

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KONTRPLAK KAPLI AHŞAP YAPI PERDE DUVARLARININ YAPISAL
DAVRANIŞLARI VE SİSMİK DAYANIM PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Orm. End. Yük. Müh. Aydın DEMİR

**NİSAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

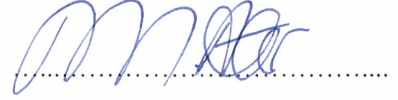
**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Aydın DEMİR Tarafından Hazırlanan**

**KONTRPLAK KAPLI AHŞAP YAPI PERDE DUVARLARININ YAPISAL
DAVRANIŞLARI VE SİSMİK DAYANIM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

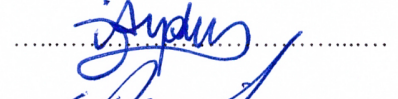
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 19 /03/2019 gün ve 1796 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

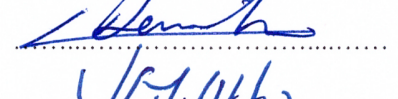
Başkan : Prof. Dr. Musa ATAR



Üye : Prof. Dr. İsmail AYDIN



Üye : Doç. Dr. Cenk DEMİRKIR



Üye : Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN



Üye : Doç. Dr. Tufan ÇAKIR



Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Doktora programı kapsamında hazırlanan “Kontırplak Kaplı Ahşap Yapı Perde Duvarlarının Yapısal Davranışları ve Sismik Dayanım Performanslarının Belirlenmesi” adlı bu çalışmada; Türkiye'de yerli ağaç türlerinden üretilen kontırplak malzemelerin ahşap yapılarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen çıktılar ile Türkiye koşullarında yerli ağaç türlerinden üretilen kontırplak levhaların depreme dayanıklı ahşap yapı tasarımında kullanılması için gerekli optimum şartların belirlenerek endüstri ve sanayinin kullanımına sunulması amaçlanmıştır.

Doktora tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın her aşamasında bilgi, destek, tavsiye ve yakın ilgilerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. İsmail AYDIN'a, yapıcı eleştirileri ile katkıda bulunan bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım hocalarım Sayın Prof. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU, Prof. Dr. Semra ÇOLAK ve Doç. Dr. Cenk DEMİRKİR'a ve çalışmalarımın SAP2000 programıyla modellenme işlemlerinde, Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK ve Arş Gör. Fatih Yesevi OKUR'a; yapay sinir ağlarıyla modellenmesinde ise Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN'e yardımlarından dolayı teşekkürü borç bilirim. Ayrıca çalışmamın her aşamasında yanımda olan, önerileri, ilgi ve destekleri ile çalışmamı kolaylaştıran çok değerli arkadaşlarım, Öğr. Gör. Dr. Hasan ÖZTÜRK, Arş. Gör. Abdullah Uğur BİRİNCİ ve Orman Endüstri Yüksek Mühendisi Özkan CIRRIK ile tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez, TÜBİTAK 1150454 nolu projenin sağladığı destekle tamamlanmıştır. Bundan dolayı, TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Ayrıca doktora eğitimim süresince maddi olarak beni destekleyen, TÜBİTAK 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programına teşekkürü de bir borç bilirim.

Bugünlere ulaşmamda bana her türlü maddi ve manevi desteği veren; babam Hasan DEMİR, annem Kamile DEMİR, kardeşim Aynur DEMİR ve nişanlım Züleyha ARDUÇ'a müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

Aydın Demir
Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Kontrplak Kaplı Ahşap Yapı Perde Duvarlarının Yapısal Davranışları ve Sismik Dayanım Performanslarının Belirlenmesi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail AYDIN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, 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.

03/04/2019

Aydın DEMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÖZET	XIII
SUMMARY	XIV
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVI
TABLolar DİZİNİ.....	XXIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XXX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Ahşap Yapılar	3
1.2.1. Ahşap Yapıların Tarihçesi	3
1.3. Ahşap İskeletli Yapı Çeşitleri.....	4
1.3.1. Platform Sistemler	4
1.3.2. Balon İskelet Sistemler	4
1.3.3. Dikme-Kiriş Sistemler	5
1.3.4. Modifiye Çerçeveli Sistem	6
1.3.5. Hacimsel Sistem	7
1.3.6. Çapraz Lamine Kereste (CLT)	7
1.3.7. Yüksek Katlı Ahşap Yapılar.....	9
1.4. Deprem ve Ahşap Yapı.....	11
1.5. Ahşap İskeletli Yapıların Deprem Performansı ve Sismik Özellikleri.....	13
1.6. Perde Duvar	16
1.6.1. Perde Duvarların Yapısal Davranışlarını Etkileyen Faktörler.....	19
1.6.2. Perde Duvarlarda Kullanılan Yapısal Levhalar	21
1.6.2.1. Kontrplak	23
1.6.2.1.1. Kullanım Amacına Göre Yapı Kontrplağın Sınıflandırması	24
1.6.2.1.2. Kontrplağın Yapı Maksatlı Kullanım Alanları	25
1.6.2.1.3. Perde Duvarların Kontrplak ile Kaplanması ve Sağladığı Avantajlar.....	28
1.6.2.1.4. Kontrplakların Kullanım Yeri Performansını Etkileyen Faktörler.....	29
1.6.2.1.4.1. Ağaç Türü	30
1.6.2.1.4.2. Yoğunluk	30

1.6.2.1.4.3. Rutubet	31
1.6.2.1.4.4. Lif Yapısı.....	32
1.6.2.1.4.5. Budak.....	33
1.6.2.1.4.6. Tutkal.....	33
1.6.2.1.4.7. Presleme Koşulları.....	34
1.6.3. Bağlantı Elemanları ve Yapısal Davranış Üzerine Etkisi.....	35
1.6.3.1. Yanal Vida Dayanımı	36
1.7. Yapısal Davranış Belirleme Yöntemleri.....	41
1.7.1. Sonlu Eleman Yöntemi.....	42
1.8. Yapay Sinir Ağları.....	44
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	46
2.1. Materyal.....	46
2.1.1. Ağaç Malzeme	46
2.1.1.1. Sarıçam (<i>Pinus silvestris</i>) Odun Özellikleri	46
2.1.1.2. Karaçam (<i>Pinus nigra</i>) Odun Özellikleri	47
2.1.1.3. Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i> L.) Odun Özellikleri	48
2.1.2. Tutkal.....	48
2.1.2.1. Fenol Formaldehit.....	48
2.1.3. Kontrplak Levhalarının Üretimi	49
2.1.3.1. Kaplama Soyma ve Kurutma İşlemi.....	49
2.1.3.2. Kaplama Levhalarının Tutkallanması.....	49
2.1.3.3. Kontrplak Levhalarının Preslenmesi	50
2.2. Yöntem	54
2.2.1. Mekanik Özellikler	54
2.2.1.1. Kontrplak Yapışma Direnci (Çekme-Makaslama Direnci)	54
2.2.1.2. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	55
2.2.1.3. Yanal Vida Direnci	55
2.2.2. Fiziksel Özellikler.....	58
2.2.2.1. Yoğunluk	58
2.3. Perde Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar.....	58
2.4. SAP2000 ile Perde Duvar Modellenmesi.....	59
2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modellemesi	62
2.6. İstatistiksel Analiz	64
3. BULGULAR.....	65

3.1.	Mekanik Özellikler	65
3.1.1.	Yapışma (Çekme-Makaslama) Direnci	65
3.1.2.	Eğilme Direnci.....	66
3.1.3.	Elastikiyet Modülü.....	68
3.1.4.	Yanal Vida Direnci	69
3.2.	Fiziksel Özellikler.....	73
3.2.1.	Yoğunluk	73
3.3.	Ahşap Taşıyıcı Sisteme Sahip Çerçevelerin Sonlu Eleman Modeli.....	75
3.4.	Yapay Sinir Ağları Analizi	91
4.	TARTIŞMA.....	101
4.1.	Mekanik Özellikler	101
4.1.1.	Yapışma (Çekme-Makaslama) Direnci	101
4.1.2.	Eğilme Direnci.....	102
4.1.3.	Elastikiyet Modülü.....	104
4.1.4.	Yanal Vida Direnci	105
4.2.	Fiziksel Özellikler.....	111
4.2.1.	Yoğunluk	111
4.3.	Perde Duvarların Sonlu Eleman Modeli Analizleri ile Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması	113
5.	SONUÇLAR.....	149
5.1.	Mekanik Özellikler	149
5.1.1.	Yapışma (Çekme-Makaslama) Direnci	149
5.1.2.	Eğilme Direnci.....	149
5.1.3.	Elastikiyet Modülü.....	149
5.1.4.	Yanal Vida Direnci	150
5.2.	Fiziksel Özellikler.....	150
5.2.1.	Yoğunluk	150
5.3.	Perde Duvarların Deneysel Sonuçları ve Sonlu Eleman Modeli Analizi.....	150
5.4.	Yapay Sinir Ağları Modellemesi Sonuçları.....	151
6.	ÖNERİLER.....	153
7.	KAYNAKLAR	155

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

KONTRPLAK KAPLI AHŞAP YAPI PERDE DUVARLARININ YAPISAL
DAVRANIŞLARI VE SİSMİK DAYANIM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Aydın DEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İsmail AYDIN
2019, 168 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerinden üretilen kontrplakların güvenli ahşap yapılarda kullanım imkânlarının araştırılması ve kullanılacak kontrplak özellikleri ile bağlantı elemanları tür ve sayısının, kullanım yeri koşullarına ve arzu edilen yapısal dayanımına göre modellenmesi, deneysel olarak test edilmesi ve ulaşılan sonuçlara göre optimizasyonunun yapılmasıdır. Çalışmada 3 farklı ağaç türü, 2 farklı kontrplak tabaka sayısı, 2 farklı kontrplak lif yönü, 2 farklı bağlantı elemanı türü, 2 farklı bağlantı elemanları arası mesafe ve tutkal türü olarak fenol formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Üretilen kontrplak levhaları üzerine, çekme-makaslama direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, yanal vida direnci ve yoğunluk testleri, ilgili standartlara göre uygulanmıştır. Birebir boyutlarda üretilen perde duvarların yapısal davranışı, ASTM E 72 standardına göre belirlenmiş ve her gruba ait maksimum yük taşıma kapasitesi ve maksimum yer değiştirme miktarları elde edilmiştir. SAP2000 programıyla kurulan model, birebir boyutlarda gerçekleştirilen yapısal davranış testlerinden alınan veriler ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbiriyle örtüştüğü görülmüştür. Ayrıca, yapay sinir ağları (YSA) modeli kurularak, çalışma kapsamındaki perde duvar gruplarının optimizasyonu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Perde Duvar, Yapısal Davranış, SAP2000, Yanal Vida Direnci, Yapay Sinir Ağları

PhD. Thesis

SUMMARY

DETERMINING OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR AND SEISMIC RESISTANT
PERFORMANCE OF WOOD SHEAR WALL SHEATHED WITH PLYWOOD

Aydın DEMİR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industrial Engineering Department
Supervisor: Prof. Dr. İsmail AYDIN
2019, 168 Pages

The aim of the study is the investigation of using possibilities of the plywood panels manufactured from some wood species grown in Turkey on the safety wooden buildings. In addition, the plywood properties and the type and number of fasteners are modeled according to the place of use and the desired structural performance and the results obtained from the wall experimentally are optimized. Three different wood species, two different number of plywood layers, two different plywood fiber direction, two different fastener types, two different distance between fasteners and phenol formaldehyde adhesive was used in this study. Bonding strength, bending strength and modulus of elasticity, lateral nail strength test and density of plywood panels manufactured from 2 mm thickness veneer in industrial plant were determined according to related standards. The seismic resistant performance of the shear walls produced in one-to-one dimensions was determined according to ASTM E 72 standard and maximum load capacity and maximum displacement for each group were obtained. The model established with the SAP2000 program is compared with the data obtained from the structural behavior tests performed on individual dimensions and the results were found to overlap with each other. In addition, artificial neural networks (ANN) model was established and the shear wall groups in the scope of the study were optimized.

Key Words: Shear Wall, Structural Behavior, SAP 2000, Lateral Nail Strength, Artificial Neural Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Platform sistem ahşap yapı.....	4
Şekil 2. Balon iskelet sistem ve platform sistem ile karşılaştırılması	5
Şekil 3. Dikme-kiriş sistem	6
Şekil 4. Modifiye çerçevesel sistem	6
Şekil 5. Hacimsel sistem.....	7
Şekil 6. CLT örneği	8
Şekil 7. İngiltere'deki Stadthaus ve İsveç'teki Limnologen Konutları	10
Şekil 8. Almanya'daki Holz8 Konutu	10
Şekil 9. İngiltere'deki Bridport ve Avusturalya'daki Forte Konutları	11
Şekil 10. Kanada'daki British Columbia Üniversitesi Öğrenci Yurdu	11
Şekil 11. Türkiye deprem tehlike haritası.....	12
Şekil 12. Tipik perde duvar	16
Şekil 13. Perde duvar konumu.....	17
Şekil 14. Bir perde duvarın iki önemli işlevi.....	17
Şekil 15. A, B ve C sınıfı kaplamaların görünüşleri	25
Şekil 16. Yapıda zemin, duvar ve çatılarda kontrplakların kullanımı	27
Şekil 17. Ahşap perde duvarlardaki bağlantı elemanlarının konumu.....	35
Şekil 18. Bağlantı elemanının hareketi ve histerik davranış	37
Şekil 19. Vida veya çivi gibi bağlantı elemanlarının çeşitli şekillerde testi sonlandırması	38
Şekil 20. Bağlantı elemanı, destek ve yapısal levha elemanının durumu	38
Şekil 21. Bağlantı elemanlarının yanal yük etkisi altındaki başarısızlık durumu	39
Şekil 22. Uygulanan yük ve meydana gelen yer değiştirme arasındaki ilişki	39
Şekil 23. Test sonucu gözlemlenen eğri ile ilk eğrinin gösterimi	40
Şekil 24. Bağlantı elemanı montaj hatası	41
Şekil 25. Bazı sonlu eleman kullanım alanlarına ait görseller	43
Şekil 26. Çerçeve boyutları ve kontrplak konumlandırılması	52
Şekil 27. Perde duvarlı çerçeve sisteminin zemine montajı	53
Şekil 28. Lif yönüne göre oluşturulan perde duvarların gösterimi.....	54
Şekil 29. Beş ve yedi tabakalı kontrplak levhası için yapışma direnci test örneği.....	55
Şekil 30. Eğilme direnci test düzeneği	55

Şekil 31.	Yanal vida direnci deneyi için örneklerin hazırlanması.....	56
Şekil 32.	Yanal vida direnci test düzeneği ve test sonunda meydana gelen değişim....	57
Şekil 33.	Test sonucu elde edilen grafik.....	57
Şekil 34.	Deneysel test düzeneği şematik gösterimi	58
Şekil 35.	Perde duvarın yer değiştirme ölçüm noktaları	59
Şekil 36.	SAP 2000 programı ile elde edilen perde duvar modeli	61
Şekil 37.	Tahmin modeli olarak seçilen YSA mimarisi	63
Şekil 38.	33 numaralı modele ait sonlu eleman modeli detayları ve görünüşleri.....	75
Şekil 39.	1cm kalınlığındaki perde plağının dikme ve kirişler ile birleşimi için kullanılan link eleman özellikleri.....	77
Şekil 40.	Alan elemanlar	78
Şekil 41.	Modal analizler sonucu elde edilen ilk üç mod şekli ve frekans değerleri	79
Şekil 42.	İvme ölçerlerin duvar üzerine uygulanması.....	80
Şekil 43.	Titreşim ölçüm sonuçları ve dinamik karakteristikler.....	80
Şekil 44.	Tahmin modeli olarak seçilen YSA mimarisi.	93
Şekil 45.	Tahmin modelinin her bir tekrarındaki hata değişim grafiği	94
Şekil 46.	Tahmin modeli sonuçları ile deneysel sonuçların regresyon modelleri.....	95
Şekil 47.	Tahmin modeli sonuçları ile gerçek değerlerin eğitim seti için.....	95
	karşılaştırılması	95
Şekil 48.	Tahmin modeli sonuçları ile gerçek değerlerin test seti için karşılaştırılması.	96
Şekil 49.	Ağaç türü sarıçam, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar.....	97
Şekil 50.	Ağaç türü ladin, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar.....	98
Şekil 51.	Ağaç türü karaçam, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar.....	98
Şekil 52.	Ağaç türü sarıçam, tabaka sayısı 5, lif yönü paralel ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar.....	99
Şekil 53.	Ağaç türü ladin, tabaka sayısı 5, lif yönü paralel ve bağlantı elemanı türü 8d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar.....	99
Şekil 54.	Ağaç türü karaçam, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 8d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar.....	100

Şekil 55.	Ağaç türü sarıçam, tabaka sayısı 7, lif yönü paralel ve bağlantı elemanı türü 8d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar.....	100
Şekil 56.	Üretilen levhaların çekme-makaslama direnci değerleri değişimi.....	101
Şekil 57.	Üretilen levhaların eğilme direnci değerleri değişimi.....	102
Şekil 58.	Üretilen levhaların elastikiyet modülü değerleri değişimi	104
Şekil 59.	Deney için oluşturulan grupların yanal vida direnci değerleri değişimi	106
Şekil 60.	Sarıçam kontrplakların yük-yer değiştirme grafiği	109
Şekil 61.	Ladin kontrplakların yük-yer değiştirme grafiği.....	109
Şekil 62.	Karaçam kontrplakların yük-yer değiştirme grafiği.....	110
Şekil 63.	Üretilen levhaların yoğunluk değerleri değişimi.....	112
Şekil 64.	Model 1' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	113
Şekil 65.	Deney sonunda Model 1' de meydana gelen deformasyonlar	113
Şekil 66.	Model 2' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	114
Şekil 67.	Deney sonunda Model 2' de meydana gelen deformasyonlar	114
Şekil 68.	Model 3' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	114
Şekil 69.	Deney sonunda Model 3' de meydana gelen deformasyonlar	115
Şekil 70.	Model 4' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	115
Şekil 71.	Deney sonunda Model 4' de meydana gelen deformasyonlar	115
Şekil 72.	Model 5' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	116
Şekil 73.	Deney sonunda Model 5' de meydana gelen deformasyonlar	116
Şekil 74.	Model 6' nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	116
Şekil 75.	Deney sonunda Model 6' da meydana gelen deformasyonlar	117
Şekil 76.	Model 7' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	117
Şekil 77.	Deney sonunda Model 7' de meydana gelen deformasyonlar	117
Şekil 78.	Model 8' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	118
Şekil 79.	Deney sonunda Model 8' de meydana gelen deformasyonlar	118
Şekil 80.	Model 9' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	118
Şekil 81.	Deney sonunda Model 9' da meydana gelen deformasyonlar	119
Şekil 82.	Model 10' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	119
Şekil 83.	Deney sonunda Model 10' da meydana gelen deformasyonlar	119
Şekil 84.	Model 11' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	120
Şekil 85.	Deney sonunda Model 11' de meydana gelen deformasyonlar	120
Şekil 86.	Model 12' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	120

Şekil 87.	Deney sonunda Model 12’ de meydana gelen deformasyonlar	121
Şekil 88.	Model 13’ ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	121
Şekil 89.	Deney sonunda Model 13’ de meydana gelen deformasyonlar	121
Şekil 90.	Model 14’ ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	122
Şekil 91.	Deney sonunda Model 14’ de meydana gelen deformasyonlar	122
Şekil 92.	Model 15’ in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	122
Şekil 93.	Deney sonunda Model 15’ de meydana gelen deformasyonlar	123
Şekil 94.	Model 16’ nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	123
Şekil 95.	Deney sonunda Model 16’ da meydana gelen deformasyonlar	123
Şekil 96.	Model 17’ nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	124
Şekil 97.	Deney sonunda Model 17’ de meydana gelen deformasyonlar	124
Şekil 98.	Model 18’ in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	124
Şekil 99.	Deney sonunda Model 18’ de meydana gelen deformasyonlar	125
Şekil 100.	Model 19’ un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	125
Şekil 101.	Deney sonunda Model 19’ da meydana gelen deformasyonlar	125
Şekil 102.	Model 20’ nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	126
Şekil 103.	Deney sonunda Model 20’ de meydana gelen deformasyonlar	126
Şekil 104.	Model 21’ in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	126
Şekil 105.	Deney sonunda Model 21’ de meydana gelen deformasyonlar	127
Şekil 106.	Model 22’ nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	127
Şekil 107.	Deney sonunda Model 22’ de meydana gelen deformasyonlar	127
Şekil 108.	Model 23’ ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	128
Şekil 109.	Deney sonunda Model 23’ de meydana gelen deformasyonlar	128
Şekil 110.	Model 24’ ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	128
Şekil 111.	Deney sonunda Model 24’ de meydana gelen deformasyonlar	129
Şekil 112.	Model 25’ in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	129
Şekil 113.	Deney sonunda Model 25’ de meydana gelen deformasyonlar	129
Şekil 114.	Model 26’ nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	130
Şekil 115.	Deney sonunda Model 26’ da meydana gelen deformasyonlar	130
Şekil 116.	Model 27’ nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	130
Şekil 117.	Deney sonunda Model 27’ de meydana gelen deformasyonlar	131
Şekil 118.	Model 28’ in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	131
Şekil 119.	Deney sonunda Model 28’ de meydana gelen deformasyonlar	131

Şekil 120.	Model 29' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	132
Şekil 121.	Deney sonunda Model 29' da meydana gelen deformasyonlar	132
Şekil 122.	Model 30' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	132
Şekil 123.	Deney sonunda Model 30' da meydana gelen deformasyonlar	133
Şekil 124.	Model 31' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	133
Şekil 125.	Deney sonunda Model 31' de meydana gelen deformasyonlar	133
Şekil 126.	Model 32' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	134
Şekil 127.	Deney sonunda Model 32' de meydana gelen deformasyonlar	134
Şekil 128.	Model 33' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	134
Şekil 129.	Deney sonunda Model 33' de meydana gelen deformasyonlar	135
Şekil 130.	Model 34' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	135
Şekil 131.	Deney sonunda Model 34' de meydana gelen deformasyonlar	135
Şekil 132.	Model 35' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	136
Şekil 133.	Deney sonunda Model 35' de meydana gelen deformasyonlar	136
Şekil 134.	Model 36' nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	136
Şekil 135.	Deney sonunda Model 36' da meydana gelen deformasyonlar	137
Şekil 136.	Model 37' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	137
Şekil 137.	Deney sonunda Model 37' de meydana gelen deformasyonlar	137
Şekil 138.	Model 38' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	138
Şekil 139.	Deney sonunda Model 38' de meydana gelen deformasyonlar	138
Şekil 140.	Model 39' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	138
Şekil 141.	Deney sonunda Model 39' da meydana gelen deformasyonlar	139
Şekil 142.	Model 40' ın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	139
Şekil 143.	Deney sonunda Model 40' da meydana gelen deformasyonlar	139
Şekil 144.	Model 41' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	140
Şekil 145.	Deney sonunda Model 41' de meydana gelen deformasyonlar	140
Şekil 146.	Model 42' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	140
Şekil 147.	Deney sonunda Model 42' de meydana gelen deformasyonlar	141
Şekil 148.	Model 43' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	141
Şekil 149.	Deney sonunda Model 43' de meydana gelen deformasyonlar	141
Şekil 150.	Model 44' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	142
Şekil 151.	Deney sonunda Model 44' de meydana gelen deformasyonlar	142
Şekil 152.	Model 45' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	142

Şekil 153.	Deney sonunda Model 45’ de meydana gelen deformasyonlar	143
Şekil 154.	Model 46’ nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	143
Şekil 155.	Deney sonunda Model 46’ da meydana gelen deformasyonlar	143
Şekil 156.	Model 47’ nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	144
Şekil 157.	Deney sonunda Model 47’ de meydana gelen deformasyonlar	144
Şekil 158.	Model 48’ in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	144
Şekil 159.	Deney sonunda Model 48’ de meydana gelen deformasyonlar	145
Şekil 160.	Duvarlara ait tipik yük-deformasyon eğrisi	145



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Dünyada kontrplak üretimi yapan ülkelerin yıllık kapasite miktarları..... 24
Tablo 2.	Kullanım yerine göre kontrplakların tavsiye edilen yoğunluk değerleri..... 31
Tablo 3.	Bağlantı elemanının davranışını etkileyen faktörler 40
Tablo 4.	Çalışma kapsamında oluşturulan grupların tanıtımı..... 50
Tablo 5.	Kontrplakların çekme-makaslama direnci ortalama değerleri 65
Tablo 6.	Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların çekme-makaslama direnci değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları..... 65
Tablo 7.	Kontrplakların çekme-makaslama direnci üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$) 66
Tablo 8.	Kontrplakların eğilme direnci ortalama değerleri 66
Tablo 9.	Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları..... 67
Tablo 10.	Kontrplakların eğilme direnci üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$) 67
Tablo 11.	Kontrplakların elastikiyet modülü ortalama değerleri 68
Tablo 12.	Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları..... 68
Tablo 13.	Kontrplakların elastikiyet modülü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$) 69
Tablo 14.	Kontrplakların yanal vida direnci ortalama değerleri 70
Tablo 15.	Kontrplak levhalarına ait rijitlik, maksimum yükteki yerdeğiştirme, son yük ve son yükteki yerdeğiştirme değerleri 71
Tablo 16.	Ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü ve bağlantı elemanı türünün kontrplakların yanal vida dayanımına etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları..... 72
Tablo 17.	Kontrplakların yanal vida dayanımı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$) 73
Tablo 18.	Kontrplakların yoğunluk ortalama değerleri 73
Tablo 19.	Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların yoğunluk değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları 74
Tablo 20.	Kontrplakların yoğunlukları üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$) 74
Tablo 21.	33 numaralı modele ait analiz parametreleri 76
Tablo 22.	1 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları 81
Tablo 23.	2 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları 81

Tablo 24.	3 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	81
Tablo 25.	4 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	82
Tablo 26.	5 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	82
Tablo 27.	6 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	82
Tablo 28.	7 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	82
Tablo 29.	8 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	82
Tablo 30.	9 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	83
Tablo 31.	10 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	83
Tablo 32.	11 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	83
Tablo 33.	12 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	83
Tablo 34.	13 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	83
Tablo 35.	14 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	84
Tablo 36.	15 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	84
Tablo 37.	16 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	84
Tablo 38.	17 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	84
Tablo 39.	18 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	84
Tablo 40.	19 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	85
Tablo 41.	20 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	85
Tablo 42.	21 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	85
Tablo 43.	22 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	85
Tablo 44.	23 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	85
Tablo 45.	24 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	86
Tablo 46.	25 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	86
Tablo 47.	26 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	86
Tablo 48.	27 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	86
Tablo 49.	28 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	86
Tablo 50.	29 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	87
Tablo 51.	30 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	87
Tablo 52.	31 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	87
Tablo 53.	32 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	87
Tablo 54.	33 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	87
Tablo 55.	34 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	88
Tablo 56.	35 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	88

Tablo 57.	36 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	88
Tablo 58.	37 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	88
Tablo 59.	38 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	88
Tablo 60.	39 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	89
Tablo 61.	40 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	89
Tablo 62.	41 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	89
Tablo 63.	42 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	89
Tablo 64.	43 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	89
Tablo 65.	44 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	90
Tablo 66.	45 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	90
Tablo 67.	46 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	90
Tablo 68.	47 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	90
Tablo 69.	48 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları	90
Tablo 70.	Tahmin modelinde kullanılan veriler ve tahmin modeli sonuçları.	92
Tablo 71.	Tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları.....	96
Tablo 72.	Yanal vida direnci literatür verileri	108
Tablo 73.	Duvarlara ait analiz sonuçları özeti.....	146
Tablo 74.	YSA modeli ile oluşturulan optimum sonuç tablosu	152

SEMBOLLER DİZİNİ

APA	American Plywood Association
ASTM	American Society of Testing Materials
CFP	Coniferous Plywood
CSA	Canadian Standard Association
CLT	Cross Laminated Timber
DIN	German Institute for Standardization
DFP	Douglas Fir Plywood
EN	European Standards
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FF	Fenol Formaldehit
ISO	International Organization for Standardization
LVDT	Lineer Variable Differential Transformer
LVL	Laminated Veneer Lumber
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MDF	Medium Density Fiberboard
MSE	Ortalama Karesel Hata
MÜF	Melamin Üre Formaldehit
NBCC	National Building Code of Canada
N	Terim Sayısı
NDS	National Design Specification
OSB	Oriented Strand Board
PU	Poliüretan
PVAc	Polivinil Asetat
R ²	Determinasyon Katsayısı
RF	Resorsin Formaldehit
RMSE	Kareköksel Ortalama Karesel Hata
SAP	Structural Software for Analysis and Design
t _i	Gerçek Değer

t_{di}	Model Tahmin Değeri
TS	Türk Standartları
ÜF	Üre Formaldehit
X	Gerçek Değer
X_{max}	Veri Grubunun Maksimum Değeri
X_{min}	Veri Grubunun Minimum Değeri
X_{norm}	Normalize Edilmiş Veri
YSA	Yapay Sinir Ağları



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Deprem ülkemizi tehdit eden en önemli doğal afetlerden biridir. Özellikle 1999 yılında meydana gelen depremin ardından çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır. Türkiye’de bu tarih milat alınarak deprem bilincinin artırılması ve depreme dayanıklı yapıların geliştirilmesi konusunda çalışmalara ağırlık verilmiş, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı 2012-2023 Deprem stratejisi ve eylem planında STRATEJİ B.1.3. başlığı altında depreme dayanıklı binaların tasarım, malzeme ve standartlarını içeren çalışmaların destekleneceğini açıklamıştır (Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı, 2013). Bu gelişmelere paralel olarak Amerika’da uzun yıllardır kullanılagelen ve pek çok araştırmaya konu olan ahşap yapılara olan ilgi ülkemizde de günden güne ivme kazanarak artış göstermiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde deprem anında gösterdiği başarılı performanslar dikkate alındığında ahşap yapı ve mimarisinde köklü bir geçmişe sahip olan ülkemizde bu konunun daha fazla önemsenmesi gerektiği düşünülmektedir. Ahşap yapı maksatlı kullanan ülkelerin hemen hepsi kendi ülke şartlarına göre ahşap ve yapı için pek çok standart ve el kitabı geliştirmiştir. Bu tür standart ve el kitapları ahşap mimarisinde ortaya çıkabilecek sorunların çözümünü inşa aşamasında ortadan kaldırmak için en önemli yollardan biridir. Çünkü yapı maksatlı ahşap kendi doğası nedeni ile her ne kadar deprem dayanımını artıracak özelliğe sahip olursa olsun, iyi bir mühendislik ve doğru malzemeler kullanılmadığı takdirde anlamını yitirecektir. Ahşap yapılar için doğru malzeme denildiğinde, yeterli dayanımı sağlayacak mekanik ve fiziksel özelliklere sahip hammadde, en optimum şartlarda üretilmiş direnci yüksek lamine malzeme, en uygun bağlantı elemanları ve sayıları akla gelmektedir. Bu malzemelerin en doğru şekilde bir araya getirilerek depreme dayanıklı ve aynı zamanda ekonomik bir yapı haline dönüştürülmesi ise mühendislik ürünü neticesidir. Ülkemizde ahşap yapılar ile ilgili en önemli eksiklik; hammadde (ağaç türü), odun kökenli levha ürünleri ve yapı maksatlı üretimleri, bağlantı elemanları, yapı türü, yapının maruz kalacağı yükler ve bunlara uygun emniyet katsayıları konularında standardizasyonun bulunmamasıdır. Orman ürünleri endüstrisinin ve inşaat sektörünün bu konudaki beklentileri ve ihtiyaçları; hükümet politikası (kentsel dönüşüm projeleri), büyüyen pazar ve artan talep nedeniyle gün geçtikçe yoğunlaşmaktadır.

Bu nedenle Türkiye koşulları için bir ahşap iskeletli yapı konusundaki çalışmalara ağırlık verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ahşap yapıların yoğun kullanıldığı ABD, Kanada gibi ülkelerde çerçeve elemanları ve kontrplak veya OSB gibi kaplama elemanlarından oluşan duvar sisteminin depremlerde çok üstün performans gösterdiği belirlenmiştir. Türkiye'nin ahşap levha üretiminde sahip olduğu potansiyel göz önüne alındığında, yerli üretim kontrplak ve OSB levhalarının ahşap yapı maksatlı kullanılabilirliklerinin araştırılması önem arz etmektedir. Bu amaçla yapılacak çalışmaların; bu tür ahşap yapılara ait bileşenler olan çerçeve elemanları (kolon, kiriş), kaplama elemanları (kontrplak, OSB, yongalevha, alçı levha) ve kaplama elemanının çerçeveye bağlanmasını sağlayan bağlantı elemanları (çivi, vida, zımba) üzerinde yoğunlaşması gerekmektedir. Yerli üretim kontrplak, OSB ve yongalevha gibi ahşap kökenli levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik olarak birçok çalışma yapılmıştır. Fakat yapı maksatlı kullanılacak levhalara ait yapısal özelliklerini araştırılan çalışmaların sayısı fazla değildir. Yapısal ahşap levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri ağaç özellikleri, üretim faktörleri ve yapıştırıcı ile ilgili ana faktörler olmak üzere birçok faktörden etkilenmektedir. Yapıda kullanılacak kontrplağın sahip olduğu farklı mekanik ve fiziksel özelliklerin de yapının dayanıklılığı üzerine önemli bir etkisi olacağı aşikar olmakla birlikte, levhanın sahip olduğu özelliklerin yapısal anlamda oluşturacağı etkiler konusunda literatür bilgisine rastlanılmamıştır. Demirkır vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışma ile, yerli ağaç türlerimizden üretilen kontrplak levhaların özellikle ahşap yapıların deprem dayanımını belirlemede kullanılan testlerden biri olan yanal vida testlerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Fakat büyük ölçekli olarak inşa edilen bir yapıda bütünsel olarak nasıl bir davranış sergileyecekleri belirlenmemiştir.

Bu noktadan yola çıkılarak çalışmanın genel amacı; Türkiye'de yetişen bazı ağaç türlerinden üretilen kontrplakların güvenli bir şekilde ahşap yapılarda kullanım imkanlarının araştırılması ve kullanılacak kontrplak özellikleri ile bağlantı elemanları tür ve sayısının, kullanım yeri koşullarına ve arzu edilen yapısal dayanımına göre modellenmesi (SAP2000 programı ile), deneysel olarak test edilmesi ve ulaşılan sonuçlara göre optimizasyonunun yapılması (Yapay Sinir Ağları yönteminden faydalanılarak) olarak belirlenmiştir.

1.2. Ahşap Yapılar

1.2.1. Ahşap Yapıların Tarihçesi

Beton ve çelik gibi yapı malzemelerinden daha eski olan ahşap, hafif olmasına karşın dirençli ve rijit olması, işlenmesindeki kolaylığı, sağlıklı ve doğal yapısı, ekonomik ve kolayca temin edilebilmesinden dolayı geçmişten günümüze sıkça kullanılmıştır (Erkoç, 2004).

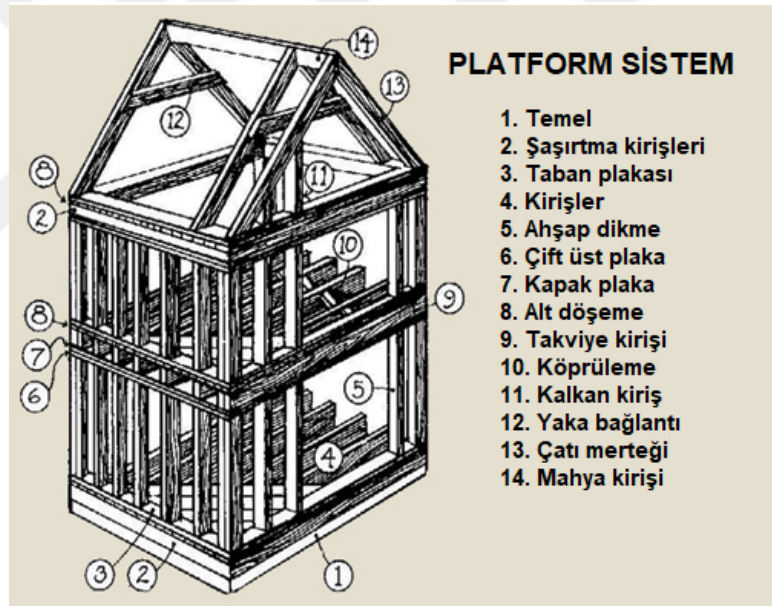
Ağaçların kovuklarında barınmayla başlayan daha sonra ahşap yığma ve karkas yapılarla devam eden bir süreçten sonra ahşabın yapılarda taşıyıcı iskelet malzemesi olarak kullanılması, 19. yüzyılın başlarıyla birlikte hızla artmıştır. Artan ve gittikçe yaygınlaşan sanayileşmenin ortaya çıkardığı ihtiyaçlar ile I. Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında değerli bir silah hammaddesi olan çeliğin yapı alanından çekilmesi, ahşap malzemenin farklı fonksiyonlardaki yapılarda ve daha rasyonel olarak kullanılması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir (Erkoç, 2004).

Dünya Savaşları sonrasındaki dönemlerde, hızlı ve ucuz yapı sistemlerine ilgi artınca, Almanya'nın yeniden yapılandırılması ve gelişiminde ahşap büyük rol oynamıştır. Ancak malzeme nitelikleri ve yapı teknolojisi yeterince gelişmemiş olduğundan, kalite düşüklüğüne dayalı sorunlar ahşap kullanımını iç mekânlar ve çatı sistemleri ile sınırlı bırakmıştır. 1980'li yıllarda sürdürülebilirlik sorunlarıyla beraber doğaya dönüş başlamıştır. Bu dönemde bozulmaz bir malzeme olduğu düşünülen betonarmenin de yenilenme ihtiyacının bulunduğu anlaşılınca ahşap yeniden keşfedilmiştir. 20. yüzyılda kendini plantasyonların da desteği ile yenileyen Orta Avrupa ormanlarındaki stok artışı ve küresel ısınmayı beraberinde getiren çevre sorunları ahşabın gelişimini desteklemiştir. Ayrıca, çevresel avantajlarının yanında yapısal davranış açısından olumlu özelliklerinden dolayı, sürekli deprem riski altında bulunan ABD ve Kanada gibi ülkelerdeki konutların ve eğitim binalarının yaklaşık %90'ı ahşap taşıyıcı sistemli yapılardan meydana gelmiştir (Somer, 2010).

