğrenci görüş ölçeklerinden egzersiz süreçlerinin öğrencilere katkıları okunabilmektedir. Buna ek olarak egzersiz süreçlerinin güçlü ve zayıf yönleri de öğrencilerin vermiş oldukları cevaplardan yola çıkılarak tespit edilebilmektedir. Egzersiz süreçlerinin genel olarak öğrenim çıktılarını karşılayabilecek seviyede olduğu ve sayısal düşünmeye olumlu katkı sunduğu çıkarımı yapılabilmektedir.

3.3. Final Çalışmalarına Yönelik Bulgular

Tez çalışması kapsamında uygulanan dört atölye süreci sayısal düşünme odaklı egzersizlerden ve final çalışmasından oluşmaktadır. Final çalışması, öğrencilerin sayısal modeli oluşturabilme becerilerinin, üretim sürecinin planlanmasına ilişkin kararlarının, ortaya çıkan sorunlara çözüm geliştirebilme yetilerinin gözlemlenebildiği bir ortam sağlamaktadır. Öğrenci bütün bir dönem boyunca öğrenmiş olduğu bilgileri kullanarak bir ürün ortaya koymaya çalışır. Final çalışmaları her bir atölye sürecinin kendi temasına göre belirlenmiştir:

- Geometri odaklı atölye çalışmasının yürütüldüğü MSM I dersinin final çalışması konusu “parametrik aydınlatma elemanı” olarak belirlenmiştir. Öğrenciler dönem içerisinde gerçekleştirmiş oldukları karmaşık geometriler egzersizinde tanımlamayı öğrendikleri minimal yüzeyleri bir aydınlatma elemanına dönüştürmüşlerdir. Modellemiş oldukları tasarımların üretimlerini planlayarak üretim dosyası hazırlamışlar ve CNC lazer kesim cihazı kullanarak birer prototip üretmişlerdir.

- Malzeme odaklı atölye çalışmasının yürütüldüğü MSM II dersinin final çalışmasının konusu “parametrik kule” olarak belirlenmiştir. Öğrenciler sayısal ortamda üretmiş oldukları tasarımları her grup farklı bir malzeme kullanacak şekilde üretmişlerdir. Böylelikle benzer tasarım fikirlerinin farklı malzemelerle üretimleri deneyimlenmiştir.

- Sayısal üretim yöntemi odaklı atölye çalışmasının yürütüldüğü MSM III dersinin final çalışmasının konusu “parametrik bank” olarak belirlenmiştir. Öğrenciler dönem içerisinde geliştirmiş oldukları parametrik bank tasarımlarını iyileştirerek dilimleme yöntemi ile üretmişlerdir.

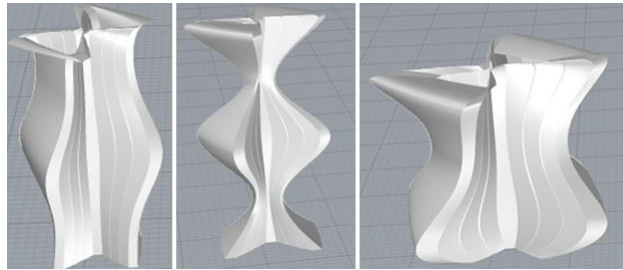
- 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmasının yürütüldüğü PTU dersinin final çalışmasının konusu “cebirsal heykel” olarak belirlenmiştir. Tasarım sürecinde minimal yüzeylerin kullanımı ile Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde belirledikleri bir

alana bir heykel tasarlamışlardır. Bu çalışma uzaktan eğitim ile yürütüldüğü için öğrencilerden üretime ilişkin fikir geliştirmeleri istenmiştir.

▪ MSM I dersi final çalışması:

MSM I dersi final uygulaması kapsamında, dönemin son egzersizi olarak uygulanan karmaşık geometriler çalışmasının geliştirilerek aydınlatma elemanı işlevine sahip bir tasarım ürününe dönüştürülmesi beklenmiştir. Öğrencilerden; tasarımı Grasshopper® üzerinde oluşturmaları, üretim yöntemlerini belirlemeleri, üretim dosyasını hazırlamaları, ürünü gerçek boyutu ile CNC lazer kesim cihazı kullanarak üretmeleri ve işleve uygun şekilde çalışır halde teslim etmeleri istenmiştir. Öğrenciler dört veya beş kişilik gruplar halinde çalışmışlardır.

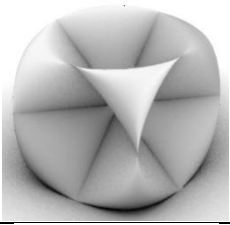
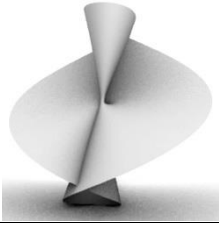
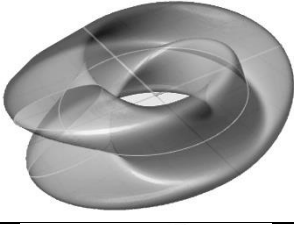
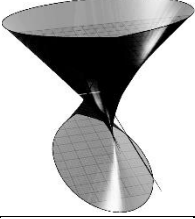
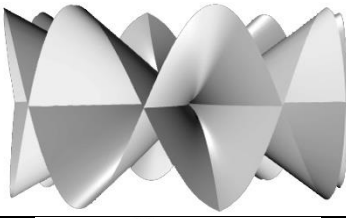
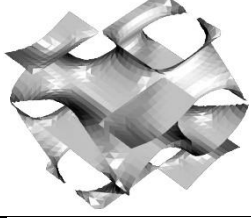
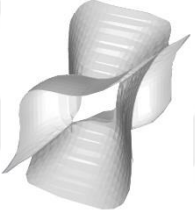
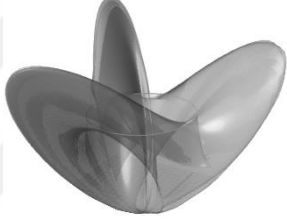
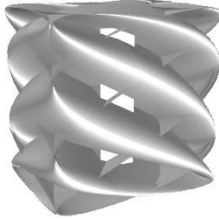

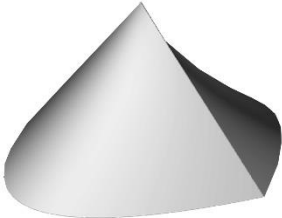
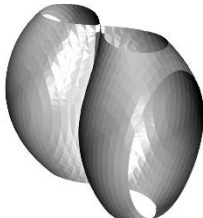
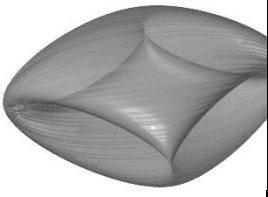
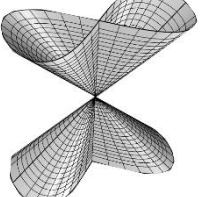
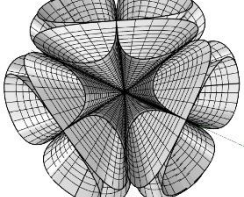

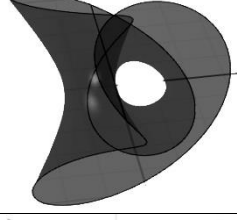
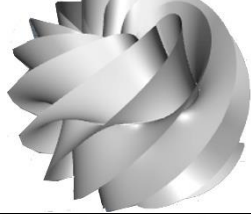
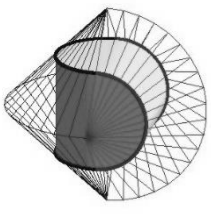

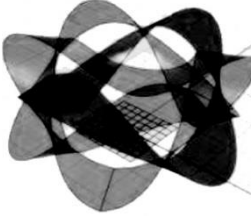
Final çalışmasının ilk aşaması sayısal modelin oluşturulması aşamasıdır. Öğrenciler, ilk olarak üçer alternatif üretmişlerdir (Tablo 87). Bu alternatiflerin içerisinde işleve en uygun olan seçenek seçilerek, bu seçim üzerinden yeni alternatifler elde edilmiştir (Şekil 79). Alternatifler, minimal yüzeye ait denklemlerde değişiklikler yapılarak elde edilmiştir. Bu aşama öğrenci gruplarının en çok zorlandıkları aşama olmuştur. Bazı gruplar biçimde istedikleri etkiye uygun değişimler yapamamışlar, Şekil 79'da görüldüğü gibi biçimsel olarak sorunlu sonuç ürünler elde etmişlerdir. Bu nedenle genellikle minimal yüzeyin orijinal biçimi üretilecek sonuç ürün olarak seçilmiştir.



Şekil 79. Grup 4 - Alternatif-1'e ait alternatif üretimleri

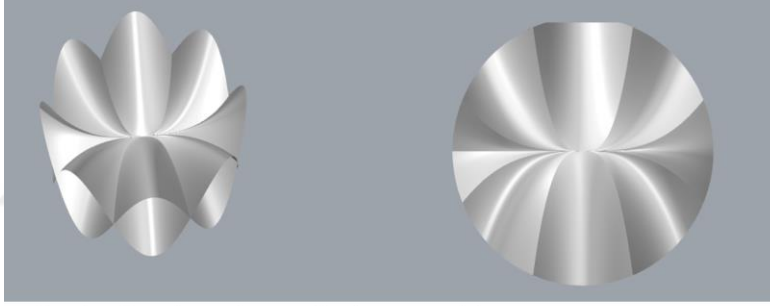
Sayısal tasarım aşamasında öğrenciler, bir işleve yönelik tasarım yapmaya çalıştıkları için parametre belirlemek, sayısal modelin ölçeklendirilmesi, modele malzeme kalınlığının tanımlanması gibi tasarıma ilişkin sorunlarla karşılaşmışlar ve bu sorunları çözmeye çalışmışlardır. Tasarım sürecinin bir bağlama oturtulması öğrencilerin sayısal tasarım sürecini daha net kavramalarına olanak tanımıştır.

Tablo 87. Alternatif tasarım ürünleri

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Grup 1			
Grup 2			
Grup 3			
Grup 4			
Grup 5			
Grup 6			
Grup 7			

Final çalışmasının ikinci aşaması sayısal üretim planlaması aşamasıdır. Bu aşama için öğrencilerin yalnızca CNC lazer kesim cihazını kullanabilecekleri söylenmiştir. Öğrenciler bu aşamada hangi malzemeyi kullanmak istediklerini ve üretimi nasıl gerçekleştireceklerini portfolyolarında anlatmışlardır. Öğrencilerin üretime ilişkin öngörülerini derste tartışılarak, üretim dosyasının nasıl hazırlanacağı ile ilgili fikirler üretilmiştir. Bu aşama bir fikir üretme aşaması olduğu için öğrencilerin zorlanmadıkları bir aşama olmuştur.

Final çalışmasının üçüncü aşaması üretim dosyasının hazırlanması aşamasıdır. Yalnızca CNC lazerin kullanılacağı düşünülerek, öğrencilere dilimleme veya cisim açılımı kullanabilecekleri yönünde fikir verilmiştir. Öğrenciler üretim süreci planlamasında ışık kaynağını koyacakları yerin, asılacaksa askı aparatını, parçaların birbirleri ile nasıl bağlanacaklarını düşünmüşlerdir. Üretim dosyaları önce Rhinoceros üzerinde oluşturulmuş sonrasında Autocad'e atılarak düzenlenmiştir.



Kullanılacak Malzemeler: eva, buzlu asetat, pleksi

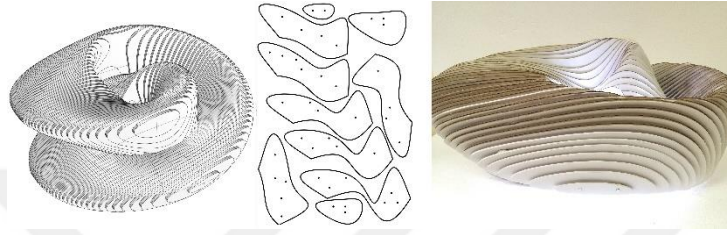
Üretim süreci :

Şekil toplamda 16 modülden oluşuyor. Her bir modül belirlenen noktalardan 4 parçaya bölünerek dış strüktür oluşturulur. Parçalar arası boşluklar eva ile kapatılır. Parçaların ortasındaki boşluklara lamba yerleştirilir. Parçalar bir araya gelerek şeklin son halini oluşturur.

Şekil 80. Grup 2'nin üretim süreci açıklamaları

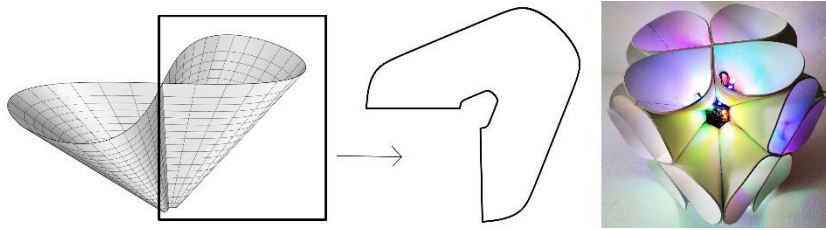
Final çalışmasının son aşaması üretim aşamasıdır. Grup 1, 3, 4 ve 6 dilimleme yöntemi kullanmayı tercih etmişlerdir (Şekil 81). Dilimleme yöntemini kullanmış olan gruplar, katmanları birbiri ile bağlantısını da düşünerek üretim dosyalarını oluşturmuşlardır. Grup 1 ve 4 katmanlar arasında boşluk bırakmayı tercih ettikleri için bir çubuk eleman yardımı ile parçaları bir arada tutmaya çalışmışlardır. Çubuk parçaların yerleri ve kalınlıkları belirlenerek modele işlenmiş, bu noktalar boşaltılarak üretim için hazırlanmıştır. Böylelikle biçimin doğru bir şekilde elde edilebilmesi sağlanmıştır. Grup 3 ve 6 ise katmanların arasında boşluk bırakmadan üretimi tercih etmişlerdir. Bu gruplar yapıştırma alanlarını belirleyerek parçaların üzerine çizdirmişler ve belirlenen noktalardan yapıştırma yaparak

ürünü oluşturmaya çalışmışlardır. Ancak her iki grup da temiz bir sonuç ürün çıkaramamıştır. Çünkü seçtikleri yöntem insan hatasına müsait bir yöntemdir ve üst üste yapıştırma sırasında milimetrik de olsa kaymalar olduğu için düzgün bir ürün elde edilememiştir. Bu noktadan hareketle, üretim sürecinin mümkün olduğunca sayısal üretim araçları yardımıyla hazırlanmasının daha nitelikli ürünlerin elde edilmesini sağladığı söylenebilir.



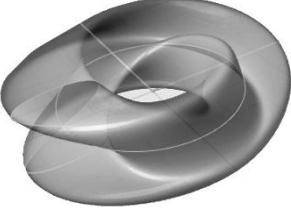

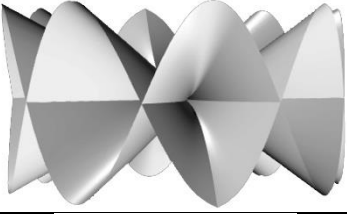

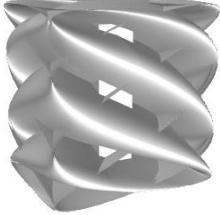



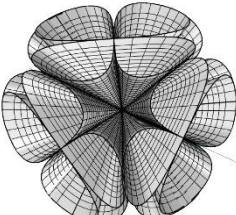

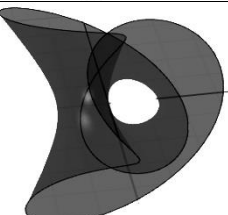

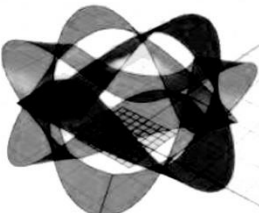

Şekil 81. Grup 1'e ait üretim dosyası örneği ve sonuç ürün

Grup 2, 5 ve 7 cisim açılımı yöntemini kullanmayı tercih etmişlerdir (Şekil 82). Cisim açılımı yönteminde kullanılan malzeme ve birimlerin birbiri ile bağlantısını sağlayan detay çözümleri önem taşımaktadır. Bu bağlamda Grup 2 detay çözümünü doğru kurguladığı, Grup 5 ise malzeme seçimini doğru yaptığı için başarılı sonuç ürünler elde etmişlerdir. Grup 7 ise hem malzeme seçimi hem de detay çözümü zayıf olduğu için sonuç ürünleri ayakta duramamıştır.