1.3. Ahşap İskeletli Yapı Çeşitleri

1.3.1. Platform Sistemler

Bu sistemler, ev inşaatlarında en çok kullanılan metottur. İlk kat kirişleri, iç bölme ve dış duvarların üzerinde yükselen platformu meydana getirmek için bu sistemlerde, OSB ve kontrplak gibi yapısal levhalarla kaplama işlemi yapılmaktadır (Demirkır, 2012). Sistem için gereken malzemeler kısıdır, bu nedenle malzemelerin işlenmesi kolaydır. Yangın riskini azaltmak için her katta yangın durdurucular bulunur. Her kat bir önceki katın zemininin üzerine inşa edildiğinden, bir sonraki kat, işçiler tarafından ikinci kat duvarlarını oluşturmak için kullanılabilir. Bu, çok daha hızlı ve daha kolay bir inşaata neden olur (Li, 2013).

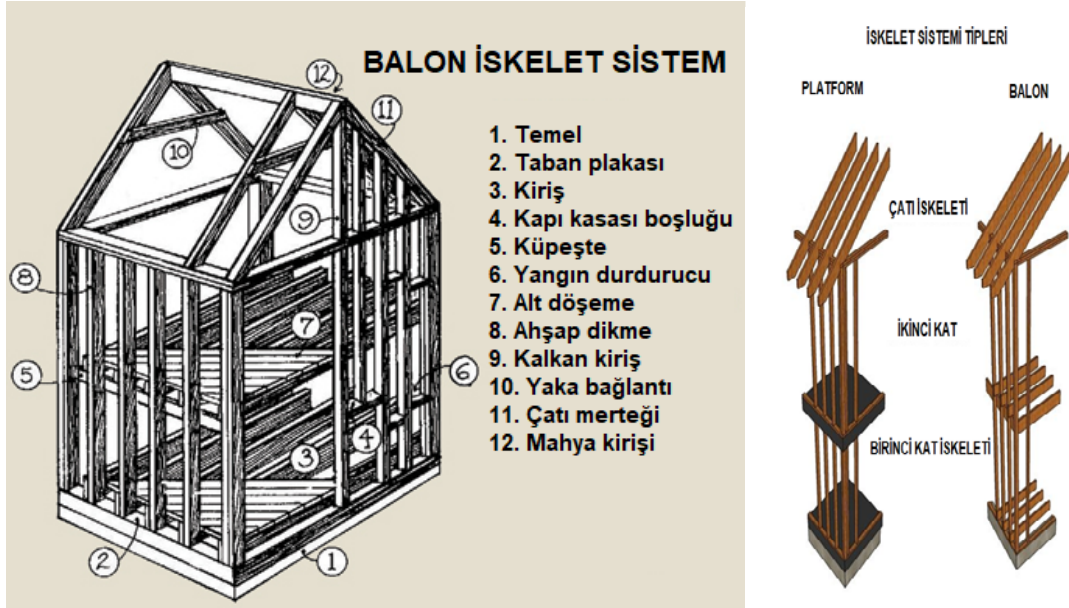


Şekil 1. Platform sistem ahşap yapı (URL-1, 2017).

1.3.2. Balon İskelet Sistemler

Amerika'da uygulanan ilk hafif ahşap çerçeve sistem olan, balon iskelet sistemlerinin diğer sistemlerden farkı, bina yüksekliği boyunca duvar dikmelerinin sürekli olmasıdır (Erkoç, 2004). Bu sistemde, ilk ve ikinci kattaki dış duvarların dikey yapısal elemanları, dikmeleri, ortak bir parça gibi tektir. Temelin üzerinde ilk kat kirişleri ve dış duvar dikmeleri mevcuttur. Yatay elemanlar ise, ikinci kat kirişleri ve dış duvarın dikmeleri

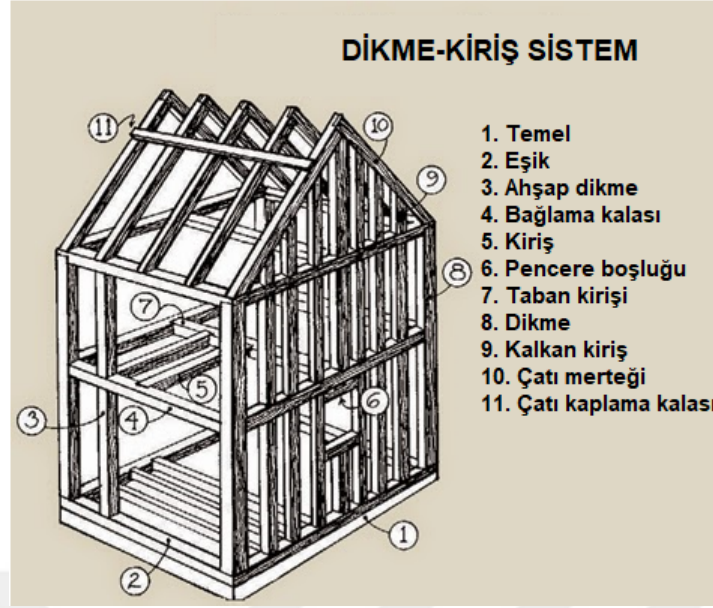
arasından geçer. Yatay elemanlar 2,5x10 cm ebatlarında olabilir (Demirkır, 2012). Balon iskelet sistemleri, 19. yüzyılın ortalarına kadar Kanada ve Amerika'da çok popüler bir çerçeve yapım yöntemi olarak uygulanmıştır. Ancak, balon iskelet sistemlerin popülaritesi, daha uzun çiviler gerektirdiğinden ve olası yangın riski sorunlarından dolayı azalmıştır (Li, 2013).



Şekil 2. Balon iskelet sistem ve platform sistem ile karşılaştırılması (URL-2, 2017).

1.3.3. Dikme-Kiriş Sistemler

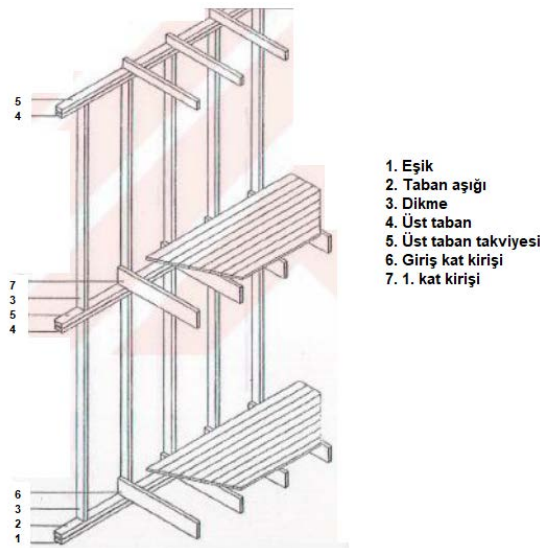
Bu sistemdeki kirişlerin, döşemeyi ve çatı yükünü taşıyabilmesi için en uygun boyut olarak 2-4 metre tercih edilmektedir. Kalaslar, bu sistemde çatı kaplaması ve döşeme panoları olarak, 5 cm kalınlığında kullanılırlar. Gösterişli bir tavan ve döşeme arzu edildiğinde, lambalı ve zıvanalı kalaslar kullanılabilir. Sistemin duvar iskeletini oluşturan kolonlar ve dikmeler, çatı kirişlerinin ve döşemelerin uç kısımlarını taşırlarken, ilaveten duvar kaplamalarının da taşınması için dikmeler, kolonlar arasına eklenebilir (Demirkır, 2012).



Şekil 3. Dikme-kiriş sistem (URL-3, 2017).

1.3.4. Modifiye Çerçevesi Sistem

Bu sistemler, platform ve balon sisteminin birleşmesiyle meydana gelmiştir. Duvar elemanlarını oluşturan paneller, birbirinin üzerine doğrudan oturtmalı olacak şekilde bu sistemde kullanılırlar. Balon çerçeve sisteminde olduğu gibi döşeme kirişleri, duvar dikmelerinin kenarlarına yerleştirilmesinden dolayı, yalnızca prefabrik duvarlar kullanılabilir (Demirkır, 2012).



Şekil 4. Modifiye çerçevesi sistem (Demirkır, 2012).

1.3.5. Hacimsel Sistem

Bu sistemde, yapıyı oluşturacak elemanların üretimi, tamamen fabrikalarda kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir. Daha sonra temeli atılan bölgeye nakledilip, montajı yapılmaktadır. Üretimin hızlı olması, kalite kontrolünün başarılı bir şekilde yapılabilmesi gibi avantajlarından dolayı hacimsel sistemler, konutlarda ve ticari yapılarda oldukça sık kullanılmaktadır (Öztank, 2004).



Şekil 5. Hacimsel sistem

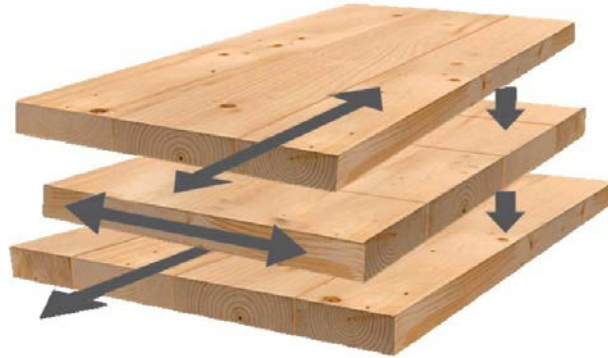
1.3.6. Çapraz Lamine Kereste (CLT)

İnsanlar tarafından yenilenebilir ve doğal malzemelerden biri olarak kullanılan ahşabın, yapılarda tanımı ve uygulamaları günden güne artmaktadır. Son 30 yılda Avrupa, bina yapılarında lamine ahşabın payında kayda değer bir artış görmüştür. Bu artış, sadece glulam (Yapıştırılmış Lamine Kereste) kullanımında değil, paneller şeklinde üretilen ülkemizde çapraz lamine kereste olarak bilinen CLT (Cross Laminated Timber) kullanımında da görülmüştür. Bu tür yapısal ahşap çeşitleri, inşaat piyasasında ortaya çıktığı andan itibaren, kitlesel ölçekte hızla kullanılmaya başlanmış ve Avrupa'da, özel ve kamu sektörlerindeki inşaatlar için standartlaştırılmıştır. Kiriş panelleri şeklinde imal edilen CLT, tabakaları birbirlerine göre dik şekilde yerleştirilen, çok katmanlı bir ahşap levhadır. Bu şekilde üretilmesi, nihai malzemenin rijitliğinin ve stabilitesinin uygunluğunu sağlamaktadır. CLT panelleri genellikle 3, 5 ve 7 katmandan oluşur; tipik olarak orta katmana simetrik olarak yerleştirilmiş tek sayıda katman vardır. Üreticilerin üretim

alanlarına ve taşıma şartlarına bağlı olarak boyutlar değişiklik göstermektedir. Ticari firmalar, 2,4 m ve 3 m genişlikte 12 m den 20 m'ye kadar uzunluklarda standart ölçüler sunmaktadır (Teibinger, 2013). Yapısal kerestelerin tek tek katmanları arasındaki bağlantıların, stabiliteleri ve dirençleri, uygun ekolojik tutkalların uygulanmasına bağlıdır. Geleneksel yapı malzemelerine kıyasla kullanılan kompozit ahşap malzemeler arasında CLT, birçok avantajla karakterize edilen bir üründür. Bunlardan en önemlileri aşağıda sıralanmaktadır;

- üretimi için kullanılan hammaddelerin sürdürülebilir tüketimi,
- malzemenin çevre dostu olması ve enerjinin verimli olarak kullanıldığı bir üretim sürecine sahip olması,
- mükemmel statik, mekanik ve yalıtım özellikleri,
- bina yapısını geleneksel malzemelerden yapılan diğer yapılarla kıyaslanamayacak kadar hafif hale getiren tasarım,
- tüm yapı rejiminin kısa bir sürede tamamlanmasıyla sonuçlanan prefabrike elemanlar üretme olasılığı,
- diğer yapı malzemeleriyle (çelik, cam, plastik vb.) birleştirilebilme olasılığı, maksimum mimari tasarım özgürlüğü.

Yukarıda belirtilen avantajlar, CLT uygulama aralığını çok geniş, yani tek aileli evlerden ve konut binalarından, çok katlı kamu binalarından, endüstriyel ve ticari binalara ve hatta köprü yapılarına kadar geniş kılmıştır (Wieruszewski ve Mazela, 2017). CLT duvar panellerinin dinamik yüklere de dayanıklı olduğu Avrupa'da yapılan birçok test ile kanıtlanmıştır. Buda CLT'nin depreme karşı dayanıklı bir malzeme olduğunu göstermektedir (Ceccotti vd., 2010).



Şekil 6. CLT örneği

CLT Avrupa'da, temel olarak bir veya iki katlı evler gibi az katlı binaların inşası için kullanılan bir malzemedir. Tek aileli konutlarda CLT'nin artan popülaritesinin yanı sıra, daha iddialı çok katlı projeleri gerçekleştirmek için de sıkça kullanılmaktadır. Londra'da (2008) yedi katlı bir Stadthaus kat mülkiyeti, Melbourne'da (2012) on katlı bir konut binası ve Norveç'teki Bergen'de (2015) on dört katlı bir gökdelen gibi örneklerde bunu kanıtlamaktadır. Son yıllarda, ABD tasarım -Owings ve Merrill Company tarafından, kırk iki katlı bir bina tasarlanmıştır. Bazı bölgelerde CLT'den yapılan binalar, gelişmiş sismik dayanıklılıklarından dolayı özel ilgi görmektedir (Popovski, 2010; Pei vd.,2012). Ahşabın diğer yapı malzemelerinden daha iyi olmasının birçok nedeni vardır. En önemlisi karbondioksitin depolanması, inşaat yapısının hızlı kurulumu, diğer malzemelerle uyumluluktur (Risen, 2014). Çelik, cam ve beton 19. ve 20. yüzyıl inşaatlarında devrim yaratmıştır. Ahşabın 21. yüzyıl inşaatı için aynı etkiyi yapacağı ve CLT'den yapılmış ahşap binaların gelecekte büyük bir yer kaplayacağı düşünülmektedir (Wieruszewski ve Mazela, 2017).

1.3.7. Yüksek Katlı Ahşap Yapılar

Mühendislik ürünü ahşap malzemelerin gelişmesi ile birlikte yüksek katlı ahşap yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Bu tür yapılara örnek olarak; zemini betonarme olup birinci kattan itibaren çapraz lamine ahşap panellerle üretilen İngiltere'deki 9 katlı Stadthaus, İsveç'in ahşaptan yapılmış en büyük konut yerleşimlerinden biri olan 8 katlı Limnologen, 8 katlı olarak Almanya'da yapılan bina ve 25 metre yüksekliğindeki Holz8 (H8), İngiltere'deki 8 katlı Bridport konutu, dünyanın CLT panellerle yapılmış en yüksek binalarından Avustralya'daki 10 katlı Forte ve Dünya'daki en yüksek ahşap taşıyıcı sistem ve dış cephe kaplamasına sahip Kanada'daki 18 katlı British Columbia Üniversitesi öğrenci yurdu gösterilebilir (Güzel ve Yesügey, 2015; URL-4, 2017). Ayrıca henüz proje aşamasında bulunan ahşap gökdelenlerin üretilmesi gündemdedir.



Şekil 7. İngiltere'deki Stadthaus ve İsveç'teki Limnologen Konutları (URL-4, 2017).



Şekil 8. Almanya'daki Holz8 Konutu (URL-4, 2017).



Şekil 9. İngiltere'deki Bridport ve Avusturalya'daki Forte Konutları (URL-4, 2017).



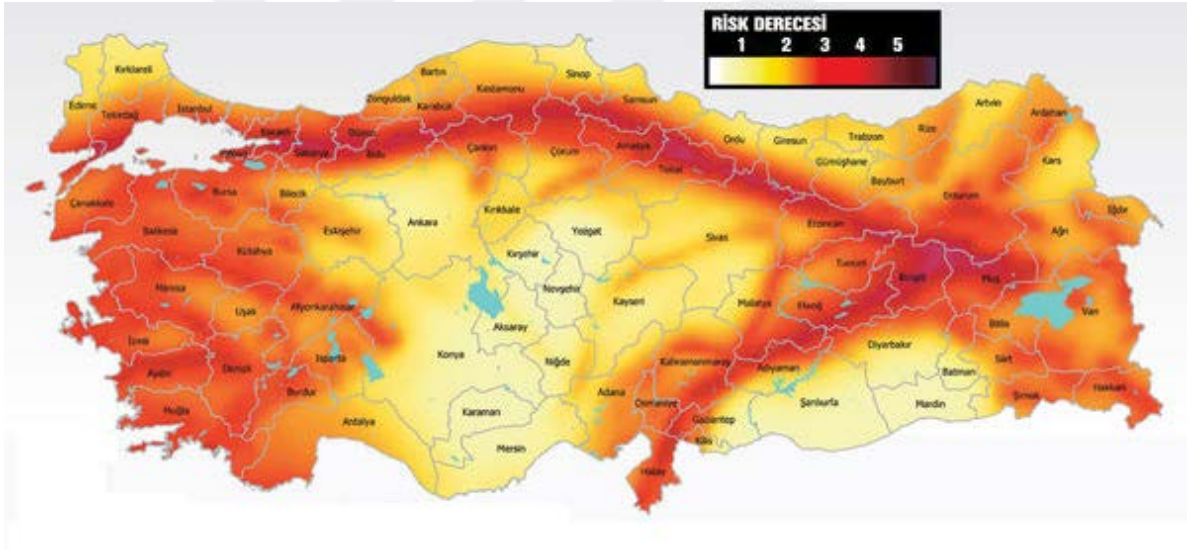
Şekil 10. Kanada'daki British Columbia Üniversitesi Öğrenci Yurdu (URL-4, 2017).

1.4. Deprem ve Ahşap Yapı

Deprem, yer kabuğunda meydana gelen kırılmalar neticesinde, ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin, dalgalar halinde yayıldıktan sonra ulaştığı yerleri sarsma olayıdır (İşçi, 2008). Başka bir deyişle, bu tabakalardaki ani hareketlenmeler sonucunda ortaya çıkan enerjinin, meydana getirdiği doğal bir olaydır (Earthquake Resistance, 2002). Önlenemeyen bir doğa olayı olan depremin tahmin edilmesi üzerine yapılan birçok çalışma olmasına karşın, henüz yeterli düzeyde başarıya ulaşan çalışmaya rastlanılmamıştır. Bundan dolayı, depremin zararlarını en düşük düzeyde tutmak için, depreme dayanıklı yapıların tasarlanıp, inşa edilmesi gerekliliği en uygun çözüm olarak görülmektedir (Demirkır, 2012).

Karmaşık bir yapıda oluşan depremin, zaman ve yer hareketi, yatay, düşey ve dönme hareketi olarak toplamda 3 düzlemde oluşmaktadır. Dikey olan zemin hareketleri, ya yerçekimi yönünde ya da zıt yönünde farklı kuvvetler meydana getirmektedir. Yatay olan ve kesme olarak tanımlanan yer hareketleri, depremi meydana getirmektedir. Oluşan bu yükler, yapılardaki çatı ve zemin kısımlarınca toparlanırlar ve bu kısımlar vasıtasıyla, sıva, alçı ve kontrplak kaplı perde duvarlara dağıtırlar. Daha sonra, yükler beton zemine ulaşır. Bu sayede, yapı dayanıklı bir kutu formunu almaktadır. Bağlantı elemanlarına, kaplama malzemesinin direncine ve bu elemanların devamlı yük altındaki gösterdikleri hareketlere bağlı olarak yapının dayanımı farklılık göstermektedir (Graf, 2008).

Türkiye, dünyanın en etkin deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya üzerinde bulunmaktadır. Şekil 11’de 2018 yılında yenilenen Türkiye’nin deprem tehlike haritası görülmektedir.



Şekil 11. Türkiye deprem tehlike haritası

Nüfusumuzun % 95'inin deprem açısından tehlikeli sayılacak bölgelerde ikamet ettiği ve sanayi ile birlikte tüm yapıların %98'inin deprem bölgelerinde yer aldığı bilinmektedir (Demirkır, 2012). Geçmişte ülkemizde birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir. Son 60 yıl içerisinde depremlerden, 58.000 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.000 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.000 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.000 vatandaşımız

ölmekte ve 7.000 bina yıkılmaktadır. Son yıllarda ise, 1.200 vatandaşımızın öldüğü ve 1.300 civarında yapının da yıkıldığı tespit edilmiştir (İşci, 2008; Demirkır, 2012). Ortaya çıkan bu rakamların dünya ortalamalarına göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bundan dolayı, depremin etkilerini en aza indirmek için gerekli düzenlemelerin yapılması, bir an önce hayata geçirilmesi gerekmektedir. Yapıların depreme olan dayanıklılığını arttırmak için, kontrplak gibi yapısal ahşap malzemelerin kullanımı da alınacak tedbirler arasında gösterilebilmektedir (Demirkır, 2012).

1.5. Ahşap İskeletli Yapıların Deprem Performansı ve Sismik Özellikleri

Ahşap iskeletli yapılarla ilgili literatürde yapılan çalışmaların, genellikle yapıların dayanımı ve direnç mukavemeti, matematiksel olarak yapının hesaplanması ve modellenmesi, yapının küçük bir parçasının ya da tamamının laboratuvar ortamında test edilmesi ve yapının bulunduğu mekândaki gözlemler üzerinde yoğunlaştığı ve bu hususta son derece kapsamlı projeler yapılarak, birçok disiplinin bir araya geldiği görülmüştür (Demirkır, 2012).

Depreme dayanıklı bir yapının sahip olması gereken en önemli özellikleri; stabil olması (kararlı olması), devamlılığının yeterli olması, sünekliği ve rijitliği olarak bilinmektedir (Durmuş, 2004).

Bir yapının, depreme karşı dayanımı üzerinde etkili olan faktörler, meydana gelen depremlerin gözlenmesi ve literatürden elde edilen bilgilere paralel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Rainer ve Karacabeyli 1999):

a) Yapının bulunduğu alanda oluşan yer kabuğu hareketleri: Bunlar, kırılmalar veya kaymalar şeklinde yapının bulunduğu alandaki zemini, hareketlendirirler.

b) Doğal frekans, sönüm ve titreşim modlarını içeren yapının dinamik özellikleri: Bu nicelikler, yapıların deprem performanslarını irdelemede kullanılan en önemli parametrelerdendir. Bir yapının sönümü, o yapının deprem salınımları sırasında absorbe ettiği enerjinin ne ölçüde olduğunu göstermektedir. Sönüm miktarı düştükçe, yapının depreme gösterdiği tepki de şiddetlenmektedir. Yapılardaki sönüm miktarı, bağlantı tiplerine, yapı malzemelerine, kaplama malzemelerinden oluşan yardımcı elemanlara bağlı olarak değişmektedir.

c) Dayanımı ve sünekliği içeren yapıların deformasyonu ile ilgili özellikleri: Bu özellikler her yapı için önemli parametreler olduğu gibi aynı zamanda dinamik özellikler üzerinde de etkilidirler.

1964 yılında Alaska'da meydana gelen 8.4 büyüklüğündeki depremde, 1971, 1989 ve 1994 yıllarında Kaliforniya'da meydana gelen sırasıyla, 6.7, 7.1 ve 6.7 büyüklüklerindeki depremlerde, 1987 yılında Yeni Zelanda'da meydana gelen 6.3 büyüklüğündeki depremde, 1988 yılında Kanada'daki Quebec'de meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki depremde ve 1995 yılında Kobe Japonya'da meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki depremde çalışmalar yapılmıştır. 5.7 ila 8.4 arasında değişen bu büyük depremlerde, 300 bin ahşap yapının şiddetli sallanmasına karşı, sadece 34 kişi yaşamını yitirmiştir. 1999 yılında İzmit Gölçük de meydana gelen depremde ise 20 bin vatandaşımızın yaşamını yitirdiği bilinmektedir. Ülkemizde meydana gelen bu depreme eş değer büyüklükteki başka bir depremde, yalnızca ahşap oldukları için alınması gereken 32 önlemin sadece yarısının uygulanmasına karşı, yine de 25 kişi ölmüştür. Bu çalışmalarda, ahşap yapıların hem can kaybını azalttığı hem de çok şiddetli deprem sarsıntılarına dayanabileceği tespit edilmiştir (Rainer ve Karacabeyli, 1999; Rainer ve Karacabeyli, 2000).

1971 yılındaki San Fernando, 1989 yılındaki Loma Prieta ve 1994 yılındaki Northridge depremlerinde yapılan hasar çalışmaları sonucunda, yatay yüklerin dayanımı için belirlenmiş olan standartların yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Depreme dayanıklı ahşap yapı tasarımı ve yapım metotları, ahşap çerçeve perde duvarların sünekliği ve yapılarıdaki yanal dayanımı arttırmak üzerine yoğunlaşmıştır. 1995 yılındaki Japonya'daki Hyogo – Ken Nanbu depreminde belirlenen hasarlar, ahşap yapıların başka sorunlarını da ortaya çıkarmıştır. Yeni ahşap çerçeve müstakil evler iyi performans sağlarken, geleneksel kiriş ve kalas kullanılarak yapılmış müstakil evlerin, ahşap çerçeve yapıları göre daha çok sıkıntılar yaşadığı görülmüştür (Prion ve Filiatrault, 1995).

Ahşap yapı ancak, depreme dayanıklı bir şekilde tasarlanması ve uygulanması sonucunda, depremler esnasında tamamıyla sağlam bir şekilde ayakta kalabilir. Bunun için de gerekli standartların ve yasal düzenlemelerin hazırlanıp uygulanması gerekmektedir. Ülkemizde, bu konuda oldukça büyük bir yetersizlik söz konusudur. Kuzey Amerika deprem deneyimlerinden faydalanılarak oluşturulan Eurocode, ülkemiz için iyi bir örnek oluşturmaktadır (Demirkır, 2012). Avrupa'da, ahşap yapıların tasarımı Eurocode 5, yapıların deprem dayanımı ise Eurocode 8 ismiyle standartlaştırılmıştır (TS EN, 1995; TS EN, 1998).

Deprem sonrasında yıkılan betonarme binaların en önemli sorunu, ağır yapılarından dolayı, meydana gelen çökme sonrasında tüm eşyaların ezilerek herhangi bir yaşam alanı bırakmamasıdır. Bundan dolayı da, betonarme binalardan çok az sayıda insan kurtarılabilmektedir. Bununla birlikte, bu tür binaların ağırlığından dolayı, arama kurtarma çalışmaları da yine ağır iş makineleriyle yapılabilmektedir. Ahşap yapılar, betonarme yapılara göre daha hafif olduklarından, enkaz altında çok fazla yaşam alanları meydana gelebilmektedir. Hayatta kalma olasılığının yüksek olduğu ahşap yapılarda arama kurtarma çalışmaları, kazma, balta, el testeresi gibi el aletleriyle herkes tarafından yapılabilmektedir. 1994 yılında Kaliforniya'daki 6.7 büyüklüğündeki depremde, toplamda 69 kişi ölmüştür. %95'lik kısmı ahşap ev olan Kaliforniya'da, bu ölü sayısının % 40'ını yolda ve beton viyadüklerin altında, %20'sini ise diğer yapılarda hayatlarını kaybedenler oluşturmaktadır (Demirkır, 2012). Hafifliğine rağmen çok yüksek bir direnç sağlayan ve dayanım/ağırlık oranı oldukça yüksek olan ahşap yapılar, depreme dayanıklılık açısından iyi bir alternatif haline gelmektedir (Graf, 2008). Büyüklüğü 7.8 olan Amerika'daki San Andreas depreminde, kontrplaklarla kaplanmış ahşap perde duvarlar çok iyi performans göstermiştir. 2010 yılında 7.1 büyüklüğündeki Yeni Zelanda depreminde, ahşap çerçeveli yapıların güvenliğiyle hiçbir can kaybı meydana gelmemiştir. Almanya'nın Der Spiegel dergisi de yaptığı araştırmada bu durumu kanıtlamıştır (Demirkır, 2012).

1999 yılında İzmit Gölçük'te meydana gelen büyük Marmara depreminden sonra, betonarme yapıların yerine hafif yapı sistemlerine geçilmeye başlanmıştır. Buna örnek olarak, 18 mm kalınlığındaki ladin kontrplakların döşeme malzemesi, 9 mm olanları ise iç ve dış duvar malzemesi olarak kullanıldığı, ahşap karkas sistemli evler, İstanbul Pelitli'de yapılmıştır. Bu yapılarda, keresteden olan dikmeler, çatı mertekleri ve döşeme kirişleri ile kontrplaklar özel çelik bağlantı elemanlarıyla birbirlerine bağlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan levhalar, zaten hafif olan yapı sisteminin düşük yanal yüklerine karşı enerjiyi absorbe eden perde duvar görevi görmektedir. Bu tip evlerde, ahşabın doğal yalıtım özelliklerinin iyi olmasından dolayı, oldukça iyi bir yalıtkan potansiyeli bulunmaktadır (Önal, 2001).

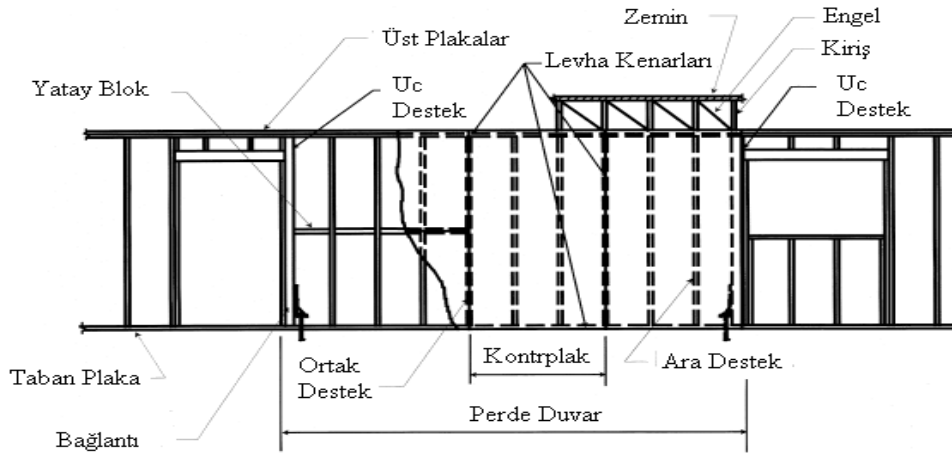
Ahşap platform sistemlerde, ahşabın yüksek dayanım/ağırlık oranı, bağlantılarda oluşan sürtünme kayıplarından meydana gelen yüksek soğurma kapasitesi, ahşabın elastik olmasından dolayı ölüm oranları oldukça düşüktür (Rainer ve Karacabeyli, 2000). Makaslama gerilimi (kesme gerilimi) ahşap platform sistemlerde deprem bakımından en önemli parametredir.

Bu parametre, OSB, alçıpan ve kontrplak levhaların bir veya iki tarafından bağlandığı güçlendiriciler ile desteklenmesi, üst ve alt plakaların dikey sütunlarla birleşimiyle şekillenir (Demirkır, 2012).

Bir ahşap yapının deprem gibi etkiler sonucunda hasara uğramasının sebepleri olarak ise; bağlantı elemanı hatalarının, dönen duvarların, duvar kaplamalarındaki kesme başarısızlıklarının ve sınır parçalarının ezilmesi gösterilebilir. Depreme dayanıklı iyi bir ahşap iskeletli yapının, duvar, çerçeve ve bağlantı elemanları ve tüm sistemin sismik davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir (Demirkır, 2012).

1.6. Perde Duvar

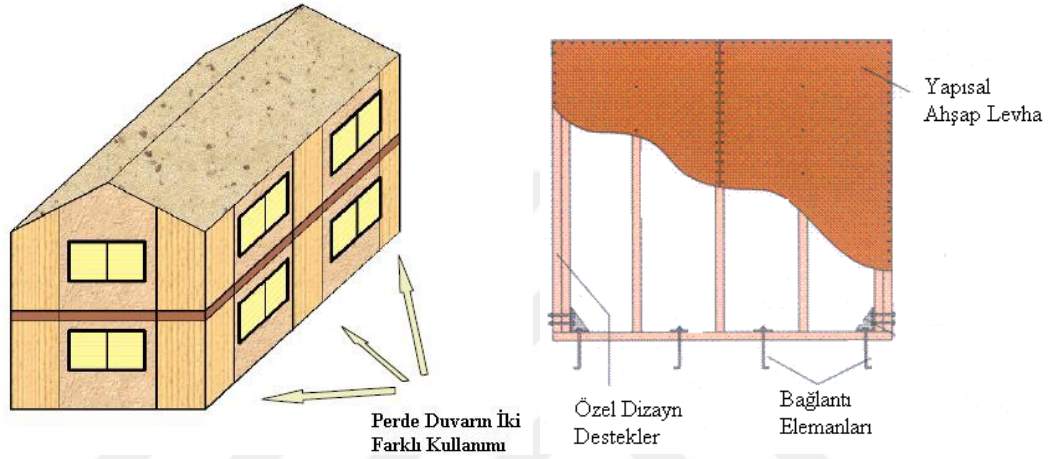
Ahşap iskeletli yapılarda, deprem ve rüzgar gibi yanal yüklerle karşı yapının ihtiyacı olan dayanımı sağlayan başlıca sistemler perde duvarlardır. Perde duvarlar, boyutsal kerestelerin kolon ve kiriş olarak kullanıldığı çerçevelere, çeşitli bağlantı elemanları ile yapısal ahşap levhaların monte edildiği sistemlerdir (Van De Lindt ve Walz, 2003). Şekil 12’de tipik bir perde duvar görülmektedir.



Şekil 12. Tipik perde duvar

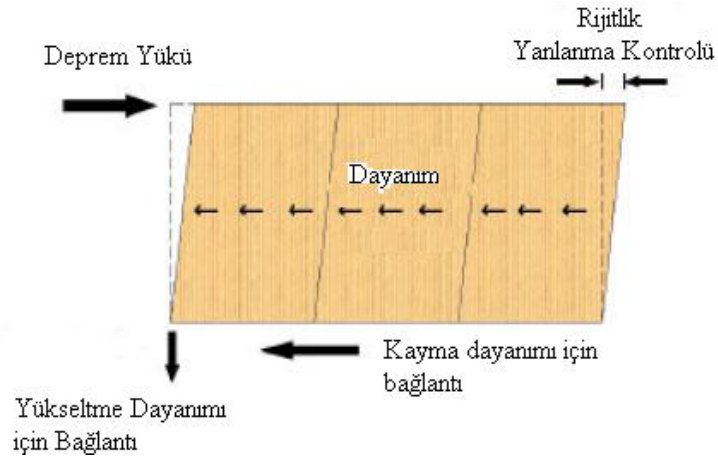
Simetrik olarak yapıların dört bir kenarına yerleştirilen uzunlukları eşit perde duvarlar sayesinde etkili bir yapı oluşturulabilir. Eğer dış duvarlar, sağlamlık ve rijitlik açısından yetersiz ise, yapının iç kesimlerine perde duvarlar ilave edilebilir. Beton zemine oturtulmuş ve dikey düzlemde belirli bir düzen verilmiş perde duvarların, çok daha başarılı

olduğu görülmüştür. Perde duvarın bir yapıdaki konumları Şekil 13’de verilmektedir. Yatay deprem yüklerine önlem olarak gerekli olan perde duvarların, sağlamlığı ve direnci yeterli olmalıdır. Perde duvarlar ne kadar güçlü olursa, yatay yükler de o kadar aşağıdaki yapı elemanlarına aktarılır ve bu sayede yapının üzerindeki yük dağıtılarak yok edilir. Zemin, diğer perde duvarlar, kat veya zemin, beton duvar bu diğer yapı elemanları arasında sayılabilir (Demirkır, 2012).



Şekil 13. Perde duvar konumu

Özellikle çatı ve zeminlerde meydana gelen aşırı yanlanmalar, perde duvarlar sayesinde yatay rijitlikler sağlanarak önlenmektedir. Bu şekilde perde duvarlar, çatıdaki ve zemindeki parçaların bağlı oldukları desteklerinden ayrılmasını engellemiş olurlar. Perde duvarlara ait önemli fonksiyonlardan iki tanesi Şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14. Bir perde duvarın iki önemli işlevi

Perde duvarların yanal dayanımları, kırılma anındaki direnç, eğilme direnci, rijitlik ve süneklik olmak üzere genel olarak 4 faktörden etkilenmektedir (Demirkır, 2012). Ayrıca, perde duvar bağlantıları, kaplamaların kalınlığı, perde panel oranı, bağlantı gereklilikleri, çekme ve basınca bağlı olarak kiriş dizaynı ve kusurlar gibi hususlar dikkate alınarak bir perde duvar tasarlanabilmektedir.

Perde duvar gibi malzemelerin, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin yanında, makaslama direnci ve liflere dik ve paralel basınç dirençlerinin belirlenmesi NDS (National Design Specification) kurallarına göre belirlenmelidir (Breyer vd., 2003).

Perde duvarlarda kullanılan kontrplak ve OSB gibi yapısal ahşap levhalar; özellikle yapının süneklik ve rijitliğinin iyileşmesine katkıda bulunmakta ve yapıya etki edecek ani kuvvete (darbe) karşı dayanıklılık sağlayarak bu etkiyi bütün yapıya dağıtma görevini üstlenmektedirler. Kasırga, güçlü rüzgarlar ve depremler sırasında yapıları tehdit eden ani kuvvetler şunlardır (Demirkır, 2012);

- Yanal yükler: Duvarların kare şekliyle kaymasına ve yapının zayıflamasına neden olan yapıya karşı itme kuvvetidir.

- Yukarı doğru kaldırma kuvveti: Çatıyı duvardan, duvarı zeminden ve zemini betondan ayırmaya zorlayan yerçekimine karşı bir kuvvettir.

Yapısal ahşap levhalar bu kuvvetlere karşı eş zamanlı olarak direnç göstermekte ve böylece ilave yük dayanak sistemine olan ihtiyaç azalmaktadır. APA (American Plywood Association), Amerika'da tüm yerleşim yerleri duvarlarının %75'inin ahşap yapısal levha olmasının nedeni olarak bu sebebi işaret etmektedir (Demirkır, 2012). Varoğlu vd. (2006) da benzer olarak ahşap çerçeveli yapılarda, deprem ve rüzgar gibi yüklere karşı direnç için gerekli olan yanal dayanımı, ahşap kökenli perde duvarların sağladığını ifade etmiştir. Bu tür ahşap kökenli yapısal levhaların avantajları arasında; maliyetleri azaltma, atıklarının yeniden kullanılabilmesi, birçok tropik bölge için uygun hafif yapıların inşasına olanak sağlaması, düşük maliyetli ev projelerinde basit montajı da sayılabilir (Krüger ve Adiazola, 2010). Ahşap perde duvarlı yapısal sistemler inşaat uygulamalarında, özellikle prefabrik yapılar için yaygınlaşmaktadır. Bu yapısal sistemler, yapının büyüklüğü nedeniyle mükemmel ısı ve ses yalıtımı performansına sahiptir. Bununla birlikte, özellikle sismik eylem altındaki yapısal davranışlarının belirlenmesi için sertlik, süneklik ve dağıtıcı özelliklerinin tam olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Pozza vd., 2014).