Şekil 82. Grup 5'e ait üretim dosyası örneği ve sonuç ürün

Tablo 88. Tasarım ürünleri ve sonuç ürünler

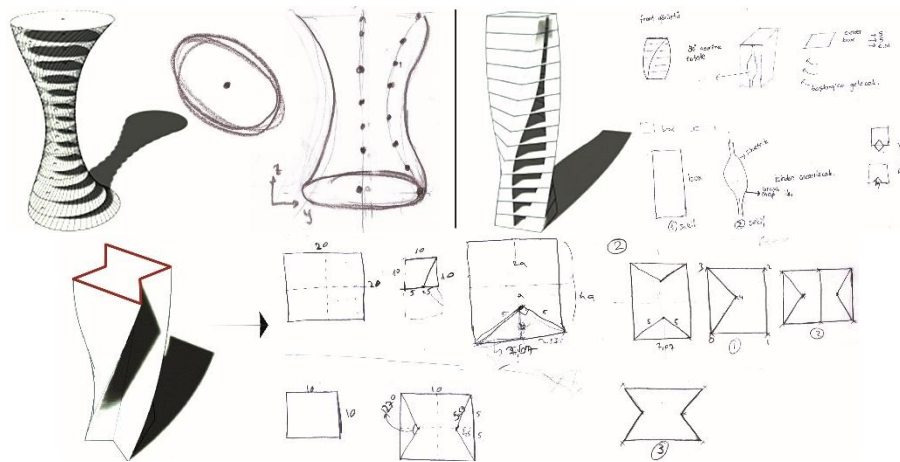
	Tasarım Ürünü	Sonuç Ürün
Grup 1		
Grup 2		
Grup 3		
Grup 4		
Grup 5		
Grup 6		
Grup 7		

Final çalışması süreci öğrencilerin dönem boyunca öğrendikleri şeyleri bir ürün üzerinde uygulama fırsatı vermiştir. Öğrenci grupları süreci büyük çoğunlukla kendi başlarına yürütmüşler, yalnızca takıldıkları bazı noktalarda yürütücünün desteğini almışlardır. Konu öğrenciler ile ilk defa paylaşıldığında tasarlayacakları ürünleri üretecekleri söylenmemiştir. Böylelikle öğrencilerin diledikleri tasarımı kendilerini kısıtlamadan yapmaları sağlanmıştır. Final çalışmasının üçüncü haftasında öğrencilerden üretim ile ilgili fikir üretmeleri istenmiştir. Bu aşamada öğrencilerde bir panik havası oluşmuş ve üretim sürecini başaramayacaklarını düşünmüşlerdir. Ancak üretim süreci ile ilgili detaylar ortaya çıktıkça endişe yerini hevese bırakmıştır. Çalışma sayesinde öğrenciler sayısal tasarımdan üretime kadar süreci bir bütün halinde deneyimlemiştir. Bu anlamda yaparak öğrenme odaklı süreç tam anlamıyla gerçekleştirilebilmiştir. Süreç içerisindeki doğru ve yanlışlardan deneyim kazanmışlardır.

▪ MSM II dersi final çalışması:

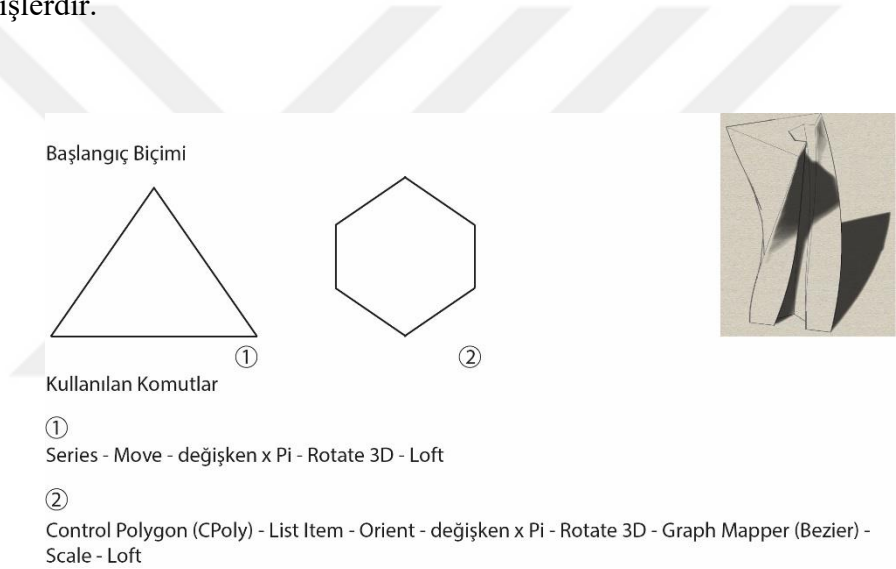
MSM II dersi final çalışması konusu parametrik kule olarak belirlenmiştir. Bu konu pilot çalışma aşamasında üretimi de kapsayan bütün bir süreç olarak gerçekleştirilmiştir. Son uygulanan çalışma ise uzaktan eğitim sürecine denk geldiği için uygulama kısmı yapılamamıştır. Bu nedenle bu bölümde pilot çalışmadan edinilen gözlemler aktarılmıştır.

Final çalışması kapsamında dört öğrenci grubu oluşturulmuş ve her öğrenci grubuna bir parametrik kule görseli verilmiştir. İlk aşamada öğrencilerden bu görselleri analiz etmeleri ve kuleyi oluşturan temel geometrileri açığa çıkarmaları beklenmiştir. Öğrenciler eskizler çizerek kule tasarımının mantığını anlamaya çalışmışlardır (Şekil 83).



Şekil 83. Analiz çalışmalarından örnekler

Analiz çalışması aslında dönem içerisinde gerçekleştirilen sayısallaştırma çalışmalarının bir benzeridir. Sonraki adımda, analiz edilen bilgiler ile biçime ait bir sayısal model oluşturmaları istenmiştir. Bu aşama öğrencilerin sayısallaştırdıkları verileri model sürecine aktarıp aktaramadıkları görülmek istenmiştir. Bu aşamada dört grubun da kendilerine verilmiş olan görsel benzer bir modeli oluşturabildikleri gözlenmiştir. Bu aşama, öğrencilerin tamamen kendi başlarına bir sayısal model oluşturabildiklerini görmek açısından önemlidir. Modelleme sürecinin ikinci aşamasında öğrencilere sayısal modelleme sürecini anlatan bir görsel verilmiştir (Şekil 84). Bu görselde başlangıç biçimleri ve başlangıç biçimlerine uygulanan komutlar verilmiştir. Öğrenciler bu veriler ile kendi oluşturdukları sayısal modelleri karşılaştırarak üretim aşaması için kullanacakları modeli geliştirmişlerdir.

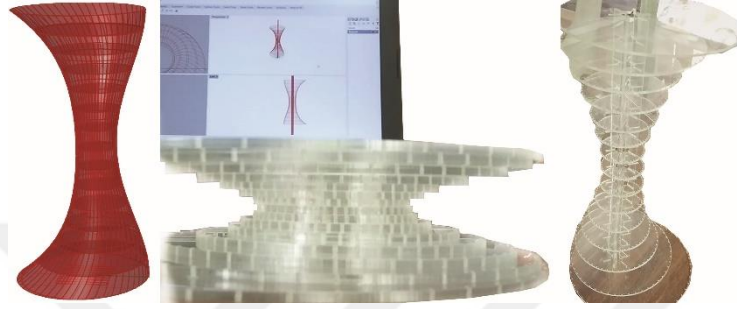


Şekil 84. Sayısal modelleme sürecinin anlatımına ilişkin bir örnek

MSM II dersi kapsamında yürütülmüş olan atölye çalışması malzeme odaklı olduğu için çalışma kapsamında her grubun farklı bir malzeme seçmeleri istenmiştir. Bu bağlamda gruplar kil, çimento, alçı ve ip kullanmayı seçmişlerdir. Kil kullanmayı seçen grup öğrencilerinden biri kil atölyesine katılmış olduğu için bu malzemeyi kullanmak istemişlerdir. Bu durum, bir zanaat becerisi ile sayısal üretim yöntemlerinin bir araya gelişi açısından önem taşımaktadır.

Üretim yöntemi, seçilen malzemelere uygun olacak şekilde seçilerek üretim süreci aşamasına geçilmiştir. Dökme malzeme ile çalışanlar kalıp ihtiyacı duydukları için cisim açılımı yöntemi, kil ile çalışan grup kilin sıvanacağı yüzeye ihtiyaç duydukları için cisim açılımı yöntemi, ip ile çalışan grup ise dilimleme yöntemi kullanmıştır.

Grup 1, ip malzemeyi sarabilecekleri bir strüktür ihtiyacı duydukları için pleksi malzeme ile bu strüktürü oluşturmuşlardır. Pleksi ile ip arasındaki detay, plekside çentikler açılarak çözülmüştür. Üretim aşaması Grasshopper üzerinde kurgulanmış ve CNC lazer kesim cihazı kullanılarak parçalar üretilmiştir. Bu grup, el işçiliğini en aza indirdiği için sayısal model ile üretilmiş olan tasarım ürününü birebir üretebilmişlerdir.



Şekil 85. Grup 1'e ait üretim süreci

Grup 2, kil kullanarak üretim yapan gruptur. Bu grup, sayısal üretim yöntemlerini en az kullanan ve el işçiliğini ön plana çıkartan bir üretim sürecini tercih etmiştir. Cisim açılımı yöntemi ile elde etmiş oldukları parçaları bir araya getirerek bir kalıp yüzeyi oluşturmuşlar ve kil malzemeyi bu yüzey üzerine uygulamışlardır.



Şekil 86. Grup 2'ye ait üretim süreci

Grup 3 çimento kullanmayı seçmiştir. Bu nedenle, öncelikle cisim açılımı yöntemi ile bir kalıp oluşturmuşlardır. Oluşturmuş oldukları kalıbın içerisine çimentoyu dökerek üretimlerini tamamlamışlardır. Dökme sürecinde yaşanan en büyük problem, yüzeyin çift eğrilikli olması nedeniyle tek parçadan oluşan bir açılım yapılamamıştır. Bu durum, kalıpta ek yerlerinin olmasına yol açmış ve bu nedenle malzeme baskısına dayanamama gibi

problemler ortaya çıkmıştır. Öğrenciler bu deneyimlerinden yola çıkarak, kalıbın açılmasını engelleyecek tedbirler almışlardır (Şekil 87).



Şekil 87. Grup 3'e ait üretim süreci

Grup 4 alçı kullanarak üretim yapmaya karar vermiştir. Alçı malzeme çimentoya göre içine katılan su oranı daha yüksek bir malzeme olduğu için grubun cisim açılımı yöntemi ile üretmiş olduğu ilk kalıp bozulmuş ve sonuç ürün ortaya çıkarılamamıştır. Bu nedenle grup, kuleyi dilimleme yöntemi ile üretilmiş bir kalıbın dış yüzeyinin alçı ile sıvanmasıyla üretmeye karar vermişlerdir (Şekil 88). Kalıp hazırlama aşamasında grubun yaptığı en büyük hata katmanları bir arada tutacak tek çubuk elemanı kullanmaları olmuştur. Bu durum kulenin bükülme açısının göz kararı ayarlanmasına yol açmıştır. Böylelikle sayısal üretim ile araçları ile üretilmiş, ancak tahmini olarak biçimlendirilmiş bir sonuç ürün elde etmişlerdir.



Şekil 88. Grup 4'e ait üretim süreci

MSM II final çalışmasının sayısal modelleme süreci tündengekim yöntemi ile kurgulanmış ve böylelikle sayısallaştırma, elde edilen verileri sayısal modele aktarma süreçlerini öğrencilerin tek başlarına deneyimlemeleri sağlanmıştır. Öğrencilerin bu aşamayı

başarılı bir şekilde tamamlamaları sayısal model kurgusunu oluşturabildiklerini ve konu ile ilgili fikir sahibi olduklarını göstermektedir.



Şekil 89. MSM II final çalışmasında üretilmiş olan sonuç ürünler

Üretim sürecinde her grup farklı bir malzeme ve dolayısıyla farklı bir üretim yöntemi deneyimlemiştir. Malzeme ve üretim süreci ilişkisini en doğru kurgulayan grup ilk grup olmuştur. Grup, parametrik kuleyi ortaya çıkaran bütün yapıyı sayısal üretim aracı kullanarak üretmiş bir tek ip örüntüsünü elle yapmışlardır. Bu durum hata payını en aza indirerek sayısal modele çok yakın bir fiziksel model üretilmesini sağlamıştır. Sayısal modele en uzak sonuç ürünü ise kil kullanmış olan grup üretmiştir. Çünkü sayısal üretim araçları süreç içerisine tam olarak dahil edilememiş ve el işçiliğine ağırlık verilmiştir.

Öğrenciler bu çalışma ile dönem içinde öğrenmiş oldukları, sayısal tasarım, sayısal üretim, malzeme konusundaki bilgilerini sınama fırsatı yakalamışlardır. Öğrencilerin sayısal modelleme konusunda sorun yaşamadıkları, cisim açılımı üretme, sayısal modeli üretime hazırlama gibi konularda başarılı oldukları gözlenmiştir. Dönem boyunca gerçekleştirilmiş olan egzersiz süreçlerinin öğrencilere olumlu katkısı olduğu görülmüştür.

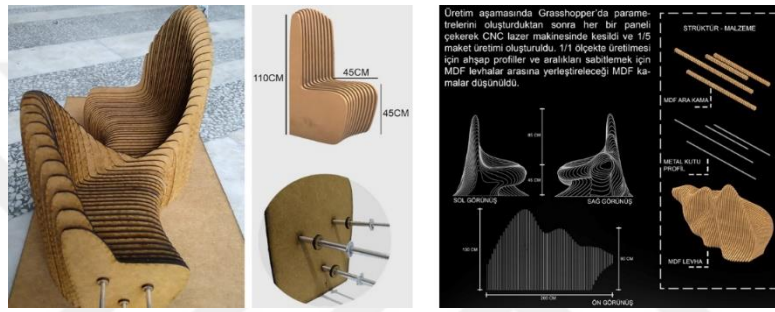
▪ MSM III dersi final çalışması:

MSM III dersi final çalışmasının konusu parametrik bank tasarımı ve üretimi olarak belirlenmiştir. Bu konunun seçilmesindeki temel etken bir sonraki dönem açılan PTU dersi için bir ön çalışma olacağı düşüncesidir. PTU dersinde seçilen bir parametrik bank tasarımının 1:1 ölçekli olarak üretilmesi planlanmaktaydı. Böylelikle dersler arasında somut bir bağlantı da kurulmuş olacaktı. Ancak uzaktan eğitim nedeni ile bu fikir gerçekleştirilememiştir.

Dönem içerisinde uygulanan ve olgunlaşmış bir tasarım üzerinden gitmenin detay problemler üzerine düşünecek daha fazla zaman yaratacağı düşünülmüştür. Bu derste

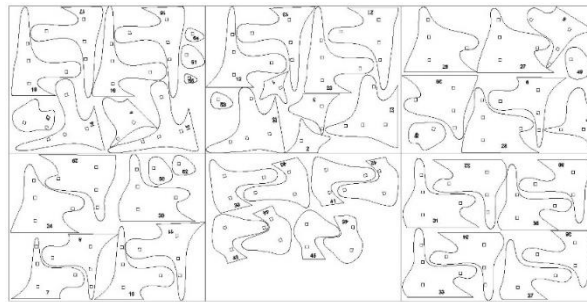
tasarımı sonlandırılacak olan sonuç ürünün, bir sonraki derste 1:1 ölçekli olarak üretilecek olması nedeniyle tasarımın ergonomisi, detayları, malzeme seçimi gibi konular üzerinde düşünülerek dönem içinde yapılmış olan tasarımlar yeniden ele alınmıştır.

Öğrenciler Grasshopper üzerinde modelleri güncelleyerek çeşitli alternatifler üretmişler, içlerinden ergonomik ve malzeme sarfiyatı olarak en uygun tasarımı seçerek sayısal tasarım sürecini sonlandırmışlardır. Ürünlerin 18 mm MDF malzeme kullanılarak üretilmesi planlanmıştır. Öğrenciler bu malzemeye uygun olarak modellerini güncellemişlerdir.



Şekil 90. Üretim planlamasına ilişkin bir görsel

Final çalışması kapsamında seçilen ürünlerin 1:5 ölçekli üretimi yapılmıştır. Ayrıca 1:1 ölçekli üretim için gerekli olan üretim dosyası hazırlanmıştır. Böylelikle atölye çalışmasının teması olan sayısal üretim yöntemleri ile ilgili bir çıktı da elde edilmiştir. Bu aşamada öğrenciler kendi çalışmalarına ilişkin ürünleri 1:1 ölçekli üretime uygun olarak hazırlamışlar, detayları belirlemişler ve çalışma kapsamında kullanılacak olan malzeme miktarını hesaplamışlardır. Bütün parçalar numaralandırılarak, frezeleme yöntemi ile üretime hazır duruma getirilmiştir.



Şekil 91. Öğrenciler tarafından hazırlanmış üretim dosyası örneği

Final çalışmasının amacı tasarım sürecinde vakit kaybetmeden, doğrudan sayısal üretim yöntemleri ile ilgili fikir üretilebilecek bir tartışma ortamı yaratmaktır. Öğrencilere robotik frezelemenin mantığı anlatılmış, frezeleme uçları, kullanılabilir malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. Öğrenciler tüm bu bilgiler ışığında üretim dosyalarını hazırlamışlardır. Sürecin sonunda gerekli olan MDF panel miktarı belirlenmiştir. Bir sonraki döneme başlamadan önce belirlenen miktarda panel temin edilerek PTU dersinde kullanmak üzere hazırlanmış, ancak uzaktan eğitime geçilmesi nedeniyle süreç yarıda kalmıştır.

▪ PTU dersi final çalışması:

PTU dersi final çalışması konusu cebirsel heykel tasarımı olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda matematiksel formülü belli olan üç boyutlu eğrisel yüzeyler üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışma, geometri odaklı egzersiz çalışmaları sürecinde yapılmış olan karmaşık geometriler egzersizine benzer bir sayısal modelleme süreci içermektedir. Final çalışması uzaktan eğitim ile gerçekleştirilmiş olduğundan 1:1 ölçekli üretim sürecinin nasıl yapılacağı ile ilgili fikir üretilmiş, üretim dosyaları hazırlanmış ancak fiziksel üretimler yapılamamıştır.

PTU dersi atölye çalışmaları serisinin son dersi olduğu için öğrencilerin kavram – tasarım – üretim fikirleri aşamalarında anlamlı bir bütün elde edebilmeleri beklenmiştir. Öğrenci tasarımdan üretime süreci bir bütün halinde ve tamamen kendi bilgisi ile kurgulamıştır. Üretim sürecinin tamamıyla sayısal fabrikasyon araçları ile kurgulanması temel beklentidir. Öğrenciler bununla ilgili CAD dosyası hazırlama, üç boyutlu baskı modeli oluşturma veya üretim sürecini adım adım anlatma gibi yöntemleri kullanmışlardır.



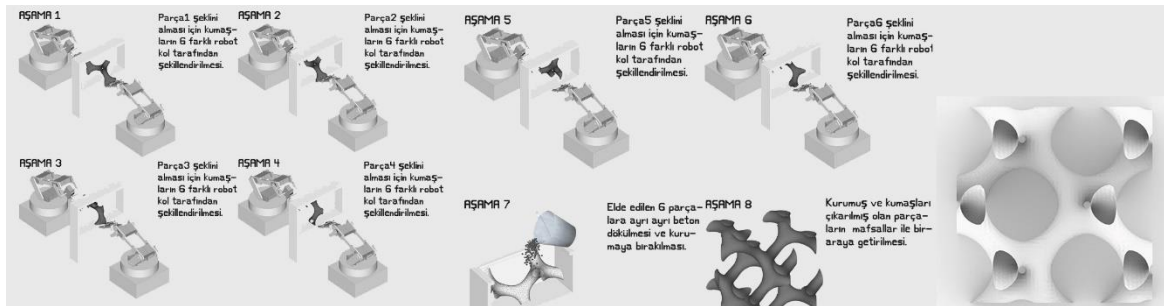
Şekil 92. Kavramsal düşünme ile sayısal tasarımın bir araya getirilmesi

Final çalışmasının ilk aşamasında tasarım ile ilgili kavramlar belirlenmiş ve ilk ürünler alternatifli olarak ortaya çıkarılmıştır. Bu alternatifler arasından tasarım ürününe karar verilmiştir. Heykel tasarımının KTÜ Mimarlık Bölümü içinde veya çevresinde bir yere konumlandırılması beklenmiştir.



Şekil 93. Final çalışmasına ilişkin bir örnek

Final ödevi teslim etmiş olan sekiz öğrenciden yedisi MSM I, MSM II veya MSM III derslerinden en az birini almış olan öğrencilerden oluştuğu için sayısal modelleme ve alternatif üretme konusunda sorun yaşamadıkları gözlenmiştir. Çalışmanın ders temasına da hizmet eden ikinci aşaması üretime yönelik fikirlerin üretildiği aşamadır. Bu aşamada öğrencilerin biraz daha serbest düşünebilmeleri için KTÜ Sayısal Tasarım ve Fabrikasyon Laboratuvarı'ndaki üretim imkanları ile kendilerini sınırlamamaları, örneğin iki robot manipülatör kullanmak gibi fikirler geliştirebilecekleri söylenmiştir. Böylelikle sayısal tasarım araçlarının potansiyelleri üzerine kendilerini kısıtlamadan düşünebilmeleri sağlanmıştır (Şekil 94).



Şekil 94. Bir öğrencinin iki robot manipülatör kullanımı ile üretim sürecini tanımlaması

Öğrenciler üretim yöntemi olarak, üç boyutlu yazıcı kullanımı, dilimleme yöntemi, robotik üretim, frezeleme, CNC lazer kesim, kalıp - dökme ile üretim gibi çeşitli yöntemlerle üretimleri önermişlerdir. Öğrenciler seçmiş oldukları üretim yöntemlerine ilişkin adımları kurgulamışlar veya CAD dosyalarını hazırlamışlardır.



Şekil 95. Kalıp – dökme yöntemi kullanmayı öneren çalışma

PTU dersine ilişkin final çalışmaları incelendiğinde öğrencilerin karmaşık geometrik formları sayısal model üzerinden ve matematiksel ifadeleri kullanarak tasarlayabildikleri görülmüştür. Öğrenciler bu tasarımları mekân ilişkisini ve kavramsal boyutu ile ilişkilendirerek geliştirebilmişler ve anlamlı tasarımlar elde edebilmişlerdir. Öğrencilerin üretim süreci planlamalarının ise uygulanabilir öneriler olduğu görülmektedir. Hazırlanmış olan CAD dosyalarının üretim için gerekli detayları içerdiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda atölyeler serisinin son final çalışmalarında ortaya çıkan ürünlerin hem görsel anlamda hem de içerik olarak belirli bir seviyede olduğu görülmektedir. Bu durum, kurgulanmış olan atölye çalışmasının öğrencileri sayısal düşünme, sayısal tasarım ve sayısal üretim bağlamında olgunlaştırdığı görülmektedir.

3.3.1. Final Çalışmalarına Yönelik Tartışmalar

Final çalışmaları, öğrencilerin dönem boyunca kazanmış oldukları deneyimleri kendi başlarına sınıyabilecekleri bir ortam yaratmaktadır. Yürütücü, bu süreçte bir yol gösterici olarak davranmakta ve öğrencilerin almış oldukları kararlara çok fazla müdahil olmadan sürecin devamlılığını sağlamaktadır. Final çalışması dört ya da beş haftalık bir zaman diliminde gerçekleştirilmekte ve bu anlamda öğrenciye tasarım, üretim planlaması ve üretim

süreci açısından yeterli süreyi sağlamaktadır. Bu süreç, yürütücünün öğrencileri gözlemlemesi ve öğrencilerin öğrenme durumlarını tespit edebilmesi açısından faydalıdır.

Yürütücü, en fazla dahil olma ihtiyacını MSM I öğrencileri ile yapılan final çalışmasında duymuştur. Çünkü bu yarıyıldan hem öğrenci teknik bilgi ve beceri konusunda tecrübesiz hem de sayısal tasarım araçlarını kullanabilme konusunda yeterli olgunluğa erişmemiştir. Diğer atölye çalışmalarında ise daha önceki derslerden bir veya birkaçını alan çok sayıda öğrenci varsa, final çalışmaları daha organize bir şekilde yürütülebildiği gözlenmiştir. Örneğin MSM III öğrencilerinden yalnızca bir tanesi daha önceki derslerden hiçbirini almamıştır. Öğrencilerin tasarım ve üretim süreci konularında bilgili ve tecrübeli olmaları nedeniyle hem başarılı sonuç ürünler ortaya çıkmış hem de öğrenci ile yürütücü aynı dili konuşabildiği için organize bir süreç yürütülebilmiştir. Öğrencilerin laboratuvarında bulunan sayısal üretim araçlarını kendi başlarına kullanabildikleri gözlenmiştir.

Uygulanan dört atölye sürecine katılmış olan öğrencilerin PTU final çalışması döneminde ayakları uygulanabilir ve mantıklı fikirler üretebildikleri gözlenmiştir. Bu öğrencilerin sayısal fabrikasyon araçlarının potansiyellerinin farkında oldukları görülmüştür. Bu öğrencilerin mimarlık eğitimi genelinde kazandıkları deneyimleri sayısal tasarım ve üretim ortamı ile bütünleştirebildikleri tespit edilmiştir. Bu durum da öğrencinin sayısal düşünebilme becerisi ile mevcut bilgi birikimini bir arada kurgulayabildiğini göstermektedir.

3.4. Kavramsal Çerçeveye İlişkin Tartışmalar

Bu çalışma, sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı olarak geliştirilmesini tartışmaktadır. Sayısal düşünme ve yapma eylemleri tez kapsamında birbirlerini destekleyici süreçler olarak ele alınmıştır. Hem sayısal düşünme hem de yapma, tasarım sürecinin deşifre edilmesinin etkenleri olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında kurgulanmış olan atölye süreçleri yaparak deşifre etmeyi ve böylelikle sayısal ilişkilerin açığa çıkarılmasını içermektedir. Bu süreçte elde edilen veriler sayısal tasarım ve sayısal üretimin birer parçası haline gelmektedir. Sayısallaştırma ve yapma eylemleri bir zincirleme reaksiyonun katalizörleri olarak düşünülebilir. Bu zincirleme reaksiyon sonuçta bir sayısal tasarım ürününe yol açmaktadır.

Sayısal tasarım ve fabrikasyon yöntemleri sayısal düşünme becerisinin geliştirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Sayısal düşünmenin geliştirilmesi ise yaparak öğrenme odaklı

egzersizler üzerinden tartışılmıştır. Tez kapsamında kurgulanmış olan egzersizler sayısallaştırma sürecini ve üretimi merkeze almakta; bu iki eylemi bir egzersiz sürecinin iki aşaması olarak gerçekleştirmektedir. Üretim / yapma süreci bir nesnenin ortaya çıkış aşamalarını sayısal ilişkileri ile apaçık bir şekilde görünür hale getirmektedir. Yapma eylemi sayısal bir organizasyondur.

Tez çalışmasının sonuçları, belirlenmiş olan hedefler ve çalışmaya ilişkin sorulmuş sorular bağlamında tartışılmıştır. Bu bağlamda, tez çalışmasının temelini oluşturan kavramlara ilişkin sonuçlar tartışılmıştır.

3.4.1. Bir Rol Model Olarak Bauhaus

Bauhaus'un etkileri günümüzde özellikle temel tasarım odaklı derslerde görülüyor olsa da Bauhaus'un temel var oluş sebebi olan yeni teknolojiyi yakalayabilme ilkesi mimarlık eğitiminde çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Bauhaus'un yeni olanı deneyimleme ve bunu mimarlık ile bütünleştirme ruhu, günümüzde sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri ile mimarlığın ilişkilendirilmesi sürecinde bir yol gösterici niteliği taşımaktadır. Bu bağlamda, Bauhaus'un teknoloji ile olan ilişkisi 2019 yılında, Bauhaus'un kuruluşunun 100. yılında, yeniden hatırlanmış ve Mies van der Rohe'nin tasarlamış olduğu Alman Pavyonu'nun karşısına kurulan bir sayısal tasarım pavyonu ile bu ilişkiye atıfta bulunulmuştur.



Şekil 96. Tiny Bauhaus Pavilion, Barselona / İspanya (Fotoğraf: Selin Oktan)

“Tiny Bauhaus Pavilion” isimli ve üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile elde edilmiş bu yapının içerisinde, Walter Gropius'un mimarlık ofisinde bir gezinti yapabileceğiniz sanal gerçeklik ortamı yaratılmıştır. Bu yapı, günümüzde arka planda kalmış olan Bauhaus'un

yenilikçi görüşüne çok güçlü bir atıfta bulunmaktadır. Bauhaus'un bu özelliği tez çalışması sürecine başlangıçta önemli bir yol gösterici olmuştur. Bu yol gösterici çalışmayı konstrüktivist eğitim sistemine yönlendirmiş ve ana kurgunun oluşmasında etkili olmuştur.

Bauhaus'un yol göstericiliği ve tez çalışmasını taşıdığı nokta, sayısal düşünmenin öğrenilmesi açısından olumlu katkılar sunmuştur. Mimarlık eğitiminin üretmeye dayalı bir zemine oturtulması ve laboratuvar çalışmaları ile bütünleşik olarak düşünülmesi öğrenme sürecini verimli ve kalıcı hale getirmiştir. Dönem ilerledikçe öğrencilerin sayısal tasarım süreçleri hakkında bilgilerinin arttığı net bir biçimde gözlenmiştir. Bütün dersleri almış olan öğrencilerin, dersleri almış olan diğer öğrencilere oranla sorunlara daha kolay çözümler bulabildikleri ve final çalışmaları süreçlerinde sayısal tasarımın farklı yönlerini ortaya çıkarmaya çalıştıkları gözlenmiştir.

3.4.2. Sayısal Düşünme Neden Önemlidir?

Sayısal düşünme, algoritma kurgulama mantığında olduğu gibi bir eylemi sayısal ilişkilerini açığa çıkararak adım adım anlatabilmeyi ifade etmektedir. Sayısal düşünme, bir tasarım ürününün nasıl üretebileceğinin sorgulanmaya başlandığı anda devreye girmektedir. Sayısal düşünme, konvansiyonel tasarım sürecinde üzerine çok düşünmeden gerçekleştirilen bir eylem iken; sayısal tasarım süreçlerinde, tasarım sürecinin tasarlanması gerekliliği de doğduğu için, üzerinde durulması ve tartışılması gereken bir kavram haline gelmektedir.

Dijital üretim teknolojilerinin gelişmesiyle beraber makine ile haberleşebilmek, öğrenilmesi gereken bir beceri olarak ortaya çıkmaktadır. Makinenin konuştuğu dili konuşabilmek sayısal düşünme becerisine ve bir eylemi sayısal olarak ifade edebilme yetisine sahip olmayı gerektirmektedir. Bu nedenlerle, gelişmekte olan sayısal tasarım ve üretim teknolojilerini yakalayabilmek sayısal düşünme becerisi ile doğrudan bağlantılıdır.

Sayısal düşünme, tasarımcının zihninde halihazırda kurgulamakta olduğu, ancak bunun farkına makine ile işbirliği yapacağı zaman biraz daha net bir biçimde vardığı bir durumdur. Modernizm ile ortaya çıkan Modüler aslında sayısallaştırılmış ve standartlaştırılmış bir insan bedenini ifade etmektedir. Modüler aynı zamanda bir mekânın ölçülerini de belirleyen bir öznedir. Modül kavramı ve yapı malzemelerinin standart ölçülerde oluşu da tasarım sürecinde sayısal bir kurgu oluşturmayı beraberinde getirmektedir. Daha eskiye gidildiğinde ise altın oran, kozmosun sayısallaştırılması gibi arayışlar tasarım süreçlerinde kullanılmış olan sayısallaştırma fikirleri olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Sayısal tasarım süreçleri söz konusu olduğunda ise, tasarım sürecine yön veren tüm sayısal ilişkilerin açık bir şekilde ortaya konulması gerekliliği doğmaktadır. Çünkü tasarım sürecini bilgisayara anlatabilme, sayısal üretim araçlarını kullanabilme gibi gereklilikler ortaya çıkmaktadır. Bu durumda tasarım ve üretim süreçlerinin adım adım ve sayısal ilişkileriyle birlikte açıklanabilmesi insan-makine birlikteliğine katkı sağlamaktadır.