1.6.1. Perde Duvarların Yapısal Davranışlarını Etkileyen Faktörler

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel ilkeler, yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli süneklik olarak belirtilmektedir. Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, dayanım ve süneklik bulunmalıdır. Bu kriterlerin perde tasarımındaki önemini anlaşılması için bu açıklamalara yer verilmiştir. Bunlara ilave olarak, betonarme yapıların davranışlarıyla ilgili olarak kullanılan yeterli kararlılık (stabilite), yeterli sönüm ve yeterli uyum (adaptasyon) ilkeleri de göz önünde bulundurulmalıdır (Aktan ve Kıraç, 2010).

- **Dayanıklılık:** Bir yapının dayanımının yeterli olmasındaki amaç, öncelikle taşıyıcı sistem elemanlarının, kendilerine etkiyen yük ya da yük etkileri nedeniyle oluşacak kesit tesirlerini göçmeden taşıyabilmesidir.

Taşıyıcı sistem elemanlarının, yükler etkisinde kesme kırılması gibi gevrek bir şekilde kırılmasını önlemek ve taşıma kapasitelerine sünek bir davranışla ulaşmalarını sağlamak amacıyla Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'de kapasite tasarımı ilkesi benimsenmiştir. Eskiden eğer bir eleman kendisine etkiyen yük ya da yük etkisini tek başına karşılayacak dayanıma sahipse yeterli görülüyordu. Kapasite tasarımı ilkesinde ise bu işlem yeterli görülmemektedir. Bunun için kolon ve kiriş gibi elemanların tasarımında kendisine etkiyen yükten bağımsız olarak kesit boyutlarına, malzeme özelliklerine, donatı miktar ve konumuna bağlı olarak belirlenen taşıma gücü momentleri (M_r) ve kapasite momentleri ($M_p \sim 1,4 M_r$) de kullanılmaktadır. Bu doğrultuda yönetmelikte getirilen koşullardan biri, kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuludur. Koşul, “sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzünde bulunan kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır” şeklinde belirtilmiştir. Bundan dolayı, yönetmeliğe göre; kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda kolon ve kirişlerin tasarımı yapılırken her ikisinin taşıma gücü ve kapasite momentleri birlikte dikkate alınmalıdır. Kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda getirilen diğer bir şart, kesme dayanımının eğilme dayanımından daha büyük olması zorunluluğudur. Yönetmelikte, süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişler için tasarım kesme

kuvveti sadece yapısal çözümlenmeden değil, elemanın kesit özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenen moment kapasitesi de dikkate alınarak belirlenmektedir (Çalık, 2012). Yönetmeliğin amacı, şiddetli depremlerde dahi yapının tamamen ya da kısmen göçmemesidir. Bu yaklaşım üç aşamalı bir yapısal davranış esasına dayanır:

1. Sık oluşabilecek hafif şiddetteki depremlerde yapıların elastik davranması, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
2. Orta sıklıkta oluşabilecek orta şiddetteki depremlerde yapıların elastik limitine yaklaşması, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşabilecek hasarın onarılabılır düzeyde kalması,
3. Seyrek olarak oluşabilecek şiddetli depremlerde ise yapıların plastik davranması, can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen göçmesini önlemektir.

Yönetmeliklerde tanımlanan şiddetli depremin etkisi altında yapının göçmeksizin ayakta kalabilmesi, yapıda belirli bir dayanımın bulunmasıyla birlikte, önemli ölçüde enerji yutabilme kapasitesinin sağlanmış olmasına bağlıdır. Bu iki yapısal özellik, yukarıda ikinci aşamada belirtilen yapısal davranış için de gereklidir. Birinci aşama için öngörülen doğrusal elastik davranış ise tümüyle yapı elemanlarının yeterli dayanımı ile sağlanır (Aktan ve Kıraç, 2010).

- Rijitlik: Yapının bir kuvvetin etkisi altında, bükülmeden veya esnemenen ayakta durabilmesi özelliğine rijitlik denilmektedir. Yapının rijitliğinin artırılarak depremde oluşabilecek şekil ve yer değiştirmeleri azaltmak mümkün olduğundan taşıyıcı sistemde ve ona bağlı taşıyıcı olmayan kısımlarda hasarın azaltılabilmesi de mümkün olmaktadır. Rijitliğin artırılması ile katların birbirine göre olan rölatif yatay ötelenmesini sınırlandırılarak özellikle taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarı sınırlandırmak mümkündür. Bunun yanında, özellikle yüksek yapılarda deprem sırasında düşey yüklerin ikinci merteye etkilerini sınırlı tutmak için yer değiştirmelerin sınırlandırılması amacıyla rijitliğin artırılması gerekmektedir (Çalık, 2012).

Yapının yeterli rijitlikte olması, deprem etkisi altında oluşacak olan ikinci merteye momentlerin kabul edilebilir limitler içinde olmasını ve katlar arası görece ötelenmenin azaltılmasını sağlayarak taşıyıcı olmayan elemanlarda deprem hasarlarının azalmasına yardım edecektir (Nayır, 2006).

Rijitlik için yapının geometrisi değil, düşey taşıyıcıların konumu ve bunların her iki doğrultudaki boyutları önemli olmaktadır. Betonarme bir yapıda düşey taşıyıcı elemanlar olarak kolon ve perdeler dolgu duvarlara göre daha rijit davrandığı için, rijitlik hesabında

bu elemanların dikkate alınması yeterli olmaktadır. Düşey taşıyıcı elemanların rijitliklerinin hesabında elemanlarda kullanılan malzemenin özellikleri (elastisite modülü), elemanın en kesit boyutları ve eleman uçlarının mesnetlenme biçimleri etkili olmaktadır (Aktan ve Kıraç, 2010).

- Süneklik: Bir yapının başarısız olmadan büyük deformasyonlara maruz kalma derecesi, süneklik ile tanımlanır. Bu terim, deprem mühendisliğinde, bir binanın, yer sarsıntısının neden olduğu büyük yanal yer değiştirmelere ne kadar dayanabileceğini belirtmek için kullanılır (O'Donnell ve Krezel, 2016).

Bilinmeyen etkilere karşı hazırlık yapmak genellikle zordur ve çoğu zamanda yetersizdir. Bunun içinde, binaların güvenliğini artırmak için alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Rüzgâr ve kar gibi normal yük durumlarında, binaların, kullanım ömrü boyunca, yapısal bir hasarın bulunmadığı elastik bir bölgede çalışması gerekmektedir. Patlamalar veya şiddetli depremler gibi beklenmedik veya nadir görülen yük durumlarında, binaların hasar görmesine izin verilmekte, ancak yük taşıma yeteneklerini kaybetmemesi istenmektedir. Böylece insan kayıpları önlenmektedir. Süneklik, binalarda bu tür davranışların sağlanmasında kilit rol oynar. Sünek yapılar, yük taşıma kapasitelerini kaybetmeden büyük ve genellikle görünür plastik deformasyonlara uğrayabilir. Bu deformasyonlar, zamana bağlı olarak, yükleme durumunda yapıdaki baskı seviyelerini azaltan enerjiyi yaymaktadır. Süneklik, ayrıca alternatif yük yollarının oluşumuna izin verir. Bu, ileride bir çökmeye neden olan zincirleme bir reaksiyonu önleyebilir. Statik aşırı yüklenme durumlarında sünek yapılar, tehlike altındakileri güvenli tahliyeye izin veren görünür deformasyonlarla uyarmaktadır. Aşamalı çökmelerde ve süneklik araştırmaları, büyük ölçüde betonarme ve çelik yapılarda yapılmaktadır. Çünkü mühendislik yapılarının çoğu bu malzemelerden üretilmektedir. Sadece son yirmi yılda ahşap yapılarda süneklik ve aşamalı çökmeleri önleme konusunda daha fazla araştırma yapılmıştır. Daha büyük ve daha yüksek ahşap yapılar inşa ederken, süneklik, emniyetli tasarımları için daha hayati hale gelmektedir ve kritik bir tasarım kriteri olarak önemine dikkat edilmesi gerekmektedir (Pirinen, 2014).

1.6.2. Perde Duvarlarda Kullanılan Yapısal Levhalar

İnşaat sektöründe, yapıların güvenli ve güçlü olması, enerji yönetiminin etkin bir şekilde kullanılması, maliyetlerinin uygun bir şekilde olması beklenmektedir. Yapılarda

kullanılan ahşap levhaların, ani darbelerin etkisiyle oluşan hasarlara karşı dayanıklı olması ve bu darbenin etkisini bütün yapıya dağıtabilmesi avantaj olarak görülmektedir. Bununla birlikte, doğal afetlerle (fırtına, aşırı rüzgâr vb.) meydana gelebilecek hasarlara karşıda dayanımı oldukça yüksek olmaktadır. Duvarların ahşap ile kaplandığı yapılarda, sıva ile kaplanarlara nazaran çatlaklar, kusurlar ve alçı problemleri daha az görülmektedir (Demirkır, 2012). Ahşap kökenli yapısal levhaların avantajlarına; maliyetleri azaltma, ahşap atıkların yeniden kullanılabilmesi, birçok tropik bölge için uygun hafif yapıların inşasına olanak sağlaması, düşük maliyetli ev projelerinde basitçe montajı ve diğer faktörler sayılabilmektedir (Krüger, 2010).

Kuzey Amerika' da deprem, kasırga ve şiddetli rüzgârlar nedeniyle her yıl binlerce ev zarar görmektedir. Bu doğa olayları sonucunda yapılarda meydana gelen tehdit unsurları, 3 farklı kuvvetin etkisindedir. Bunlar yanal yükler, yukarı doğru kaldırma kuvveti ve içten dışa doğru rüzgâr basınçları; iç kısımları nem ve hava sirkülasyonuna maruz bırakarak, yapıdan duvar ve çatının parçalarını ayırmaya çalışmakta ve kaplama ve giydirmeye malzemelerine çekme uygulamaktadır (Demirkır, 2012).

Günümüzdeki yapıların duvarlarında APA'nın verilerine göre %75 oranında yapısal ahşap levhalar kullanılmaktadır. Bunun nedeni olarak da, özellikle kontrplak ve OSB gibi levhaların yukarıda bahsedilen 3 kuvvetin etkisine maruz kaldığında yapıya eş zamanlı olarak direnç kazandırması gösterilmektedir. Ayrıca, bu sayede gerekli olan ilave yük dayanak sistemine olan ihtiyacında azaldığı belirtilmektedir (Demirkır, 2012). Yapısal ahşap levha olarak aynı zamanda etiket yongalevha ve diğer kompozit levhalarda kullanılmaktadır. Bu tip levhalar, yapılarda kullanılmadan önce NDS (National Design Specification) kurallarına göre bazı mekanik özelliklerinin (eğilme direnci ve elastikiyet modülü, makaslama direnci, liflere dik ve paralel basınç direnci) bilinmesi gerekmektedir. Ahşap malzemeler, perde duvar, beton kalıbı, çatı, zemin ve duvar kaplama, köşebent plaka (makaslar, iskelet, rijit çerçeve bağlantıları) ve yapısal parça (kereste ve kontrplak kirişler, eğimli levhalar, kat plakaları) olarak yapıda kullanılmaktadır. Bunların dışında, bu tip levhalar, ticari, endüstriyel ve mimari uygulamalarda da kullanım alanlarına sahiptir (Breyer vd., 2003).

Yapılarda kullanılan bu ahşap levhaların arasında en çok tercih edilen malzemeler, kontrplak ve OSB levhalarıdır. Ahşap malzeme, liflere paralel yönde daha güçlü, daha az bükülürken, liflere dik yönde elastikiyet modülü, paralel yöne göre 35 kat daha düşüktür. Ayrıca, liflere paralel tabakalar, dayanım ve rijitlikteki değişimler sebebiyle oluşacak bir

gerilim kuvvetine karşı daha etkili olmaktadır (Breyer vd., 2003). Ahşap malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı diğer yapı malzemelerine göre çok daha düşüktür. Ahşap malzemenin lif doğrultusundaki termik genişleme katsayısı, $3-6 \times 10^{-6}$ iken demirde bu değer 12×10^{-6} ölçülmektedir. Bu sayede ahşap yapıda birleşme yerlerinde, genişleme göstermezken, herhangi bir zorlamaya sebep olmaz. Kömürleşme ve ısıyı geçirmeme özellikleri sebebiyle, yangın esnasında oluşabilecek yıkımları 30 ile 90 dakika arasında geciktirmektedir. ABD’de büyük kalabalıkların bulunacağı spor salonları, konferans salonları gibi yapılarda yangına karşı dayanıklı olmasından dolayı ahşap yapılar tercih edilmektedir (Demirkır, 2012).

Perde duvarların görevlerini yerine getirebilmesi için ahşap çerçeveli yapı sistemlerinde kaplama materyali olarak; yapısal ahşap levhalar (kontrplak ve OSB), liflevha çimentolu levha, iç ve dış alçı, kereste ve kaplama kullanılmaktadır. Bunlar arasında, fenol formaldehit ve izosiyanat tutkallarıyla üretilen kontrplak ve OSB levhalarının yapı sektörü için daha uygun olduğu belirtilmektedir (Demirkır, 2012).

1.6.2.1. Kontrplak

Kontrplak adına dünyada, çeşitli standartlarda farklı tanımlamalar yapılmaktadır. Avrupa standartlarında, lifleri birbirine dik gelecek şekilde, tabakaları yapılandırılmış ahşap esaslı levhalara kontrplak denilmektedir (EN 313-2, 1999). DIN 68708’e göre kontrplak, lifleri birbirine dik olacak şekilde yerleştirilmiş en az üç adet yapılandırılmış tabakadan oluşan, dış ve iç tabakaları öz veya orta tabakanın her iki tarafına simetrik olarak tespit edilmiş levha olarak ifade edilmektedir (DIN 68708, 1976). Ülkemizdeki TS 2128 standartına göre ise, ardışık gelen tabakaların lif doğrultuları birbirine dik olacak şekilde yapılandırılmış, göbeğin her iki tarafında yer alan iç ve dış tabakalar genellikle birbirine simetrik olan bir levha olarak kontrplak tanımlanmaktadır (TS 2128, 2005).

Fiziksel ve mekanik özellikleri iyi olan kompozit ahşap ürünlerinden kontrplak; mobilya, müzik aletleri, ulaşım araçları, ambalajlar, spor malzemeleri ve inşaatlar gibi birçok kullanım alanında farklı uygulamalar için kullanılabilir (Bekhta and Salca, 2018). Kontrplak üretimi, Dünyada ve Avrupa’da 2017 yılında, sırasıyla 161 ve 9 milyon m^3 değerini aşmıştır (FAO, 2018). Levhaların Avrupa Birliği’ ne ithalatı (çoğunlukla kontrplak), 2017 yılında %9 artışla 2,79 milyar Euro’ya yükselmiştir. 2016 yılında % 3'lük bir artış ve 2015'te %11'lik bir artış meydana gelmiştir. Bu kazancın büyük kısmı, Rusya

ve diğer Doğu Avrupa ülkelerinden kontrplak ithalatındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Avrupa Birliği'ne Çin ve tropik ülkelerden gelen kontrplak ithalatı değeri, 2017'de genel olarak azalmıştır veya sabit kalmıştır (Industry News and Markets, 2018). Kontrplak üretiminde öncü olan ülkelere ait kontrplak üretim miktarları ve ülkemizdeki durum Tablo 1'de gösterilmektedir (FAO, 2018).

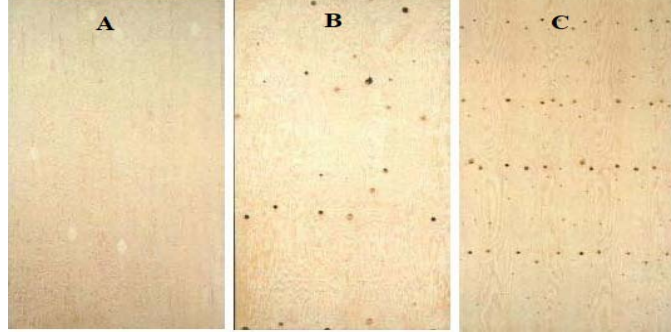
Tablo 1. Dünyada kontrplak üretimi yapan ülkelerin yıllık kapasite miktarları (x1000 m³)

Ülke	Yıllar					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Çin	76.332	92.507	101.169	113.398	117.482	113.275
Amerika	9.493	9.680	9.452	9.245	9.398	9.590
Japonya	2.549	2.761	2.813	2.756	3.063	3.029
Kanada	1.824	1.792	1.810	1.929	2.205	2.253
Finlandiya	1.020	1.090	1.160	1.150	1.139	1.241
Türkiye	116	116	110	116	120	105

1.6.2.1.1. Kullanım Amacına Göre Yapı Kontrplağın Sınıflandırması

Kontrplak levhaları, kullanıldıkları alanlara göre sınıflandırılmalıdır. APA, ağaç türlerini kapsayan ve kontrplakların kullanım yeri ve kullanım amaçlarına göre geniş bir sınıflandırma yapmıştır. Kanada' da bu sınıflandırma baz alınarak daha temel bir sınıflandırma yapılmıştır ve uygulamaya geçirilmiştir. Kanada ürettikleri kontrplaklarını, Kanada İğne Yapraklı Ağaç Kontrplağı (CFP), Douglas göknarı kontrplağı (DFP) ve kavak kontrplağı olarak yapısal ve endüstriyel uygulamalar için çeşitlendirmektedir. Douglas Göknarı Kontrplağı için CSA 0121, Kanada İğne Yapraklı Ağaç Kontrplağı için CSA 0151 standartlarına göre üretimi yapılan bu kontrplak çeşitleri üst ve alt kısmındaki kaplamaların ağaç türüne göre isimlendirilmektedir. Kanada Standart Kurumu (Canadian Standard Association: CSA) tarafından hazırlanan bu standartlar; sınıf, boyut, üretim toleransları, levha özellikleri ve tutkal bağı kalitesindeki minimum gereklilikleri belirlemektedir. A, B ve C olmak üzere 3 farklı sınıfa sahip kaplamalara göre, üretilen kontrplakların dış tabakasında kullanılan kaplamanın kalitesine ve görünümüne bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. A'nın görünüm açısından en iyi olduğu, C'nin ise en kötü kalitede

olduğu bu sınıflandırmadan anlaşılmaktadır (Demirkır, 2012). Bu gruplara ait görsel örnekler Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. A, B ve C sınıfı kaplamaların görünüşleri

Üreticiler bu kaplamaları kullanım yerine uygun olarak çeşitli kombinasyonlarda kullanabilmektedir. Yapılarda çatıda, duvarda ve zeminlerde değerlendirilecek kontrplaklarda A sınıfı yani çok iyi görünüme gerek olmamakla birlikte, beton kalıbı olarak inşaatlarda kullanılacak kontrplakların yüzeylerinin daha düzgün olması gerekmektedir (Demirkır, 2012).

Avrupada, Eurocode 5 (TS EN 1995, 1996) standardıyla ahşap yapıların tasarımı, Eurocode 8 (TS EN 1998-5, 2005) standardı ile de depreme karşı yapıların dayanımı yasallaştırılmıştır. Kontrplak kaplı perde duvarlar, yüksek olan kesme kuvvetlerine karşı dayanıklı ve genel olarak metal bağlantıları sünekliliği sağlayan enerji soğuran bir yapıya sahiptirler ve yanal deprem yüklerine karşı dikmelere çivilenirler. Eurocode 8 standardına göre, kontrplak kaplı perde duvarların üretiminde kullanılacak kontrplak levhaların en düşük 9 mm kalınlığında olması gerekmektedir (Demirkır, 2012).

1.6.2.1.2. Kontrplağın Yapı Maksatlı Kullanım Alanları

Ahşap yapı ve yapı malzemeleri özellikle ABD’de ev, okul ve ofis binaları yapımında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yanal dayanımı sağlayan ahşap iskeletler (duvarlar, zeminler ve tavanlar) bu yapıların önemli parçalarıdır. Bu tür yapılar çerçeve elemanları (kolon, kiriş), kaplama elemanı (kontrplak, yongalevha, alçılevha) ve kaplama

elemanının çerçeveye bağlamayı sağlayan bağlantı elemanlarından (çivi, vida, zımba) oluşmaktadır (Chin, 1992).

Kaplanmış perde duvarlar, Kuzey Amerika'da, platform çerçeve sistemlerinde kullanılan en popüler yanal dayanım sistemleridir. Japonya ve diğer Doğu Asya ülkelerinde, geleneksel inşa sistemi olarak ahşap - ahşap bağlantıları ile kiriş ve kolonlu sistemler kullanılmaktadır (Gu, 2006).

Yapılan çalışmalarda, çerçeve elemanları ve kontrplak veya OSB gibi kaplama elemanlarından oluşan duvar sisteminin deprem olaylarında çok üstün performans gösterdiği belirlenmiştir (Ni ve Karacabeyli, 2005).

Kuzey Amerika'da ahşap çerçeveli yapı sisteminin hâkim olduğu görülmektedir. Kanada'da, NBCC (Kanada Ulusal Yapı Şartnameleri) ahşap çerçeveli sistemleri 4 kat ile sınırlandırmaktadır (National Research Council, 2005). 6 Nisan 2009 tarihinde British Columbia'da ahşap çerçeveli yapı sistemlerine 6 kata kadar izin verildiği açıklanmıştır (Minister of Housing and Social Development 2009a, 2009b).

Kontrplak paneller, inşaat sektöründe kaplama materyali, mobilya ve kabin panelleri dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılır. Ayrıca, kontrplaklar, prefabrik I-kirişler, kutu kirişler, gerilmiş yüzeyli paneller ve panelli çatılar gibi uygulamalarda diğer mühendislik ahşap ürünlerinde ve sistemlerinde bir bileşen olarak kullanılır. Hafif çerçeve konstrüksiyonu için zemin, duvar ve çatı kaplamalarında yine kontrplak levhaları kullanılmaktadır (Stark vd., 2010). Kontrplaklar, inşaat sektöründe çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. En yaygın kullanımlarından bazıları: hafif bölme veya dış duvarlar yapmak, beton için kalıp yapmak, mobilya, özellikle dolaplar, mutfak dolapları ve ofis masaları yapmak, döşeme sistemlerinin bir parçası olarak kullanmak, ambalajlamada ve hafif kapılar ve kepenklerin yapımıdır (URL-5, 2018).

Kontrplaklar, özellikle taşıtlarda, kazalar sonucunda meydana gelen ani darbelerin ve bununla birlikte oluşabilecek titreşimlerin engellenmesi konusunda yeterli direnci göstermesinde dolayı özellikle toplu taşıma araçlarında iç kaplama materyali olarak kullanılmaktadır (APA, 1999a). Kolay işlenen, hafif olan, geniş boyutlarda üretilebilen, maliyeti düşük olan ve yapısal performansı iyi olan kontrplakların sahip olduğu bütün bu özellikler, yapı malzemesi olarak ideal olmasını sağlamaktadır (APA, 1999b).

Yapıda kullanıldığında, yeterli direnç özelliklerini göstermesinin yanında termal ve akustik özelliklerinin de iyi olması, iç dekorasyon düzenlenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Kullanım yerindeki amaçlara hizmet edecek kontrplakların, en uygun tutkal

ve ağaç türü kullanılarak üretilmesi gerekmektedir. Yapısal olarak kullanılan kontrplakların, ağaç türü olarak; kayın, huş, kavak gibi yapraklı ağaçların yanı sıra, çam, ladin, tsuga gibi iğne yapraklı ağaçların kaplamaları kullanılarak üretilmektedir. Yapıda kullanılan malzemelerin, kullanıldığı yere göre estetik özelliklere sahip olması istenmeyebilmektedir. Ancak, zeminde kullanılan kontrplakların, yüzeylerinin düzgün olması, çatlama veya burulma gibi kusurlar bulundurmaması gerekmektedir (Demirkır, 2012). Kontrplakların, bir yapının zemininde, duvarında ve çatısında kullanımına ait örnekler Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Yapıda zemin, duvar ve çatılarda kontrplakların kullanımı

Hafif olmasıyla, nakliyesinde fayda sağlanan kontrplaklar oldukça büyük boyutlarda üretilebilmesinden dolayı, inşaatların tamamlanma sürelerini kısaltmaktadır. Bundan dolayı özellikle çatı malzemesi olarak tercih edilebilmektedir. Çatılarda kullanılacak olan kontrplakların, OSB, yongalevha ve kerestelere göre daha sağlam ve rüzgâra karşı daha dirençli olduğu belirtilmektedir (Çalışkan, 2008). Bununla birlikte, ahşap çerçeveli yapılarda kaplama materyali olarak kullanılmasıyla, çatıdan ve zeminden gelebilecek yüklere karşı dayanımı arttırmakta ve yükün çerçeve sisteme dengeli bir şekilde dağıtımını sağlamaktadır. Kontrplak levhaların, perde duvarlarında kullanılmasında, çivi ve vida gibi bağlantı elemanlarıyla montelenmesi esnasında deformasyonlar görülmemektedir. Çivi ve vida tutma direnci oldukça yüksek olan kontrplakların, kenarlarına bile çivileme işlemi yapılabilmektedir. Bunların yanında, işlenebilmesinin kolay olmasından dolayı, düzgün levhalar elde edilebilmektedir (Demirkır, 2012).

1.6.2.1.3. Perde Duvarların Kontrplak ile Kaplanması ve Sağladığı Avantajlar

Günümüzün en önemli konularında biri olan deprem ve depreme dayanıklı yapıların tasarımı ile ilgili en uygun uygulamalardan biri olan perde duvarların kaplanmasında genel olarak kontrplak levhaları tercih edilmektedir. Kontrplakların tercih edilmesindeki sebeplerden en önemlileri, deprem ve rüzgâr gibi doğal etkilerle meydana gelen yüklere karşı yapının yanal zorlamalara karşı dayanımını artırmasıdır. Yine, küresel ısınmanın meydana getirdiği çevresel değişiklikler sebebiyle, yapılarda yalıtım çok önemli hale gelmiştir. Kontrplak levhalarının, yapının duvarlarında kullanılmasıyla birlikte yalıtım açısından avantaj sağladığı bilinmektedir. Bunun sebepleri, ahşabın porözlü yapısının yanında, çok geniş boyutlarda üretilen kontrplakların birbirleriyle olan ek yerlerinin az olmasıyla ısı kaybının en aza düşürülmesidir (Demirkır, 2012).

Ahşap çerçeveli yapılarda yanal yüklere karşı direnci artırmada kullanılan ahşap perde duvarlar üzerine dünya genelinde pek çok çalışma yapılmıştır (Skaggs ve Rose, 1996; Dinehart ve Shenton, 1998; Kawai, 1999). Varoglu vd. ahşap çerçeveli yapılarda, deprem ve rüzgar gibi yüklere karşı direnç için gerekli olan yanal dayanımı, ahşap kökenli perde duvarların sağladığını ifade etmiştir (Varoglu vd., 2006).

Perde duvarların kaplanmasında çimento, alçı gibi malzemeler yerine kontrplakların kullanılmasıyla, yapının yanal yüklemelere karşı daha yüksek dayanım gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, kontrplaklarla kaplama işleminin, OSB ile kaplama işlemine göre daha iyi akustik sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Beall, 2005). Benzer konuda, başka bir çalışmada ise, kontrplakların duvara montajlarının OSB'den daha iyi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, OSB levhalarının daha çabuk şekil değiştirebildiği ve daha az rijit olduğu tespit edilmiştir (Li vd., 2007). Kontrplak kaplı perde duvarların deprem ve rüzgâr gibi yanal yüklere karşı direnç sağlamada kullanıldıkları literatürde belirtilmiştir (Demirkır, 2012). Mekanik direnç özelliklerinin stabil olması, boyutsal stabilitesinin çok iyi olması ve dikili ağaçlardan en yüksek oranda faydalanılması, kontrplakların en üstün özellikleri olarak bilinmektedir (Yoshihara, 2009). Deprem esnasında, yapının çökmesine engel olmak için yüksek miktarlarda yer değişimine olanak sağlayan kontrplakların, düzlemsel olarak oldukça rijit bir malzeme olduğu belirtilmektedir (Bott, 2005). Ayrıca ahşap çerçeveli yapı sistemlerinde kullanılan kontrplağın çürüyen kısımları hariç uygun bir tasarım ile uzun yıllar boyunca yeterli dayanımı sağladığı belirtilmektedir (Nanami vd., 2000).

Rijitlik açısından perde duvarlarda kaplama materyali olarak en iyi malzemenin kontrplak olduğu savunulmaktadır (Li vd., 2007). Amerika'daki Northridge depremi esnasında, kontrplak kaplı perde duvarlı ahşap iskeletli yapıların çok iyi performans gösterdiği belirlenmiştir (McCormick, 2005). Rainer ve Karacabeyli tarafından hazırlanan rapora göre, değişik yaşlarda ahşap çerçeveli yapıların çoğu 0.6 veya daha yüksek ivmeli büyük depremlere maruz bırakıldıklarında, meydana gelen sarsıntı sonucu ciddi bir hasar ya da çökme oluşmadığı belirtilmiştir (Rainer ve Karacabeyli, 1999; Ni ve Karacabeyli, 2005).

Perde duvar dayanımı ile ilgili yapılan çalışmalarda, kontrplak kaplı perde duvarların statik bir yük altında başlıca deneysel çalışmaları incelenmiştir. Yapılan bir araştırmada kontrplak kaplı perde duvarların Amerika'daki El Centro ve Taft deprem verileri hem analitik hem de deneysel olarak incelenmiştir (Kamiya, 1988). Bir kontrplak perde duvarın titreşim periyodu ve zamansal sönümü dinamik test ile ortaya koyulmuştur (Stewart vd., 1988). Hayashi tarafından yapılan bir çalışmada ise Japonya' da vidalı ve tutkallı açıklık bulunan kontrplak duvarın yük-sapma özellikleri araştırılmıştır (Hayashi, 1988). Deneysel yük – sapma özellikleri alçı (Oliva ve Wolfe, 1988), alçıpan (Reardon, 1988), yongalevha (McDowell ve Halligan, 1988) ve etiket yongalevha kaplı duvarlar için de belirlenmiştir (Dolan, 1991). Adı geçen çalışmalardan ulaşılan sonuçlar göstermiştir ki, yukarıda belirtilen levhalardan herhangi biri perde duvarlar için fonksiyon olabilir, fakat kesme kapasitesi, alçı ve alçıpanın aynı vidalama koşullarında kontrplaktan daha düşüktür. Ayrıca perde duvarın dayanımının kaplama materyalinden daha çok vidalama ve vida boşluklarıyla ilişkili olduğu yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur (Soltis ve Falk, 1992). Ahşap çerçeveli yapılarda çok sayıda vidalı birleştirmelerin sünekliği sağlamada çok etkili olduğu ifade edilmektedir (Demirkır, 2012).

1.6.2.1.4. Kontrplakların Kullanım Yeri Performansını Etkileyen Faktörler

Kontrplağın performansını belirleyecek olan tüm teknolojik özelliklerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Kullanılan ağaç türüne bağlı faktörler (ağaç türü, yoğunluk, lif yapısı, budak miktarı, rutubet vs.), üretiminde kullanılan bağlayıcı maddeye bağlı faktörler (tutkal türü, tutkal miktarı vs.) ve malzemenin preslenme koşullarına bağlı faktörler (pres basıncı, pres sıcaklığı, pres süresi) olarak sınıflandırılabilir (Bal vd., 2015).

1.6.2.1.4.1. Ağaç Türü

Kontrplağın teknolojik özellikleri üzerine etkili olan en önemli faktör, üretiminde kullanılan ağaç türüdür. Birçok ağaç türü kontrplak üretiminde değerlendirilebilmektedir. Ancak genel, dekoratif ya da yapı maksatlı kullanılacak kontrplak üretiminde ağaç türünün seçimi önemli bulunmaktadır. Ülkemizde genel amaçlı kontrplakların üretiminde okume, kayın ve melez kavak türleri daha çok kullanılmaktadır (Çakıroğlu ve Aydın, 2012).

Odun hücre çeperi yapısında bulunan lignin bileşeninin, termoplastik özellikler göstermesi sebebiyle, daha iyi ve bükülebilmesinden dolayı, iğne yapraklı ağaçlardan daha fazla lignin içeren yapraklı ağaçlar, kaplama üretiminde daha çok tercih edilmektedirler (Çolakoğlu, 2004). Ancak düşük yoğunluğu ve yüksek elastikiyet modülü özelliklerinden dolayı özellikle yapı sektöründe kullanılan kontrplaklarda iğne yapraklı ağaç odunları tercih edilmektedir. Dünyada en fazla kontrplak üretimi yapılan ülkelerden olan ABD’de üretilen kontrplakların ağaç türlerinin % 90’ı iğne yapraklı ağaçlar olduğu görülmektedir. Ayrıca, en önemli ağaç türlerimizden olan Doğu kayınının kontrplak üretiminde kullanılması her ne kadar kaplama üretim teknolojisi bakımından uygunsa da, ülke ekonomisi bakımından önemli kayıp olmaktadır (Demirkır, 2012). Bu nedenle özellikle genel amaçlı kullanım için üretilen kontrplaklarda yetiştirme süresi kayından daha hızlı olan kızılâğaç, huş ve okume gibi alternatif ağaç türleri de kullanılmaktadır (Bal vd., 2015; Öztürk, 2012; Çakıroğlu ve Aydın, 2012).

1.6.2.1.4.2. Yoğunluk

Hem çok düşük yoğunluktaki ağaç türlerinden hem de çok yüksek yoğunluktaki ağaç türlerinden kaplama üretilmesi zordur. Yoğunluğu oldukça düşük olan ağaç türlerinden kaplama soyulması esnasında, bıçağa karşı yeterince direnç gösteremeyen liflerin kopması sonucunda yüzeyi yünlü kaplamalar üretilmektedir. Yoğunluğu yüksek olan ağaç türlerinin ise, kesilmesi oldukça güçtür ve enerji ihtiyacı fazladır. Kesme esnasında da, tomruklarda derin çatlaklar meydana gelir. Kullanım yerine göre sınıflandırılan kontrplaklara göre tavsiye edilen yoğunluk aralıkları Tablo 2’de verilmektedir (Çolakoğlu, 2004).

Tablo 2. Kullanım yerine göre kontrplakların tavsiye edilen yoğunluk değerleri

Levha tipi	Yoğunluk (g/cm ³)
Yapı kontrplağı	0,41 – 0,55
Yüzeyi sert ağaç olan kaplamalar	0,43 – 0,65
Dekoratif olarak kullanılan kontrplakların iç tabakaları	0,32 – 0,45
Ambalajlamada kullanılan kaplamalar	0,35 – 0,65

Yoğunluğu yüksek olan ağaç türlerinin kaplamalarından üretilen kontrplakların, teknolojik özelliklerinin de iyi olduğu belirtilmektedir. Yoğunlukları farklı olan kayın, kavak ve okume kontrplaklarıyla ilgili yapılan bir çalışmada, kayın kontrplakların yoğunluğu, çekme-makaslama ve eğilme dirençleri ile elastiklik modülü, kavak ve okume kontrplaklarından, kavak kontrplakların çekme makaslama direnci ise okume kontrplakların çekme-makaslama direncinden büyük bulunmuştur (Bal vd., 2015). Üretildiği ağaç türünün yoğunluğuna bağlı olarak değişim gösteren kontrplak yoğunluk değerindeki değişimin; çekme-makaslama direnci ve diğer tüm mekanik özellikler üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilinmekte ve levhaların yoğunlukları ne kadar yüksek olursa mekanik direnç özelliklerinin de o kadar iyi olacağı belirtilmiştir (He vd., 2007; Demirkır, 2012).

1.6.2.1.4.3. Rutubet

Kaplama üretiminde kullanılacak olan ağaçların rutubetinin kesim esnasındaki rutubete yakın değerler olması istenmektedir. Lif doygunluğu noktası üzerindeki rutubetler (aşırı yüksek olmaması koşuluyla) kaplama soyma işlemi için uygun değerlerdir. Rutubetli olan tomrukların, kuru olanlara göre daha elastik bir yapıda oldukları bilinmektedir. Kaliteli kaplama üretilmesi için gerekli olan en uygun rutubet miktarı %50-60 arasında olup, yeknesak bir rutubet dağılımı göstermesi gerekmektedir. Yapıştırıcının oduna nüfuz edebildiği derinlik ve tutkallama sonunda meydana gelen tutkal tabakası kalınlığı, tutkallama anında odunda bulunan su miktarına bağlıdır. En uygun rutubet miktarı, kullanılan yapıştırıcıya göre farklılık göstermektedir. Örneğin, kontrplaklarda kazein, hayvansal tutkallar, kola ve soya tutkalı için % 3-5, üre formaldehit için % 5-7, fenol formaldehit tutkalı için ise % 4-6 kaplama rutubeti tavsiye edilmektedir (Çolakoğlu, 2004).

Ahşabın rutubeti; ağırlık, çürüklük hassaslığı, permeabilite, direnç, elektriksel özellikler, ısı transfer özellikleri, formaldehit emisyonu, adhezyon ve boyutsal kararlılık gibi çeşitli özellikleri etkilemektedir (Aydın vd., 2006). Kontrplak gibi kaplama esaslı ürünlerin yapılandırılması işlemi, tutkaldaki su ile birleştirilen ahşaptaki rutubet miktarı tarafından önemli derecede etkilenmektedir. Bu rutubet, kaplama esaslı ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri kadar kullanılan tutkalın özelliklerini, sertleşme işlemini ve ekonomik maliyetini (tutkal tüketimi, pres süresi ve kaplama kurutma için maliyetler) de doğrudan etkilemektedir (Bektha vd., 2014; Gütül vd., 2016).