3.4.3. Sayısal Düşünme Nasıl Öğrenilir?

Eğitim geleceğin yansımasıdır. Sayısal tasarım ve üretim süreçlerinin kaçınılmaz bir şekilde mimarlığın bir parçası haline geleceği düşünüldüğünde, eğitim sisteminin de buna yönelik olarak güncellenmesi gerekmektedir. Tıpkı Bauhaus'un geleceği görerek o geleceği şekillendirme potansiyeline sahip profesyoneller yetiştirmesi gibi, günümüzde de geleceğin teknolojisini anlayabilen ve ona katkı sunabilecek nitelikte bireylerin yetiştirilmesi önemlidir. Bilgisayarın mimarlığın bir parçası haline geldiği kabullenilmeli, yapay zekanın geleceğin teknolojisi olacağına farkına varılmalıdır. Bu da öncelikle düşünme tarzının değişmesi ile gerçekleşecektir. Sayısal düşünebilme becerisi, sayısal olanı anlama, ona hükmedebilme yetisini de beraberinde getirmektedir.

Öğrenme süreçlerinde geleneksel olandan uzaklaşarak konstrüktivist öğrenme süreçlerinin benimsenmesi öğrenme kalitesini artıran bir durumdur. Geleneksel eğitim süreci nesnelci bir yaklaşımı ifade etmekte ve bilginin doğrudan verilmesini içermektedir. Oysaki değişimin bir parçası olabilmek, onu deneyimlemek ve anlamaktan geçmektedir. Bu nedenle konstrüktivist eğitim anlayışı, deneyimlemeyi ve yaparak öğrenmeyi eğitim sisteminin merkezine koyduğu için tercih edilmektedir. Tez çalışması kapsamında uygulanmış olan bütün egzersizler konstrüktivist anlayış ile şekillendirilmiştir.

Tez çalışması, sayısal düşünmenin öğrenilmesinin yaparak öğrenme odaklı egzersiz süreçleri ile mümkün olabileceği hipotezi üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda sayısal tasarıma yönelik dört seçmeli dersin süreci güncellenerek hipoteze uygun şekilde yeniden ele alınmıştır. Sayısal tasarım ve üretim sürecinin dört temel unsuru olan geometri, malzeme, sayısal üretim yöntemleri ve 1:1 ölçekli üretim bu dört dersin temaları olarak belirlenmiştir. Her bir derste bir tema öne çıkacak şekilde egzersiz süreçleri uygulanmıştır.

Tez çalışmasının uygulanmış olduğu dersler çalışmanın öncesinde de sayısal modellemenin öğretilmesi hedefi ile açılmıştır. O dönemlerde ders süreci sayısal modellemenin derste anlatılarak öğretilmesi üzerine kurgulanmıştır. O dönemki

gözlemlerden hareketle, öğrencilerin alışageldikleri tasarlama düşüncesinden farklı olan sayısal modelleme süreçlerini öğrenmekte zorlandıkları ve ders sürecinde dikkat toplama konusunda sorunlar yaşadıkları tespit edilmiştir. Ders süreci yaparak öğrenme temeli ile ele alındıktan sonra ise derslerde üretim yapılması nedeni ile öğrencilerin önceki döneme oranla daha motive çalıştıkları ve dönem sonunda kendi başlarına bir sayısal tasarım sürecini yürütebilecek seviyeye gelebildikleri görülmüştür.

3.4.4. Atölye Süreçlerinin Güçlü ve Zayıf Yönleri

Atölye süreçlerinde sayısal düşünme ilk yarıyıllarda konvansiyonel süreçler ile bütünleşik olarak; ilerleyen yarıyıllarda ise başlı başına bir süreç olarak ele alınmıştır. Bu durumun, özellikle sayısal tasarım süreçleri ile ilk defa karşılaşan erken yarıyıl mimarlık öğrencilerinin egzersiz süreçlerini algılamaları açısından olumlu etkilerinin olduğu gözlenmiştir. Bu bağlamda, her atölye sürecinin konvansiyonel ve sayısal bir araya getiren biçim grameri egzersizi ile başlaması atölye süreçlerinin güçlü yönlerinden biridir. Biçim grameri egzersizleri, belirlenmiş olan kuralların bir başlangıç biçimine adım adım uygulanmasına ve sonucunda başlangıç biçiminden ayrı karmaşık bir kompozisyonun elde edilmesine dayanmaktadır. Bu egzersiz, atölye sürecinin yöntemi olan, sürecin adım adım ve sayısal ilişkileri ile ifade edilmesi gerekliliğine yönelik temel bir egzersiz olarak ele alınmaktadır. Bu çalışma, yürütücü ve öğrencinin ders boyunca ortak bir dil oluşturabilmesi için gerekli olan altyapıyı sunmaktadır. Tasarım sürecinin sayısallaştırılmasına yönelik ipuçları barındırmakta ve dönemin kalanında yürütülecek egzersizlere ilişkin bir hazırlık süreci görevi görmektedir.

Çalışmanın bir diğer güçlü yönü, sayısal düşünmenin yapma odaklı ele alınmasıdır. Bu durum, öğrencinin kendi üretmiş olduğu bir ürün üzerinden sayısallaştırma sürecini gerçekleştirmesine ve ürünü ortaya çıkarırken uygulamış olduğu adımların benzerlerini sayısal ortamda da uygulamasına fırsat vermektedir. Gerçek dünya ile sayısal dünya arasındaki bağlantıyı daha rahat kurmasını sağlamaktadır. Yapma odaklı eğitim ayrıca öğrencinin derse katılma motivasyonunu da artırmaktadır. Öğrenci dersi bir aktivite olarak görmeye başlamakta böylelikle derse devam ve katılım sorunlarının da önüne geçilmektedir.

Tez çalışmasının sayısal tasarım ve fabrikasyon laboratuvarı ortamında gerçekleştirilmesi hem yapma odaklı eğitim sürecine katkı sunmuş hem de öğrencilerin sayısal fabrikasyon araçlarını birebir deneyimleyebilmelerine fırsat vermiştir. Bu durum,

öğrenme sürecine olumlu katkılar sağlamıştır. Ders süreçleri sonunda uygulanan final çalışmalarında, öğrencilerin üretim dosyası hazırlayabilme, kullanılacak sayısal üretim yöntemine uygun olarak üretim sürecini kurgulayabilme gibi becerilerinin geliştiği gözlenmiştir. Öğrenci görüşlerinden hareketle, öğrencilerin sayısal fabrikasyon araçlarının taşıdıkları potansiyellerin farkına varmaya başladıkları tespit edilmiştir.

Her bir atölye çalışmasının belirli bir tema üzerinden ele alınması en nihayetinde üretim sürecine ilişkin temel aşamaların deneyimlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda eğitim modeli öğrencilerin kesintisiz bir biçimde deneyimlemeleri gereken bir öneri olarak ortaya çıkarılmıştır. Ancak tez çalışmasının seçmeli ders kapsamında uygulanmış olması ve bu çalışmanın uygulanabileceği bir zorunlu dersin olmayışı çalışmada bu anlamda bir zayıf tarafa yol açmıştır. Eğitim modeli, pilot çalışmalar haricinde 45 öğrenciye uygulanmış; bu öğrencilerden yalnızca beş tanesi tüm eğitim modelini deneyimlemiştir. Beş öğrencinin öğrenci görüş ölçeğine vermiş oldukları cevapların çok büyük oranda çakışmakta olduğu görülmüşse de örneklem grubunun daha geniş olması, sonuçlar açısından daha kesin veriler sağlayabilmesi açısından önemli olabilirdi.

Egzersiz süreçlerinden standart olmayan seri üretimin deneyimlenmesine yönelik olanlara ilişkin portfolyo çıktılarında, öğrencilerin bu kavrama vurgu yapmadıkları görülmüştür. Bu nedenle, standart olmayan seri üretim, kişiselleştirilmiş üretim süreçleri gibi sayısal fabrikasyon süreçlerinin getirisi olan kavramlara egzersiz süreçlerinde daha fazla vurgu yapılması gerekliliği tespit edilmiştir. Benzer şekilde teselasyon ile ilişkili egzersiz sürecinde de öğrencilerin yeni duymuş oldukları bu kavramı öğrenemedikleri, portfolyolarında bu kavramı kullanmadıkları ve teselasyonun anlamını bilmedikleri gözlenmiştir. Buna benzer öğrencilerin bilmedikleri yeni kavramlar egzersiz süreçlerinde daha fazla vurgulanabilir ve bu kavramlara ilişkin sunular hazırlanarak ders başlangıcında gösterilebilir. Böylelikle öğrencilerin yeni kavramları daha iyi öğrenebilecekleri düşünülmektedir.

Portfolyolara, öğrenci görüşlerine ve final çalışmalarına ilişkin çıktılar değerlendirildiğinde egzersiz süreçlerinin başarılı olduğu ve sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı olarak geliştirilebilmesine hizmet ettiği söylenebilmektedir. Bu bağlamda, öğrencilerin sayısal tasarıma ilişkin terminolojiyi dönem boyunca öğrendikleri ve bunu portfolyolarında yansıttıkları görülmüştür. Dönem başı ve sonu öğrenci görüş ölçeklerine verilen cevapların atölye süreçlerinin öğrenim çıktıları bağlamında dönüştüğü gözlenmiştir. Final çalışmaları süreçlerinde ise öğrencilerin verilen tasarım problemine cevaplar

geliştirebildikleri, sayısal ortamda tasarım yapabildikleri ve bunları sayısal fabrikasyon araçları ile üretebildikleri tespit edilmiştir.

3.4.5. Tasarım Sürecinin Sayısallaştırılması

Tez çalışmasının başlangıcında ortaya çıkabileceği düşünülen en önemli sorunlardan biri tasarım problemlerinin sayısallaştırılması sürecinde ortaya çıkabilecek sorunlar olmuştur. Çünkü, mimarlıkta tasarım problemleri eksik tanımlı problemler olarak ele alınmaktadır. Eksik tanımlı problemler sınırları net çizilemeyen, yoruma açık ve cevabı herkese göre değişkenlik gösterebilen problemleri temsil etmektedir. Mimarlıkta tek bir doğru yoktur, bir tasarım problemine verilen cevap tasarımcı özelinde farklılaşabilir. Tasarımın sayısal düşünme bağlamında ele alınması, tasarım sürecinin nasıl sayısallaştırılabileceği ile ilgili soruları da beraberinde getirmektedir.

Bir tasarımı oluşturan form aslında kendi içinde kurallı bir düzen içerisinde oluşturulmaktadır. Bir tasarım tekrar tekrar çizildiğinde, aynı kompozisyon her defasında hiçbir fark olmaksızın gösterilebiliyorsa, o tasarımın altında yatan sayısal bir düşünce var olduğu anlamına gelmektedir. Geometri odaklı egzersiz süreçlerinden eğrisel yüzeylerin sayısallaştırılması egzersizi bu durumun net bir göstergesidir. Örneğin, proje sürecinde öğrenciden organik bir biçim tasarımı istendiğinde, öğrencinin eğilimi o biçimi herhangi bir kurala bağlı olmaksızın geliştirmek olacaktır. Bu nedenle öğrenci her yeni eskizinde bir öncekine benzer ama farklı bir eğrisel geometri çizer. Yürütücünün yönlendirmesi ise bu eğriselliği dairelerden oluşturması gerekliliği üzerine olacaktır. Öğrenci, eğrisel formu dairelerden oluşturarak ifade ettiği anda artık sınırları kesin bir biçimde belirlenmiş bir geometri elde etmiş olacaktır. Bu durum bir sayısallaştırmayı içermektedir. Kurgulanmış olan egzersiz süreçleri, bu örnekte olduğu gibi, tasarım sürecinde gizli kalmış sayısal ilişkilerin açığa çıkarılmasına ve öğrencinin tasarım sürecinde gerçekleştirmiş olduğu eylemleri sorgulamasına teşvik etmektedir.

Tasarım sürecinin sayısallaştırılması, tasarım düşüncesi üzerine düşünmeyi, tasarım problemini analiz etmeyi, açığa çıkarılan bilgileri sentezlemeyi ve elde edilen bütün verileri değerlendirerek tasarım sürecinin bir parçası haline getirmeyi sağlamaktadır. Tasarımcının zihninde kara kutu olarak gerçekleşen tüm bu işlemler, sayısal düşünme bağlamında ele alındığında, yapılan sorgulamalar sayesinde açık bir biçimde ifade edilebilir hale gelmektedir. Sayısal düşünme kara kutu sürecini saydam kutuya dönüştürmektedir.

Egzersiz süreçlerinin sonucunda da net bir şekilde görülebileceği gibi tasarım problemleri eksik tanımlı problemler olmasına rağmen sayısallaştırılabilmektedir. Egzersiz süreçlerinde gergi strüktür tasarımı, bank tasarımı, çeşitli yüzey tasarımları gibi farklı ölçeklerde ve gerçek dünyaya ilişkin denemeler yapılmıştır. Bütün egzersizlerde öğrencilerin süreçleri başarıyla sayısallaştırabildikleri, bunu fiziksel ortamda bir kural çerçevesinde üretebildikleri ve belirlemiş oldukları kuralları sayısal ortama aktarabildikleri görülmektedir.

3.4.6. Sayısal Süreçler Konvansiyoneli Öldürür mü?

Sayısal tasarıma ilişkin ortaya çıkan ve günümüzde de geçerliliğini koruyan en büyük tartışmalardan biri sayısal tasarımın konvansiyoneli öldüreceği yönünde gerçekleşmektedir. Bu düşüncenin temelinde, tasarımcı ile ürün arasında bir ekranın girmesi nedeniyle tasarımcının ölçü-oran gibi temel niteliklere hâkim olamayacağı düşüncesi yatmaktadır. Özellikle bir öğrenci söz konusu olduğunda bu hâkim olamama durumu tecrübesizlikle birleşeceği için lisans eğitiminde sayısal tasarım konusuna oldukça mesafeli durulmaktadır.

Sayısal tasarım süreçlerinde dijital ortam tasarımın ifade edilmesi için bir yardımcı görevi görmektedir. Tasarım eyleminin dijital ortamda ya da kâğıt üzerinde ifade ediliyor olması, tasarım ürününün niceliğini değiştirmemektedir. Süreç yine benzer şekilde işlemekte; tasarımcı zihni, eskiz ve çizim ortamı üçgeninde tasarım olgunlaşmaktadır. Sayısal düşünme süreçleri konvansiyonel olanı arka plana atmamakta, tam tersine konvansiyonel süreç üzerine düşündürerek onu açığa çıkarmakta ve sayısal bağlamda yeniden keşfedilmesine olanak sağlamaktadır.

Egzersiz süreçleri irdelendiğinde, özellikle erken dönem lisans öğrencileri ile yapılan çalışmaların konvansiyonel yaklaşımlar üzerinden gerçekleştirildiği görülmektedir. Konvansiyonel yaklaşımlar öğrencinin mimarlık ile ilk tanışmasından itibaren öğrenmekte olduğu bir süreç olduğu için, sayısal tasarımın konvansiyonel süreçler üzerinden aktarılması süreci daha algılanabilir hale getirmektedir. Sayısal ve konvansiyonel süreçler birbirinden ayrı süreçler değil birbirlerini tamamlayıcı süreçlerdir.

Önerilmiş olan eğitim modeli; konvansiyonel tasarımı, yaparak öğrenmeyi ve sayısal tasarımı bir arada harmanlayarak birinin diğerini dışlamadığı özgün bir model olarak nitelendirilebilir. Konvansiyonel yaklaşımlar tasarımcının zihninde var olmaya devam edecektir. Ancak gelişen teknolojiyi yakalayabilmek, sayısal tasarım ve üretim araçlarını

mimarlığın bir parçası haline getirebilmek adına sayısal düşünmeyi ve sayısal olarak tasarlayabilmeyi de öğrenmek gerekmektedir. Egzersiz süreçlerinde eskiz ve maket yapmanın sayısallaştırma sürecine katkısı üzerine de tartışılmış ve bu süreçlerin sayısal ilişkilerin açığa çıkarılmasındaki önemleri vurgulanmıştır. Bu nedenle sayısal tasarımın eskizi yok edeceği, maketi değersizleştireceği gibi fikirlerin birer önyargıdan ibaret olduğu söylenebilmektedir.

3.4.7.Sayısal Düşünmeye Yönelik Zorunlu Ders Gerekliliği

Tez çalışması dört adet seçmeli ders kapsamında yaparak öğrenmeyi merkezine alan egzersizler uygulanmış ve sayısal düşünmenin öğrenilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın seçmeli ders kapsamında uygulanmasının getirdiği en temel olumsuzluk, egzersiz süreçlerinin aynı grup öğrenci ile bir bütün halinde uygulanamaması olmuştur. Derslerde seçme zorunluluğu ya da ön koşul olmadığı için sayısal tasarım ile ilk defa karşılaşan öğrenciler ile sayısal tasarım hakkında fikri olan öğrenciler bir arada olabilmektedir. Bu olumsuzluk dikey stüdyo mantığında ile çözülmeye çalışılmış, öğrenci grupları oluşturulurken sayısal tasarım ile ilgili fikri olan ve olmayan öğrencilerin bir arada olmasına dikkat edilmiştir. Böylelikle öğrencilerin birbirlerinden de öğrenebilmeleri sağlanmıştır. Buna ek olarak biçim grameri egzersizi her dönemin başında uygulanmış ve öğrencilerin sayısal düşünmeye ilişkin fikir sahibi olabilmeleri amaçlanmıştır.

Gelişen teknolojiyi yakalayabilmek adına sayısal tasarım temelli, zorunlu derslerin lisans eğitimi ile bütünleştirilmesi bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya genelindeki öncü mimarlık okullarında da özellikle sayısal üretime odaklanan ders içeriklerinin genellikle lisansüstü eğitime yönelik kurgulandığı görülmektedir. Oysaki, 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye çalışmalarına ilişkin sonuçlardan da görülebildiği üzere sayısal tasarım ve üretim araçları lisans öğrencileri tarafından öğrenilebilmekte ve kullanılabilir. Seçmeli ders sürecinde bile öğrencilerin bu bilgi birikimine ulaşabilmeleri, derslerin zorunlu olmasının yaratacağı potansiyel hakkında fikir vermektedir.

KTÜ Mimarlık Bölümü zorunlu ders listesi içerisinde sayısal tasarım içeriğine sahip herhangi bir ders olmadığı için, öğrenciler sayısal tasarım yazılımları ile ilgili bir tabula rasa konumundadırlar. Bu nedenle öğrencilerin hem sayısal düşünmeyi öğrenebilmeleri ve bunu yaparak öğrenme ile gerçekleştirmeleri hem de sayısal modelleme süreçlerini öğrenmeleri iki saatlik ders süreci içerisinde çok mümkün olmadığı için farklı bir ders işleme yöntemi

üzerine düşünmeyi gerektirmiştir. Bu sorun ters yüz edilmiş sınıf modelinin egzersiz süreçleri ile bütünleştirilmesiyle aşılmaya çalışılmıştır.

3.4.8. Ters Yüz Edilmiş Sınıf Modeli

Ters yüz edilmiş sınıf modeli, dersin evde ödevin ise derste yapılması anlamına gelmektedir. Tez çalışması kapsamında yaparak öğrenmeye daha fazla zaman ayırabilmek için bu modelin uygulanmasına karar verilmiştir. Egzersiz süreçlerine ilişkin sayısal modelleme anlatımları yürütücü tarafından videoya alınarak YouTube üzerinden öğrencilerle paylaşılmıştır. Bir yazılımın sınıf ortamında öğretilmesinin en büyük eksisi her bir öğrencinin farklı noktalara takılması ve bunun ders süreci içerisinde zaman kaybına yol açmasıdır. Dersin video üzerinden anlatılması, öğrencilerin takıldıkları yerleri tekrar izleyebilmelerine olanak sağladığı hem öğrenci hem de yürütücü için avantajlı bir duruma dönüşmektedir. Bunun yanı sıra dönem ilerledikçe öğrencinin elinde bir video kütüphanesi oluşmakta ve bir bilgiyi hatırlaması gerektiğinde eski videolara bakması yeterli olmaktadır. Böylelikle bilgi periyodik olarak hatırlanmakta ve kalıcı hale gelmektedir.

Ters yüz edilmiş sınıf modeli, ders sürecinde üretime odaklanabilmenin yolunu açmaktadır. Böylelikle ders sürecinde öğrenci motive bir şekilde üretim yapmakta, üretmiş olduğu ürünün sayısal ortama aktarılmasını ise video üzerinden öğrenmektedir. Önce üretip sonra modelleme yapmanın getirisi, öğrencinin deneyimleyerek keşfettiği sayısal ilişkilerin sayısal modeldeki karşılığını görebilmesidir.

Ters yüz edilmiş sınıf modelinin eksisi ise modelleme sürecinde bir sorunla karşılaşıldığında soru soracak kimsenin olmamasıdır. Bu eksi yön, öğrenciye sanal ortamda destek verilerek çözülmeye çalışılmıştır. Buna rağmen, ters yüz edilmiş sınıf modeli geliştirilmiş olan eğitim modelinin kısıtlı bir ders saati içerisinde uygulanabilmesi için gerekli zamanı yaratması açısından çalışmaya oldukça olumlu bir katkı sunmuştur.

Tez çalışmasının gerçekleştirildiği seçmeli derslerde, çalışma öncesinde program öğretimi sınıfta gerçekleştirilmekteydi. Bu durum, projeksiyon ile ilgili sorunlar, öğrencilerin yansıyı görememeleri gibi mekânsal sorunlarla da baş edilmesini gerektirmekteydi. Her iki uygulamanın gözlemlenmiş olmasından hareketle, program öğretiminin video üzerinden yapılmasının öğrenci açısından daha verimli olduğu bir gerçektir. Bu nedenle ters yüz edilmiş sınıf modeli, yalnızca yaparak öğrenme odaklı eğitim modellerinde değil, geleneksel anlatım gerektiren bütün ders süreçlerinde uygulanabilecek

bir yöntemdir. Böylelikle ders süreci içinde üretmeye veya tartışmaya ayrılan zaman artırılarak, konstrüktivist öğrenme için bir boşluk yaratılabilmektedir.

3.4.9. Yapma Odaklı Öğrenme Sürecinde Portfolyo Değerlendirmesi

Konstrüktivist eğitim modeli, deneyime dayalı ve öğrencinin kendi öğrenme tarzını kendisinin oluşturduğu bir sistemdir. Üstbiliş kavramını da beraberinde getirmektedir. Öğrenci kendi düşünme süreci üzerine düşünür, kendine sorular sorar ve bu sorulara verdiği cevaplar öğrenme sürecini inşa etmesine yardımcı olur. Bu öznel sürecin, her öğrencide farklı şekilde gerçekleşeceği aşikardır. Öğrenme sürecinin sonunda öğrencinin ne kadar öğrendiğini ölçebilme ve not verme zorunluluğu değerlendirme yönteminin seçimi ile ilgili önemli bir sorun yaratmıştır. Çünkü bu öznel süreci her öğrenci için kendi içinde değerlendirmek gerektiği ve geleneksel notlandırma yöntemlerinin bu noktada bir çıkmaza girdiği tespit edilmiştir.

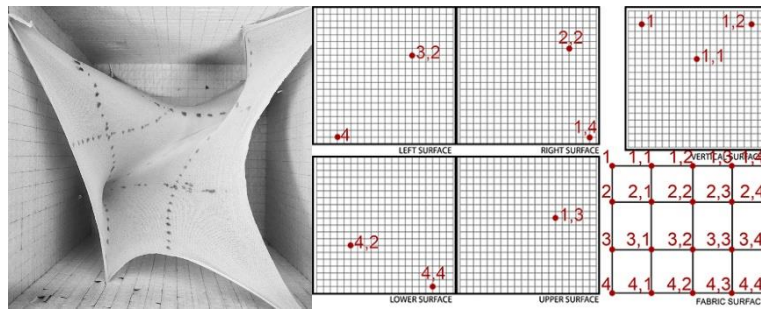
Portfolyo değerlendirme süreci standart bir altlığa oturtularak ve rubrik sistemle bütünleştirilerek, dönem sonunda verilen notların adil bir sistemle verilmesi sağlanmıştır. Notlandırma sürecinde ortaya çıkan sonuç ürünün niteliğine değil, sürece not verilmiş. Böylelikle öğrencilerin yeni bir şeyler deneyip başarısız olmaları halinde düşük not almalarının önüne geçilmiştir. Öğrenci de bunu bildiği için ders sürecinde daha serbest fikirlerle üretimler yapabilmişlerdir. Örneğin malzeme odaklı atölye çalışmasının final çalışmasında kil ile üretim yapan grup, sonuçta ayakta durmakta zorlanan ve parçalanmış bir parametrik kule teslimi yapmış olsalar da bu durum notlarını etkilememiştir. Çünkü öğrenci grubunun deneyimlediği süreç, aynı malzemeyi farklı şekilde kullanarak çözüm üretme çabaları sonuç ürünün kendisinden daha değerlidir.

Portfolyo değerlendirme yöntemi, bir öğrencinin dönem içerisindeki değişimini net bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu yönüyle mimarlık bölümlerindeki dersler gibi üretim odaklı eğitimin gerçekleştiği süreçlerde kullanılabilir bir yöntemdir. Örneğin proje derslerinde öğrencilerin portfolyo hazırlaması istenip, dönem sonunda öğrencinin ne yönde geliştiği gözlenebilir. Portfolyo yöntemi yalnızca bu çalışma değil, konstrüktivist eğitim yaklaşımının benimsendiği her çalışma için kullanılabilir bir yöntemdir.

3.4.10. Uzaktan Eğitim

Tez çalışmasının temellendirildiği konstrüktivist yaklaşımlar ve yaparak öğrenme odaklı eğitim modeli, Covid-19 salgını nedeni ile uzaktan eğitime geçilmesi sonucunda kendi ile çelişen bir durumla karşı karşıya kalmıştır. Dönemin hemen başlarında ortaya çıkan bu durum, malzeme ve 1:1 ölçekli üretim odaklı atölye süreçlerini etkilemiş ve verilerin toplanması sürecinde pilot çalışma ile bütünleştirilmesi gerekliliği doğurmuştur.

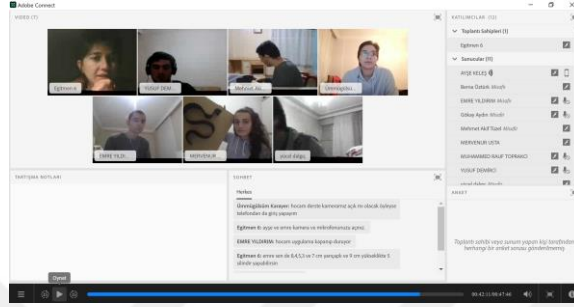
Planların dahilinde olmayan bu süreç, yaparak öğrenmenin önemini gözlenmesi açısından bir fırsat yaratmıştır. Pilot çalışma dönemi ile uzaktan eğitim döneminde yapılmış olan çalışmalar karşılaştırıldığında, öğrencilerin sayısal modelin oluşturulması süreçlerinde sorunlar yaşayabildikleri görülmüştür. Özellikle malzeme odaklı atölye sürecini almış olan öğrenciler sayısal modelleme süreçleri konusunda daha deneyimsiz oldukları için daha fazla sorunla karşılaşmışlardır. Örneğin; gergi strüktür egzersizinde pilot çalışma ve uzaktan eğitim süreçlerinde üretilmiş sayısal modelleme ürünleri karşılaştırıldığında pilot çalışma dönemindeki öğrencilerin daha başarılı oldukları gözlenmiştir. Uzaktan eğitimde egzersiz sürecinin yaparak öğrenme odaklı bölümü, pilot çalışmadan edinilmiş olan sayısal veriler ve görseller üzerinden yürütülmüştür (Şekil 97). Öğrenciler üretimi başkasının deneyimi üzerinden yürütmek zorunda kalmış ve bu da verinin sayısal modelleme ortamına aktarılması sürecinde sorunlara yol açmıştır. Bu karşılaştırma göz önüne alınarak yaparak öğrenme süreci ile sayısal ilişkilerin belirlenmesinin sayısal düşünmeyi öğrenme sürecine olumlu yönde etkisinin olduğu söylenebilir.



Şekil 97. Gergi strüktür egzersizi için kullanılan görsel örneği

2020 - 2021 Eğitim Öğretim Yılı güz yarıyılında tez çalışması kapsamında olmasa da oluşturulmuş olan eğitim modeli uzaktan eğitim ile uygulanmaya devam etmiştir. Bu

yarıyıda geometri odaklı egzersiz süreçlerine odaklanan MSM I dersi gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde salgının etkileri hafiflediği ve öğrencilerin kırtasiye malzemelerine ulaşımlarında sorun olmadığı için yaparak öğrenme süreci uzaktan eğitim sistemi üzerinden görüntülü olarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle eğitim modeli yapma odaklı bölümü uzaktan eğitimle de olsa gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 98. Uzaktan eğitim sürecine ilişkin görsel

Ders anlatımlarının uzaktan eğitim öncesinde de YouTube üzerinden gerçekleştiriliyor olması, uzaktan eğitim sürecine geçişi kolaylaştırmıştır. Sayısal üretim süreçleri ise öğrencilerin hazırladıkları üretim dosyaları üzerinden ve üretim süreci videoya alınarak gerçekleştirilmiştir. Ancak Sayısal Tasarım ve Fabrikasyon Laboratuvarı'nın ders sürecinde öğrencinin deneyimleyebileceği bir ortam olması özelliğini kaybetmesi, uzaktan eğitimin getirdiği en büyük dezavantajlardan biri olmuştur.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma, sayısal düşünmenin yapma odaklı olarak öğrenilebileceği hipotezi üzerine temellendirilmiştir. Bu bağlamda mimarlık bölümü üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı yarıyıl öğrencileri ile seçmeli dersler kapsamında uygulanmış olan atölye süreçleri bir model önerisine dönüştürülmüştür. Bu model, yapma odaklı ve bilişsel süreçlerin ilişkisi üzerinden oluşturulmuştur. Atölye çalışmaları süresince deneyimlenen model önerisi mimarlık lisans eğitiminin bütünü düşünülerek sonlandırılmıştır.

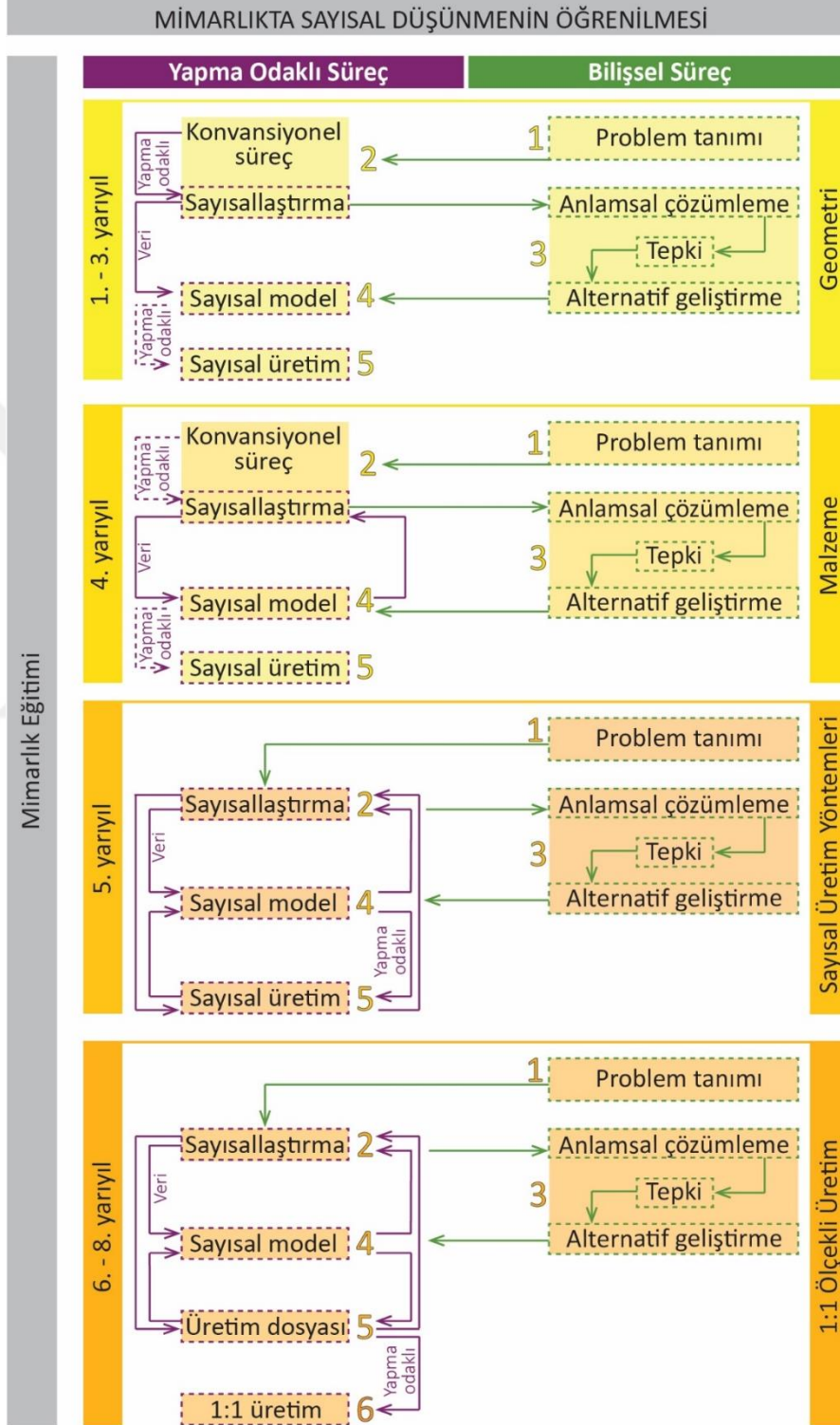
Model, lisans eğitimini dört aşamada ele almaktadır. Bu dört aşama lisans öğrencilerinin bilgi birikimi seviyelerine göre belirlemiştir. İlk aşama birinci, ikinci, üçüncü yarıyıl öğrencileri ile uygulanabilir olan ve tez çalışması kapsamında üçüncü yarıyıl öğrencileri ile geometri teması üzerinden gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler ilk sene içerisinde mimarlık ile tanışmaya, tasarımı sorgulamaya ve ilk projelerini üretmeye başlarlar. Üçüncü yarıyıl ise öğrencinin yavaş yavaş kendi ayakları üzerinde durabildiği bir yarıyıldır. Bu nedenle bu grup öğrencilerin benzer seviyede oldukları düşünülerek, benzer bir atölye süreci ile sayısal düşünmeyi öğrenebilecekleri düşünülmüştür. Bu aşamada biçimsel ilişkiler ön planda tutulmakta ve öğrencinin tasarım bilinci form tartışmalarına ağırlık verilerek geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle, ilk aşama geometri teması altında ele alınmıştır.