1.6.2.1.4.4. Lif Yapısı

Genel olarak kaplama üretiminde, lifleri düzgün olması önemlidir. Ancak, estetik açıdan düzensiz olan liflerin yüzeyine yansıtılan ışıkla birlikte görüntüsünden dolayı bazı kullanım yerlerinde tercih edilebilmektedir. Liflerin düzgün olması kaplamanın kesilmesi, kurutulması ve kontrplak üretimindeki diğer işlemlerde düzgün lifli olmayan kaplamalara göre daha iyidir. Spiral lifli tomruklar kaplama üretimi bakımından uygun değildir (Çolakoğlu, 2004). Odun kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu ve kullanım değerini düşürdüğü kabul edilen lif kıvrıklığı, yerli tomruk ve kereste standartlarında ele alınmış ve istatistik testlere göre kabul edilebilir sınır değerleri belirlenmiştir. Göker vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, Kızılcam ağaçlarında lif kıvrıklığının, odunun bazı mekanik özelliklerini nasıl etkilediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Göker vd., 2000). Araştırma sonuçlarına göre, eğilme direncinde % 10 lif sapmasına kadar, eğilme elastikiyet modülünde ise % 15 lif kıvrıklığına kadar bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Basınç gerilmelerinde % 20 veya biraz daha fazla lif kıvrıklığına müsaade edilebilir. Odunda lif kıvrıklığı mevcut ise teğet yönde, diyagonal liflilik varsa radyal yönde makaslama gerilmelerinin oluşturulması tercih edilmelidir. Dinamik eğilme direncinde % 10' a kadar lif kıvrıklığına müsaade edilebilir. Sertlik değerinin de lif kıvrıklığından etkilendiği ortaya konulmuştur.

1.6.2.1.4.5. Budak

Budaklar kaplamalık tomruklarda en önemli kusurlardan biridir. Kaplamanın kurutulması sırasında veya kuruduktan sonra budaklar düşebilir. Budak boşlukları kaplamanın kalitesini düşürür. Kaliteli kaplama için budaksız tomruk arzu edilir. Fakat bazı kaplamalarda su sürgünlerinin oluşturduğu küçük sağlam budaklar ve bunların civarındaki lif düzensizlikleri arzu edilir (Çolakoğlu, 2004). Ağaç ve ağaç esaslı malzemelerden alınan küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde standart yöntemlere göre yapılan deneylerle elde edilen ortalama direnç değerleri pratikte büyük boyutlu, budak, çatlak vb. kusurları olan yapı malzemesinde kullanılamamaktadır. Ağaç malzemenin homojen bir yapıya sahip olmayışı, özellikle budaklar, çatlaklar, spiral liflilik vb. kusurlar, rutubeti, sıcaklık, yükleme şekli, süresi ve daha birçok faktör direnç değerlerini azaltıcı etki yapmaktadır (Efe ve Kasal, 2007).

1.6.2.1.4.6. Tutkal

Uygun bir şekilde tutkalanmamış ve iyi bir yapışma sağlanamamış levhalardan elde edilen örneklerde tutkal hattındaki ayrılmalar nedeniyle düşük direnç değerleri elde edileceği belirtilmektedir (Aydın ve Demirkır, 2010). Gillespie ve River (1976) tarafından yapılan bir çalışmada, 7 farklı tutkal türü ile (ÜF, MÜF, FF, FF (asit katalizörlü), PVAc (katalizörlü), RF, MF) üretilmiş 3 tabakalı kontrplaklarda 8 yıl süre ile açık alanda maruz kalma testi sonunda yapışma performansları makaslama testi ile ölçülmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, en dayanıksız tutkalın ÜF, en dayanıklı yapıştırıcıların ise FF ve RF tutkalları olduğunu göstermiştir (Bal, 2011).

Tutkalların sahip olduğu kimyasal içerik nedeniyle farklı presleme koşullarında üretilmesinden dolayı kontrplakların teknolojik özelliklerinin farklı olabileceği belirtilmektedir (Mirski, 2009). Örs vd. (2002), üre-formaldehit tutkalı kullanılarak elde edilen kavak kontrplaklarda, Ü/F mol oranı, üre ve katkı maddesi (buğday unu) miktarı, pres basıncı ve süresi ile kaplama kalınlığının, çekme-makaslama ve eğilme direnci ile eğilmede elastiklik modülü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Üre ilavesi çekme-makaslama direncini azaltmış, eğilme direnci ve elastiklik modülünü arttırmıştır. Katkı maddesi miktarının artması yapışma direncini artırırken, eğilme direnci ve elastiklik modülünü etkilememiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda melamin katkısının tutkalın

özelliklerini iyileştirdiği, ayrıca melamin katkılı bileşiklerle muamele işleminin, odun esaslı malzemelerin yapısal ve direnç özelliklerini arttırdığı bildirilmiştir (Golbabaie, 2006; Gindl ve Gupta, 2002). Kontrplağın kullanıldığı yerde eğilme direnci büyük önem arz ediyorsa ve suya karşı dayanım ön plana çıkıyorsa, Poliüretan tutkalının (PU), diğer tutkal türlerine göre daha yüksek mukavemet göstermesi nedeni ile kontrplak üretiminde kullanımı daha uygun ve verimli olacağı literatürde belirtilmiştir (Özalp vd., 2009).

1.6.2.1.4.7. Presleme Koşulları

Sıcak presleme esnasında kontrplak taslağının orta tabakasındaki ısı oranı, kontrplağın sonuç kalitesi üzerinde son derece önemli olmakta ve bunu sıcak pres sıcaklığı, süresi, basıncı, kaplama tabakaları ve rutubet içeriği gibi bir çok faktör etkilemektedir. Kontrplak üretiminde kalite ve maliyet üzerinde sıcak presleme son derece önemli olup ana parametreler; sıcak presin sıcaklığı, süresi ve basıncıdır (Li vd., 2014). Genel olarak literatürde yapılan çalışmalarda pres süresinin artmasıyla birlikte mekanik özelliklerde bir artış olduğu görülmektedir (Hong ve Paridah, 2013; Kurowska vd., 2011; Kim vd., 2008).

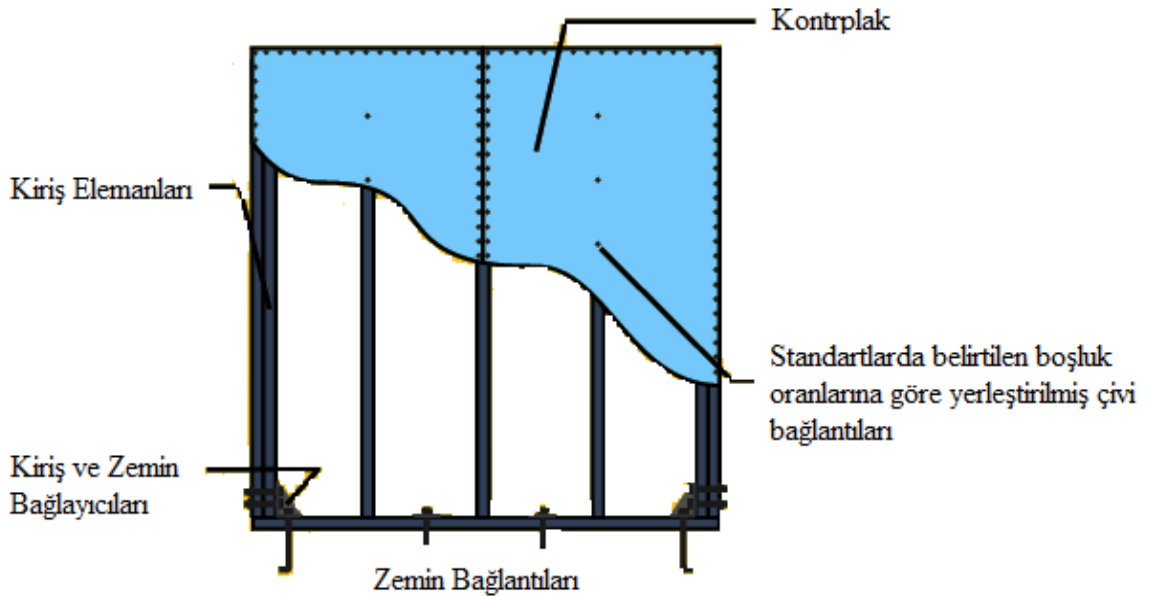
Modifiye edilmiş soya protein tutkalları ile üretilmiş kontrplakların yapışma direnci üzerine sıcak pres parametrelerinin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; 1.5 mm kalınlığındaki kavak kaplamalardan 3 tabakalı olarak üretilen kontrplak levhaları için en ideal direnç değerleri 620-720 saniye pres süresi ve 120–125 °C pres sıcaklığı aralığında bulunmuştur. Bu çalışmada kontrplak levhalarının orta tabakasına sıcaklığın ulaşma süresinin önemli oranda kaplama kalınlığı ile ilgili olup kalınlık arttıkça arttığı tespit edilmiştir (Li vd., 2014).

Farklı pres basıncı ve süresi kullanılarak üretilen kontrplakların teknolojik özelliklerinin araştırıldığı başka bir çalışmada; pres basıncı ve süresinin yapışma direnci, eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerine olan etkilerini incelemek için iki farklı pres süresi ve 4 farklı pres basıncı kullanılmıştır. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin pres basıncının artması ile artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca pres basıncı ve süresinin özgül ağırlık üzerinde bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Pres basıncının artmasıyla birlikte özgül ağırlıkta artış olmuştur (Çolakoğlu 1993).

1.6.3. Bağlantı Elemanları ve Yapısal Davranış Üzerine Etkisi

Perde duvar tasarımındaki amaç duvarlara uygulanan yatay yükleri taşımak ve onları yapının zeminine iletmektir. Başka bir deyişle perde duvarlar, oluşan kesme ve eğilme gerilmelerine direnç göstermek maksadı ile tasarlanmaktadır. Perde duvar tasarım metodunda yatay eğme momentlerini, köşe kenar elementleri taşımakta, yatay kesme momentlerini kenar elemanları arasındaki kaplamalar taşımaktadır (Wood, 2005). Sistemler arasındaki (perde duvar) ve sistemler içindeki (kaplama ve çerçeve arasındaki) bağlantıların uygun tasarımı yanında çerçeve bağlantıları da büyük öneme sahiptir (Wood, 2005).

Ahşap perde duvarların dayanıklılığı ve sağlamlığı, başlıca kaplama ve çerçeve elemanları arasındaki bağlantı elemanlarına bağlıdır. Bağlantılar mekanik bağlayıcılar, tutkallar ya da her ikisinin kombinasyonu olabilir. Her ikisinin kullanımı avantaj sağlayabilir, fakat çoğu uygulama için bu ekonomik olmamaktadır (McNatt, 1979). Ahşap perde duvarlardaki bağlantı elemanlarının konumu Şekil 17’de gösterilmektedir (Bryan ve Readling, 2008).



Şekil 17. Ahşap perde duvarlardaki bağlantı elemanlarının konumu

Perde duvarların davranışları ve toplam dayanımları, kaplama ve çerçeve arasındaki vida bağlantı elemanlarının davranışı ile belirlenmektedir. Bir çalışmada, yapısal ahşap

levhalarla kaplı perde duvarların bağlantı elemanlarının direncine bağlı olduğu da vurgulanmaktadır (Timothy ve McCormick, 2005). Perde duvarlarda kullanılan vida gibi bağlantı elemanları süneklik, sönüm ve enerji dağıtımını sağlamaktadır (Chui vd., 1998; Lam vd., 1997). Bir yanal yük dayanım sisteminin başlangıç bükülmezliğinin, dayanımının veya enerji yayma kapasitesinin değişiminin yapının performansını etkileyebileceği belirtilmektedir (Shenton vd., 1998). Bir diğer çalışmada kontrplak kaplı bir perde duvarın direnç ve rijitliklerinin başlıca kontrplak ile çerçeve elemanı arasında bağılıcılık görevi gören vidaların dayanımına bağlı olduğu belirlenmiştir (Bott, 2005). Başka bir çalışmada, duvar sisteminin direnç değerleri ile ilgili çok nadir problem yaşandığı ve esas başarısızlık nedenlerinin, perde duvar ve destek elemanları arasındaki bağlantı elemanlarıyla ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Dolan, 1991).

Rijitlik açısından perde duvarlarda kullanılan kontrplağın, kaplama materyali olarak kullanılan malzemeler arasında önemli bir yere sahip olduğu belirtilmektedir. Ayrıca bir ahşap çerçeve sisteminin yanal yük dayanımının; perde duvarı oluşturan kereste, kaplama malzemesi ve bağlantı elemanlarının bükülmezliğine bağlı olduğu vurgulanmıştır (Li vd., 2007).

1.6.3.1. Yanal Vida Dayanımı

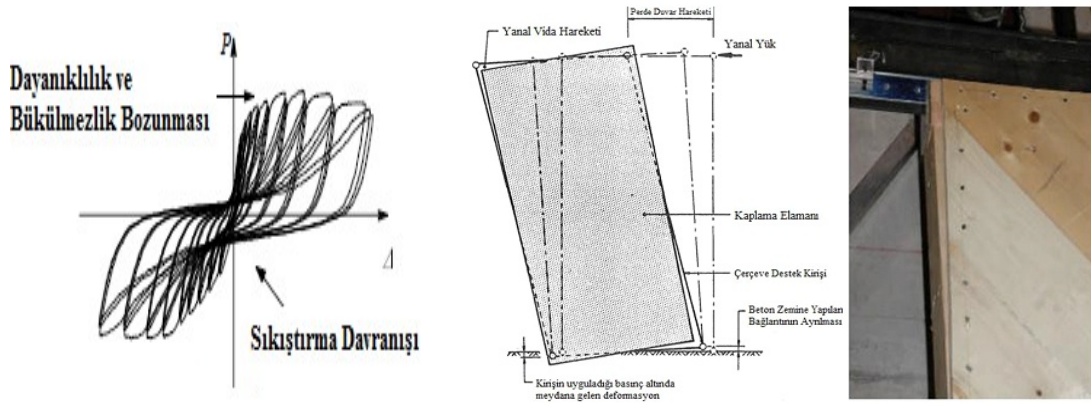
Yanal vida dayanımı testinin temel amacı vida bağlantılarının mekanik davranışını anlamak ve elde edilen verileri bir sonlu eleman modelleme programında kullanarak sistemin yapısal davranışını tahmin etmektir (Pirvu, 2008).

Son yük noktası, sınırlandırdığı alan ve bu noktadaki yer değiştirme de duvarın esnekliği ile ilgilidir. Bu nokta ne kadar geniş olursa, yük o kadar uzun süre taşınarak sistem yıkılmadan kalır. Bu nokta, ülkelerin deprem kodlarına göre belirlenmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, sistemin yüksek rijitlik ve maksimum yük değeri verirken, son yük noktasındaki yer değiştirmenin de büyük olmasıdır. Ahşap malzemelerde bu yakalanabilmekte iken, çeliğin rijitlik değeri yüksek fakat esnekliği olmadığından maksimum yüke ulaştıktan sonra az bir yer değiştirme ile kırılarak ani çökmelere neden olabilmektedir. Çivilerin ahşap yapılar ve ahşap birleştirmelerde en yaygın kullanılan bağlantı elemanlarından biri olduğu bilinmektedir (Demirkır, 2012). Scholten (1965) yanal dayanımın, bir yapının yada yapıyı oluşturan elemanların direnci ve stabilitesi üzerine etkili bir faktör olduğunu belirtmektedir.

Yapısal levha ürünü (kontrplak, OSB), ahşap çerçeve elemanı, levhalar ile çerçeve arasındaki bağlantıyı sağlayan çiviler ve temel kısımlarından oluşan ahşap perde duvarda en zayıf kısım olarak bağlantı elemanları görülmektedir (Kalkert ve Dolan, 1997). Bu nedenle yapının direncini tahmin etmede çivi ve vida gibi bağlantı elemanlarının davranışının önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (Foliente, 1995).

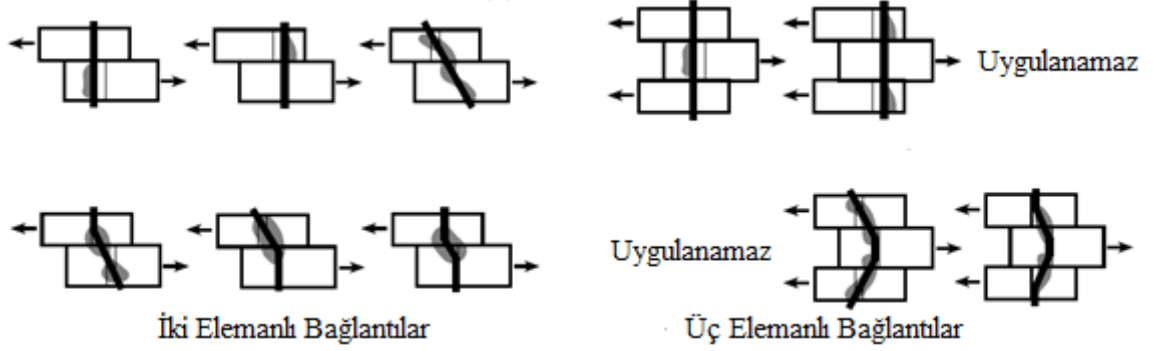
Ahşap ve ahşap ürünlerin yapı maksatlı etkin kullanımı için bireysel ahşap elemanların ve levha ürünlerinin birbirleri ile bağlantılarının iyi çözümlenmesi gerekmektedir. Ahşap yapıların mühendislik tasarımında, böylesi bağlantı elemanlarının yapısal davranış ve kapasitesi önemli bir yer tutmaktadır (Stieda, 1990).

Ahşap perde duvarlar, çoğu yerleşim ve ticari yapılarda yanıl moment ve rüzgâr yüklerine karşı direnç sağlamaktadır. Perde duvar davranışları ve toplam dayanımları, kaplama ve çerçeve arasındaki vida bağlantı elemanlarının davranışı ile belirlenmektedir. Şekil 18’de vida bağlantılı bir kaplama çerçeve bağlantısının yanıl yük deformasyonu tarif edilmektedir. Kaplamadan vidaya iletilen yanıl yük, vida başını yerinden oynatarak vida boynuna göre konumunu değiştirmektedir. Vida başı yer değiştirdiğinde ve vida boynu deforme olduğunda, kuvvet-yer değiştirme ilişkisi doğrusaldır. Yükleme devam ettikçe ve bağlantının yer değiştirmesi arttikça, ahşap lifleri kırılır, ezilir ve vida eğilmeye zorlanabilir. Eğer yük geri çekilirse, vida ahşap yüklerin ezilmesi ve kırılması ile oluşan boşluğa hareket eder. Bağlantıların histerik davranışı doğrusal olmayan bir ahşap çerçeve ya da kaplamaya çakılmış elastik-plastik vidanın modellenmesi ile belirlenebilir. Histerik davranış Şekil 18’de gösterilmektedir. Şekil 18’de ayrıca yanıl yük etkisi altında bağlantı elemanın hareketi görülmektedir (Stewart, 1987).



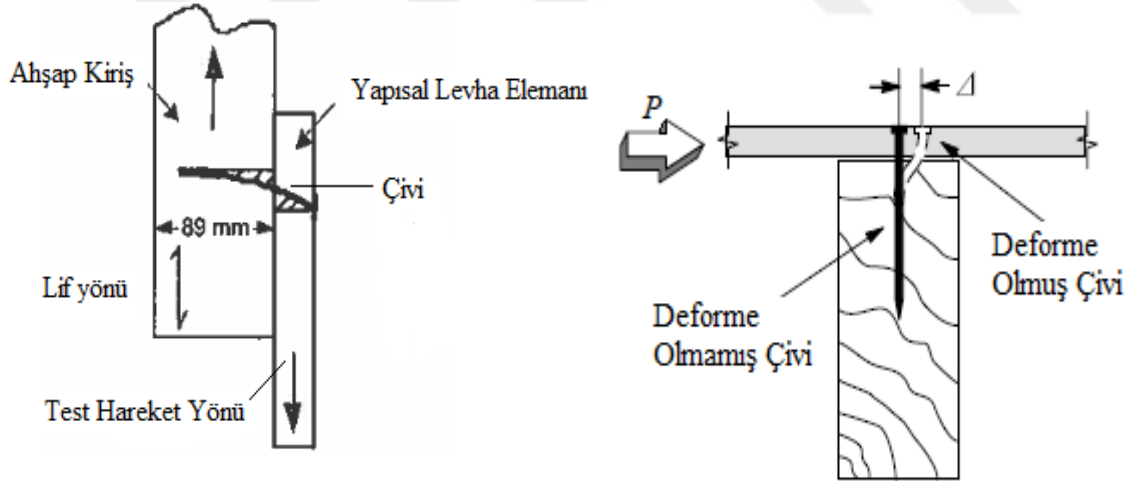
Şekil 18. Bağlantı elemanının hareketi ve histerik davranış

Yanal vida dayanımı testi sonucunda vida veya çivi gibi bağlantı elemanlarının çeşitli şekillerde testi sonlandırması mümkündür. Şekil 19'da bu durumlardan bazıları görülmektedir (The Encyclopedia of Wood, 1999).



Şekil 19. Vida veya çivi gibi bağlantı elemanlarının çeşitli şekillerde testi sonlandırması

Yanal vida dayanımı testinde bağlantı elemanı, destek ve yapısal levha elemanın durumu Şekil 20'de gösterilmektedir.

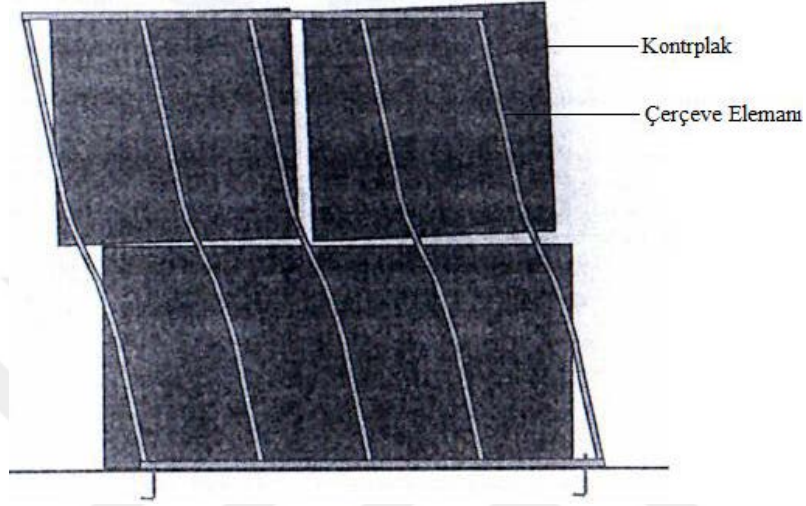


Şekil 20. Bağlantı elemanı, destek ve yapısal levha elemanın durumu

Ahşap duvar bağlantılarında vidalardan daha sünek olmaları nedeniyle çiviler tercih edilmektedir. Sünekliğin yüksek olması, sismik enerjinin daha iyi soğurulması anlamına gelmektedir. Vidalar ise, zemin kaplamalarında daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca çiviler hava tabancaları ile kolay bir şekilde çakılabilmektedir. Yapısal ahşap elemanlar

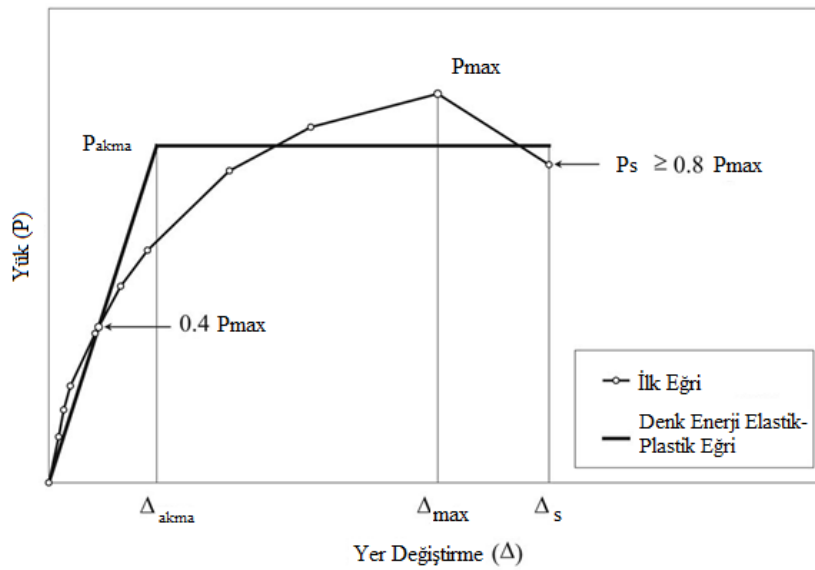
çiviler ile bağlandıklarında istenen direnç değerlerine ulaşabilmektedir (McCormick, 2005).

Şekil 21’de bağlantı elemanlarının yanal yük etkisi altındaki başarısızlık durumlarında meydana gelecek durum gösterilmektedir;



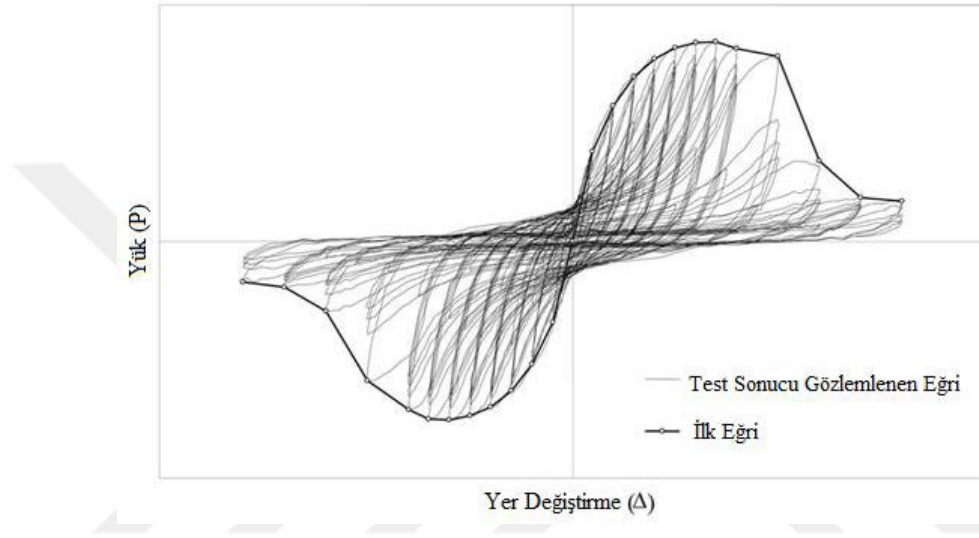
Şekil 21. Bağlantı elemanlarının yanal yük etkisi altındaki başarısızlık durumu

ASTM E 2126 standardına göre yanal vida dayanımı testinde uygulanan yük ve meydana gelen yer değiştirme arasındaki ilişki Şekil 22’de gösterilmektedir;



Şekil 22. Uygulanan yük ve meydana gelen yer değiştirme arasındaki ilişki

Şekil 23'deki ilk eğri monotonic testten elde edilen ve yükleme esnasında uygulanan her birimdeki yük için belirlenen yer değiştirmeyi gösteren ilk eğridir. Denk enerji elastik-plastik eğrisi ise ilk eğrinin orjini ve son yükleme noktası arasındaki alana eşit olan ideal eğri olarak tanımlanmaktadır. İlk eğri monotonic test sonucu gözlemlenen eğri ve her yük için belirlenen yer değiştirme miktarları denk enerji elastik-plastik eğrisinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (ASTM E 2126, 2010).



Şekil 23. Test sonucu gözlemlenen eğri ile ilk eğrinin gösterimi

Bağlantı elemanının davranışını ve dayanımını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Tablo 3'de bu faktörler özetlenmektedir (Ehlbeck, 1979).

Tablo 3. Bağlantı elemanının davranışını etkileyen faktörler (Demirkır, 2012).

Materyaller ve Özellikleri			
Vida Özellikleri	Ahşap Eleman Özellikleri	Bağlantı Şekilleri	Yük Uygulama Koşulları
Tür Boyut Şekil Yüzey Kaplaması Uzunluk Mekanik Özellikler Süneklik Rijitlik Eğilme Direnci Gerilme Direnci	Yoğunluk Çatlak Daralma Genişleme Rutubet İçeriği Mekanik Özellikler Elastikiyet Modülü	Vida sayısı Parça kalınlığı Ara yüzey boşlukları Ahşap yüzey ve vida eksenini arasındaki açı Penetrasyon derinliği	Yük çeşidi Yük Oranı Uygulama Yönü Montaj ve yükleme zamanı

Bu faktörlerin haricinde, bağlantı elemanının Şekil 24’de görüldüğü gibi hatalı çakılması durumunda da performansın düştüğü belirtilmektedir (Williamson, 2011).



Hatalı Çakılmış Bağlantı Elemanı Düzgün Çakılmış Bağlantı Elemanı

Şekil 24. Bağlantı elemanı montaj hatası

1.7. Yapısal Davranış Belirleme Yöntemleri

Deprem Yönetmeliği 2007’de, yeni yapılacak binaların deprem hesabında kullanılmak üzere üç adet elastik hesap yöntemi bulunmaktadır. Bunlar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi’dir. Yönetmelikte belli koşullar altında her üç yöntemin de kullanılabileceği belirtilmektedir. Bu gibi durumlarda, her yöntemde binaların tasarımında esas alınacak yatay yüklerin farklı şekilde elde edilmesi deprem hesap yönteminin seçimini gündeme getirmektedir. Bu aşamada genellikle uygulaması daha kolay olan, daha az işlem hacmi ve zaman gerektiren yöntem seçilmektedir. Bu yöntem de genellikle birçok mühendis tarafından daha iyi bilinen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve kimi zaman da Mod Birleştirme Yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Uçar ve Merter, 2012).

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, yüksek mod etkilerinin önemli olmadığı düzenli ve yüksek olmayan binalar için uygundur. Matematiksel bakış açısından, Mod Birleştirme Yöntemi, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ne göre daha kesin bir yöntem olarak görülür. Ancak taşıyıcı sistemin elemanlarının atalet momentlerinde, davranışlarındaki belirsizlikler yanında hesapta depremi temsil eden spektrum eğrisindeki kabuller bu yöntemin de önemli bir yaklaşıklık içerdiğini gösterir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin kabullerinin daha az sayıda olması pek çok durumda yöntemle olan güveni artırır. Bununla birlikte Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi’nin tüm bina ve bina türü

yapının hesabında herhangi bir koşula bağlı kalınmaksızın kullanılması bu iki yöntemi daha çok ön plana çıkarmaktadır. Deprem yüklerinin binaya doğrudan ettirilerek hesap yapılması nedeniyle Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri yapı davranışının en doğru şekilde modellendiği yöntemler olarak karşımıza çıkmakta ve diğer iki hesap yöntemine göre kesin kabul edilmektedir (Uçar ve Merter, 2012).

Deprem Yönetmeliği-2007’de verilen elastik tasarım ivme spektrumları kullanılarak Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi’nden ve Mod Birleştirme Yöntemi’nden elde edilecek deprem yükleri, iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri birbiriyle karşılaştırılabilir. Ancak yönetmelikte yer alan tasarım ivme spektrumlarının oluşturulmasında esas alınan yapay veya gerçek deprem kayıtları bilinemediğinden, Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi’nden elde edilecek büyüklükler belirlenemez veya aynı depremlere ait olmaz (Uçar ve Merter, 2012).

1.7.1. Sonlu Eleman Yöntemi

Sonlu eleman yöntemi, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal yöntemdir. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu yöntemin, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de yaygın olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar yöntemi ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde birçok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi yöntemlerden birisi olmuştur.

Sonlu eleman yönteminin değişik mühendislik alanları için bu kadar popüler olmasının ana nedenlerinden biri, genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilmesidir. Sonlu eleman yöntemindeki temel düşünce, karmaşık bir probleme de problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır. Sonlu eleman yönteminde, çözüm bölgesi, çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır.

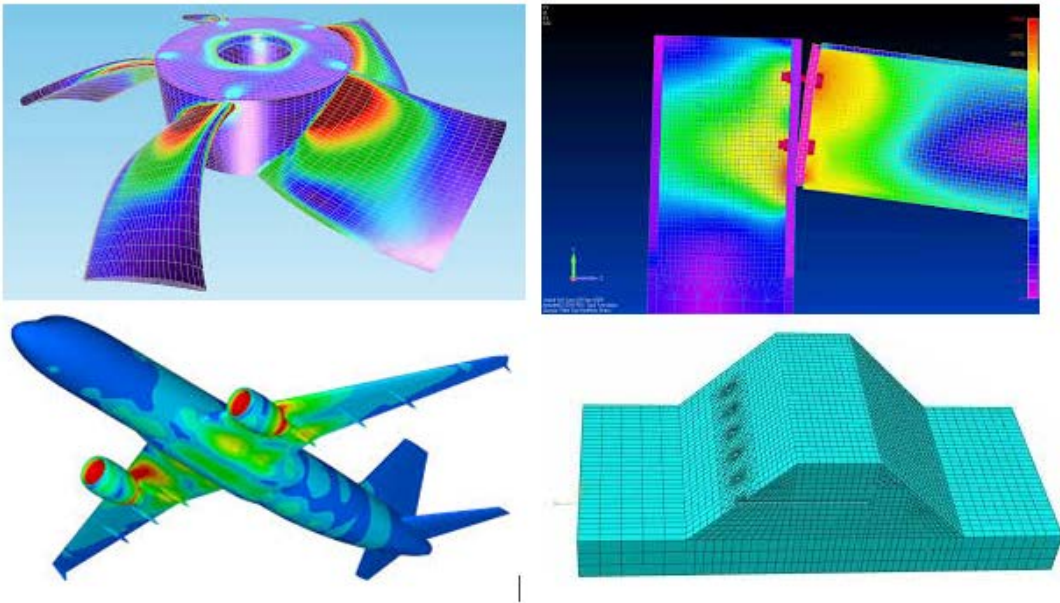
Sonlu elemanlar yönteminin başlıca üç temel niteliği bulunmaktadır:

- Geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır.
- Her elemandaki, sürekli fonksiyonların, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir.
- Aranılan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktadaki değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır.

Yöntemin başlıca avantajları olarak; modellerin tasarım geliştirmede kullanılabilmesi ile prototip gerektirmemeleri gösterilebilir. Dezavantajları olarak; modelleme kabulleri, modelin bağlantı tasarımlarının zorluğu, bileşenlerin etkileşimlerinin tahmin zorluğu ve sönümün ihmal edilebilirliği gösterilebilir. Bazı sonlu eleman kullanım alanlarına ait görseller Şekil 25’de verilmiştir.

Sonlu Eleman Yönteminin diğer sayısal yöntemlere göre avantajları;

- Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.
- Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.
- Problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini mümkün kılar ve basitleştirir.
- Sınır şartları kolayca uygulanabilir (Arıkan, 2017; Topçu, 2017).



Şekil 25. Bazı sonlu eleman kullanım alanlarına ait görseller

Çalışma amacına uygun olarak deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanarak ahşap taşıyıcı sisteme sahip çerçeve modellerinin sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında ve perde duvarın tüm detaylarının her bir varyasyon için belirli bir deprem yükü altında göstereceği performansın tahmin edilmesinde SAP2000 programı kullanılmıştır. Bu program, bütün mühendislik yapılarının lineer ve lineer olmayan statik ve dinamik analizlerinde kullanılmaktadır.

1.8. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki nöron olarak isimlendirilen birçok sinir hücresinden oluşan biyolojik sinir ağlarının çalışma mekanizmasından esinlenerek geliştirilmiş, beynin temel özelliklerini modellemeye çalışarak, verileri işleyecek şekilde tasarlanan sistemlerdir (Sağiroğlu vd., 2003).

YSA, süreç içinde kendi kendine öğrenebilen ve karar verebilen bir algoritmaya sahiptir (Ataman vd., 1999). Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki bilinmeyen ve tespit edilmesi zor olan ilişkiler, YSA ile varsayımda bulunulmadan ve ön bilgiye ihtiyaç duyulmadan ortaya çıkartılabilir. YSA doğrusal modellerden farklı olarak ilgilenilen problemin verileri arasındaki ilişkilerin doğrusal olmadığı, belirsizlik ve kesinsizlik durumlarında da modellemeyi sağlayabilmektedir (Zhang vd., 1998).

YSA, birbirleri ile paralel ve ardışık bir biçimde bağlanan yapay nöronlar ile yapay nöronların girdisi üzerinde etki eden farklı ağırlık değerlerine sahip bilgi ileten bağlantılarından oluşur (Yıldız, 2001; Demir vd., 1999). Bilgi işleme, ağa gelen bilgilerin bu ağırlıklı bağlantılar kullanılarak çıktıya dönüştürülmesi ile gerçekleşir. Bu yapı YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini arttırmakta, eş zamanlı çalışarak karmaşık işlemleri yerine getirmesini sağlamaktadır.

YSA; probleme özel basit yapıları, öğrenebilme, genelleme, paralel işlem yapabilme ve hatayı tolere etme kabiliyetlerinden ve modellenmesi güç olan, doğrusal olmayan karmaşık problemlere kolay çözümler sunabilme gibi üstünlüklerinden dolayı karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve denetiminde çok geniş uygulama alanı bulmuştur (Sağiroğlu vd., 2003; Atik, 2004; Haykin, 1994; Skapura, 1995). Bu hesaplama ve bilgi işleme gücünü geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zordur (Öztemel, 2006).

Yapay sinir ağıları çok çeşitli sorunlara çözümler üretebildiklerinden dolayı uygulamalı bilimlerde ve mühendislik problemlerinde yaygın olarak ve başarılı bir biçimde kullanılmaktadırlar (Schmoldt vd., 2000).

Ağaç malzeme ile ilgili birçok alanda da yaygın olarak kullanılan YSA teknikleri ile yapılan bazı çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Odun kalitesinin belirlenmesinde (Guangsheng ve Li, 2008) odunun bazı mekanik özelliklerinin tahmininde (Samarasinghe vd., 2007; Mansfield vd., 2007) odun kusurlarının belirlenmesi ve sınıflandırılmasında (Gonzalo vd., 2009; Nordmark, 2002), odun tanıma sistemlerinde (Esteban vd., 2009), odun kaplama kusurlarının sınıflandırılmasında (Castellani ve Rowlands, 2008), yonga levha mekanik özelliklerinin tahmininde (Fernandez vd., 2008), yonga levha üretiminde proses parametrelerinin optimizasyonu ve yapışma direncinin tahmininde (Cook vd., 2000), MDF panellerin yapısal hasarlarının belirlenmesinde (Long ve Rice, 2008), yonga ve lif levhaların rutubet dirençlerinin tespitinde (Esteban vd., 2010) odun dielektrik kayıp faktör tahmininde (Avramidis vd., 2006), odunun termal iletkenliğinin hesaplanmasında (Xu vd., 2007), odunun rutubet analizinde (Zhang vd., 2007) ve odunun kurutma prosesinde (Ceylan, 2008) YSA kullanılmıştır.