İkinci aşama, dördüncü yarıyıl lisans öğrencileri ile gerçekleştirilen ve malzeme teması ile ele alınan aşamadır. Dördüncü yarıyıl, öğrencilerin tasarım yeteneklerinin geliştiği, malzeme ve teknik detaylar hakkında fikir sahibi olmaya başladığı yarıyıldır. Dördüncü yarıyıla ilişkin öğrenme adımları bir önceki yarıyıllarla benzerlik göstermektedir.

Üçüncü aşama, beşinci yarıyıl öğrencileri ile uygulanan ve sayısal üretim yöntemleri teması ile ele alınan aşamadır. Bu aşamada öğrencilerin önceki yarıyıllarda edinmiş oldukları sayısal düşünmeye, sayısal tasarıma ve sayısal fabrikasyon yöntemlerine ilişkin tecrübeleri göz önüne alınmış ve sayısal üretim teknikleri hakkındaki bilgi birikimlerini artırmaları hedeflenmiştir. Beşinci yarıyıl öğrencileri mimarlık hakkında kendi fikirlerini edinmeye başlamakta ve bu fikirlerini sayısal tasarım süreçleri ile bütünleştirmeleri beklenmektedir.

Son aşama ise altıncı, yedinci ve sekizinci yarıyıl öğrencileri ile uygulanmaktadır. Bu aşamadaki öğrenciler, yapı projesi gibi teknik dersleri almış olmaktadırlar. Öğrencilerin detay çözme becerileri bu yarıyıllarda gelişmekte olduğu için bu bilgilerini 1:1 ölçekli üretim

teması altında sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri ile ilişkilendirmeleri hedeflenmektedir.



Şekil 99. Mimarlıkta sayısal düşünmenin yaparak öğrenme odaklı geliştirilmesine yönelik model önerisi

Model önerisi, yapma odaklı ve bilişsel olmak iki temel süreçten meydana gelmektedir. Bu iki farklı sürecin adımları birbirlerini takip ederek modelin bütünü oluşturulmaktadır. Şekil 99’da gösterilmiş olan oklar adım sırasını göstermekte olup, kesikli çizgi ile ifade edilmiş olanlar, o adımın gerçekleştirilmesinin zorunlu olmadığını anlamına gelmektedir.

Uygulanmış olan egzersizlerin bilişsel süreçleri aynı adımlarla gerçekleşmektedir. Bu adımlar, Gagné’nin (1965) bilişsel süreçlere ilişkin öğrenme durumları sınıflamasına atıfta bulunmakla beraber sayısal düşünmenin yapısına uygun olarak dönüştürülerek güncellenmiştir:

- Problem tanımı,
- Sayısallaştırma,
- Anlamsal çözümleme,
- Tepki,

▪ Alternatif geliştirme olarak belirlenmiş olan beş aşama, sayısal düşünmenin öğrenilmesine yönelik oluşturulmuş olan modelin bilişsel süreçlerini oluşturmaktadır.

Problem tanımı, egzersiz sürecinin net bir sınır içerisinde tanımlanmasını ifade etmektedir. Tez kapsamında tasarım problemi tanımları; atölye çalışmalarının ana temaları olan geometri, malzeme, sayısal üretim veya 1:1 ölçekli üretim odaklı olarak yapılmıştır. Problem tanımı, öğrencinin egzersiz süreci ile ilk karşılaşmasını temsil etmektedir.

Sayısallaştırma, egzersiz sürecine ilişkin verilerin yaparak açığa çıkarılmasını ifade etmektedir. Bu aşama, bilişsel sürecin yapma odaklı süreçle bağlantısını kuran ilk aşamadır. Tasarım problemine ilişkin cevap deşifre edilmeye başlanır. Yapma eylemi, bir ürünü oluşturan parçaların sayısal ilişkileri ile ortaya çıkarılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle sayısallaştırma süreci yapma odaklı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu aşama aynı zamanda erken dönem mimarlık öğrencilerinin konvansiyonel süreçler ile sayısal süreçler arasındaki ilişkiyi kurabilmesi açısından da önemlidir. Sayısallaştırma süreci, konvansiyonel tasarımdaki kara kutunun saydamlaştırılmasını ve saydamlaştırma sırasında elde edilmiş olan verilerin sayısal tasarımın bir parçası haline getirilmesini ifade etmektedir. Bu aşama sonucu sayısal tasarım ile biten sürecin ilk ve en önemli aşamasıdır. Açığa çıkarılmış olan veriler, tasarım adımları ile bütünleştirilerek sayısal ortamda modelleme için gerekli olan parametreleri ve kuralları oluşturur.

Anlamsal çözümleme, sayısallaştırma sürecinde yaparak öğrenme ile açığa çıkarılmış olan verilerin sayısal ortamdaki karşılığının tanımlanmasını ifade etmektedir. Tez çalışması

kapsamında yürütülmüş olan egzersiz süreçlerinde bu aşama, yürütücünün rehberlik ettiği bir sayısal modelleme aşaması olarak gerçekleştirilmiştir. Problem tanımına benzer bir sayısal modelleme süreci video aracılığı ile gösterilmiştir. Böylelikle fiziksel ortam ile sayısal ortam arasındaki ilişkinin bir benzerinin nasıl oluşturulabileceği öğrenilmektedir.

Tepki, anlamsal çözümlenme aşamasındaki video anlatımının bir taklidini üretmeyi içermektedir. Gösterilmiş olan sayısal modelin aynısını öğrenci kendisi üretmeye çalışmakta ve böylelikle öğrenmeyi içselleştirmesi sağlanmaktadır. Öğrenci videoda gördüğünü üretmeye çalışırken sayısal modelleme süreci ile ilgili kendine sorular sormakta ve cevaplar vermektedir.

Alternatif geliştirme süreci bilişsel sürecin son adımıdır. Bu adım, sayısal tasarımın en önemli getirilerinden olan bir sayısal model ile birden fazla sonuç ürünün elde edilebilmesine atıfta bulunmaktadır. Bu aşama, öğrencinin modelleme konusundaki başarısını da göstermektedir. Çünkü sayısal modelin parametreleri değiştirildiğinde anlamlı ürünlerin elde edilebiliyor olması, model mantığının doğru kurgulandığını ve parametrelerin birbirleri ile ilişkilerinin kurulabildiğini göstermektedir. Tez kapsamında uygulanan egzersizlerde tepki adımında elde edilmiş olan sayısal modelin parametreleri sayısallaştırma aşamasında elde edilmiş verilerle değiştirilmektedir. Böylelikle her öğrenci kendi çalışmasını sayısal ortamda modelleyebilmektedir. Anlamsal çözümlenme, tepki ve alternatif geliştirme aşamaları tüm egzersiz süreçlerinde ardı ardına gerçekleşmektedir. Bu üç adım aynı zamanda bilişsel sürecin son adımlarıdır. Sonucunda sayısal model ortaya çıkmaktadır.

Eğitim modelinin yapma odaklı olarak gerçekleştirilen aşamaları ise her lisans eğitimi aşaması için farklılık göstermektedir. İlk üç dönemdeki öğrenciler, yapma odaklı süreci konvansiyonel yaklaşımlar ile bütünleşik olarak gerçekleştirmektedirler. Sayısal düşünme süreçleri bu öğrenci grubu için yeni bir düşünme biçimidir. Bu nedenle öğrencilerin aşına oldukları konvansiyonel süreçlerden destek alarak süreci yürütmenin sayısal tasarımı kavrayabilmeleri açısından faydalı olduğu söylenebilmektedir.

Dördüncü dönemdeki öğrenciler de bir alt aşamaya benzer şekilde yaparak öğrenme sürecini gerçekleştirmektedirler. Bu dönemdeki tek fark, konvansiyonel süreçler ile bağlantı dönem başındaki çalışmalarda kurulmakta iken; dönem ilerledikçe konvansiyonel ile ilişki yavaş yavaş arka planda kalarak tamamen sayısal model üzerinden egzersizler gerçekleştirilmeye başlamaktadır.

Beşinci dönemden itibaren ise süreç tamamen sayısal tasarım ve fabrikasyon yöntemleri üzerinden yürütülmeye başlamaktadır. Bu aşamada sayısallaştırma ve sayısal

model döngüsü uygulanabilir bir sayısal model ortaya çıkarılana kadar sürmektedir. Sayısal model ve sayısal üretim arasındaki döngü ise üretim sürecine ilişkin tespit edilen tüm sorunlara çözüm bulunana kadar devam etmektedir. Sayısal üretim ve sayısallaştırma döngüsü ise üretme eyleminin doğal sonucu olan sayısallaştırma sürecini ifade etmektedir. Yaparak öğrenme sürecinde öğrenci, oluşturmuş olduğu sayısal modeli maket ölçeğinde üretmeye çalışmaktadır. Öğrenciye detay geliştirme sorunu çıkarmamak ve öğrencinin sayısal fabrikasyon tekniklerine odaklanmasını sağlamak için maket ölçeğinde çalışılmaktadır. Bu dönemin sonunda öğrenciler sayısal fabrikasyon araçlarının ne işe yaradığını öğrenmekte ve bazı araçları kendi başlarına çalıştırabilecek bilgi seviyesine ulaşmaktadırlar. Öğrenciler aynı zamanda üretim dosyası hazırlamaya ilişkin deneyim kazanmaktadırlar.

Son lisans eğitimi aşaması olan altıncı, yedinci ve sekizinci dönem öğrencileri, o döneme kadar öğrenmiş oldukları mimari bilgi birikimini sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri ile bütünleştirmeye çalışmaktadır. Sayısallaştırma, sayısal model ve üretim dosyası oluşturma döngüleri üretime ilişkin tüm sorunlar giderilene kadar devam etmektedir. Üretim dosyasının son halini almasıyla 1:1 ölçekli üretim aşaması gerçekleştirilerek süreç tamamlanır.

Sonuç olarak;

- Tez çalışması kapsamında, eğitim modelinin bir örneği dört farklı yarıyıldan uygulanmıştır. Portfolyo yöntemi, öğrenci görüş ölçeği ve final çalışmalarına yönelik bulgular, öğrencilerin sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri konusunda deneyim kazandıklarını göstermekte, egzersizlerin sayısal düşünmeye olumlu yönde bir katkısının olduğu söylenebilmektedir. Dört atölye sürecini de tamamlamış olan öğrencilerin görüşlerinin, egzersiz süreçlerinin hedeflediği doğrultuda değiştiği tespit edilmiştir. Portfolyo değerlendirme yöntemine yönelik bulgular, öğrencilerin egzersiz süreçleri ilerledikçe sayısal düşünmenin gerekliliklerini daha iyi kavradıklarını göstermektedir. Öğrencilerin sayısallaştırma süreçlerine ilişkin açıklamaları netleşmektedir. Sayısallaştırma süreci sonucunda elde ettikleri veriler ile sayısal modelin parametreleri arasındaki bağlantıyı keşfettikçe, sayısal modelleme mantığını da daha iyi kavramaya başlamaktadırlar. Final çalışmalarına yönelik bulgular, öğrencilerin deneyim kazandıkça sayısal tasarım ve fabrikasyon yöntemlerini bir mantık çerçevesinde kurgulayabilme becerilerinin arttığını göstermektedir. Derslerin çoğuna katılmış ve katılmamış öğrenciler arasındaki deneyim farkı güçlü bir biçimde gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle eğitim modelinin tüm

öğrencilerle ve zorunlu ders kapsamında ele alınabilmesi, modelin etkilerini bir adım daha ileri taşıyacaktır.

- Çalışma kapsamında Bauhaus'un bir rol model olarak ele alınması, egzersiz süreçlerinin yapma odaklı gerçekleştirilmesi fikrinin ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. Yapma odaklı yaklaşımlar, öğrenme sürecini verimli hale getirmiş ve bilginin sorgulanarak edinilmesini sağlamıştır.

- Sayısal düşünmenin geliştirilmesinin sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçlerinin öğrenilmesinde etkili olduğu görülmektedir.

- Sayısal düşünmenin öğrenilmesi sürecinde konstrüktivist yaklaşımların ve dolayısıyla yaparak öğrenmenin olumlu katkıları olduğu görülmektedir. Yapma eylemi, tasarım ürününe ilişkin sorular sorulmasını gerektirmektedir. Bu sorular, ürünü oluşturan tüm biçimsel ve sayısal ilişkilerin ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. Böylelikle sayısal tasarım süreci için gerekli veriler elde edilebilmektedir.

- Sayısal düşünmenin geliştirilmesine yönelik uygulanan egzersiz süreçlerinin güçlü yönleri;

Erken dönem mimarlık öğrencileri ile uygulanan egzersiz süreçlerinin konvansiyonel yöntemler ile bütünleştirilmesi,

Atölye süreçlerinin biçim grameri egzersizleri ile başlaması,

Öğrenme süreçlerinin yapma odaklı olarak ele alınması,

Sayısal tasarım ve fabrikasyon laboratuvarının sürecin bir parçası olarak kullanılması,

Atölye süreçlerinin belirlenen temalara odaklı olarak uygulanması olarak sıralanabilir.

- Egzersiz süreçlerinin zayıf yönleri ise;

Standart olmayan seri üretim, teselasyon gibi öğrencilerin ilk kez karşılaştığı kavramların anlamları üzerinde daha fazla durulması gerekliliği,

Egzersiz süreçlerinin seçmeli dersler kapsamında uygulanmış olmasıdır.

- Tasarım problemlerinin eksik tanımlı problemler olarak sınıflandırılması, tasarım sürecinin sayısallaştırılması ile ilgili soru işaretlerini de beraberinde getirmektedir. Ancak çalışmanın sonucu olarak; öğrencilerin egzersizler kapsamında tanımlanan tasarım problemlerini sayısallaştırabildikleri ve buradan elde ettikleri verileri sayısal ortama aktarabildikleri görülmektedir.

- Çalışma kapsamında; özellikle erken dönem mimarlık öğrencileri ile uygulanan egzersizlerde konvansiyonel süreçler ile bütünleşik bir öğrenme süreci gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, sayısal konvansiyonelin zıttı olarak tanımlamaktansa; her iki durumu da

birbirlerini destekleyen süreçler olarak tanımlamak doğru olacaktır. Tez çalışmasına ilişkin veriler de sayısal tasarımın konvansiyonel süreçler bağlamında ele alınmasının öğrenme sürecine olumlu etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır.