Çalışma amacı doğrultusunda bazı parametrelere ait optimum şartların belirlenmesi, ilgili endüstride hızlı ve etkin bir üretim için önem arz etmektedir. Ancak optimum şartların belirlenebilmesi için sayısız üretim, test ve analiz yapılması gerekir. Bu durum ekonomik ve pratik olarak kabul edilebilir değildir. Bu nedenle çalışma kapsamında yapay sinir ağıları yönteminden faydalanılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Ağaç Malzeme

Çalışmada kullanılan soymalık tomruklar, kontrplak endüstrisinde kullanıma uygun niteliklerdeki iğne yapraklı ağaçlardan seçilmiştir. Ahşap yapılarda genel olarak iğne yapraklı ağaçların tercih edilmesi, yapılan ön çalışmalarda gösterdikleri başarılı performanslar, odun verim güçleri (Eta) ve ülkemizde alansal dağılım açısından Orman Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan orman atlasındaki (Orman Atlası, 2014) sıralamada ilk beşte bulunmaları nedeni ile çalışmada ağaç türü olarak, Sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve Karaçam (*Pinus nigra*) türleri kullanılmıştır. Bu türlerin yanında alansal dağılım anlamında 9. sırada bulunan fakat ahşap yapılarda tercih edilen ağaç türlerinden biri olan Doğu Ladini (*Picea orientalis* L.)’de çalışma kapsamında kullanılan bir diğer ağaç türüdür. Temin edilen tomrukların, çaplarının en az 35 cm ve silindirik formda olmasına, çürük ve renk bozukluğunun bulunmamasına, düzgün lifli, budaksız olmasına ve reaksiyon odunu içermemesine dikkat edilmiştir. 6 m boyunda çapları 35 ile 50 cm arasında değişen tomruklardan her bir ağaç türü için 5’er adet temin edilmiştir.

2.1.1.1. Sarıçam (*Pinus silvestris*) Odun Özellikleri

Ülkemizde, Eskişehir Yeşildağ’dan başlayıp doğuya doğru Kuzey Anadolu yüksek kesimlerini kaplayarak Sarıkamış üzerinden Kafkas’lara geçen Karadeniz Bölgesi’nde Of, Sürmene dolaylarında deniz kıyısına inen sarıçam; Artvin, Rize çevresinde doğu ladini ile karışık orman kurarak 2100 metreye kadar çıkar (Tutuş vd., 2010). Sarıçam, 30-45 m boy, 0,6-1,0 m çap yapmakta, gövde şekli düzgün ve dolgun olup, kullanılabilir gövde uzunluğu 18-20 m dir. Diri odun 5-10 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı sarı ve kırmızımsı kahverengindedir. Kesimden sonra daha da koyulaşır. Yıllık halka sayıları belirgin ve hafif dalgalıdır. Yaz odunu koyu renkli olup, açık renkli ilkbahar odunu ile kontrast oluşturur (Bozkurt ve Erdin, 1992).

Sarıçam odunu mat olup, parlak değildir. Taze halde iken reçine kokuludur. Dekoratif bir görünüşü vardır. Odunu oldukça sert ve orta ağırlıktadır. Kolay kurutulur, çatlama ve dönüklüğe eğilimi azdır. iyi işlenir ve yapıştırılır. Yüzey işlemlerinde reçine sızıntısı nedeniyle güçlük çıkar. Güç cilalanır. Öz odunu oldukça dayanıklı, diri odunu mantar ve böceklere karşı hassas, odununun rutubeti %25'ten fazla olduğu hallerde, 20-25 °C sıcaklıklarda mavi renk oluşumu görülür (Bozkurt ve Erdin, 1992). Tam kuru yoğunluğu 0,496 gr/cm³, hava kurusu yoğunluğu 0,530 gr/cm³ tür. Liflere paralel yönde basınç direnci 380 kg/cm², liflere dik yönde ise 46 kg/cm²' dir. Hava kurusu haldeki eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü ise ortalama 650 ve 120000 kg/cm²'dir (Toker, 1960). Özellikle yapı malzemesi olmak üzere, mobilyacılık ve oymacılıkta, ayrıca çit kazığı, tel direği ve maden direği, yapı iskelesi, travers, köprü inşaatı, deniz araçları, ambalaj sandığı, yongalevha ve kontrplak sektörü gibi kullanım alanları bulunmaktadır (Demirkır, 2012).

2.1.1.2. Karaçam (*Pinus nigra*) Odun Özellikleri

Türkiye'de 2.527.685 hektar saf karaçam ormanı bulunmaktadır. Sinop'tan Boyabat'a geçiş alanında Kastamonu dolaylarında, Ilgaz Dağ'ında, Bolunun kuzey ve güneyindeki ormanlarda saf ve bazen sarıçam, bazen de göknarlarla birlikte orman oluşumunda yer alır. Batı Anadolu da Uludağ'da 600-1400 m de bazen saf ya da baskın tür olarak, 1400 m'den yukarı yerlerde ise sarıçam ya da göknarlarla birlikte orman halinde, Balıkesir, Çanakkale ve Kaz Dağlarında saf ya da Kaz Dağları göknarı ile karışık orman durumunda bulunur (Yaman, 2015). 35-40 m boy yapar. Daha çok kıyı bölgelerinin yukarı kesimlerinde saf ya da karışık ormanlar kurar, hatta stebe kadar sokulur. Enine kesit mat, teğet kesitte yaz odunu şeritleri sarıçama nazaran daha koyu renktedir. Tam kuru yoğunluğu 0.52 gr/cm³, hava kurusu yoğunluğu 0.56 gr/cm³ tür. Liflere paralel basınç direnci 479 kg/cm², liflere dik çekme direnci 23.4 kg/cm², eğilme direnci ise 1096 kg/cm²' dir (Bozkurt ve Göker, 1996). Çivi ve vida tutma direnci iyi, işlenmesi kolaydır. Karaçam, bünyesi değiştirilmeden tel, maden direği, çit kazığı, travers, iskele kazıkları, köprü ve kiriş aksamı, kaldırım parkeleri yapımında kullanılırken ağaç borular ise, gemi ve ufak teknelerde, bina inşaatında iç dekorasyonda, mobilya ve talaş levhaları imalinde özellikle kullanılabilir. Ayrıca, kuru madde ambalaj fiçilerinde, tarım aletlerinde, karoser, vagon ve spor uçak yapımı gibi kullanım alanlarında değerlendirilir (Yaman, 2015).

2.1.1.3. Doğu Ladini (*Picea orientalis* L.) Odun Özellikleri

Doğu Ladini, ülkemizde eski Sovyet Birliği ülkeleri sınırı ile Ordu- Melet ırmağı arasında, dağların denize bakan yamaçlarında saf ve karışık meşçereler oluşturur. 40-50 m bazen 60 m boylara ulaşabilen, 1,5-2 m çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli birinci sınıf orman ağacıdır. Doğu Ladini odunu sarımsı beyaz renkte olup, boyuna kesitlerde ipek gibi parlaktır. Diri odun ve öz odun renk bakımından farksız olup gövdenin iç kısmında diri odun ile aynı renkte ancak su oranı daha az olan olgun odun bulunmaktadır. Yıllık halka sınırları belirgin ve yaz odunundan ilkbahar odununa geçiş tedricidir. Yıllık halka içindeki yaz odunu kırmızımsı sarı renkte ve çok dar olup radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturmaktadır (Çalıova, 2011). Doğu Ladini odununun tam kuru yoğunluğu ortalama olarak $0,416 \text{ g/cm}^3$ ve hava kurusu yoğunluğu $0,451 \text{ g/cm}^3$ 'tür (Mayes ve Oksanan, 2002). Mekanik özelliklerinden liflere paralel basınç direnci ortalama olarak, 644 kg/cm^2 ; eğilme direnci 870 kg/cm^2 ; makaslama direnci 150 kg/cm^2 ; yarıma direnci $8,6 \text{ kg/cm}^2$ dir (Çalıova, 2011). İşlenmesi kolaydır. Soyulabilir, kesilebilir. İyi yapıştırılır. Verniklenmesi güçtür. Asit ve bazlara karşı dirençlidir. Binalarda yapı malzemesi olarak kullanılır. Radyal kesilmiş kaplama levha olarak, gemi direği, maden direği, mekanik ve kimyasal odun hamuru, ambalaj talaşı, yonga ve lif levha yapımında kullanılmaktadır (Anşin ve Özkan, 1993).

2.1.2. Tutkal

Bu çalışma kapsamında; kontrplak endüstrisinde dış mekanlar için tercih edilen tutkal türlerinden fenol formaldehit reçinesi kullanılmıştır.

2.1.2.1. Fenol Formaldehit

Fenol formaldehit (FF) tutkalları ahşap endüstrisinde en fazla kullanım oranına sahip tutkal türlerinden biridir. Başlıca uygulama alanları; dış ortam koşullarında kullanılacak kontrplaklar, LVL, OSB gibi tabakalı ahşap levha ürünleri sayılabilir. Fenol formaldehit tutkalları aynı zamanda elektroteknik, uçak endüstrisi ve plastik kompozit endüstrisinde de kullanılmaktadır (Timar, 2006). Fenol formaldehit reçineleri, özellikle ekstrem koşullarda kullanılan iğne yapraklı ağaç kontrplaklarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu reçineler koyu kahverengi renge sahiptir. Sıvı, toz veya film halinde bulunabilmektedir. Dayanıklılığı çok yüksek bir tutkaldır. Çalışmada, %47'lik fenol formaldehit tutkalı kullanılmıştır.

2.1.3. Kontrplak Levhalarının Üretimi

Çalışma kapsamında araştırılan teknolojik özelliklerin homojenlik göstermesini sağlamak amacıyla, her ağaç türü için tomruklar aynı bölgelerden elde edilmiştir. Kontrplak üretiminin, duvar inşasında kullanılabilecek büyük boyutlu levhaların üretimini gerçekleştirebilecek bir tesiste yapılması planlanmıştır. Bu amaçla kontrplak üretimi aşamaları olan kaplama soyma, kaplama kurutma, tutkallama ve presleme adımları kontrollü bir şekilde Ordu/ Fatsa'da bulunan Aykonsan Kontrplak San. ve Tic. Ltd. firması bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel şartlarda yapılan üretime ait koşullar aşağıda sırasıyla verilmiştir;

2.1.3.1. Kaplama Soyma ve Kurutma İşlemi

Soyma işleminde soyma makinesi yatay açıklığı kaplama kalınlığının % 85'i kadar, düşey açıklık ise 0,5 mm olarak ayarlanarak 2 mm kalınlıkta ve 1,20x2,40 m ebatlarında kaplama levhaları üretilmiştir. Üretilen soyma kaplamalar, kaplama kurutma makinesinde 110°C sıcaklıkta kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

2.1.3.2. Kaplama Levhalarının Tutkallanması

Kaplama levhalarının tutkallanmasında 4 silindiri tutkallama makinesi kullanılmıştır. Levhanın tek yüzüne 160 gr/m² olacak şekilde tutkal çözeltisi sürülmüştür. 5 ve 7 tabakalı olarak hazırlanan taslak levhalar ön presleme işlemine tabi tutulmuştur. Eurocode 8 (2005) standardında perde duvarlarda kullanılacak kontrplak levhaların en düşük kalınlıklarının 9 mm olması gerektiği belirtilmektedir. Bazı çalışmalarda farklı kalınlıklarda levhalar da kullanılmış ve tabaka sayısının duvar performansları üzerine etkili olduğu belirlenmiştir (Pirvu, 2008). Bu nedenle bu çalışmada 2 farklı kalınlığın dirençlerinin test edilmesine olanak sağlayacak 5 ve 7 tabakalı levha üretimleri gerçekleştirilmiştir.

2.1.3.3. Kontrplak Levhalarının Preslenmesi

Beş ve yedi tabakalı kontrplak taslaklarının preslenmesi; endüstriyel koşullarda çok katlı bir hidrolik preste yapılmıştır. Üretilen 1,20x2,4 m ebatlarındaki kontrplak levhaları için, pres basıncı 8 kg/cm² ve pres sıcaklığı 140 °C uygulanmıştır. Presleme süresi, levha kalınlığı esas alınarak her bir mm kaplama kalınlığı için yaklaşık 1 dakika olmak üzere 2 mm lik kaplamalardan 5 tabakalı olarak üretilen kontrplaklar için 10 dakika, 7 tabakalı olarak üretilen kontrplaklar için 14 dakika olarak uygulanmıştır.

Çalışma kapsamında her bir ağaç türü için 2 farklı tabaka sayısı, 2 farklı lif yönü, 2 farklı bağlantı elemanı türü ve 2 farklı bağlantı elemanları arası mesafe kombinasyonlarından oluşan 16 grup olmak üzere toplamda 3 ağaç türü için 48 perde duvar grubu oluşturulmuştur. Her bir grup için endüstriyel koşullarda 5'er adet levha üretilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan levha grupları Tablo 4' de verilmiştir.

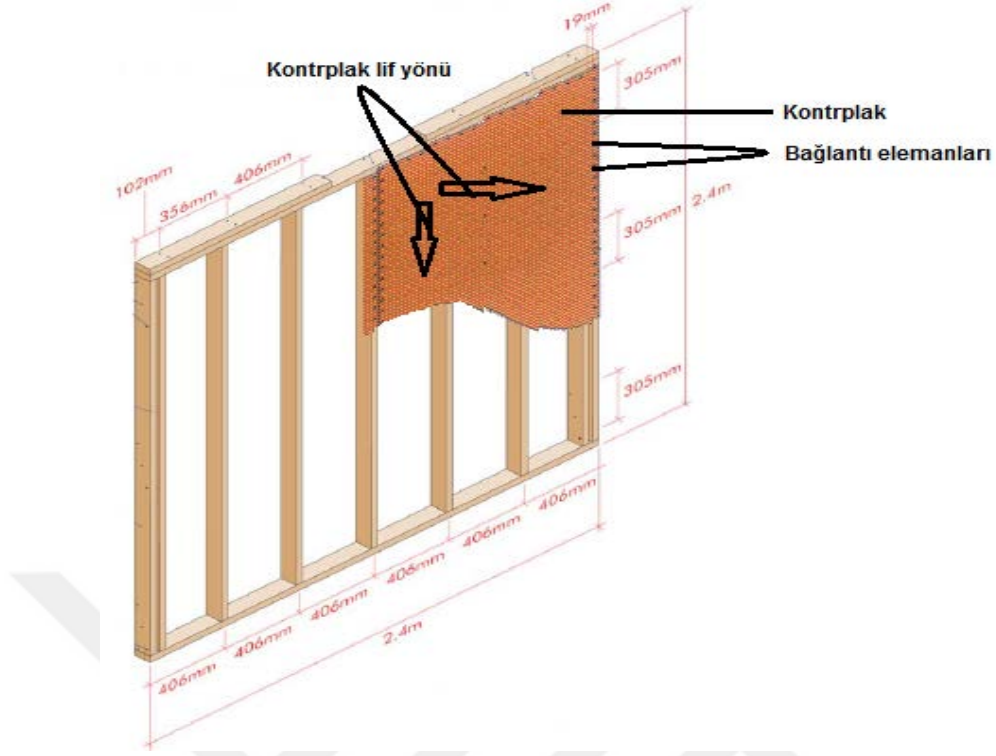
Tablo 4. Çalışma kapsamında oluşturulan grupların tanıtımı

Model No	Grup Adı	Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Lif Yönü	Bağlantı Elemanı Türü	Bağlantı Elemanları Arası Mesafe (mm)	
						Kenar	Orta
1	S5D6 76-152	Sarıçam	5	Dik	6d	76	152
2	S5D6 152-305			Dik	6d	152	305
3	S5P6 76-152			Paralel	6d	76	152
4	S5P6 152-305			Paralel	6d	152	305
5	S5D8 76-152			Dik	8d	76	152
6	S5D8 152-305			Dik	8d	152	305
7	S5P8 76-152			Paralel	8d	76	152
8	S5P8 152-305			Paralel	8d	152	305
9	S7D6 76-152		7	Dik	6d	76	152
10	S7D6 152-305			Dik	6d	152	305
11	S7P6 76-152			Paralel	6d	76	152
12	S7P6 152-305			Paralel	6d	152	305
13	S7D8 76-152			Dik	8d	76	152
14	S7D8 152-305			Dik	8d	152	305
15	S7P8 76-152			Paralel	8d	76	152
16	S7P8 152-305			Paralel	8d	152	305

Tablo 4'ün devamı

Model No	Grup Adı	Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Lif Yönü	Bağlantı Elemanı Türü	Bağlantı Elemanları Arası Mesafe (mm)	
						Kenar	Orta
17	L5D6 76-152	Ladin	5	Dik	6d	76	152
18	L5D6 152-305			Dik	6d	152	305
19	L5P6 76-152			Paralel	6d	76	152
20	L5P6 152-305			Paralel	6d	152	305
21	L5D8 76-152			Dik	8d	76	152
22	L5D8 152-305			Dik	8d	152	305
23	L5P8 76-152			Paralel	8d	76	152
24	L5P8 152-305			Paralel	8d	152	305
25	L7D6 76-152		7	Dik	6d	76	152
26	L7D6 152-305			Dik	6d	152	305
27	L7P6 76-152			Paralel	6d	76	152
28	L7P6 152-305			Paralel	6d	152	305
29	L7D8 76-152			Dik	8d	76	152
30	L7D8 152-305			Dik	8d	152	305
31	L7P8 76-152			Paralel	8d	76	152
32	L7P8 152-305			Paralel	8d	152	305
33	K5D6 76-152	Karaçam	5	Dik	6d	76	152
34	K5D6 152-305			Dik	6d	152	305
35	K5P6 76-152			Paralel	6d	76	152
36	K5P6 152-305			Paralel	6d	152	305
37	K5D8 76-152			Dik	8d	76	152
38	K5D8 152-305			Dik	8d	152	305
39	K5P8 76-152			Paralel	8d	76	152
40	K5P8 152-305			Paralel	8d	152	305
41	K7D6 76-152		7	Dik	6d	76	152
42	K7D6 152-305			Dik	6d	152	305
43	K7P6 76-152			Paralel	6d	76	152
44	K7P6 152-305			Paralel	6d	152	305
45	K7D8 76-152			Dik	8d	76	152
46	K7D8 152-305			Dik	8d	152	305
47	K7P8 76-152			Paralel	8d	76	152
48	K7P8 152-305			Paralel	8d	152	305

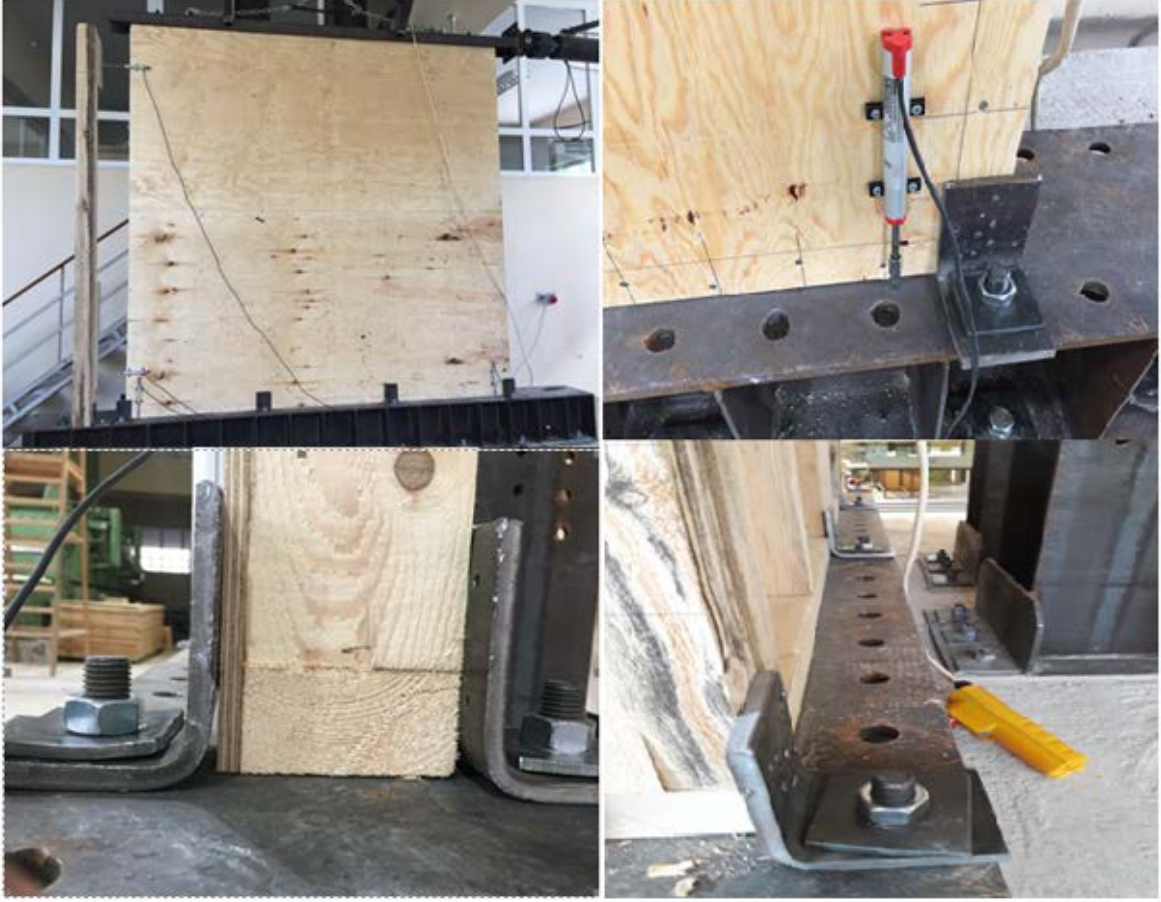
Her bir levha grubu için standart çerçeve boyutları ve üretilen kontrplakların bu çerçevedeki konumlandırılması, montajı ve bağlantı elemanlarının yerleri ASTM E 72 standardına göre Şekil 26' da görsel olarak verilmiştir.



Şekil 26. Çerçeve boyutları ve kontırplak konumlandırılması

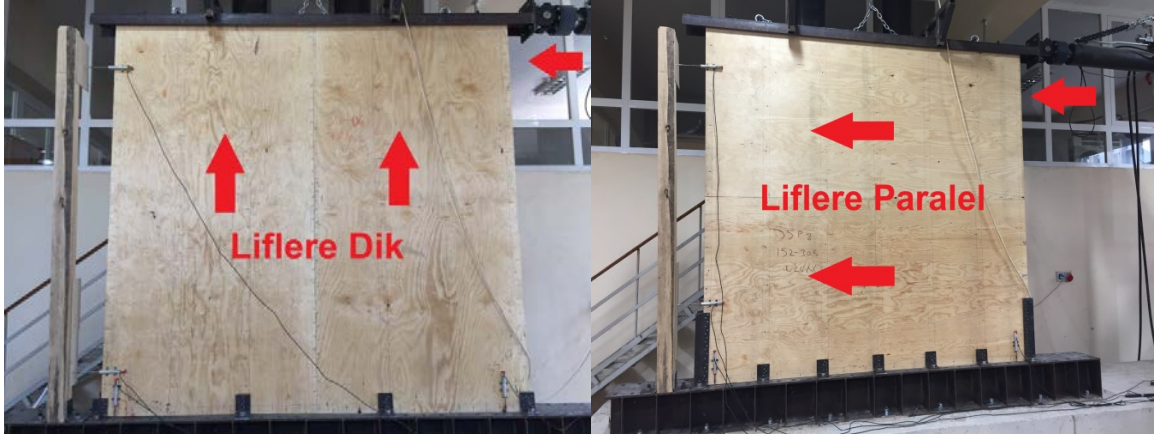
Çalışmanın deneysel olarak tasarımı Şekil 26'daki gibi olup, duvar üzerinde levha gruplarına göre varyasyonlar aşağıda verilmiştir;

Çerçeve elemanları 5x10 cm ebatlarında ladin kerestelerden üretilmiş olup, üst ve kenar kısımlarda ikişer keresteden oluşan kirişler kullanılmıştır. Her bir levha grubu testi çerçevesi için 12 adet $0,05 \times 0,1 \times 2,4 = 0,012 \text{ m}^3$ kereste kullanılmış, 1 levha grubu için 2 tekrarlı 2 çerçeve sistemi kurulmuştur. Toplam 48 levha grubu için 15 m^3 kereste kullanılmıştır. Her çerçeveye, 1,2x2,4 m ebatlarındaki kontırplaklardan 2 adet çivilenmiştir. Böylece, 2,4x2,4 m boyutlarında perde duvarlar elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin zemine bağlantıları, beton zeminler için uygun bağlantı elemanları ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 27).



Şekil 27. Perde duvarlı çerçeve sisteminin zemine montajı

- Her bir gruba ait kontrplaklar iki farklı lif yönü içinde test edilmiştir (Şekil 28).
- Bağlantı elemanları olarak gösterilen kısımlarda 6d (63 mm boy, 2,5 mm gövde çapı) ve 8d (76 mm boy, 2,8 mm gövde çapı) olmak üzere 2 farklı yaygın çivi türü ayrı ayrı denenmiştir. Çelikten yivli olarak üretilmiş çiviler, hava tabancasıyla birlikte rulo şeklinde tel dizili olarak temin edilmiştir. Çivi başlıklarının ölçüsü, 6 mm'dir
- Bağlantı elemanları arası mesafe levha kenarlarında 76 mm ve levha ortasında 152 mm, ayrıca 152 mm levha kenarında ve 305 mm levha ortasında olmak üzere 2 farklı mesafe varyasyonu için test edilmiştir.



Şekil 28. Lif yönüne göre oluşturulan perde duvarların gösterimi

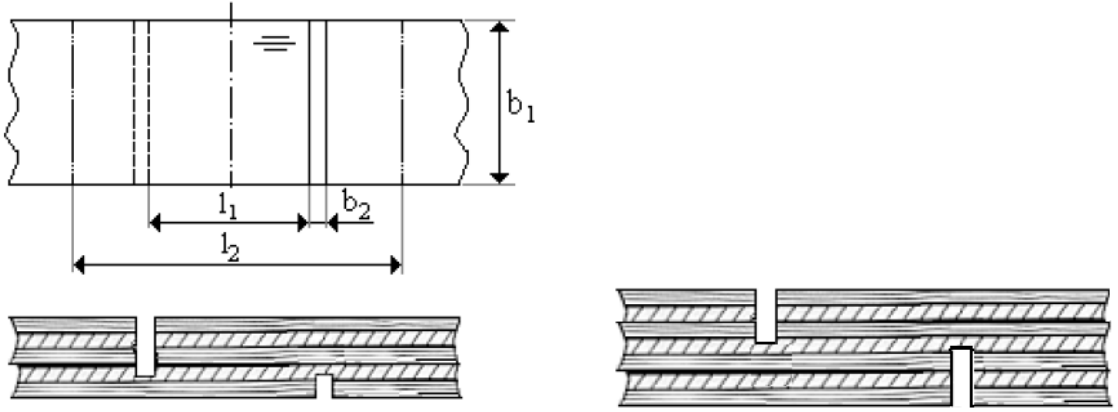
2.2. Yöntem

2.2.1. Mekanik Özellikler

2.2.1.1. Kontrplak Yapışma Direnci (Çekme-Makaslama Direnci)

Üretilen kontrplak levhalarının yapışma direncinin tespit edilmesinde kullanılan çekme- makaslama direnci testi, TS EN 314-1 (1999) standardına göre yürütülmüştür. Bu standarda göre, 5 ve 7 tabakalı kontrplak levhaları için hazırlanan çekme – makaslama direnci test örnekleri Şekil 29’ da gösterilmiştir.

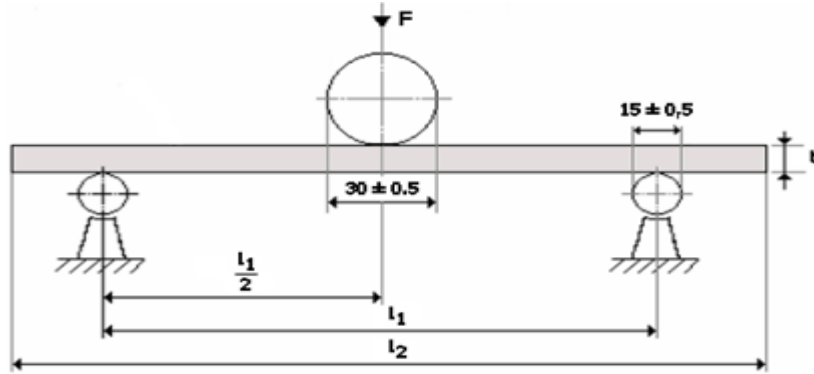
Çekme-makaslama direnci test örnekleri, TS EN 314-1 standardında belirtilen kullanım yerine uygun ön işleme tabi tutulduktan sonra test edilmişlerdir. Fenol formaldehit tutkalı ile üretilen kontrplaklardan hazırlanan örnekler en az 1 saat (20 ± 3)°C’deki suda soğutmayı takiben, kaynayan suda 4 saat daldırma işleminden sonra hava dolaşımli bir kurutma fırınında (60 ± 3)°C’da 16-20 saat kurutma, kurutmadan sonra kaynayan suda tekrar 4 saat daldırma işleminin ardından (III. Yapışma Sınıfı) testleri yapılmıştır (TS 3969 EN 314-1, 1998). Deneme levhalarının yapışma direncinin belirlenmesinde, maksimum 50 kN kapasiteli üniversal test aleti kullanılmış ve her test grubundan 20 adet tekrar yapılmıştır.



Şekil 29. Beş ve yedi tabakalı kontrplak levhası için yapışma direnci test örneği

2.2.1.2. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Üretilen kontrplak levhalarına uygulanan eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri, TS EN 310 (1999) standardına göre yürütülmüştür. Herbir test grubundan 20'şer adet eğilme direnci ve elastikiyet modülü test numunesi kullanılmıştır. Bu standarda göre hazırlanan eğilme direnci ve elastikiyet modülü test örneği ve test düzeneği Şekil 30'da gösterilmiştir.



Şekil 30. Eğilme direnci test düzeneği (ölçüler mm.dir)

2.2.1.3. Yanal Vida Direnci

Üretilen kontrplak levhalarına ait yanall vida dayanımı testi ASTM D 1761 (2012) standardına göre yürütülmüştür. Çiviler kontrplağın ucundan 51 mm mesafede olacak şekilde pnömatik olarak kontrplak parçasından çerçeve elemanına doğru bir çivi çakma

tabancası ile çakılmıştır. Çerçeve elemanı olarak 5x10 cm ebatlarında aynı mekanik özelliklere sahip ladin keresteler kullanılmıştır. Kontrplak örnekler ve ladin kirişler 250x76 mm ebatlarında kesilmiş ve bütün parçalar 20 °C ve % 65 bağıl nem koşullarında iklimlendirilmiştir. Hazırlanan örneklerin aşama aşama gösterimi Şekil 31’de verilmiştir.



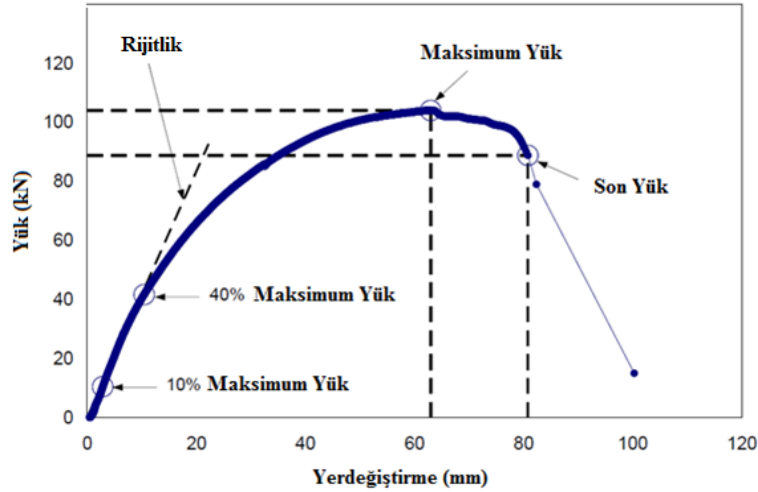
Şekil 31. Yanal vida direnci deneyi için örneklerin hazırlanması

Sistem yanal yük etkisi altında kaldığında çerçevenin alt ve üst kısmı ile kenarlarındaki kontrplak çerçeve ilişkisi kontrplağın lif yönüne göre farklılık gösterdiğinden, kontrplak levhalar lifleri dik ve paralel olmak üzere 2 farklı yönde kesilmiştir. Yük altındaki örneklerin hareketi tek bir yönde ve monotonik olarak dakikada 12,7 mm hareket edecek şekilde düzenlenmiştir. Şekil 32’de yanal vida direnci için test düzeneği ve testin sonucunda meydana gelen değişimler görülmektedir.



Şekil 32. Yanal vida direnci test düzeneği ve test sonunda meydana gelen değişim

Test sonucunda her bir grup için elde edilen grafikler incelenerek o grubu temsil edebilecek yük-yer değiştirme eğrileri belirlenmiş ve elde edilen veriler örnek gruba ait maksimum yük ve bu yükteki yer değiştirmeyi ifade edecek biçimde grafiğe dönüştürülmüştür (Şekil 33).



Şekil 33. Test sonucu elde edilen grafik

Ayrıca grafik yardımıyla aşağıdaki özellikler de belirlenmiştir:

- Rijitlik: Max yükün %10-40'ı arasında bulunan eğrinin eğimi ile hesaplanmaktadır.
- Son Yük (Ultimate Load): Max yükün %80'idir.

- Son yük ve bu yüke göre belirlenen yer değiştirme noktasına kadar olan ve eğri altında kalan alanın değeri sistemin enerjisini vermektedir.

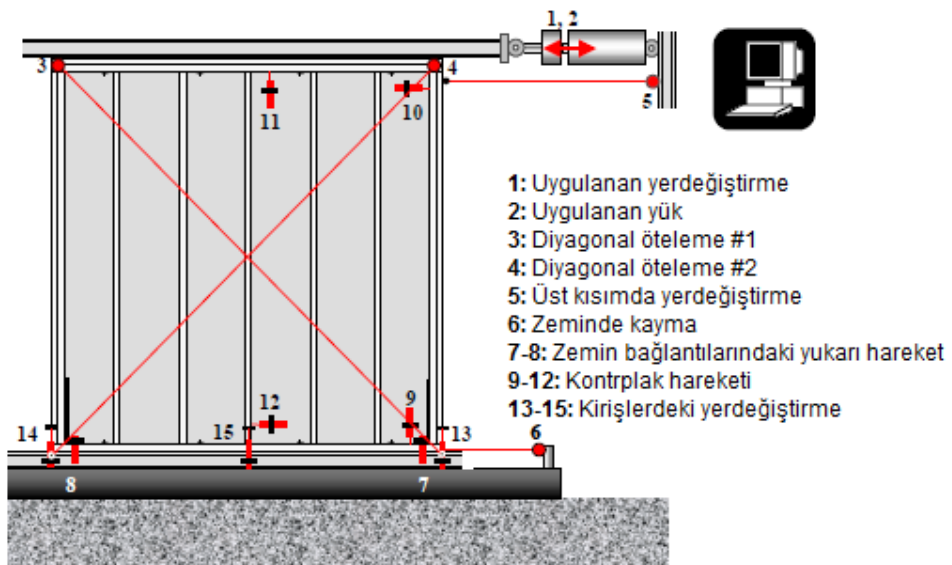
2.2.2. Fiziksel Özellikler

2.2.2.1. Yoğunluk

Deneme kontrplakların yoğunlukları TS EN 323 (1999) standardına göre belirlenmiştir. Örneklerin hava kuru ağırlıkları ± 0.01 g hassasiyetli analitik bir terazide tartıldıktan ve boyutları ± 0.01 mm duyarlıklı kumpas ve mikrometre ile ölçüldükten sonra yoğunlukları hesaplanmıştır. Her test grubundan 20'şer adet test numunesi kullanılmıştır.

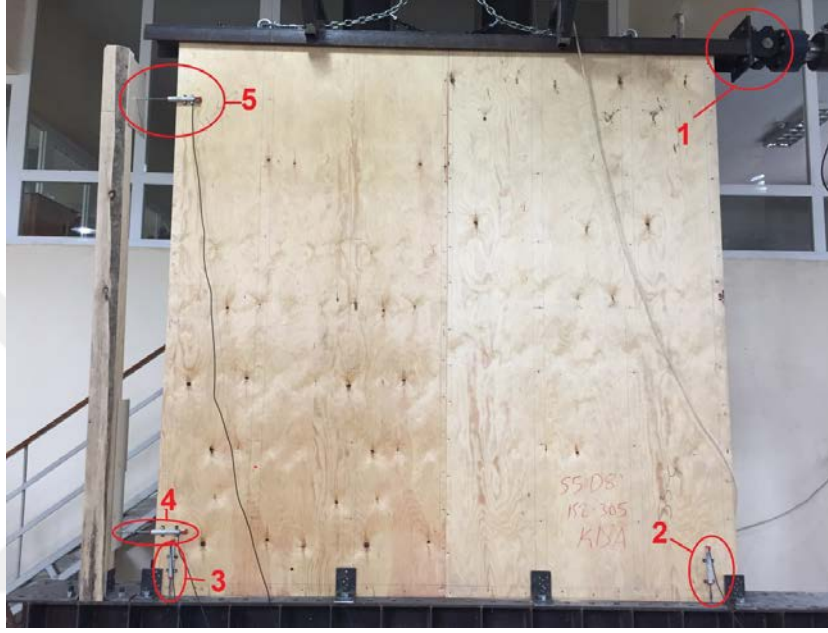
2.3. Perde Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar

Standart bir çerçeveye bağlanmış çeşitli kaplama materyallerinin dayanıklılıklarının karşılaştırılması amacıyla yürütülecek testlerin ASTM E 72 (2014) standardına göre yürütülmesi gerekliliği ilgili standart ve literatürde belirtilmektedir (Salenikovich, 2000). Çalışma kapsamında perde duvar analizi testi ASTM E 72 standardına göre doğrusal yük altında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi ve görseli Şekil 34'de gösterilmiştir.



Şekil 34. Deneysel test düzeneği şematik gösterimi

Perde duvarların analizleri ASTM E 72 standardına göre 354, 712 ve 1071 kg'lık yüklerle meydana gelen yer değiştirmeleri ölçülerek yapılmıştır. Bu ölçümler, Şekil 35'de gösterildiği gibi modelin 5 ayrı noktasından LVDT'ler yardımı ile yapılmıştır. Daha sonra perde duvarın taşıyabileceği maksimum yüke kadar yükleme yapılmış ve maksimum yükteki yer değiştirmeleri belirlenmiştir.