- Tez çalışmasının seçmeli dersler kapsamında uygulanmış olması, dersi alan öğrencilerin sürekliliği açısından sorunlara yol açmış, bu sorunlar dikey stüdyo mantığı gibi yöntemlerin uygulanması ile aşılmaya çalışılmıştır. Sayısal tasarım ve fabrikasyon araçlarının mimarlık ile geri dönülemez biçimde bütünleşmeye başlaması, sayısal düşünmeye yönelik derslerin de mimarlık müfredatı içerisinde zorunlu ders olarak yer alması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

- Çalışma kapsamında uygulanmış olan ters yüz edilmiş sınıf modelinin olumlu etkileri hem öğrenciler tarafından dile getirilmiş hem de yürütücüler tarafından gözlenmiştir. Özellikle yapma odaklı sürece daha fazla zaman ayrılabilmesi açısından olumlu etkileri görülmüştür.

- Portfolyo değerlendirme yöntemi, çalışmaya katılan öğrencilerin gelişimlerinin görülmesi açısından önemli bir araç olmuştur. Öğrencinin kullandığı terminolojinin, sayısal tasarım ve modelleme becerisinin ne yönde geliştiği tespit edilebilmiştir. Sonuç yerine süreç odaklı bir ölçme imkânı sağlaması açısından değerlidir.

- Covid-19 salgını nedeni ile uzaktan eğitime geçilmesi, yaparak öğrenmenin önemini gözlemlemek açısından iyi bir fırsat yaratmıştır. Uzaktan eğitim döneminde uygulanmış olan gergi strüktür egzersizi gibi bazı egzersizlerin sayısal ortamda modellenme başarısının pilot çalışmaya göre düştüğü tespit edilmiştir. Yapma odaklı süreçler ile sayısal ilişkiler belirlenmekte ve bu ilişkilerin nasıl bir düzen içinde kullanıldığı keşfedilmektedir. Bu aşamanın eksikliği sayısal modelleme sürecine etki etmektedir.

Öneriler

- Tez çalışmasına ilişkin sonuçlardan hareketle eğitim sürecinde sayısal düşünme, sayısal tasarım ve fabrikasyon yöntemlerine ilişkin derslerin müfredat içerisinde zorunlu ders kategorisinde yer alması gerekliliği üzerine tartışılmalıdır. Gelişen teknolojiyi yakalayabilmenin gerekliliklerinden birisi de eğitim sisteminin güncellenmesi, güncel teknolojiyi kullanabilen ve geliştirebilen bir neslin yetiştirilebilmesinin sağlanmasıdır. Bu bağlamda, mimarlık eğitimi süreç ve yöntemleri üzerine tartışılması gerekmektedir.

- Kurgulanmış olan eğitim modelinin zorunlu ders bağlamında ve aynı grup öğrencilerle deneyimlenerek, öğrenci gelişimleri daha net bir biçimde gözlenebilir. Bu

çalışma belirli bir süre tekrar edilerek, çalışmanın örneklem grubu genişletilebilir ve modele ilişkin ortaya çıkabilecek eksik yönler tespit edilebilir.

- Sayısal tasarım ve üretim süreçleri stüdyo derslerinde bir yöntem olarak deneyimlenebilir. Stüdyo dersleri ilgili temalar ve oluşturulmuş olan eğitim modeli kapsamında kurgulanarak, sayısal düşünme ile bütünleşik olarak ele alınabilir. Böylelikle mimarlık mesleğine yönelik pratiğin, sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri ile bütünleştirilmesi sağlanabilir. Sayısal tasarım ve fabrikasyon yöntemlerinin mimari tasarım sürecine etkileri üzerine tartışılabilir.

- Temel tasarım derslerinde konvansiyonel yöntemler ile sayısal yöntemlerin bir arada kullanımına yönelik egzersizler kurgulanabilir. Böylelikle öğrencinin birinci sınıftan itibaren sayısal tasarım kavramıyla tanışması sağlanabilir. Eğitim modelinin ilk aşaması temel tasarım dersi üzerinden gerçekleştirilebilir. Bu süreçte öğrencinin konvansiyonel yöntemlerle ve kâğıt üzerinde tasarladığı kompozisyonların benzerleri, yürütücü eşliğinde sayısal fabrikasyon ortamında üretilebilir. Öğrencinin iki süreç arasındaki farkları tartışması beklenebilir.

- Sayısal fabrikasyon araçlarının sayısal düşünmenin yapma odaklı olarak öğrenilmesi konusunda önemli katkılarının olduğu görülmektedir. Sayısal fabrikasyon araçlarının mimarlık eğitiminin bir parçası haline gelmesinin, yakın bir gelecekte, bir gerekliliğe dönüşmesi beklenmektedir. Çünkü teknolojiyi deneyimlemek, onun nasıl işlediğini bilmek; teknolojiyi geliştirebilmek açısından birincil derecede önemlidir. Bu bağlamda, üniversitelerin, sayısal fabrikasyon araçlarını içeren laboratuvar kurmalarına ilişkin bütçe ayırmaları gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

- Sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri, disiplinler arası çalışmaların lisans düzeyinde de kurgulanmasının önünü açmaktadır. Günümüzde disiplinlerin birbirleri içerisine geçtiği, mimarların kodlama bildiği, biyolojinin tasarım alanına dahil olduğu, vb. durumlarla karşılaşabilmektedir. Bu bağlamda, lisans düzeyi öğrencileri için farklı disiplinlerin bir arada çalışabileceği atölyeler düzenlenebilir.

- Portfolyo ile değerlendirme yöntemi, stüdyo derslerinin bir parçası haline gelebilir. Portfolyonun, bir öğrencinin dönem içindeki dönüşümünü görebilmek için değerli bir yöntem olduğu tez sonuçlarında görülmektedir. Buna ek olarak, portfolyo oluşturma sürecinde öğrenci kendine birtakım sorular sorarak, tasarım sürecini sorgulamakta ve açığa çıkarmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Ahlquist, S. ve Menges, A., 2011. "Introduction: Computational Design Thinking", Computational Design Thinking içinde, ed. Achim Menges, Sean Ahlquist, Wiley, West Sussex.
- Aho, A. V., 2012. Computation and Computational Thinking, The Computer Journal, 55, 7, 832-835.
- Akin, Ö., 1989. Computational Design Instruction: Toward a Pedagogy, CAAD Futures, CAAD Futures Digital Proceedings: 301–316.
- Albers, J., 2014. Josef Albers: Minimal Means, Maximum Effect. Madrid: Fundacion Juan March: Editorial de Arte y Ciencia.
- Anderson, C., 2012. Makers: The New Industrial Revolution, Crown Business, New York.
- Barrow, L., ve Mathew, A., 2005. Digital Design and Manufacturing – A New Era of Representation, Digital Communication Association-Proceedings – Pencil Pixel Progression.
- Bayazıt, N., 1994. Endüstri Ürünlerinde ve Mimarlıkta Tasarlama Metodlarına Giriş, Literatür Yayınevi, İstanbul.
- Bayazıt, N., 2004. Tasarlama Kuramları ve Metotları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bayer, H., Gropius, W., Gropius, I., ve Newhall, B., 1938. Bauhaus, 1919-1928, Museum of Modern Art.
- Bloom, B. S., 1956. Taxonomy of Educational Objectives, David McKey Company, Michigan.
- Broadbent, G. H., 1966. "Creativity", The Design Method içinde, ed. S. A. Gregory, 111-119, Butterworths, Londra.
- Bury, M., 2003. "Between Intuition and Process: Parametric Design and Rapid Prototyping Architecture", Digital Age: Design and Manufacturing içinde, ed. Branko Kolarevic, 147-162, Ny: Spoon Press, New York.
- Büyükduman, İ., ve Şirin, S., 2010. Learning Portfolio (LP) to Enhance Constructivism and Student Autonomy, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 3, 55–61.
- Büyükoztürk, Ş., 2005. Anket Geliştirme, Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 3, 2, 133-151.
- Carpenter, W., 2014. Digital Fabrication and the Design Build Studio, 102. ACSA Annual Meeting Proceedings, Globalizing Architecture/Flows and Disruptions, 513-521.

- Celani, G., 2012. Digital Fabrication Laboratories: Pedagogy and Impacts on Architectural Education, *Nexus Network Journal*, 14, 469-482.
- Churchman, C. W., 1967. Wicked Problems, *Management Science*, 14, 4, B141-B142.
- Crehan, M., Seery, N., Canty, D., ve Lane, D., 2012. Constructivist E-Portfolios: The Use of Media in the Collecting and Evidencing of Student Learning, ASEE Annual Conference ve Exposition, Haziran 2012, Texas, Bildiriler Kitabı, 25.343.1 - 25.343.19.
- Cross, N., 1982. Designerly Ways of Knowing, *Design Studies*, 3, 4, 221-227.
- Cuncka, A., ve Savicka, I., 2012. Use of ICT Teaching-Learning Methods Make School Math Blossom, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 69, 1481-1488.
- Çolakoğlu, B. ve Yazar, T., 2007. Mimarlık Eğitiminde Algoritma: Stüdyo Uygulamaları, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22, 3, 379-385.
- De L'orme, P., 1567. Le Premier Tome de L'architecture.
- Dewey, J., 1938. Experience and Education, Free Press.
- Doyle, S.E., 2016. Bringing Bauhaus Back: Digital Architecture + Contemporary Craft, ACSA International Conference, 89-96.
- Eastman, C., 1969. Cognitive Processes and Ill-defined Problems: A Case Study From Design, Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence: IJCAI içinde, 669-690.
- Eastman, C., 2008. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley&Sons.
- El-Zanfaly, D., 2015. [I³] Imitation, Iteration and Improvisation: Embodied Interaction in Making and Learning, *Design Studies*, 41, 75-109.
- Erten, P., 2019. Z Kuşağının Dijital Teknolojiye Yönelik Tutumları, *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 10, 1, 190-202.
- Gagné, R. M., 1965. Conditions of Learning, Holt Reinhart and Winston, New York.
- Gershenfeld, N., 2008. Fab: The Coming Revolution on Your Desktop: From Personal Computers to Personal Fabrication, Basic Books, New York.
- Gropius, W., 1919. Bauhaus Manifesto.
- Gropius, W., 1965. The New Architecture and the Bauhaus, MIT Press, Massachusetts.

- Hamm, M., ve Adams, D., 1992. Portfolios: A Valuable Tool For Reflection and Assessment, Journal of Experiential Education, 15, 1, 48-50.
- Heidegger, M., 1998. Tekniğe İlişkin Soruşturma, Paradigma Yayınları, çev. D. Özlem, İstanbul.
- Hochman, E. S., 1997. Bauhaus – Crucible of Modernism, Fromm International, New York.
- Hypki, C., 1994. Thinking about Learning and Learning About Thinking: Using Portfolio Assessment in Adult Education A Handbook for Instructors and Tutors, Essex Community College, Baltimore.
- Iwamoto, L., 2009. Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques, Princeton Architectural Press, New York.
- Jonassen, D. H., 1991. Evaluating Constructivistic Learning, Educational Technology, 31, 9, 28-33.
- Jones, J. C., 1970. Design Methods: Seeds of Human Futures, John Wiley&Sons, Londra.
- King, A., 1993. From Sage on the Stage to Guide on the Side, College Thinking, 41, 1, 30-35.
- Knight, T., 2012. “Slow Computing: Teaching Generative Design with Shape Grammars”, Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM, and CAE Education içinde, ed. Ning Gu, Xiangyu Wang, 34-55, IGI Global.
- Kolarevic, B., 2003. “Digital Production”, Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing içinde, ed. Branko Kolarevic, 46-87, NY: Spoon Press, New York.
- Lage, M. J., Platt, G. J., ve Treglia, M., 2000. Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment, The Journal of Economic Education, 31, 1, 30-43.
- Lawshe, C. H., 1975. A Quantitative Approach to Content Validity, 1. Personnel Psychology, 28, 4, 563-575.
- Lawson, B., 2005. How Designers Think: The Design Process Demystified, 4. Baskı, Routledge, New York.
- Liu, C. H. ve Matthews, R., 2005. Vygotsky’s Philosophy: Constructivism and Its Criticisms Examined, International Education Journal, 6, 3, 386-399.
- Mahoney, M. J., 2004. What is Constructivism and Why is It Growing, Contemporary Psychology, 49, 360-363.
- Marcelino, M. J., Pessoa, T., Vieira, C., Salvador, T. ve Mendes, A. J., 2018. Learning Computational Thinking and Scratch at Distance, Computers in Human Behaviour, 80, 470-477.

- Marx, J., 2000. A Proposal for Alternative Methods for Teaching Digital Design, Automation in Construction, 9, 19-35.
- Mitchell, W. J., 1975. The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design, Environment and Planning B, 2, 127-150.
- Mitchell, W. J., 2011. "A New Agenda for Computer-Aided Design", Computational Design Thinking içinde, ed. Achim Menges ve Sean Ahlquist, Wiley, West Sussex, 2011.
- Newell, A., 1969. "Heuristic Programming: Ill Structured Problems", Progress in Operations Research içinde, ed. J. Aronofsky, 363-413, New York: John Wiley, New York.
- Oblinger, D., ve Oblinger, J., 2005. Is it Age or IT: First Steps Toward Understanding the Net Generation, Educating the Net Generation, 2, 1-2, 20.
- Oxman, R., 2004. Think-maps: Teaching Design Thinking in Design Education, Design Studies, 25, 63-91.
- Oxman, R., 2006. Digital Design Thinking: In the New Design is the New Pedagogy, 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Kumamoto (Japonya), Bildiriler Kitabı, 37-46.
- Oxman, R., 2008. Digital Architecture as a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium, Design Studies, 29, 99-120.
- Oxman, R. ve Oxman, R., 2010. Introduction, Architectural Design: The New Structuralism, 80, 4, 14-23.
- Oxman, R., 2012. "Novel Concepts in Digital Design", Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM, and CAE Education içinde, ed. Ning Gu, Xiangyu Wang, 18-33, IGI Global.
- Oxman, R., 2017. Thinking Difference: Theories and Models of Parametric Design Thinking, Design Studies, 52, 4-39.
- Papert, S. ve Harel, I., 1991. "Situating Constructionism", Constructionism içinde, ed. Seymour Papert ve Idit Harel, Ablex Publishing Corporation, New York.
- Peter, J., 1994. The Oral History of Modern Architecture: Interviews with the Greatest Architects of the Twentieth Century, Harry N. Abrams Inc, New York.
- Piaget, J., 1971. The Child's Conception of the World, 6. Baskı (1. Baskı: 1929), Routledge&Kegan Paul Ltd.
- Popescu-Mitroia, M., Todorescu, L. ve Greculescu, A., 2015. The Usefulness of Portfolios as Assessment Tools in Higher Education, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 191, 2645-2649.
- Prensky, M., 2001. Digital Natives, Digital Immigrants, On the Horizon. 9, 5.

- Rittel, H. W. J., 1973. Webber, M. M., Dilemmas in a General Theory of Planning, Policy Sciences, 4, 155-169.
- Schumacher, P., 2011. The Autopoiesis of Architecture: A New Framework for Architecture (Vol. 1), John Wiley & Sons, West Sussex.
- Schoenfeld, A. H., 1987. "Cognitive Science and Mathematics Education: An Overview", Cognitive Science and Mathematics Education içinde, ed. Alan H. Schoenfeld, 1-32, Routledge, New York.
- Selby, C. ve Woollard, J., 2013, Computational Thinking: The Developing Definition. <https://eprints.soton.ac.uk/356481/>. 28 Ekim 2020.
- Sheil, B., 2014. "The Digital Generation", How Tomorrow's Practitioners will Learn Today içinde, ed. Neil Spiller ve Nic Clear, 138-144, Thames&Hudson, Londra.
- Siebenbrodt, M., ve Schöbe, L., 2009. Bauhaus, Parkstone Press, New York.
- Siemens, G., 2005. Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age, International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, 2, 1.
- Simon, H. A., 1973. The Structure of Ill Structured Problems, Artificial Intelligence, 4, 3-4, 181-201.
- Spiller, N., 2014. "Introduction", How Tomorrow's Practitioners will Learn Today içinde, ed. Neil Spiller ve Nic Clear, 10-21, Thames&Hudson, Londra.
- Sorguç, A. G., Özgenel, Ç. F., Yemişcioğlu, M. K., Küçüksubaşı F., Yıldırım, S., Antonini, E., Bartolomei, L., Ovesen, N., Steino, N., 2019. STEAM Approach for Architecture Education, Architecture in the Age of the 4th Industrial Revolution - Proceedings of the 37th eCAADe and 23rd SIGraDi Conference - Volume 1, Porto (Portekiz), 137-146.
- Stiny, G., 1980. Introduction to Shape and Shape Grammars, Environment and Planning B: Planning and Design, 7, 343-351.
- Stiny, G., 2006. Shape: Talking About Seeing and Doing, MIT Press.
- Tanyeli, U., 2013. Rüya, İnşa, İtiraz Mimari Eleştiri Metinleri, Boyut, İstanbul.
- Tching, J., Reis, J. ve Paio, A., 2017. Shape Grammars for Creative Decisions in the Architectural Project, Computer Science and Information Technology, 5, 2, 84-89.
- Terzidis, K., 2006. Algorithmic Architecture, Elsevier, Burlington.
- Twenge, J. M., Campbell, S. M., Hoffmann, B. J., ve Lance, C. E., 2010. Generational Differences in Workvalues: Leisure and Extrinsic Value Sincreasing, Social and Intrinsic Values Decreasing, Journal of Management, 36, 5, 1117-1142.