Şekil 35. Perde duvarın yer değiştirme ölçüm noktaları

2.4. SAP2000 ile Perde Duvar Modellenmesi

SAP2000 programı, beton, çelik ve kompozit yapıların analiz ve tasarımı için kullanılan sonlu eleman yazılımıdır. Yapılan çalışmalarda SAP2000 programının çelik ve beton yapılar için kullanılan model geliştirme, doğrusal olmayan ve dinamik sonlu eleman analizi grafik ara yüzünün ahşap için de kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Pirvu, 2008). Fakat bu programı ahşap duvar analizinde kullanabilmek için ahşabın çerçeve ve kontrplak levhaları arasındaki bağlantılarının direnci, levhaların elastikiyet modülü gibi özelliklerinin modelde ayrıca belirtilmesi gerekmektedir. Çünkü programın veri tabanında çelik ve beton yapılar için kesit boyutları ve materyal özellikleri ön tanımlı olarak mevcut olmasına rağmen ahşap için bu özellikler veri tabanında bulunmamaktadır. Ahşap malzeme için gerekli özelliklerin belirlenip manuel olarak modele verilmesi gerekmektedir. Ahşap

malzemenin özelliklerindeki değişimler doğrudan modeli de etkileyeceğinden üretilen levhalar için yapılan deneysel testlerin önemi de ön plana çıkmaktadır.

Kurulan geometrik model programda nesnelere ile temsil edilmektedir. Modelde kullanılacak nesnelere aşağıdaki gibidir.

1. Çerçeve Nesnelere (Çizgi Elementleri): Bunlar kirişler, dikmeler alt ve üst kısımda bulunan tabakaları temsil etmekte ve tek boyutlu olarak gösterilmektedirler.

2. Alan Nesnelere (Kaplama): Bu nesnelere 2 boyutlu olarak gösterilmekte ve kontrplak gibi kaplama elemanlarını temsil etmektedir.

3. Bağlantı Nesnelere: Bu nesnelere kaplama ve çerçeve arasında kullanılan çivi-vida gibi bağlantı elemanlarını temsil etmektedir.

Perde duvarın modellenmesinde kullanılan boyutlar şu şekildedir;

Perde duvar: 2,40 m x 2,40 m

Kiriş: 10 cm genişliğinde ve 5 cm kalınlığında seçilmiştir.

Levha: 10 ve 14 mm kalınlığında farklı ağaç türlerinden üretilmiş farklı teknolojik özelliklere sahip kontrplak levhalar

Çivi: Ülkemizde 6d (63 mm, uluslararası alanda 8d olarak geçmektedir) ve 8d (76 mm, uluslararası alanda 10d olarak geçmektedir) olarak bilinen 2 farklı yaygın çivi türü

Çivi Aralıkları: 76 ve 152 mm levha kenarlarında

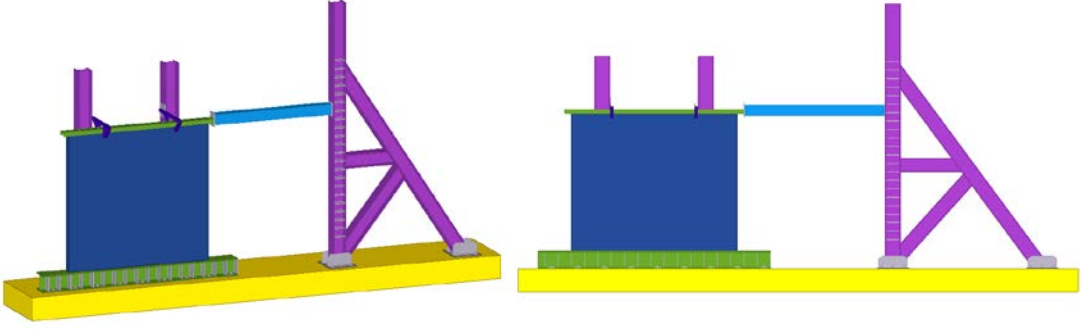
152 ve 305 mm levha ortasında olacak şekilde

2 varyasyon olarak modelde kullanılmıştır.

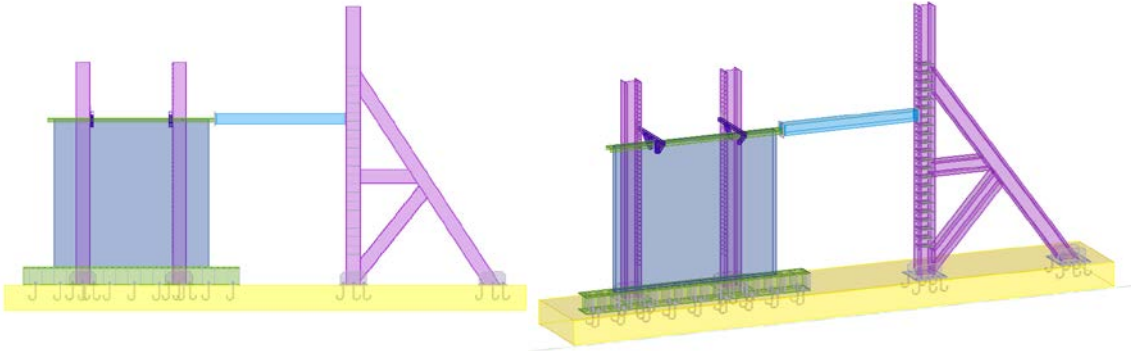
Model oluşturulduktan sonra deneysel aşamada perde duvara uygulanan yük, SAP2000 programında oluşturulan modele uygulanmıştır. Elde edilen maksimum yük taşıma kapasitesi ve maksimum yerdeğiştirme miktarları deneysel aşamada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak kurulan modelin geçerliliği ve uygunluğu test edilmiştir. Modelin geçerliliğinin ispatlanması ile bundan sonraki benzer çalışmaların hepsinde deneysel duvar analizi yapılmaksızın perde duvarda kullanılan ahşap levha ürünlerin sahip olabileceği farklı mekanik özelliklerin yanal yük etkisi altında nasıl davranış göstereceği tahminini daha hızlı ve ekonomik olarak yapmak mümkün olabilecektir. Böylelikle kısa zamanda daha fazla çalışma yapılması henüz ülkemizde gelişimini tamamlamamış ahşap yapı sektörü için daha hızlı adımların atılmasına daha çok çalışmanın ortaya çıkmasına katkıda bulunacaktır.

SAP2000 programı ile perde duvarın modeli aşağıda belirtilen adımlar ile kurularak işletilir hale getirilmiştir (Şekil 36).

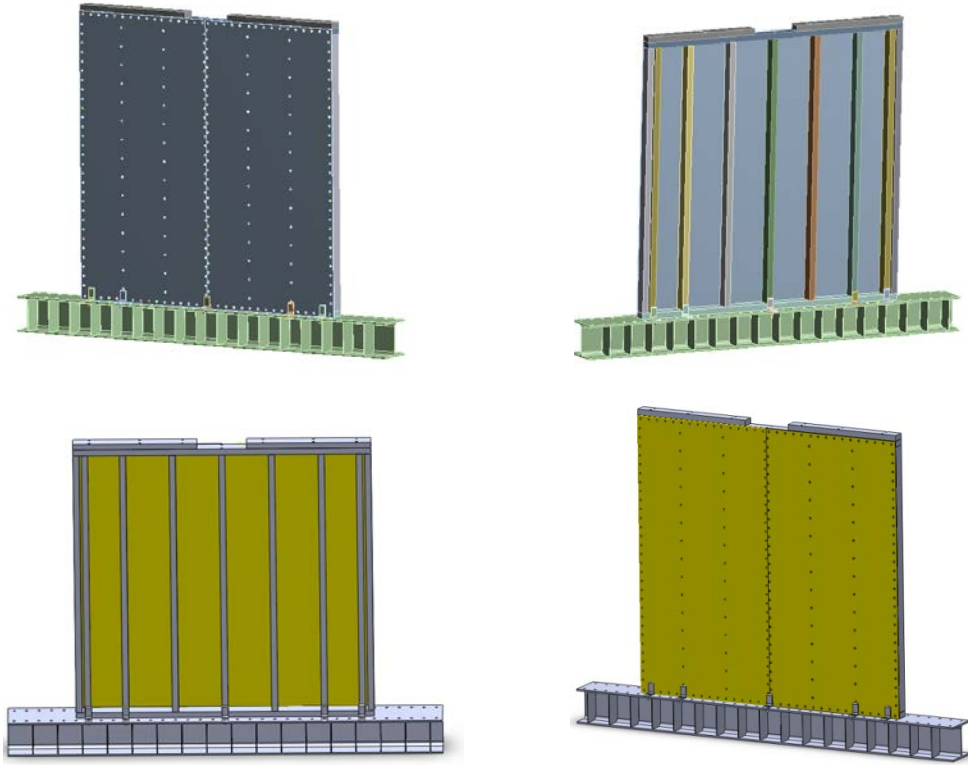
I. Duvar ve Yükleme sistemi tasarımı



II. Duvarın zemine ve hidrolik yükleme sistemine bağlantısı



III. Perde duvar modeli kurulması ve üzerindeki bağlantı elemanı yük noktalarının oluşturulması



Şekil 36. SAP 2000 programı ile elde edilen perde duvar modeli

2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modellemesi

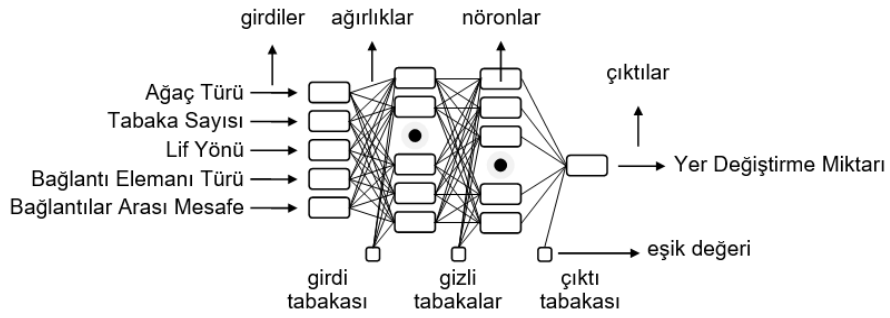
Çalışma kapsamında seçilen ahşap perde duvar montaj parametreleri, ahşap yapıların yoğun kullanıldığı ülkelerde kendi ağaç türleri için öngördükleri standartlardan yararlanılarak belirlenmiştir. Burada 2 farklı çivi türü ve 2 farklı çiviler arası mesafe seçilmiştir. Çivi türleri 2 farklı çapı, bağlantı elemanları arası mesafe ise 2 farklı uzunluğu göstermekte ve bu aynı zamanda kullanılacak çivi sayısındaki değişimi de ifade etmektedir. Fakat bu çaptaki çiviler ve bu çiviler arası mesafe bizim ağaç türlerimiz ve yerli üretim kontrplaklarımızla oluşan perde duvarların göstereceği yanal direnç açısından optimum sonuçlar olmayabilir. Bu varyasyonların haricindeki çap ve uzunluk değerlerinde en iyi direncin sağlanabileceği de göz ardı edilmemesi gereken bir gerçektir. Fakat bu optimum koşulların hesaplanabilmesi için hem geniş bir zamana hem de yüksek maliyete ihtiyaç duyulmaktadır. Böylesi bir maliyet ve zaman kaybı olmadan sorunu çözebilmek için YSA kullanımı önem arz etmektedir. Modelleme sonucunda elde edilen veriler tablolar haline getirilerek, kontrplak kaplı ahşap perde duvar için istenen direnci sağlayacak kontrplakların montaj koşullarının ağaç türlerine göre belirlenmesi mümkündür. Elde edilen bu tabloların, hem sanayi hemde bilimsel literatür açısından ekonomik ve kaliteli ahşap yapıların üretimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Üretim parametrelerinin mekanik ve fiziksel özellikler üzerine etkisini incelemek amacıyla; deney verileri eğitim ve test verileri şeklinde gruplandırılıp, farklı veri setleri oluşturulup, değişik ağ yapılarına ve öğrenme parametrelerine sahip farklı modellerle denemeler yapılarak eğitimler gerçekleştirilmiştir. Ağların performansını test etmek amacıyla eğitim setinde kullanılmayan test için ayrılan verilerle modeller test edilerek en hassas sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

Problemin çözümünde ileri beslemeli ve geri yayımlı çok katmanlı YSA tercih edilmiş, ağın eğitimi ve denemesi MATLAB paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, gizli katman ve gizli katmanlardaki yapay nöron sayıları, aktivasyon fonksiyonu, eğitim algoritması, öğrenme kuralı ve performans fonksiyonları değiştirilerek en uygun ağ mimarisi ve tahmin modeli belirlenmiştir.

Model oluşturulduktan sonra deneysel çalışmalara vakit ayırmadan hızlı, güvenilir ve maliyetsiz bir şekilde ahşap yapılarda perde duvarlarda kullanılabilecek kaliteli kontrplak üretimi için istenilen üretim ve montaj koşulları belirlenmesi mümkün hale gelmektedir.

Geliştirilen yapay sinir ağı (YSA) modelinde ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü, bağlantı elemanı türü ve bağlantılar arası mesafe girdi değişkenleri olarak seçilmiş, yer değiştirme çıktı değişkeni olarak ele alınmıştır. YSA tahmin modelini belirlemek için girdi verileri olarak, 3 farklı ağaç türü, 2 farklı tabaka sayısı, 2 farklı lif yönü, 2 farklı bağlantı elemanı ve 2 farklı bağlantı elemanları arası mesafe değerleri kullanılmıştır. Belirlenen tahmin modeli ile bu parametrelerinin perde duvarların yer değiştirme miktarları üzerinde nasıl bir etki gösterdiği ortaya koyulmuştur. Oluşturulan tahmin modelinin ağ mimarisi aşağıdaki şekilde olmuştur. Bu aşamada oluşturulacak ağ mimarisi Şekil 37’ de verilmiştir.



Şekil 37. Tahmin modeli olarak seçilen YSA mimarisi

Giriş katmanındaki yapay nöron sayısı YSA’ ya yapılan veri girişi sayısı kadar, çıkış katmanındaki yapay nöron sayısı YSA’ dan alınacak bilgi sayısı kadardır. Gizli katman ve gizli katmanlardaki yapay nöron sayıları ise denemeler sonucu bulunmaktadır. En uygun ağ mimarisinin belirlenmesinde farklı aktivasyon (transfer) fonksiyonları, eğitim algoritmaları, öğrenme kuralları ve performans fonksiyonları ile bağlantı ağırlıklarının ve eşik değerlerinin başlangıç değerleri gibi parametreler de önem taşımaktadır.

Yapay sinir ağlarını tasarlamak ve belirli tasarım parametrelerini seçmek, en iyi ağ performansını elde etmek için çok önemlidir. Ağın performansını değerlendirebilecek bilgiler YSA tarafından hesaplanan çıktı ile arzu edilen çıktı arasındaki minimize edilmesi amaçlanan fark miktarı yardımıyla çeşitli tanı yöntemleri kullanılarak sağlanmaktadır. İyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan tanı vasıtalarından (performans fonksiyonları) kareköksel ortalama karesel hata (RMSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) oranları dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren model, tahmin modeli olarak seçilmiştir. RMSE ve MAPE değerleri sırasıyla 1 ve 2 numaralı eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - \text{td}_i)^2} \quad (1)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left[\left| \frac{t_i - \text{td}_i}{t_i} \right| \right] \right) \times 100 \quad (2)$$

Burada;

t_i , gerçek değeri;

td_i , model tahmin değerini;

N ise terim sayısını ifade etmektedir.

2.6. İstatistiksel Analiz

Kontrplak levhalarında; çekme-makaslama direnci, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yoğunluk değerlerinde optimum sonuçları veren ağaç türü ve tabaka sayısını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır. Ayrıca yanal vida direnci değerinde optimum sonuçları veren ağaç türü ve tabaka sayısının yanında bağlantı türü, bağlantılar arası mesafe, lif yönünü de belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi ile elde edilen farkların anlamlı bulunması durumunda, Student Newman-Keuls test uygulanarak varyans kaynaklarının ortalamaları karşılaştırılmış ve homojenlik grupları tespit edilmiştir. İstatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesinde, SPSS 21 for Windows istatistik paket programından yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Mekanik Özellikler

3.1.1. Yapışma (Çekme-Makaslama) Direnci

Üretilen kontrplak levhalarına ait çekme-makaslama direnci değerleri ağaç türlerine ve tabaka sayısına göre Tablo 5’de verilmiştir. Çekme-makaslama direnci değerlerinin belirlenmesinde 20’şer adet örnek kullanılmıştır.

Tablo 5. Kontrplakların çekme-makaslama direnci ortalama değerleri

Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Çekme-makaslama Direnci (N/mm ²)	
		X	S
Karaçam	5	1,94	0,38
	7	1,96	0,37
Sarıçam	5	1,70	0,31
	7	2,30	0,46
Ladin	5	1,53	0,33
	7	1,58	0,15

X: Aritmetik Ortalama S: Standart Sapma

Üretilen kontrplak levhaların çekme-makaslama direnci üzerine ağaç türü ve tabaka sayısının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların yapışma direnci değerleri üzerine olan etkileri anlamlı bulunmuştur.

Tablo 6. Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların çekme-makaslama direnci değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
A: Ağaç Türü	6,679	2	3,339	29,581	***
B: Tabaka Sayısı	1,173	1	1,173	10,387	**
Etkileşim AB	1,640	2	0,820	7,264	***
Hata	12,870	114	0,113		
Toplam	441,665	120			

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması maksadıyla yapılan Newman-Keuls testi sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Tablo 7’ye göre ağaç türleri arasında en düşük çekme-makaslama direnci değerlerinin ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklardan, en yüksek değerlerin ise sarıçam ve karaçam kontrplaklardan elde edildiği görülmektedir. Newman-Keuls testi sonuçlarına göre 7 tabakalı kontrplakların çekme-makaslama direnci değerleri 5 tabakalı levhalara göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 7. Kontrplakların çekme-makaslama direnci üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Çekme-makaslama Direnci (N/mm ²)
Ağaç Türü		
Sarıçam	40	2,10 b
Karaçam	40	1,96 b
Ladin	40	1,55 a
Tabaka Sayısı		
5	60	1,77 a
7	60	1,97 b

*Farklı harfler istatistiksel olarak belirgin bir fark olduğunu belirtmektedir.

3.1.2. Eğilme Direnci

Üretilen kontrplak levhalarına ait eğilme direnci değerleri ağaç türlerine ve tabaka sayısına göre Tablo 8’de verilmiştir. Eğilme direnci değerlerinin belirlenmesinde 20’şer adet örnek kullanılmıştır.

Tablo 8. Kontrplakların eğilme direnci ortalama değerleri

Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Eğilme Direnci (N/mm ²)	
		X	S
Karaçam	5	44,90	13,98
	7	50,40	6,59
Sarıçam	5	64,27	9,73
	7	76,39	12,17
Ladin	5	53,24	5,48
	7	44,84	4,46

X: Aritmetik Ortalama S: Standart Sapma

Üretilen kontrplak levhaların eğilme direnci üzerine ağaç türü ve tabaka sayısının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
A: Ağaç Türü	12925,573	2	6462,787	72,966	***
B: Tabaka Sayısı	282,686	1	282,686	3,192	Ö.D
Etkileşim AB	2192,838	2	1096,419	12,379	***
Hata	10097,272	114	88,573		
Toplam	397438,547	120			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; ağaç türünün, kontrplakların eğilme direnci değerleri üzerine olan etkisi anlamlı bulunmuştur. Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması amacıyla yapılan Newman-Keuls testi sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. Tablo 10'a göre ağaç türleri arasında en düşük eğilme direnci değerlerinin karaçam ve ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklardan, en yüksek değerlerin ise sarıçam kontrplaklardan elde edildiği görülmektedir. Yapılan varyans analizi sonucunda tabaka sayısının, levhaların eğilme direnci değerleri üzerinde anlamlı bir etkiye neden olmadığı görülmüştür.

Tablo 10. Kontrplakların eğilme direnci üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Eğilme Direnci (N/mm ²)
Ağaç Türü		
Sarıçam	40	70,33 b
Karaçam	40	47,65 a
Ladin	40	49,04 a
Tabaka Sayısı		
5	60	54,14 a
7	60	57,21 a

*Farklı harfler istatistiksel olarak belirgin bir fark olduğunu belirtmektedir

3.1.3. Elastikiyet Modülü

Üretilen kontrplak levhalarına ait elastikiyet modülü değerleri ağaç türlerine ve tabaka sayısına göre Tablo 11’de verilmiştir. Elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesinde 20’ şer adet örnek kullanılmıştır.

Tablo 11. Kontrplakların elastikiyet modülü ortalama değerleri

Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	
		X	S
Karaçam	5	4592,92	894,15
	7	6147,33	563,05
Sarıçam	5	7432,92	612,54
	7	9878,15	491,11
Ladin	5	6279,11	500,15
	7	5527,11	504,16

X: Aritmetik Ortalama S: Standart Sapma

Üretilen kontrplak levhaların elastikiyet modülü üzerine ağaç türü ve tabaka sayısının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
A: Ağaç Türü	248715004,74	2	124357502	333,515	***
B: Tabaka Sayısı	35156601,52	1	35156602	94,287	***
Etkileşim AB	54450574,61	2	27225287	73,016	***
Hata	42507139,17	114	372870		
Toplam	5676233396,6	120			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların elastikiyet modülü değerleri üzerine olan etkileri anlamlı bulunmuştur. Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması maksadıyla yapılan Newman-Keuls testi sonuçları Tablo 13’de verilmiştir. Tablo 13’e göre ağaç türleri arasında en düşük elastikiyet modülü değerlerinin ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklardan, en yüksek

değerlerin ise sarıçam kontrplaklardan elde edildiği görülmektedir. Newman-Keuls testi sonuçlarına göre 7 tabakalı kontrplakların elastikiyet modülü değerleri, 5 tabakalı levhalara göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 13. Kontrplakların elastikiyet modülü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
Ağaç Türü		
Sarıçam	40	8655,52 c
Karaçam	40	5903,11 b
Ladin	40	5370,13 a
Tabaka Sayısı		
5	60	6101,65 a
7	60	7184,19 b

*Farklı harfler istatistiksel olarak belirgin bir fark olduğunu belirtmektedir

3.1.4. Yanal Vida Direnci

Üretilen kontrplak levhalarının yanal vida direncine ait ortalama değerler Tablo 14'te verilmiştir. Yanal vida direncinin belirlenmesinde her test grubu için 4'er numune kullanılmıştır.

Tablo 14. Kontrplakların yanal vida direnci ortalama değerleri

Ağaç Türü	Tabaka sayısı	Bağlantı Elemanı Türü	Lif Yönü	Yanal Vida Direnci (kN)	
				X	S
Sarıçam	5	8d	Liflere Paralel	2,08	0,01
			Liflere Dik	2,12	0,06
		6d	Liflere Paralel	1,64	0,09
			Liflere Dik	1,69	0,12
	7	8d	Liflere Paralel	2,85	0,03
			Liflere Dik	2,96	0,03
		6d	Liflere Paralel	1,65	0,03
			Liflere Dik	1,86	0,02
Ladin	5	8d	Liflere Paralel	1,29	0,12
			Liflere Dik	1,56	0,07
		6d	Liflere Paralel	1,20	0,04
			Liflere Dik	1,24	0,10
	7	8d	Liflere Paralel	2,25	0,02
			Liflere Dik	2,32	0,04
		6d	Liflere Paralel	1,70	0,06
			Liflere Dik	1,72	0,03
Karaçam	5	8d	Liflere Paralel	1,57	0,06
			Liflere Dik	1,86	0,05
		6d	Liflere Paralel	1,33	0,01
			Liflere Dik	1,42	0,06
	7	8d	Liflere Paralel	2,03	0,05
			Liflere Dik	2,10	0,03
		6d	Liflere Paralel	1,78	0,04
			Liflere Dik	1,82	0,04

X: Aritmetik Ortalama S: Standart Sapma

Yanal vida direnci için, maksimum yük belirlenirken, uygulanan yük etkisi altında meydana gelen yer değiştirme arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler kullanılarak elde edilen maksimum yükteki yer değiştirme, rijitlik, son yük ve son yükteki yer değiştirme değerleri Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Kontrplak levhalarına ait rijitlik, maksimum yükteki yerdeğiştirme, son yük ve son yükteki yerdeğiştirme değerleri

Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Bağlantı Elemanı Türü	Lif Yönü	Maksimum Yükteki Yer Değiştirme (mm)	Rijitlik (kN/mm)	Son Yük (kN)	Son Yükteki Yer Değiştirme (mm)	
Sarıçam	5	8d	Liflere Paralel	16,27	0,72	1,66	23,67	
			Liflere Dik	11,90	0,76	1,70	19,62	
		6d	Liflere Paralel	16,48	0,76	1,31	25,31	
			Liflere Dik	14,15	0,69	1,35	20,65	
	7	8d	Liflere Paralel	16,58	0,83	2,28	24,14	
			Liflere Dik	16,95	1,15	2,36	23,55	
		6d	Liflere Paralel	17,15	0,60	1,32	19,04	
			Liflere Dik	16,21	0,66	1,49	21,84	
	Ladin	5	8d	Liflere Paralel	14,54	0,47	1,03	21,62
				Liflere Dik	17,39	0,55	1,25	24,55
			6d	Liflere Paralel	12,76	0,35	0,96	20,70
				Liflere Dik	14,70	0,41	0,99	22,76
7		8d	Liflere Paralel	16,27	0,60	1,80	22,37	
			Liflere Dik	11,91	1,08	1,85	19,62	
		6d	Liflere Paralel	17,48	0,79	1,36	23,98	
			Liflere Dik	13,18	0,59	1,37	21,99	
Karaçam		5	8d	Liflere Paralel	15,50	0,89	1,26	24,44
				Liflere Dik	20,20	0,70	1,49	29,83
			6d	Liflere Paralel	14,56	0,63	1,06	24,13
				Liflere Dik	14,78	0,54	1,14	22,17
	7	8d	Liflere Paralel	18,39	0,48	1,62	25,43	
			Liflere Dik	15,60	0,67	1,68	28,51	
		6d	Liflere Paralel	14,72	0,57	1,42	29,88	
			Liflere Dik	17,23	0,80	1,46	28,77	

Üretilen kontrplak levhaların yanal vida direnci üzerine ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü ve bağlantı elemanı türünün etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü ve bağlantı elemanı türünün kontrplakların yanal vida dayanımına etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
A: Ağaç Türü	3,646	2	1,823	515,186	***
B: Tabaka Sayısı	6,065	1	6,065	1714,033	***
C: Lif Yönü	0,278	1	0,278	78,684	***
D: Bağlantı Elemanı Türü	5,876	1	5,876	1660,472	***
Etkileşim AB	0,366	2	0,183	51,757	***
Etkileşim AC	0,003	2	0,002	0,437	Ö.D.
Etkileşim AD	1,086	2	0,543	153,413	***
Etkileşim BC	0,015	1	0,015	4,169	*
Etkileşim BD	0,672	1	0,672	189,817	***
Etkileşim CD	0,024	1	0,024	6,712	*
Etkileşim ABC	0,072	2	0,036	10,147	***
Etkileşim ABD	0,632	2	0,316	89,315	***
Etkileşim ACD	0,042	2	0,021	5,887	**
Etkileşim BCD	0,033	1	0,033	9,223	**
Etkileşim ABCD	0,002	2	0,001	0,319	Ö.D.
Hata	0,255	72	0,004		
Toplam	342,503	96			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü ve bağlantı elemanı türünün kontrplakların yanal vida direnci değerleri üzerine olan etkileri anlamlı bulunmuştur. Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması maksadıyla yapılan Newman-Keuls testi sonuçları Tablo 17’de verilmiştir. Tablo 17’ye göre ağaç türleri arasında en düşük yanal vida direnci değerlerinin ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklardan, en yüksek değerlerin ise sarıçam kontrplaklardan elde edildiği görülmektedir. Newman-Keuls testi sonuçlarına göre 7 tabakalı kontrplakların yanal vida direnci değerleri, 5 tabakalı levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. Liflere dik yönde yapılan yanal vida direnci değerleri, liflere paralel yapılan levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. Bağlantı elemanı türü açısından incelendiğinde, 8d çivilerle üretilen levhaların yanal vida direnci, 6d ye göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 17. Kontrplakların yanal vida dayanımı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Yanal Vida Direnci (kN)
Ağaç Türü		
Sarıçam	32	2,18 c
Karaçam	32	1,74 b
Ladin	32	1,66 a
Tabaka Sayısı		
5	48	1,58 a
7	48	2,09 b
Lif Yönü		
Dik	48	1,89 b
Paralel	48	1,78 a
Bağlantı Elemanı Türü		
6d	48	1,59 a
8d	48	2,08 b

*Farklı harfler istatistiksel olarak belirgin bir fark olduğunu belirtmektedir.

3.2. Fiziksel Özellikler

3.2.1. Yoğunluk

Üretilen kontrplak levhalarına ait yoğunluk değerleri ağaç türlerine ve tabaka sayısına göre Tablo 18’de verilmiştir. Yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde 20’şer adet örnek kullanılmıştır.

Tablo 18. Kontrplakların yoğunluk ortalama değerleri

Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Yoğunluk (g/cm ³)	
		X	S
Karaçam	5	0,566	0,14
	7	0,613	0,07
Sarıçam	5	0,585	0,03
	7	0,663	0,04
Ladin	5	0,510	0,07
	7	0,487	0,03

X: Aritmetik Ortalama S: Standart Sapma

Üretilen kontrplak levhaların yoğunlukları üzerine ağaç türü ve tabaka sayısının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların yoğunluk değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
A: Ağaç Türü	0,334	2	0,167	34,417	***
B: Tabaka Sayısı	0,034	1	0,034	7,018	**
Etkileşim AB	0,053	2	0,026	5,417	**
Hata	0,553	114	0,005		
Toplam	40,076	120			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; ağaç türü ve tabaka sayısının kontrplakların yoğunluk değerleri üzerine olan etkileri anlamlı bulunmuştur. Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması amacıyla yapılan Newman-Keuls testi sonuçları Tablo 20'de verilmiştir. Tablo 20'ye göre ağaç türleri arasında en düşük yoğunluk değerlerinin ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklardan, en yüksek değerlerin ise sarıçam kontrplaklardan elde edildiği görülmektedir. Newman-Keuls testi sonuçlarına göre 7 tabakalı kontrplakların yoğunluk değerleri, 5 tabakalı levhalara göre daha yüksek bulunmuştur.

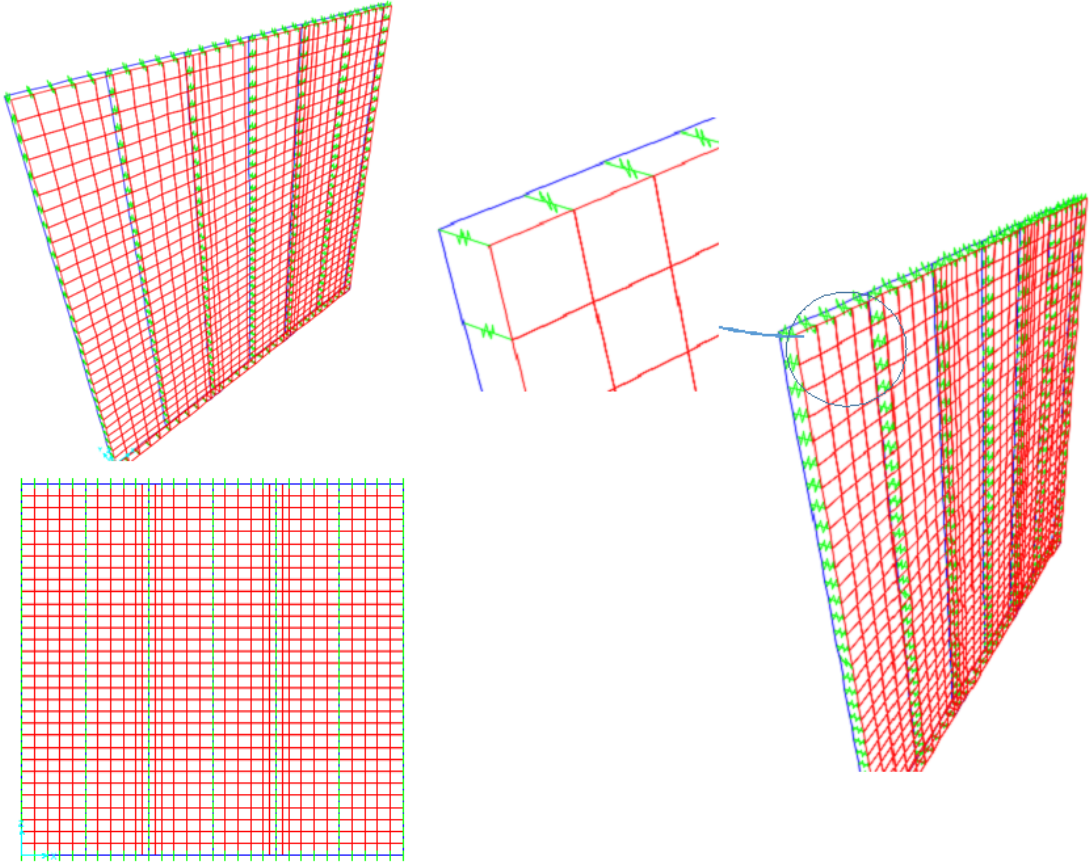
Tablo 20. Kontrplakların yoğunlukları üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Yoğunluk(g/cm ³)
Ağaç Türü		
Sarıçam	40	0,624 c
Karaçam	40	0,589 b
Ladin	40	0,499 a
Tabaka Sayısı		
5	60	0,554 a
7	60	0,588 b

*Farklı harfler istatistiksel olarak belirgin bir fark olduğunu belirtmektedir.

3.3. Ahşap Taşıyıcı Sisteme Sahip Çerçevelerin Sonlu Eleman Modeli

Çalışma kapsamında üretilen 48 adet çerçeve sistemi için sonlu eleman modelleri oluşturulmuş olup, 33 numaralı modele ait özellikler, detaylar ve görünüşler Şekil 38 ve Tablo 21’de sunulmaktadır. Diğer modeller için de aynı model düzeni kullanılmış olup, değişen ağaç türüne bağlı malzeme özellikleri, kontrplak tabaka sayıları, lif yönleri ve bağlantı detayları her bir model için ayrı ayrı dikkate alınmıştır.



Şekil 38. 33 numaralı modele ait sonlu eleman modeli detayları ve görünüşleri

Tablo 21. 33 numaralı modele ait analiz parametreleri

Model No	33
Grup Adı	K5D6 76-152
Ağaç Türü	Karaçam
Tabaka Sayısı	5
Lif Yönü	Dik
Bağlantı Eleman Türü	6d
Bağlantı Elemanları Arası Mesafe Kenar ve Orta	76mm / 152mm
Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	0.566
Poisson Oranı (-)	0.3
Elastikiyet Modülü (N/mm ²) Dik ve Paralel	4592.92 / 1897.48
Yanal Vida Direnci (kN) Dik ve Paralel	1.48 / 1.33
Yüklemeler	354kg / 712kg / 1071kg / Kırılma Yüğü

Çerçeve modeline ait üç boyutlu sonlu eleman modeli çubuk ve alan elemanlardan oluşmakta olup, ara bağlantı detayları ile mesnet koşulları yay ve link elemanlar yardımıyla oluşturulmuştur. Laboratuvar ortamında deney düzeneği olarak inşa edilen betonarme sürekli temel üzerine ahşap çerçevenin mesnetlenebilmesi için çelik H profili beton dökümü öncesinde ankrajlanmıştır. 7 adet 5x10cm boyutlarındaki dikme, dikmeleri tepe noktasından bağlayan ahşap kiriş ve perde oluşturmak amacıyla dıştan eklenen 1cm kanlığındaki plaktan oluşan çerçeve uygun bağlantı detayları yardımıyla taban plağına çivili olarak bağlanmıştır. Sistemin düzlem dışı davranışını engellemek amacıyla çerçevenin tepe noktasına UPN240 çelik profili yerleştirilmiş olup, profilin uç noktası pistonla temas edecek şekilde monte edilmiştir. Ayrıca, UPN240 çelik profili ahşap modele de yük aktarımını sağlayacak seviyede belirli aralıklarla tutturulmuştur.

Sonlu eleman modelinde toplam 1396 düğüm noktası, 295 çubuk eleman, 1088 alan eleman, 4352 köşe noktası ile 272 link eleman bulunmaktadır. 1cm kalınlığındaki perde plağının dikme ve kirişler ile birleşimi için kullanılan link eleman özellikleri aşağıda verilmektedir.

Link/Support Property Data

Link/Support Type		MultiLinear Elastic	
Property Name		DIS	
Property Notes		Set Default Name	
		Modify/Show...	
Total Mass and Weight			
Mass	0.	Rotational Inertia 1	0.
Weight	0.	Rotational Inertia 2	0.
		Rotational Inertia 3	0.
Factors For Line, Area and Solid Springs			
Property is Defined for This Length In a Line Spring		1.	
Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs		1.	
Directional Properties		P-Delta Parameters	
Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...
<input type="button" value="Fix All"/>	<input type="button" value="Clear All"/>	<input type="button" value="Advanced..."/>	
		<input type="button" value="OK"/>	
		<input type="button" value="Cancel"/>	

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	DIS
Direction	U1
Type	MultiLinear Elastic
NonLinear	No
Properties Used For All Analysis Cases	
Effective Stiffness	1000.
Effective Damping	0.
<input type="button" value="OK"/>	
<input type="button" value="Cancel"/>	

Link/Support Directional Properties

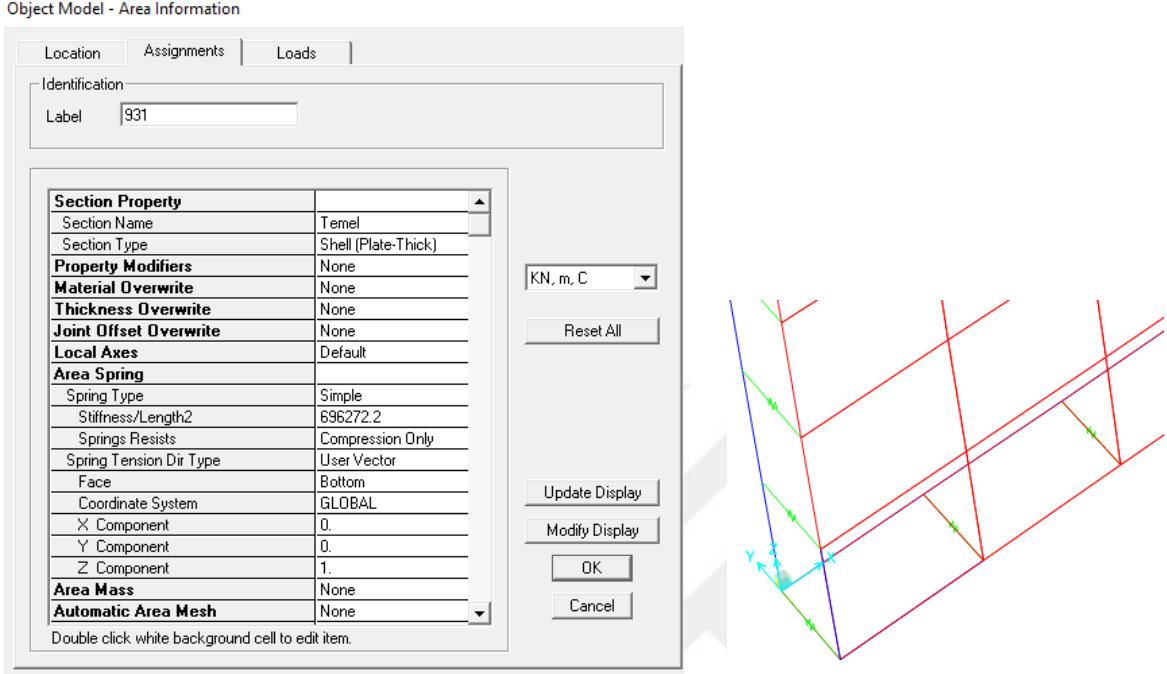
Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	DIS
Direction	U2
Type	MultiLinear Elastic
NonLinear	No
Properties Used For All Analysis Cases	
Effective Stiffness	335.
Effective Damping	0.
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.
<input type="button" value="OK"/>	
<input type="button" value="Cancel"/>	

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	DIS
Direction	U3
Type	MultiLinear Elastic
NonLinear	No
Properties Used For All Analysis Cases	
Effective Stiffness	240.
Effective Damping	0.
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.
<input type="button" value="OK"/>	
<input type="button" value="Cancel"/>	

Şekil 39. 1 cm kalınlığındaki perde plağının dikme ve kirişler ile birleşimi için kullanılan link eleman özellikleri

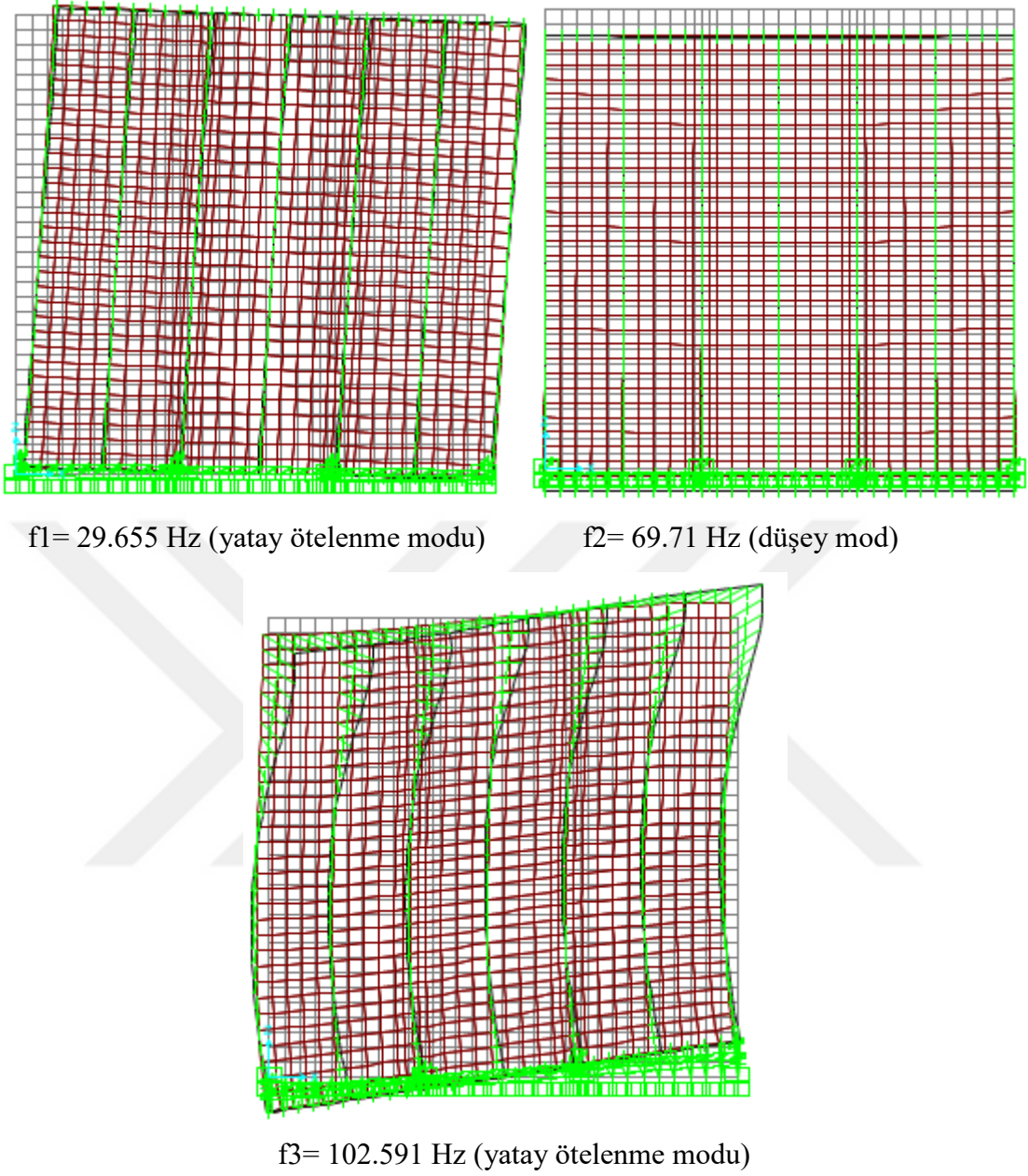
Deneyisel çalışmalar sırasında, tepe noktasına uygulanan yüklemeler sonrasında çerçevenin tabanındaki belirli bölgelerinde çekme kuvvetleri sonucunda yukarı yönde açılmaların olduğu gözlemlenmiştir. Bunu bilgisayar ortamında modellemek amacıyla, taban kısmına hem alan elemanlar hem de link elemanlar atanmıştır. Verilen yükler altında

basınç oluşması halinde ankastre mesnetlenme, çekme halinde ise çivilerin rijitliklerine bağlı olarak açılmalarına izin verilmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 40. Alan elemanlar

Oluşturulan modelin doğruluğu kontrol etmek amacıyla, öncelikli olarak modal analizler gerçekleştirilmiş ve dinamik karakteristikler olarak adlandırılan frekans, periyot ve mod şekilleri elde edilmiştir. İlk üç mod şekli ve frekans değerleri aşağıda verilmektedir (Şekil 41).

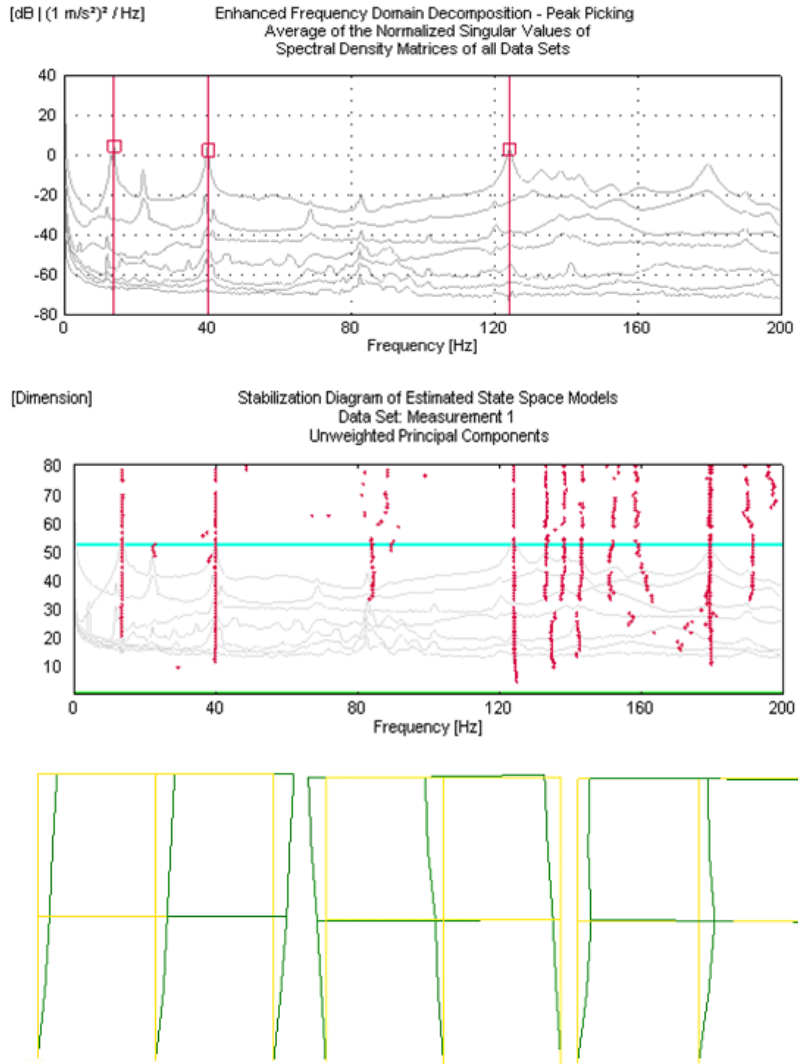


Şekil 41. Modal analizler sonucu elde edilen ilk üç mod şekli ve frekans değerleri

Elde edilen dinamik karakteristikleri teyit etmek için, çerçeve modelinin deneysel titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, çerçeve modeli üzerine hassas ivme ölçerler yerleştirilmiş ve titreşim ölçümleri alınmıştır (Şekil 42, 43).



Şekil 42. İvme ölçerlerin duvar üzerine uygulanması



Şekil 43. Titreşim ölçüm sonuçları ve dinamik karakteristikler

Alınan titreşim ölçümlerinin frekans ve zaman tanım alanında uygun yöntemler yardımıyla işlenmesi ile birlikte dinamik karakteristikler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, oluşturulan sonlu eleman modelinin yapının mevcut durumunu yansıtacak doğrulukta olduğu kanaatine varılmıştır. Analizler sırasında Şekil 36' da verilen yükleme protokolü uygulanmıştır. Bu protoköde, sistem öncelikle 354 kg'lık bir kuvvetle itilmekte, yer değiştirmeler elde edilmekte ve yük boşaltılmaktadır. Sonrasında, yük 712 kg'a çıkartılmakta, yer değiştirmeler tekrar ölçülerek yük boşaltılmaktadır. Üçüncü aşamada, 1071 kg'lık yükleme sonrasında meydana gelen yer değiştirmeler değerlendirilmekte olup, son aşamada çerçeve sistemin maksimum yük taşıma kapasitesi elde edilmektedir. 48 adet çerçeve sisteminin her biri için, gerçekleştirilen analizler sırasında elde edilen yer değiştirme değerleri aşağıdaki tablolarda farklı yük durumları için sunulmaktadır.

Tablo 22. 1 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :1	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,72	0,13	-0,127	-0,113	0,65
712 kg	1,443	0,2066	-0,3059	-0,1409	1,361
1071 kg	2,17	0,34	-0,44	0,34	-1,67
Maksimum Yük	4.480,315 kg				

Tablo 23. 2 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :2	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,843	0,1274	-0,1274	-0,0581	0,8273
712 kg	1,7062	0,2066	-0,3059	0,2548	1,6644
1071 kg	2,5667	0,3358	-0,4352	-0,3825	2,5033
Maksimum Yük	3.362,801 kg				

Tablo 24. 3 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :3	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,9668	0,1275	-0,1275	0,1094	0,9448
712 kg	1,9445	0,2067	-0,3061	0,1447	1,90
1071 kg	2,9259	0,3360	-0,4353	0,2176	2,8588
Maksimum Yük	4.297,593 kg				

Tablo 25. 4 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :4	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,1252	0,1274	-0,1274	-0,0606	1,1022
712 kg	2,2630	0,2067	-0,3060	0,1220	2,2174
1071 kg	3,4041	0,3359	-0,4352	0,3668	3,3351
Maksimum Yük	2.712,316 kg				

Tablo 26. 5 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :5	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,6699	0,1274	-0,1274	-0,0755	0,6505
712 kg	1,3473	0,2066	-0,3059	0,3083	1,3088
1071 kg	2,0266	0,3359	-0,4352	0,2285	1,9685
Maksimum Yük	3.875,564 kg				

Tablo 27. 6 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :6	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,7695	0,1274	-0,1274	-0,0654	0,7493
712 kg	1,5478	0,2066	-0,3059	0,1316	1,5074
1071 kg	2,3282	0,3336	-0,4352	-0,3613	2,2672
Maksimum Yük	4.045,396 kg				

Tablo 28. 7 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :7	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,9169	0,1275	-0,1275	-0,1043	0,8954
712 kg	1,8442	0,2068	-0,3061	0,1551	1,8012
1071 kg	2,7744	0,3360	-0,4353	0,2334	2,7092
Maksimum Yük	4.203,023 kg				

Tablo 29. 8 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :8	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,0444	0,1275	-0,1275	0,1142	1,0221
712 kg	2,1006	0,2067	-0,3059	0,1359	2,0561
1071 kg	3,1598	0,3359	-0,4352	0,3461	3,092
Maksimum Yük	3.186,441 kg				

Tablo 30. 9 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :9	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,6661	0,1274	-0,1274	-0,0687	0,6465
712 kg	1,3397	0,2056	-0,3069	0,1383	1,3008
1071 kg	2,0152	0,3348	-0,4361	0,3509	1,9565
Maksimum Yük	3.999,482 kg				

Tablo 31.10 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :10	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,7932	0,1274	-0,1274	-0,1275	0,7725
712 kg	1,5954	0,2052	-0,3073	0,1144	1,5542
1071 kg	2,3998	0,3344	-0,3876	-2,3374	2,3377
Maksimum Yük	4.056,659 kg				

Tablo 32. 11 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :11	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,8628	0,1275	-0,1275	-0,1120	0,8416
712 kg	1,7354	0,2052	-0,3074	0,1411	1,6931
1071 kg	2,6104	0,3345	-0,4367	-0,3395	2,5465
Maksimum Yük	4.225,771 kg				

Tablo 33. 12 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :12	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,00	0,1274	-0,1274	-0,1237	0,9877
712 kg	2,0313	0,2052	-0,3074	0,2496	1,9870
1071 kg	3,0555	0,3345	-0,4366	0,3752	2,9886
Maksimum Yük	3.365,593 kg				

Tablo 34. 13 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :13	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,5849	0,1274	-0,1274	0,1112	0,1448
712 kg	1,1764	0,2056	-0,3069	0,2253	1,1392
1071 kg	1,7695	0,3375	-0,4361	0,3381	1,7135
Maksimum Yük	4.684,689 kg				

Tablo 35. 14 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :14	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,6778	0,1274	-0,1274	0,0634	0,6581
712 kg	1,3633	0,2051	-0,3072	0,2462	1,3241
1071 kg	2,0506	0,3343	-0,4365	0,1919	1,9915
Maksimum Yük	3.831,249 kg				

Tablo 36. 15 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :15	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,7773	0,1275	-0,1275	0,1079	0,7568
712 kg	1,3751	0,2052	-0,2052	0,2175	1,5226
1071 kg	2,3518	0,3345	-0,4367	0,3269	2,2901
Maksimum Yük	3.698,334 kg				

Tablo 37. 16 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :16	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,8896	0,1274	-0,1274	0,065	0,8682
712 kg	1,7892	0,2052	-0,3074	0,1308	1,7467
1071 kg	2,6912	0,3344	-0,4366	0,3572	2,6272
Maksimum Yük	3.757,979 kg				

Tablo 38. 17 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :17	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,7467	0,1275	-0,1274	-0,1123	0,7056
712 kg	1,5019	0,2069	-0,3057	-0,1434	1,4199
1071 kg	2,2592	0,3363	-0,4349	-0,2156	2,1356
Maksimum Yük	2.700,586 kg				

Tablo 39. 18 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :18	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,8803	0,1274	-0,1167	0,1225	0,8592
712 kg	1,7706	0,2069	-0,3056	0,1194	1,7286
1071 kg	2,6633	0,3362	-0,4349	0,3799	2,5998
Maksimum Yük	3.533,044 kg				

Tablo 40. 19 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :19	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,7304	0,6097	-0,6097	0,0712	1,6844
712 kg	3,7268	1,167	-0,6497	0,3685	3,6388
1071 kg	5,6067	1,7859	-0,9475	0,5539	5,4736
Maksimum Yük	3.068,701 kg				

Tablo 41. 20 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :20	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	2,0303	0,6097	-0,293	-0,294	1,9858
712 kg	4,084	1,1669	-0,6496	-0,3354	3,9945
1071 kg	6,142	1,7859	-0,947	-0,5044	-6,008
Maksimum Yük	2.600,043 kg				

Tablo 42. 21 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :21	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,2211	0,4723	-0,2658	-0,1374	1,1862
712 kg	2,4564	0,8939	-0,591	0,2765	2,3863
1071 kg	3,6955	1,3733	-0,8607	0,4156	3,5895
Maksimum Yük	4.329,365 kg				

Tablo 43. 22 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :22	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,3255	0,4724	-0,2658	-0,1856	1,2897
712 kg	2,6656	0,8936	-0,5908	0,3753	2,5942
1071 kg	4,012	1,3733	-0,8606	0,5629	3,9025
Maksimum Yük	3.197,335 kg				

Tablo 44. 23 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :23	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,3422	0,6097	-0,2933	0,0888	1,3028
712 kg	2,8724	1,1669	-0,6496	-0,0387	2,7922
1071 kg	4,3223	1,7858	-0,9472	0,6758	4,2
Maksimum Yük	3.804,833 kg				

Tablo 45. 24 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :24	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,5336	0,6097	-0,2933	-0,2386	1,4926
712 kg	3,0856	1,1669	-0,6495	-0,3476	3,0220
1071 kg	4,6414	1,7858	-0,9472	0,7231	4,5166
Maksimum Yük	2.949,611 kg				

Tablo 46. 25 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :25	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,4409	0,6097	-0,2933	-0,1781	1,40
712 kg	2,8988	1,1661	-0,65	-0,4683	2,8174
1071 kg	4,3612	1,7849	-0,9479	0,7031	4,2380
Maksimum Yük	3.768,245 kg				

Tablo 47. 26 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :26	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,5771	0,6097	-0,2932	-0,2507	1,5355
712 kg	3,1725	1,1659	-0,65	-0,5059	3,0889
1071 kg	4,7728	1,7848	-0,9478	0,4842	4,6463
Maksimum Yük	2.967,21 kg				

Tablo 48. 27 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :27	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,5113	0,6096	-0,2932	-0,1772	1,4699
712 kg	3,04	1,1660	-0,6504	-0,4626	2,9571
1071 kg	4,5740	1,7849	-0,9481	0,5356	4,4488
Maksimum Yük	2.651,32 kg				

Tablo 49. 28 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :28	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,8668	0,6069	-0,2932	-0,637	1,8232
712 kg	3,7553	1,1661	-0,6504	-0,3290	3,2068
1071 kg	5,6495	1,7854	-0,9481	0,4954	5,5186
Maksimum Yük	3.054,24 kg				

Tablo 50. 29 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :29	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,392	0,6097	-0,2932	-0,2245	1,3523
712 kg	2,80	1,1661	-0,6504	-0,373	2,7202
1071 kg	4,21	1,7849	-0,9481	0,5607	3,8242
Maksimum Yük	3.071,25 kg				

Tablo 51. 30 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :30	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,4945	0,6096	-0,2932	-0,1714	1,4537
712 kg	3,005	1,1665	-0,65	-0,4841	2,9241
1071 kg	4,5232	1,7848	-0,9481	-0,7262	4,3942
Maksimum Yük	4.351,65 kg				

Tablo 52. 31 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :31	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,6516	0,6097	-0,2933	-0,2197	1,5653
712 kg	3,3222	1,1661	-0,6503	-0,3770	3,2370
1071 kg	4,7323	1,7850	-0,9483	-0,6645	4,5992
Maksimum Yük	3.080,44 kg				

Tablo 53. 32 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :32	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,7826	0,6097	-0,2933	-0,2334	1,7396
712 kg	3,566	1,1661	-0,6503	-0,3506	3,1751
1071 kg	5,3949	1,7849	-0,9481	-0,7058	5,2640
Maksimum Yük	3.077,45 kg				

Tablo 54. 33 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :33	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,9659	0,3085	-0,2293	-0,1133	1,0599
712 kg	2,1919	0,5711	-0,5108	0,2294	2,1324
1071 kg	3,2974	0,8842	-0,7436	-0,2324	3,2075
Maksimum Yük	4.206,396 kg				

Tablo 55. 34 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :34	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,2305	0,3086	-0,2293	-0,0650	1,1998
712 kg	2,4752	0,5711	-0,5108	0,2550	2,4137
1071 kg	3,7234	0,8841	-0,7435	-0,1967	3,6304
Maksimum Yük	3.521,406 kg				

Tablo 56. 35 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :35	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,388	0,3086	-0,2294	-0,1092	1,3562
712 kg	2,7927	0,5712	0,5110	0,2202	2,7285
1071 kg	3,8347	0,8842	-0,7437	-0,2394	4,1040
Maksimum Yük	3.972,978 kg				

Tablo 57. 36 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :36	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,5610	0,3086	-0,2293	-0,1206	1,5280
712 kg	3,1397	0,5712	-0,5109	-0,1371	2,9979
1071 kg	4,7230	0,8842	-0,7436	-0,2060	4,6203
Maksimum Yük	2.999,652 kg				

Tablo 58. 37 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :37	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,9567	0,3086	-0,2293	-0,1081	1,0120
712 kg	2,0945	0,5711	-0,5109	-0,1655	2,0359
1071 kg	2,8950	0,8842	-0,7435	-0,2487	2,8048
Maksimum Yük	3.564,141 kg				

Tablo 59. 38 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :38	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,1510	0,3086	-0,2293	-0,1191	1,1210
712 kg	2,3153	0,5711	-0,5108	-0,1454	2,2552
1071 kg	3,4830	0,8842	-0,7435	-0,2185	3,3921
Maksimum Yük	3.237,385 kg				

Tablo 60. 39 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :39	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,3372	0,3086	-0,2294	-0,1045	1,3055
712 kg	2,6898	0,5712	-0,5110	-0,2106	2,6263
1071 kg	4,0664	0,8844	-0,7438	-0,2545	3,9504
Maksimum Yük	3.683,498 kg				

Tablo 61. 40 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :40	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,4785	0,3086	-0,2294	-0,1141	1,4461
712 kg	2,9738	0,5712	-0,5109	-0,1507	2,9090
1071 kg	4,4736	0,8842	-0,7436	-0,3454	4,3756
Maksimum Yük	2.932,635 kg				

Tablo 62. 41 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :41	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,0167	0,3086	-0,2292	-0,1166	0,9876
712 kg	2,0451	0,5702	-0,5118	-0,2360	1,9867
1071 kg	3,0766	0,8832	-0,7444	-0,3540	2,9882
Maksimum Yük	4.201,36 kg				

Tablo 63. 42 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :42	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,1503	0,3086	-0,2293	-0,1290	1,1204
712 kg	2,3138	0,5702	-0,5117	-0,2611	2,2532
1071 kg	3,4807	0,8833	-0,7444	-0,3917	2,6871
Maksimum Yük	3.229,35 kg				

Tablo 64. 43 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :43	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,1745	0,3086	-0,2293	-0,1152	1,1439
712 kg	2,3625	0,5699	-0,5122	-0,2322	2,3012
1071 kg	3,5540	0,8830	-0,7448	-0,2277	3,0709
Maksimum Yük	3.988,23 kg				

Tablo 65. 44 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :44	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,3259	0,3086	-0,2293	-0,0639	1,2943
712 kg	2,6667	0,5699	-0,5120	-0,2558	2,6037
1071 kg	4,0117	0,8829	-0,7447	-0,3843	3,9162
Maksimum Yük	2.936,35 kg				

Tablo 66. 45 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :45	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	0,56	0,127	-0,127	-0,13	0,54
712 kg	1,39	0,205	-0,307	-0,14	1,36
1071 kg	2,11	0,335	-0,436	-0,345	-2,05
Maksimum Yük	4.444,784 kg				

Tablo 67. 46 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :46	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,0169	0,3086	-0,2293	-0,1238	0,8223
712 kg	2,0454	0,5699	-0,5119	-0,1391	1,6542
1071 kg	3,0770	0,8829	-0,7446	-0,3759	2,4882
Maksimum Yük	3.533,26 kg				

Tablo 68. 47 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :47	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,0348	0,3085	-0,2293	-0,1101	1,0951
712 kg	2,0821	0,5699	-0,5121	-0,1620	2,0211
1071 kg	3,4051	0,8831	-0,7448	-0,3332	3,0401
Maksimum Yük	3.588,92 kg				

Tablo 69. 48 numaralı model için elde edilen analiz sonuçları

Model No :48	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	1,2459	0,3086	-0,2293	-0,1200	1,2149
712 kg	2,5060	0,5699	-0,5120	-0,2419	2,1157
1071 kg	3,7699	0,8829	-0,7447	-0,3634	3,1825
Maksimum Yük	3.002,34 kg				

3.4. Yapay Sinir Ağları Analizi

Yapay sinir ağlarının oluşturulması, eğitimi ve optimizasyonu MATLAB paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlgili parametrelerin yer değiştirme miktarı üzerine etkisini incelemek amacıyla; deney verileri eğitim ve test verileri şeklinde rastgele ve homojen bir şekilde gruplandırılıp, farklı veri setleri oluşturularak yapay sinir ağlarını (YSA) eğitmek için kullanılmıştır. Tahmin modelinde kullanılan veri setleri Tablo 70’de gösterilmiştir.

Test işlemi sonucunda bulunan tahmini değerler gerçek değerlerle karşılaştırılmış, iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan tanı vasıtaları (performans fonksiyonları) olan 3 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), 4 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve 5 numaralı eşitlikle hesaplanan determinasyon katsayısı (R^2) dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren model, tahmin modeli olarak seçilmiştir. Tablo 70’de, bu tahmin modeli kullanılarak hesaplanan değerler, gerçek değerler, sapma miktarları, yüzde hata oranları ile RMSE ve MAPE değerleri görülmektedir.

$$MAPE = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left[\frac{|t_i - td_i|}{t_i} \right] \right) \times 100 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (4)$$

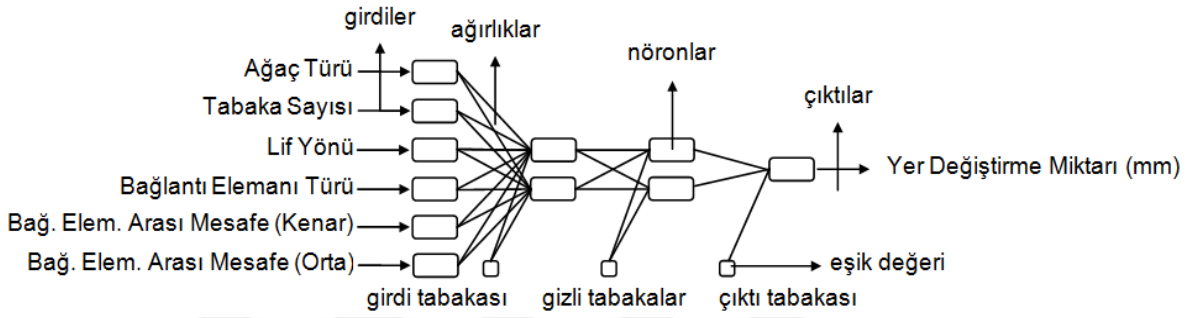
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (5)$$

Burada t_i , gerçek değeri; td_i , model tahmin değerini; N ise terim sayısını ifade etmektedir.

Tablo 70. Tahmin modelinde kullanılan veriler ve tahmin modeli sonuçları.

EĞİTİM VERİLERİ									
Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Lif Yönü	Bağlantı Elemanı Türü	Bağlantı Elemanları Arası Mesafe (mm)		Maksimum Yer Değiştirme Miktarı (mm)			
				(levha kenarlarında)	(levha ortalarında)	Gerçek	Tahmin	Sapma	% Hata
Sarıçam	5	Dik	6d	76	152	75.945	70.650	5.295	6.973
Sarıçam	5	Dik	6d	152	305	71.377	77.879	-6.502	-9.109
Sarıçam	5	Paralel	6d	152	305	87.013	85.730	1.283	1.474
Sarıçam	5	Dik	8d	152	305	73.589	71.873	1.716	2.331
Sarıçam	5	Paralel	8d	76	152	72.232	73.812	-1.580	-2.187
Sarıçam	5	Paralel	8d	152	305	79.087	80.646	-1.559	-1.971
Sarıçam	7	Dik	6d	76	152	48.237	52.997	-4.760	-9.869
Sarıçam	7	Dik	6d	152	305	61.438	62.489	-1.051	-1.710
Sarıçam	7	Paralel	6d	76	152	66.171	64.755	1.416	2.139
Sarıçam	7	Paralel	6d	152	305	66.171	66.172	-0.001	-0.001
Sarıçam	7	Dik	8d	76	152	44.218	43.921	0.297	0.672
Sarıçam	7	Paralel	8d	76	152	61.557	57.156	4.401	7.149
Ladin	5	Dik	6d	76	152	84.992	77.904	7.088	8.339
Ladin	5	Paralel	6d	76	152	80.438	85.753	-5.315	-6.607
Ladin	5	Paralel	6d	152	305	65.221	65.130	0.091	0.139
Ladin	5	Dik	8d	76	152	69.339	71.902	-2.563	-3.697
Ladin	5	Dik	8d	152	305	80.438	78.974	1.464	1.820
Ladin	5	Paralel	8d	152	305	74.158	74.159	-0.001	-0.001
Karaçam	5	Dik	6d	152	305	80.611	80.612	-0.001	-0.001
Karaçam	5	Paralel	6d	76	152	95.766	91.150	4.616	4.820
Karaçam	5	Dik	8d	76	152	74.910	78.999	-4.089	-5.459
Karaçam	5	Dik	8d	152	305	90.908	85.193	5.715	6.286
Karaçam	5	Paralel	8d	76	152	80.798	86.682	-5.884	-7.282
Karaçam	5	Paralel	8d	152	305	66.054	66.147	-0.093	-0.141
MAPE Eğitim						3.757			
MAPE Test						7.144			
TEST VERİLERİ									
Sarıçam	5	Paralel	6d	76	152	84.978	79.611	5.367	6.315
Sarıçam	5	Dik	8d	76	152	61.641	63.774	-2.133	-3.461
Sarıçam	7	Dik	8d	152	305	54.865	54.608	0.257	0.468
Sarıçam	7	Paralel	8d	152	305	63.582	66.106	-2.524	-3.970
Ladin	5	Dik	6d	152	305	99.986	84.233	15.753	15.755
Ladin	5	Paralel	8d	76	152	87.214	80.670	6.544	7.503
Karaçam	5	Dik	6d	76	152	75.835	84.255	-8.420	-11.104
Karaçam	5	Paralel	6d	152	305	77.718	71.052	6.666	8.578
RMSE Eğitim						3.638			
RMSE Test						7.468			

Şekil 44’de yer değiştirme miktarının modellenmesi için seçilen ve gerçek değerlere en yakın sonuçları veren 1 giriş katmanı, 2 gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşan tahmin modelinin ağ mimarisi görülmektedir. Modelde ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü, bağlantı elemanı türü, bağlantı elemanları arası mesafe değerleri (levha kenarlarında ve ortalarında) girdi değişkenlerini oluştururken, yer değiştirme miktarı ise çıktı değişkenini oluşturmaktadır. Gizli katmanlardaki işlem elemanı (nöron) sayıları sırasıyla 2 ve 2’dir.



Şekil 44. Tahmin modeli olarak seçilen YSA mimarisi.

Modelin en tutarlı sonucu verebilmesi için ağ yapısı genelleme yapabilecek en az nöron sayısı ile tasarlanmıştır. Geliştirilen tahmin modelinde ağ bağlantılarının sayısı, eğitim için ayrılan veri sayısından az olduğu için model matematiksel olarak mantıklı ve tanımlanabilirdir.

Problemin çözümünde ileri beslemeli ve geri yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu çalışmada, aktivasyon (transfer) fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) ile doğrusal transfer fonksiyonu (purelin), eğitim algoritması olarak da levenberg marquardt algoritması (trainlm) seçilmiş, öğrenme kuralı olarak momentumlu gradyan azaltım geri yayılım algoritması (traingdm), performans fonksiyonu olarak ta 6 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hata (MSE) tercih edilmiştir.

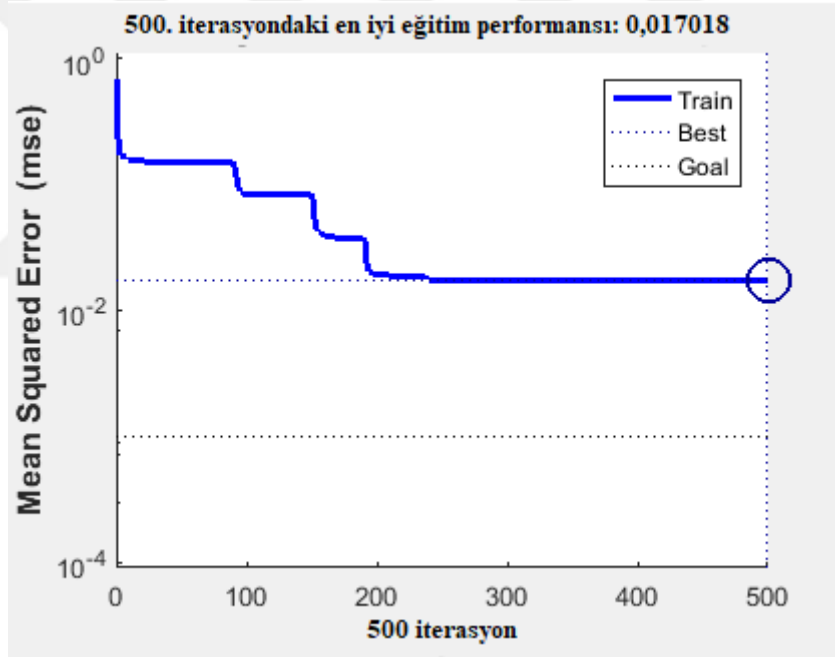
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (6)$$

Her bir parametrenin modele eşit katkı sağlaması amacıyla eğitim ve test setindeki veriler, modelde hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu kullanıldığından, (-1,1) aralığında normalize edilerek ağa sunulmuş, daha sonra sonuçların yorumlanabilmesi için veriler ters

normalize işlemine tabi tutulmak suretiyle orijinal değerlerine çevrilmiştir. Normalizasyon (ölçeklendirme) işlemleri, 7 numaralı eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Eşitlikte X_{norm} , normalize edilmiş veriyi; X , değişkenin gerçek değerini; X_{min} , veri grubunun minimum değerini; X_{max} , ise veri grubunun maksimum değerini ifade etmektedir.

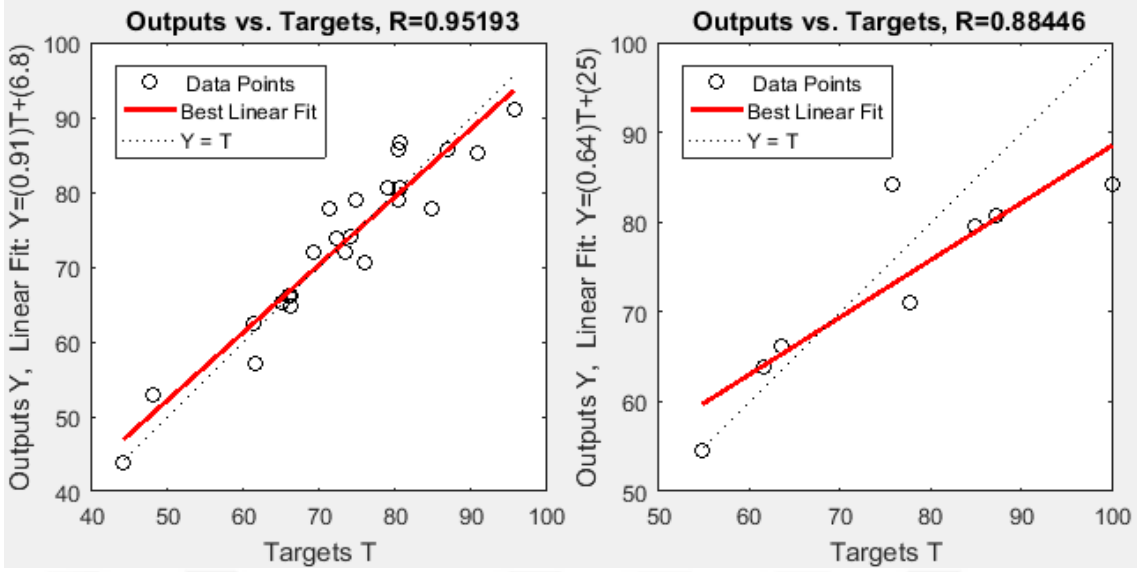
$$X_{norm} = 2 \times \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} - 1 \quad (7)$$

Yer Değiştirme miktarı tahmin modeli olarak seçilen yapay sinir ağının iterasyona (tekrara) bağlı hata değişim grafiği Şekil 45'de görülmekte olup, 500. iterasyondaki en iyi eğitim performansı 0,017018 dir.