- von Glasersfeld, E. V., 1974. "Piaget and The Radical Constructivist Epistemology", *Epistemology and Education* içinde, ed. Smock C. D. ve von Glasersfeld E., 1-24, Follow Through Publications, Atina.
- Vygotsky, L. ve Luria, A., 1994. "Tool and Symbol in Child Development." *The Vygotsky Reader* içinde, ed. R. van de Veer ve J. Valsiner, 99-174, Blackwell Publishers, Oxford.
- Whitney, D. E., 1990. Designing the Design Process, *Research in Engineering Design*, 2, 1, 3-13.
- Wing, J. M., 2006. Computational Thinking, *Communications of the ACM*, 49, 3, 33-35.
- Wilson, B.G., 1996. "What is a Constructivist Learning Environment?", *Constructivist Learning Environments: Case Studies in Instructional Design* içinde, ed. B. G. Wilson, 3-8, Educational Technology Publications, New Jersey.
- Woodbury, R., 2010. *Elements of Parametric Design*, Routledge, Londra.
- URL-1, <http://cba.mit.edu/about/index.html>. 8 Kasım 2020.
- URL-2, <https://iaac.net/iaac/about/>. 8 Kasım 2020.
- URL-3, <http://www.achimmenges.net/>. 8 Kasım 2020.
- URL-4, <https://www.fablabni.com/what-fablab.html>. 8 Kasım 2020.
- URL-5, <https://www.fablabs.io/labs/map>. 8 Kasım 2020.
- URL-6, <http://makered.nl/wp-content/uploads/2015/05/Programma-Bauhaus.png>. 20 Kasım 2020.

6. EKLER

Ek.1. Kapsam Geçerlik Çalışması

KAPSAM GEÇERLİK ÇALIŞMASI

<i>Sayısal / parametrik tasarım ile ilgili değerlendirme:</i>				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlik Oranları
M.2.1.	6			0,99
M.2.2.	5	1		0,99
M.2.3.	5	1		0,99
M.2.4.	5	1		0,99
M.2.5.	5	1		0,99
M.2.6.	5	1		0,99
M.2.7.	4	2		0,99
M.2.8.	6			0,99
M.2.9.	5	1		0,99
M.2.10.	5	1		0,99
M.2.11.	5	1		0,99
M.2.12.	5	1		0,99
M.2.13.	4	1	1	0,7
M.2.14.	5	1		0,99
M.2.15.	5	1		0,99
M.2.16.	4	1	1	0,7

<i>Sayısal / Dijital üretim (Robot kol (manipülator), CNC lazer kesim, 3B Yazıcı,..) ile ilgili değerlendirme:</i>				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlik Oranları
M.3.1.	6			0,99
M.3.2.	6			0,99
M.3.3.	5	1		0,99
M.3.4.	6			0,99
M.3.5.	6			0,99
M.3.6.	5	1		0,99
M.3.7.	6			0,99
M.3.8.	5	1		0,99

<i>Sayısal düşünme ile ilgili değerlendirme:</i>				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlik Oranları
M.4.1.	6			0,99
M.4.2.	6			0,99
M.4.3.	6			0,99
M.4.4.	5		1	0,7
M.4.5.	5	1		0,99
M.4.6.	4	2		0,99
M.4.7.	5	1		0,99
M.4.8.	5	1		0,99
M.4.9.	5	1		0,99

Ek 1'in devamı

Bu bölümde Mimaride Sayısal Modelleme I dersine ilişkin özelleşmiş sorulara yer verilmiştir:

Geometri çalışmaları ile ilgili değerlendirme:				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlik Oranları
M.5.1.	5	1		0,99
M.5.2.	6			0,99
M.5.3.	5	1		0,99
M.5.4.	4	2		0,99
M.5.5.	5		1	0,7

Bu bölümde Mimaride Sayısal Modelleme II dersine ilişkin özelleşmiş sorulara yer verilmiştir:

Malzeme ile ilgili değerlendirme:				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlik Oranları
M.5.1.	4	1	1	0,7
M.5.2.	6			0,99
M.5.3.	3	2	1	0,7
M.5.4.	5		1	0,7
M.5.5.	6			0,99

Bu bölümde Mimaride Sayısal Modelleme III dersine ilişkin özelleşmiş sorulara yer verilmiştir:

Dijital üretim yöntemleri ile ilgili değerlendirme:				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlik Oranları
M.5.1.	6			0,99
M.5.2.	4	1	1	0,7
M.5.3.	4	2		0,99
M.5.4.	5	1		0,99
M.5.5.	4	2		0,99

Bu bölümde Parametrik Tasarım ve Uygulamaları dersine ilişkin özelleşmiş sorulara yer verilmiştir:

Yapma / Üretme ile ilgili değerlendirme:				
Madde	Gerekli	Yararlı ancak yetersiz	Gereksiz	Kapsam Geçerlik Oranları
M.5.1.	6			0,99
M.5.2.	5	1		0,99
M.5.3.	5	1		0,99
M.5.4.	5	1		0,99
M.5.5.	5	1		0,99

Ek.2. Öğrenci Görüş Ölçeği

Bütün derslerde ortak olarak sorulmuş sorular

Dersi seçme sebebim (Birden fazla seçenek işaretlenebilir);

	İlgi duyduğum için
	Yeni bir program öğrenmek için
	Arkadaşlarım önerdiği için
	Başka bir seçmeli ders seçeneği kalmadığı için
	Diğer (belirtiniz):

Teknoloji ile ilgili değerlendirme:

1.1. Mimarlık ve teknolojinin bütünleştiği alanlardaki gelişmeler:

Oldukça ilgimi çeker	İlgimi çeker	Fikrim yok	İlgimi çekmez	Hiç ilgimi çekmez
----------------------	--------------	------------	---------------	-------------------

1.2. Aşağıdaki modelleme programlarından kullanabildiklerim (Birden fazla seçenek işaretlenebilir):

	Sketchup
	Rhinoceros
	Grasshopper (Rhinoceros Plug-in)
	Maya
	3ds Max
	Diğer (varsa belirtiniz):

1.3. Aşağıdaki sunum programlarından kullanabildiklerim (Birden fazla seçenek işaretlenebilir):

	Photoshop
	Illustrator
	Corel Draw
	In Design
	After Affects
	Diğer (varsa belirtiniz):

1.4. Aşağıdaki CAD / BIM programlarından kullanabildiklerim (Birden fazla seçenek işaretlenebilir):

	Autocad
	ArchiCad
	Revit
	Diğer (varsa belirtiniz):

1.5. Okuldaki mimari yazılım / program eğitimlerini yeterli görüyorum.

Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
---------------------	-------------	------------	--------------	------------------

Ek 2'nin devamı

<i>Sayısal / parametrik tasarım ile ilgili değerlendirme:</i>						
Madde	Değerlendirme Sorusu	Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
M.2.1.	Grasshopper bir parametrik modelleme aracıdır.					
M.2.2.	Daha önce Grasshopper ile ilgili ders / kurs aldım.					
M.2.3.	Sayısal / parametrik tasarım ile ilgili bilgiye sahibim.					
M.2.4.	Sayısal / parametrik tasarımın matematik bilgisiyle ilişkili olduğunu düşünüyorum.					
M.2.5.	Sayısal / parametrik tasarımın geometri bilgisiyle ilişkili olduğunu düşünüyorum.					
M.2.6.	Bir geometrik biçimin matematiksel olarak ifadesini karşılığını bilmek mimari form üretimini zenginleştirir.					
M.2.7.	Sayısal / parametrik tasarımın sayısal düşünme becerisini içerdiğini düşünüyorum.					
M.2.8.	Daha önce Grasshopper gibi bir sayısal / parametrik tasarım yazılımı kullandım.					
M.2.9.	Sayısal / parametrik modelleme araçlarının tasarım sürecini ve tasarım ürününü zenginleştirmektedir.					
M.2.10.	Sayısal / parametrik model oluşturma sürecinin diğer modelleme süreçlerine göre daha zor olduğunu düşünüyorum.					
M.2.11.	Sayısal / parametrik modelleme araçları tasarımı kısıtlamakta, benzer formların tasarlanmasına yol açmaktadır.					
M.2.12.	Sayısal / parametrik tasarım sürecinde sayısal ilişkilerin kurgulanması tasarım sürecinin doğru işlemesi açısından önemlidir.					
M.2.13.	Sayısal / parametrik tasarım aracı / yazılımı kullanmamın iş hayatında işime yarayacağını düşünüyorum.					
M.2.14.	Bir mimari formu matematiksel karşılığını bilmeden de üretebilirim.					

Ek 2'nin devamı

Sayısal / Dijital üretim (Robot kol (manipülator), CNC lazer kesim, 3B Yazıcı,..) ile ilgili değerlendirme:						
Madde	Değerlendirme Sorusu	Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
M.3.1.	Dijital üretim araçlarının, bir tasarımın fiziksel olarak üretilebilmesini kolaylaştıracağını düşünüyorum.					
M.3.2.	Fiziksel modeli (maketi) dijital üretim araçları ile yapmaktansa el becerisi ile yapmayı tercih ederim.					
M.3.3.	Bu dersi almadan önce hiç dijital üretim aracı kullanmadım.					
M.3.4.	Dijital üretim araçları sayesinde şimdiye kadar kullandığımdan farklı formlar üretebileceğimi düşünüyorum.					
M.3.5.	Dijital üretim araçlarının tasarım sürecinin bir parçası haline gelmesinin mimarlığın geleceğini değiştireceğini düşünüyorum.					
M.3.6.	Sayısal düşünme becerisi ile dijital üretim mantığının ilişkili olduğunu düşünüyorum.					

Sayısal düşünme ile ilgili değerlendirme:						
Madde	Değerlendirme Sorusu	Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
M.4.1.	İyi bir geometri ve matematik bilgisine sahip olmadan da karmaşık formlar tasarlayabilirim.					
M.4.2.	Matematik, mimarlık ile bire bir ilişkilidir.					
M.4.3.	Geometri, mimarlık ile bire bir ilişkilidir.					
M.4.4.	Teknoloji, mimarlık ile bire bir ilişkilidir.					
M.4.5.	Sayısal düşünme, iyi bir matematik bilgisini gerektirmektedir.					
M.4.6.	Sayısal düşünme ve sayısal tasarım yalnızca karmaşık formları tasarlanması sürecinde gereklidir.					
M.4.7.	Mimaride temel formları (küp, prizma vb.) tasarlayabilmek için sayısal düşünmeye ihtiyacım yoktur.					
M.4.8.	Sayısal düşünme becerisinin matematik ve geometri bilgisi ile bir ilgisi yoktur.					

Ek 2'nin devamı

MSM I dersi kapsamında sorulmuş sorular:

<i>Geometri çalışmaları ile ilgili değerlendirme:</i>						
Madde	Değerlendirme Sorusu	Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
M.5.1.	Bir tasarımı oluşturan parçaların parametrelerinin belirlenmesi geometrilerin tanımlanması açısından önemlidir.					
M.5.2.	Geometrik ilişkilerin kurulması sayısal / parametrik tasarımın bir parçasıdır.					
M.5.3.	Bir tasarım sürecinin sayısal olarak kurgulanabilmesi için tasarımı oluşturan geometrilerin matematiksel karşılıklarının bilinmesi gereklidir.					
M.5.4.	Geometrik ilişkilerin sayısal düşünme ile bir ilgisinin olacağını düşünmüyorum.					

MSM II dersi kapsamında sorulmuş sorular:

<i>Malzeme ile ilgili değerlendirme:</i>						
Madde	Değerlendirme Sorusu	Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
M.5.1.	Malzeme kullanımı sayısal / parametrik tasarımın bir parçasıdır.					
M.5.2.	Dijital üretim süreçlerinin tasarım sürecine katılması malzeme olanaklarının araştırılması açısından önemlidir.					
M.5.3.	Dijital üretim sürecinde hangi malzemenin kullanıldığı önemlidir.					
M.5.4.	Malzeme, tasarım süreci ile değil; üretim süreci ile ilgili bir durumdur.					

Ek 2'nin devamı

MSM III dersi kapsamında sorulmuş sorular:

Dijital üretim yöntemleri ile ilgili değerlendirme:						
Madde	Değerlendirme Sorusu	Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
M.5.1.	Bir tasarımı dijital üretim araçları ile üretebilmek için o tasarımı sayısallaştırmamız gerekmektedir.					
M.5.2.	Her tasarım ürünü her tipte üretim yöntemi ile (dilimleme, katlama, konturlama, teselasyon, biçimlendirme) üretilebilir.					
M.5.3.	Dijital üretim süreci parametrik tasarım yazılımları olmadan da (CAD sistemleri ya da geleneksel yöntemlerle) gerçekleştirilebilir.					
M.5.4.	Bir tasarımın işlevine göre dijital üretim yöntemi de özelleşmelidir.					

PTU dersi kapsamında sorulmuş sorular:

Yapma / Üretme ile ilgili değerlendirme:						
Madde	Değerlendirme Sorusu	Tamamen katılıyorum	Katılıyorum	Fikrim yok	Katılmıyorum	Hiç katılmıyorum
M.5.1.	Bir tasarımı sanal ortamda (3 boyutlu modelleme araçları ile) üretmek sorunları görmemiz açısından yeterlidir.					
M.5.2.	Sayısal tasarım sürecinde kağıt üzerinde ve geleneksel yöntemle çalışılması süreci daha verimli hale getirmektedir.					
M.5.3.	Bir tasarımı fiziksel olarak üretmek (maket) sorunları görmemizi sağlar.					
M.5.4.	1:1 ölçekli / prototip üretimler bir tasarımına ilişkin detayların çözülmesi açısından önemlidir.					
M.5.5.	Bir tasarımı fiziksel olarak üretebilmek için o tasarımı sayısallaştırmak gereklidir.					

ÖZGEÇMİŞ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nden mezun oldu. Mezuniyeti sonrasında iki yıl süre ile özel sektörde çalıştı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı. "Parametrisizm Manifestosu Bağlamında Parametrik Tasarım" başlıklı yüksek lisans tezini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı'nda doktora çalışmalarına başladı. Erasmus öğrenim programı kapsamında Stuttgart Üniversitesi'nde; staj faaliyetleri kapsamında ise Katalunya Yüksek Mimarlık Enstitüsü'nde (IAAC) bulundu.

"Sayısal Tasarım Araştırma ve Fabrikasyon Laboratuvarı Altyapısını Geliştirme Projesi" başlıklı Araştırma Altyapı Projesi'nde araştırmacı olarak görev aldı. Proje kapsamında robot manipülatör ve çevre üniteleri, CNC lazer kesim cihazı, üç boyutlu yazıcı ve üç boyutlu tarayıcı Mimarlık Fakültesi'ne kazandırıldı. Proje sonucunda kurulmuş olan "Mimarlıkta Sayısal Tasarım ve Araştırma Laboratuvarı (KTU CODE FAB)" bünyesinde sayısal tasarım ve fabrikasyon odaklı araştırmalarına devam etmektedir.

Selin Oktan, sayısal düşünme, sayısal tasarım, sayısal düşünmenin mimarlık eğitimi ile ilişkisi, dijital fabrikasyon süreçleri konularına ilgi duymaktadır. "Yaskawa Motoman Temel Robot Eğitimi", "Yaskawa Motosim Simülasyon Programı Eğitimi" ve "MasterCAM Eğitimi" sertifikalarına sahiptir.

Başlangıç seviyesinde Almanca; iyi derecede İngilizce bilmektedir (KPDS: 86,25).