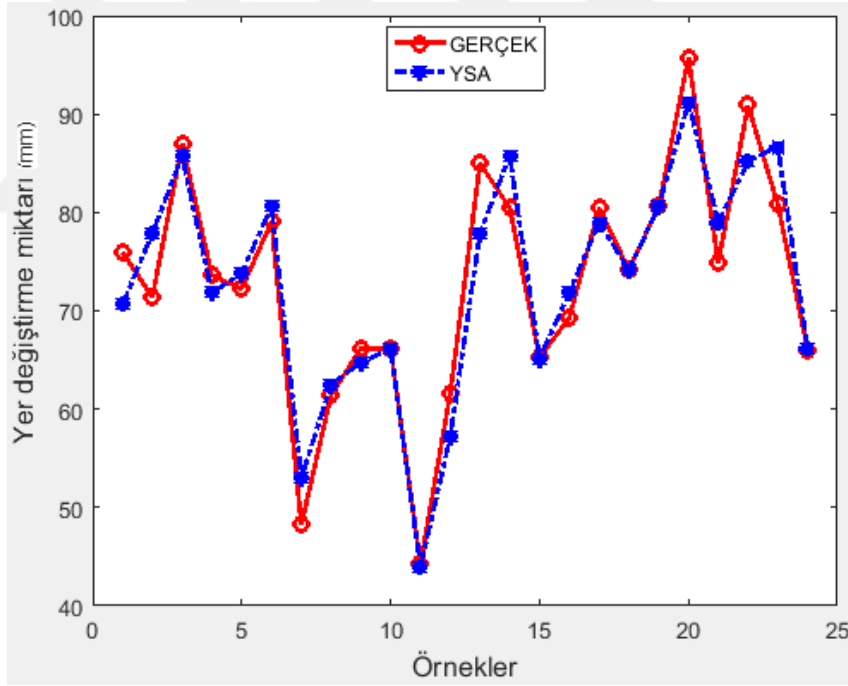


Şekil 45. Tahmin modelinin her bir tekrarındaki hata değişim grafiği

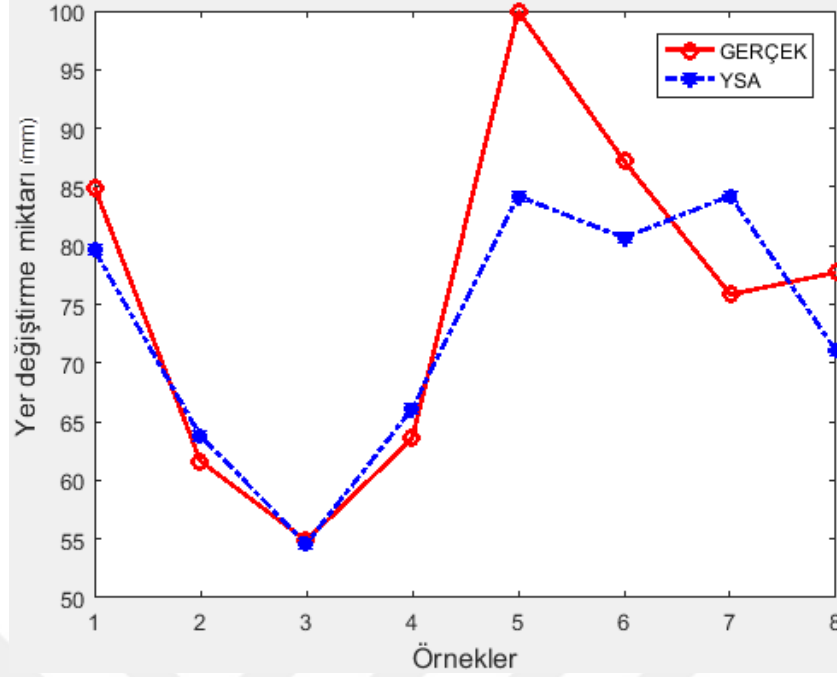
Tahmin modeli kullanılarak hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişkileri gösteren diyagram Şekil' 46 da gösterilmiştir. Şekil 47-48'deki grafiklerde bu değerler karşılaştırılmıştır.



Şekil 46. Tahmin modeli sonuçları ile deneysel sonuçların regresyon modelleri



Şekil 47. Tahmin modeli sonuçları ile gerçek değerlerin eğitim seti için karşılaştırılması



Şekil 48. Tahmin modeli sonuçları ile gerçek değerlerin test seti için karşılaştırılması.

Yapay sinir ağlarının girdiler için doğru çıktıları üretecek hale gelmesi (istenen çıktı ile ağ çıktısı arasındaki farkın minimize edilmesi) yani ağın eğitilmesi, bağlantı ağırlıklarının ve eşik değerlerinin belirlenmesi ile gerçekleşmektedir. Ağın doğru ağırlık değerine ulaşması, ağın genellemeler yapabilme yeteneğine kavuştuğunu diğer bir ifade ile ağın öğrendiğini gösterir. Yapay sinir ağlarında bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine ağırlık değerleri (ağırlıklı bağlantılar veya bağlantı ağırlıkları) ile dağılmıştır. Tablo 71' de Tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları verilmiştir.

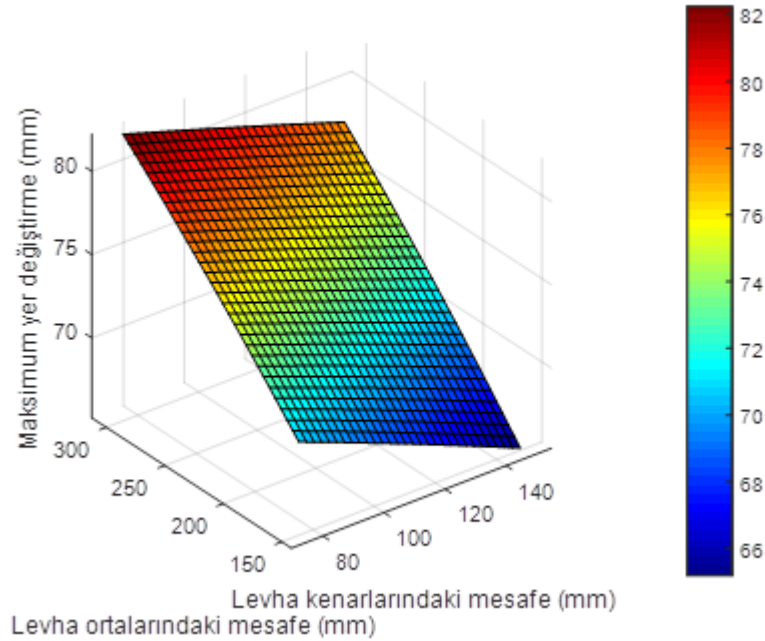
Tablo 71. Tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları.

Gizli Katman 1			Gizli Katman 2			Çıktı Katmanı	
neron1	neron2	bias1	neron1	neron2	bias2	neron1	bias3
-0.040312	-10.700440	-1.851939	9.566361	-2.578185	8.1065974	-18.465516	-6.850282
0.039893	-2.338638	14.408763	-0.068351	3.229647	6.4569276	-7.577009	
-0.025319	-8.193934						
0.016865	2.727285						
0.014210	-5.095104						
-0.034290	-6.162381						

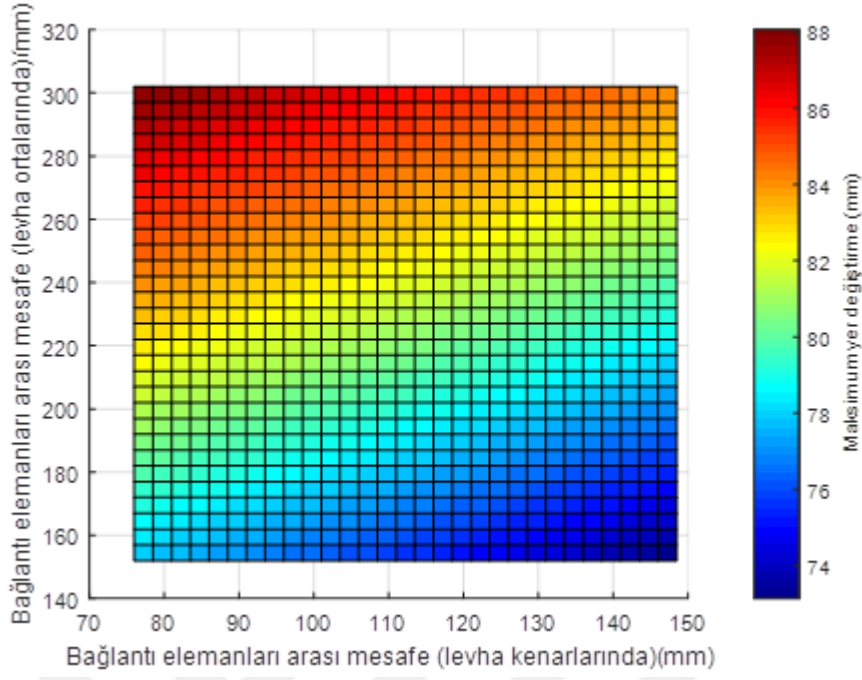
Önerilen YSA modellerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan grafiksel ve istatistiksel karşılaştırmalar deneysel ölçümlerle mukayese edildiğinde YSA modellerinin tatmin edici ve istikrarlı sonuçlar ürettiğini teyit etmektedir.

Tablolar incelendiğinde YSA tahmin modellerinin kullanılması ile hesaplanan (tahmin edilen) değerlerin gerçek değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. Ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error) (MAPE) eğitim safhasında %3.757 ve test safhasında %7.144 olmuştur. Bu hata düzeyleri ve grafiksel karşılaştırmalar YSA tahmin modellerinin etkili bir şekilde memnun edici sonuçlar ürettiğini ve yeterli doğruluk ve güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.

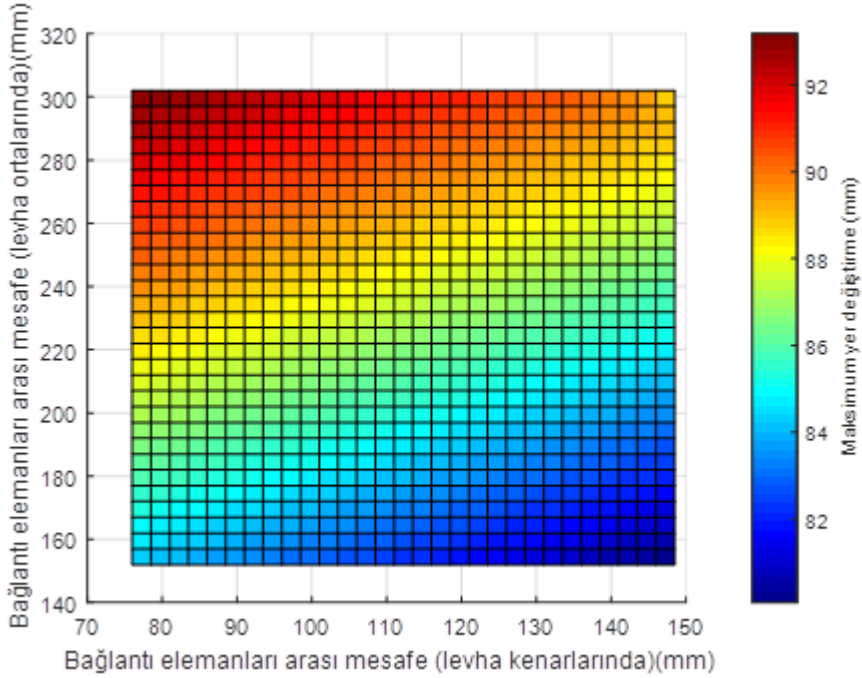
Elde edilen tahmin modeli ile çalışmada kullanılmayan ara değerler için yer değiştirme miktarları belirlenmiştir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 49-55) ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü ve bağlantı elemanı türüne bağlı olarak bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile yer değiştirme miktarındaki farklılıkları gösteren bazı örnekler verilmiştir.



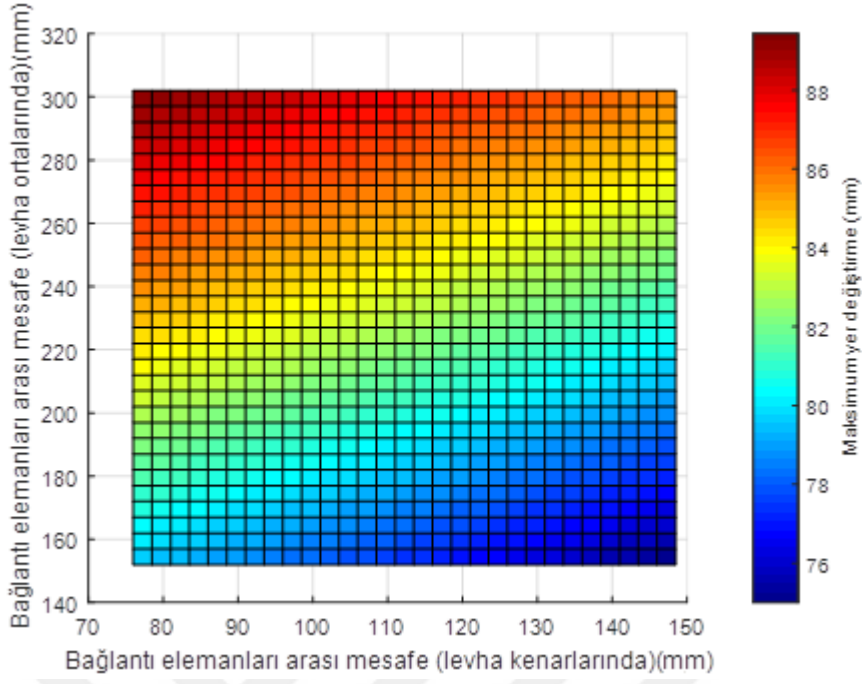
Şekil 49. Ağaç türü sarıçam, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar



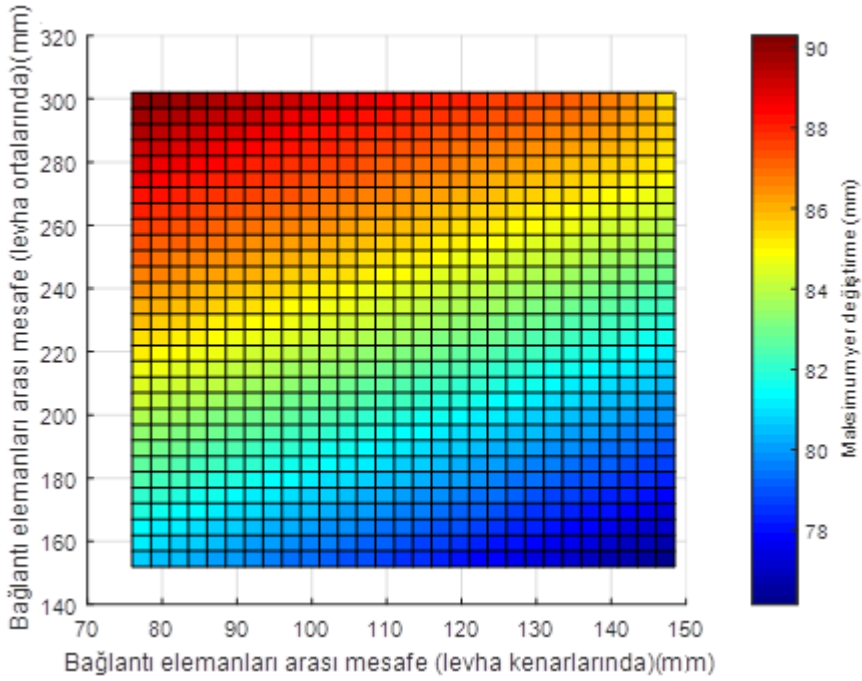
Şekil 50. Ağaç türü ladin, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar



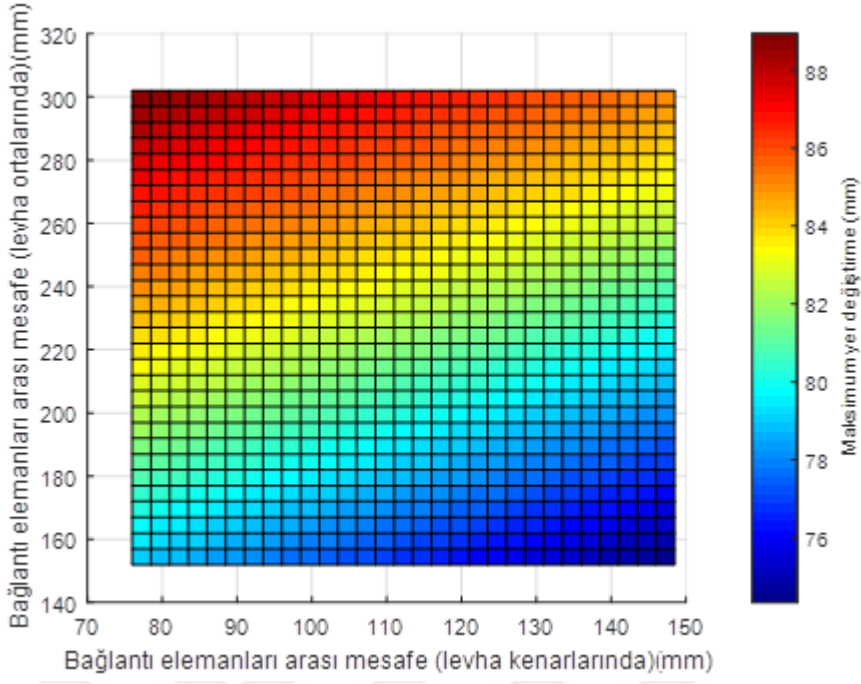
Şekil 51. Ağaç türü karaçam, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar



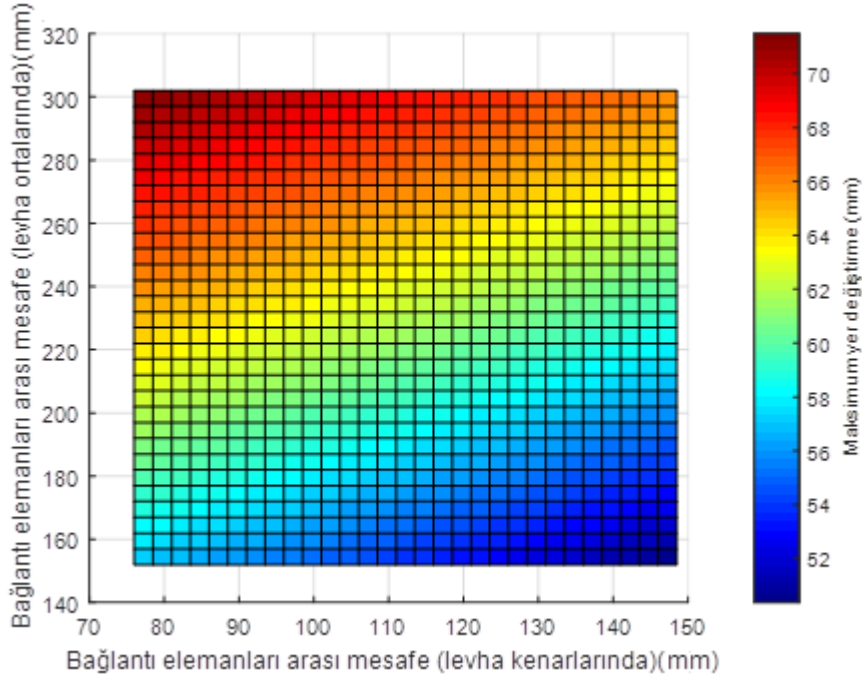
Şekil 52. Ağaç türü sarıçam, tabaka sayısı 5, lif yönü paralel ve bağlantı elemanı türü 6d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar



Şekil 53. Ağaç türü ladin, tabaka sayısı 5, lif yönü paralel ve bağlantı elemanı türü 8d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar



Şekil 54. Ağaç türü karaçam, tabaka sayısı 5, lif yönü dik ve bağlantı elemanı türü 8d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar



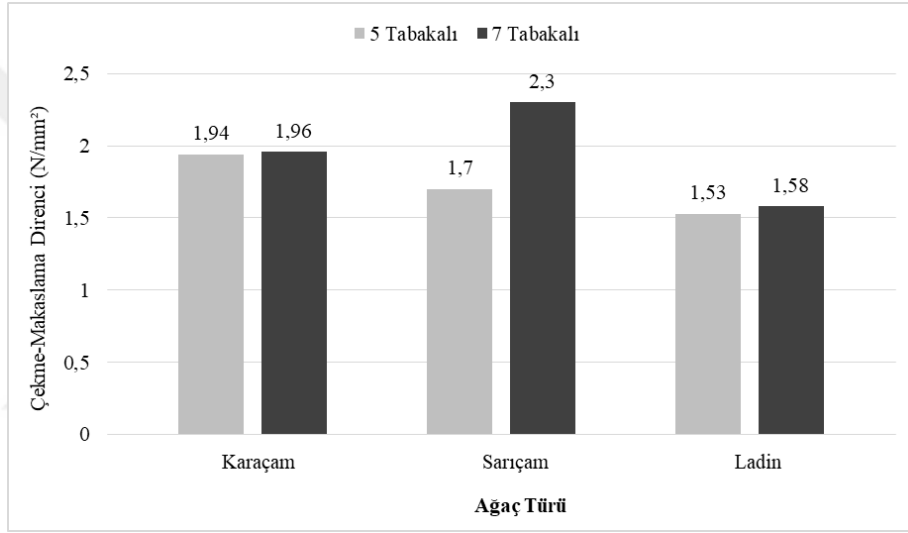
Şekil 55. Ağaç türü sarıçam, tabaka sayısı 7, lif yönü paralel ve bağlantı elemanı türü 8d olduğu durumda bağlantı elemanları arasındaki mesafelerin değişmesi ile maksimum yer değiştirme miktarındaki farklılıklar

4. TARTIŞMA

4.1. Mekanik Özellikler

4.1.1. Yapışma (Çekme-Makaslama) Direnci

Üretilen kontrplakların çekme-makaslama direnci değişimleri, ağaç türü ve tabaka sayısına göre Şekil 56' da verilmiştir.



Şekil 56. Üretilen levhaların çekme-makaslama direnci değerleri değişimi

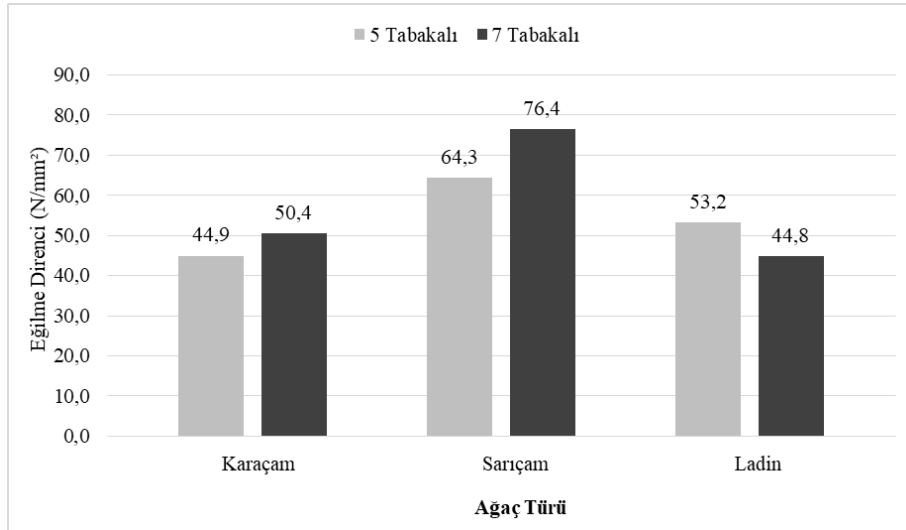
Elde edilen verilere göre, 7 tabakalı kontrplakların çekme-makaslama direnci değerleri, 5 tabakalılarına göre yüksek bulunmuştur. Ağaç türü, pres basıncı, tutkal türü, kaplama kalınlığı, tabaka sayısı, kaplama kurutma sıcaklığı gibi faktörler üretilen kontrplakların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etki eden önemli faktörlerdir. Fakat üretilen kontrplağın teknolojik özelliklerini etkileyen en önemli odun özelliği yoğunluktur. Yoğunluğu yüksek odunların kaplamalarından üretilen kontrplağın mekanik özelliklerinin daha yüksek olduğu ifade edilmektedir (Bal ve Bektaş, 2013). Çalışma kapsamında 7 tabakalı olarak üretilen kontrplakların yoğunluk değerleri daha yüksek bulunmuştur. Dolayısı ile en yüksek çekme makaslama direnci değerlerinin 7 tabakalı kontrplaklardan elde edilmesi beklenen bir sonuçtur.

Ağaç türünde ise, sarıçamın 7 tabakalılarda, karaçamın ise 5 tabakalılarda daha yüksek değer verdiği görülmüştür. 5 tabakalı karaçam kontrplaklarla ilgili benzer sonuç Demirkır (2012) tarafından yapılan başka bir çalışmada da elde edilmiştir. Yapılan çoğul varyans analizinde ise, sarıçam ve karaçamın, ladinden üretilen kontrplaklara göre daha yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Kontrplakların üretildikleri ağaç türünün yoğunluk değerleri göz önüne alındığında, bu beklenen bir sonuçtur. Zira, odunun yoğunluğu arttıkça çekme-makaslama direncinin de iyileştiği literatürde belirtilmektedir (Chow ve Chunsi, 1979). Üretilen kontrplak levhaların yoğunluk değerleri incelendiğinde en yüksek yoğunluk değerlerini sarıçam ve karaçam kontrplakların verdiği belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen kontrplak çekme-makaslama direnci değerleri, TS EN 314-1 (1998) ve DIN 68705-3 (2003) standartlarında belirtilen 1 N/mm² değerinin üzerinde bulunmuştur. Dolayısıyla üretilen levhaların standart değerlere uygun yapışma direnci sonuçları ortaya koyduğu görülmektedir.

4.1.2. Eğilme Direnci

Üretilen kontrplakların eğilme direnci değişimleri, ağaç türü ve tabaka sayısına göre Şekil 57' de verilmiştir.



Şekil 57. Üretilen levhaların eğilme direnci değerleri değişimi

Elde edilen verilere göre, sarıçam ve karaçam kontrplaklarda, 7 tabakalı kontrplakların eğilme direnci değerleri, 5 tabakalılara göre yüksek bulunmuştur. Ladin kontrplaklarda ise 5 tabakalılar bir miktar daha yüksek değerler vermiştir. Buna benzer sonuçlar, yine Ladin üzerinde çalışan Peker ve Tan (2014) tarafından elde edilmiş ve tabaka sayısındaki artışa bağlı olarak eğilme direnci değerlerinde düşme görülmüştür. Genel olarak, tabaka sayısına göre eğilme direnci değerlerindeki değişimleri, yoğunluğun tabaka sayısına göre değişimiyle paralellik göstermiştir. Nitekim özgül ağırlığın artması ile malzemenin mekanik özelliklerinin de iyileşeceği belirtilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1992). Ancak, yapılan çoğul varyans analizinde tabaka sayısının eğilme direnci üzerinde anlamlı bir farka neden olmadığı tespit edilmiştir.

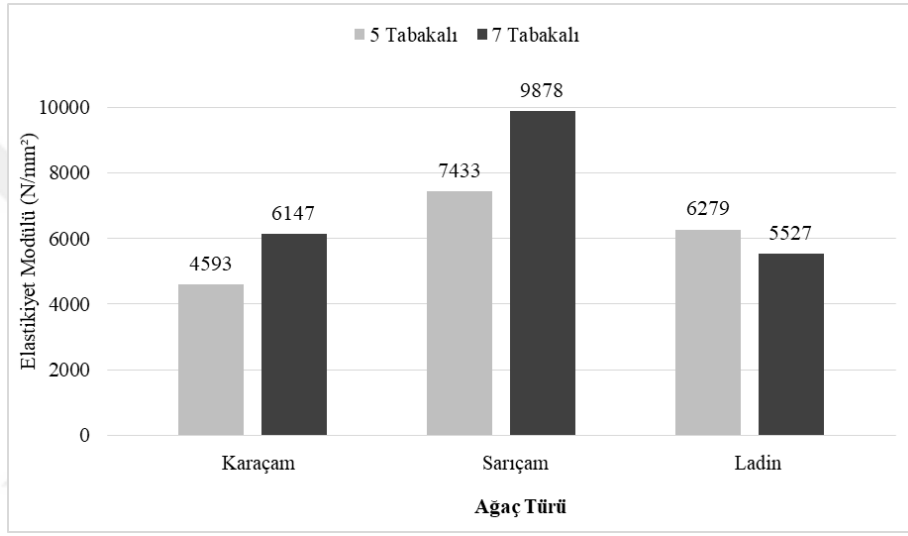
Ağaç türü açısından incelendiğinde, en yüksek eğilme direnci değerlerini sarıçam kontrplaklar vermiştir. Kontrplağın eğilme direnci üzerine çeşitli üretim faktörlerinin etkisinin incelendiği çalışmalarda, ağaç türünün eğilme direnci üzerine önemli bir etkisi olduğu ifade edilmektedir (Toksoy vd., 2005; Aydın vd., 2005; Aydın ve Çolakoğlu, 2008). Yoğunluğu en yüksek olan sarıçamın eğilme direncinin de yüksek olması beklenen bir durumdur. Yoğunluğu yüksek odunların kaplamalarından üretilen kontrplağın mekanik özellikleri daha yüksektir (Bal ve Bektaş, 2013). Ayrıca, iyi bir çekme-makaslama direnci sağlanmış levhalardan elde edilen örneklerde eğilme direnci sonuçlarının yüksek olacağı ifade edilmektedir (Aydın ve Demirkır, 2010; Demirkır, 2012; Aydın, 2004; Çolakoğlu, 2004).

Üretilen kontrplaklara ait eğilme direnci değerleri DIN 68705-3 (2003) standardına göre, tüm gruplar yapısal amaçlı kullanılacak kontrplaklar için eğilme direnci alt sınır değeri olarak belirlenen 40 N/mm^2 değerini sağlamıştır. TS 4645 EN 636 (2005) standardında yapılan sınıflandırmada belirtilen F30 (45 N/mm^2), F40 (60 N/mm^2), F50 (75 N/mm^2) sınıfları için verilen alt değerlerin karşılandığı görülmektedir. Çeşitli ağaç türlerinden üretilen kontrplaklara ait mekanik özelliklerin verildiği Wood Handbook (2010) kitabında belirtilen eğilme direnci değerleri; duglas göknarı, lauan, kızıl sedir, kızıl ağaç ve çam için sırasıyla 41.37 N/mm^2 , 33.72 N/mm^2 , 37.37 N/mm^2 , 42.61 N/mm^2 ve 37.09 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Çalışmada, üretilen kontrplaklar için belirlenen eğilme direnci değerleri bu değerler üzerinde bulunmuştur (Wood Handbook, 2010). APA tarafından hazırlanan ticari markalı 5 tabakalı yapısal kontrplak levhaların mekanik özelliklerini gösteren tt-044B formunda, eğilme direnci değeri 34.47 N/mm^2 (APA, 2010) olarak belirtilmekte ve üretilen tüm grupların bu değeri sağladığı görülmektedir. Japon

standartlarına belirtilen 27.4 N/mm^2 değeri de tüm gruplar tarafından aşılmıştır (Nanami vd., 2000).

4.1.3. Elastikiyet Modülü

Üretilen kontrplakların elastikiyet modülü değişimleri, ağaç türü ve tabaka sayısına göre Şekil 58' de verilmiştir.



Şekil 58. Üretilen levhaların elastikiyet modülü değerleri değişimi

Elde edilen verilere göre, sarıçam ve karaçam kontrplaklarda, 7 tabakalı kontrplakların elastikiyet modülü değerleri, 5 tabakalılarına göre yüksek bulunmuştur. Ladin kontrplaklarda ise 5 tabakalıları bir miktar daha yüksek değerler vermiştir. Bölge farklılığı, buharlama işlemi, kurutma sıcaklığı, tabaka sayısı ve tutkal türünün Ladin odunundan üretilen kontrplakların mekanik özelliklerine (eğilme direnci ve elastikiyet modülü) etkisinin incelendiği bir çalışmada, tabaka sayısının artmasına bağlı olarak, elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı belirlenmiştir (Peker ve Tan, 2014). Ayrıca, tabaka sayısına göre meydana gelen bu değişimler, çalışmadaki tabaka sayısına göre yoğunluktaki değişimlerle açıklanabilir.

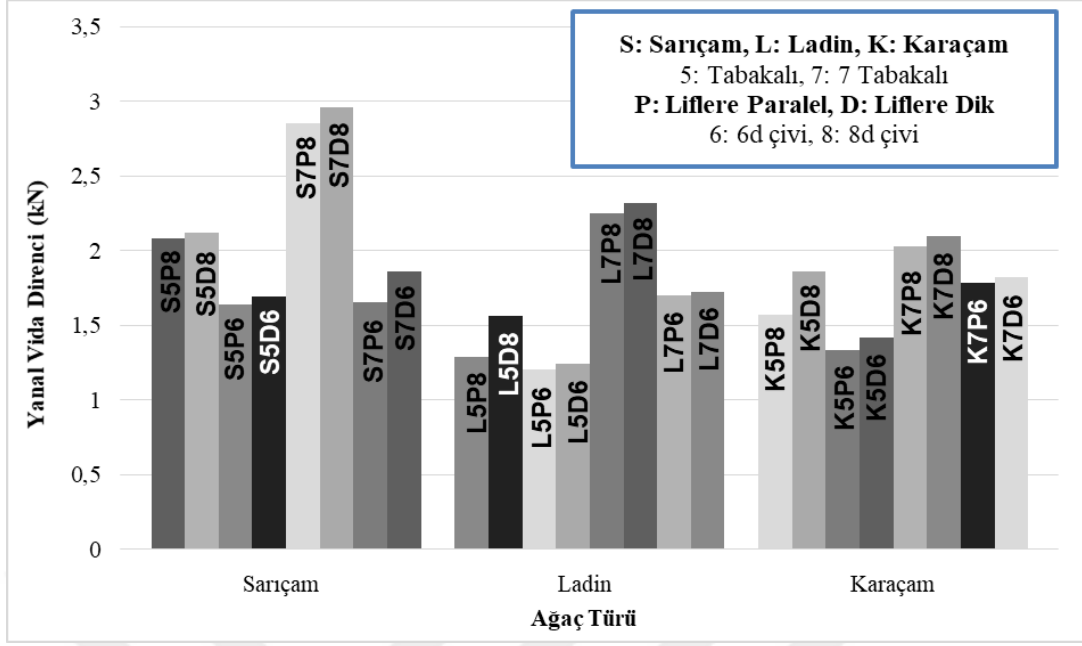
Ağaç türü açısından incelendiğinde, en yüksek elastikiyet modülü değerlerini sarıçam kontrplaklar vermiştir. Literatürde kontrplakların elastikiyet modülü üzerine ağaç türünün etkili olduğu ve odunun elastikiyet modülünün artışı ile bu odundan üretilen

kontrplakların elastikiyet modülü değerlerinin de artacağı belirtilmektedir (Demirkır, 2012; Örs vd., 2002). Yoğunluğu en yüksek olan sarıçamın elastikiyet modülü de yüksek olması beklenen bir durumdur. Yoğunluğu yüksek odunların kaplamalarından üretilen kontrplağın mekanik özellikleri daha yüksektir (Bal ve Bektaş, 2013). Halligan ve Schiewind (1974) çalışmasında da, eğilme elastikiyet modülündeki değişimin levhanın eğilme direncindeki değişimlere orantılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

Elde edilen değerlerin, DIN 68705-3 (2003) standardına göre, yapısal amaçlı kullanılacak 6-12 mm arası kalınlıklardaki kontrplaklar için elastikiyet modülü alt sınır değeri olarak belirlenen 5000 N/mm^2 değerini genel olarak sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca tüm gruplara ait levhaların TS 4645 EN 636 (2005) standardında yapılan sınıflandırmada belirtilen E60 (6000 N/mm^2), E70 (7000 N/mm^2) sınıfları için verilen alt değerleri sarıçam, 7 tabakalı karaçam ve 5 tabakalı ladin kontrplakların sağladığı, 5 tabakalı karaçam ve 7 tabakalı ladin kontrplaklarının ise E40 (4000 N/mm^2) ve E50 (5000 N/mm^2) standart şartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Japon standartlarında belirtilen 6370 N/mm^2 elastikiyet modülü alt sınır değerini sarıçamdan üretilen kontrplak levhaların sağladığı belirlenmiştir.

4.1.4. Yanal Vida Direnci

Ağaç türü, tabaka sayısı, lif yönü ve bağlantı elemanına göre oluşturulan grupların yanal vida direnci değerleri Şekil 59'da verilmiştir.



Şekil 59. Deney için oluşturulan grupların yanal vida direnci değerleri değişimi

Ağaç türünün üretilen kontrplakların yanal vida direnci üzerine etkisi incelendiğinde, sarıçam kontrplakların en yüksek yanal vida direnci değerleri verdiği görülmüştür. Yoğunluğu yüksek odunların kaplamalarından üretilen kontrplağın mekanik özellikleri daha yüksektir (Bal ve Bektaş, 2013). Benzer şekilde yoğunluğu yüksek ağaç türlerinden elde edilen lamine malzemelerin çivi veya vida tutma dirençleri de yüksektir (Erdil vd., 2002; Özçifçi, 2009; Bal vd., 2013). Sarıçam da hem ladin hem de karaçamdan yüksek yoğunluğa sahip olduğu için, daha yüksek yanal vida direnci değerleri vermiştir. Kontrplak yoğunluğu ile yanal vida direnci arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu Nanami vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada ifade edilmektedir. Ayrıca literatürde ağaç türünün vida direncini etkilediği belirtilmektedir (Wu,1999; Stieda, 1990). Çünkü yanal vida direnci testinde kullanılan kontrplak ve masif malzeme yoğunluklarının bu testin sonucunu etkileyecek önemli faktörlerden oldukları belirtilmektedir (Stieda,1990).

Tabaka sayısının üretilen kontrplakların yanal vida direnci üzerine etkisi incelendiğinde, 7 tabakalı kontrplakların yanal vida direnci, 5 tabakalı kontrplaklara göre daha yüksek bulunmuştur. Elde edilen yoğunluk değerlerinde 7 tabakalı levhaların daha yüksek olmasından dolayı, yanal vida direncinin de yüksek olması beklenen sonuçtur. Daha önce yapılan çalışmalarda yoğunluk ile yanal vida direnci arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Winistorfer ve Soltis, 1994; Suematsu ve Okuma, 1993).

Lif yönünün üretilen kontrplakların yanal vida direnci üzerine etkisi incelendiğinde, liflere paralel yöndeki ölçümlerin liflere dik yöndekilerden daha düşük olduğu görülmektedir. Literatürde liflere dik direncin liflere paralel yanal vida direncinden daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Demirkır, 2012; Hunt ve Bryant, 1990; Nanami vd., 2000).

Bağlantı elemanı türünün üretilen kontrplakların yanal vida direnci üzerine etkisi incelendiğinde, 8d çivilerin kullanıldığı örneklerin yanal vida direnci, 6d çivilerin kullanıldığı örneklere göre daha yüksek bulunmuştur. APA tarafından 6d düz çiviler için verilen değer 180 lbf (0.80 kN) ve 8d düz çiviler için verilen sınır değeri ise 220 lbf (0.98 kN)'dir (APA, 2007). Bu sınır değerleri dikkate alındığında, bu çalışmada elde edilen değerler genel olarak daha yüksektir. Bu değerlerin yüksek oluşu kullanılan malzemelerin yoğunluklarından kaynaklanmaktadır (Bal vd., 2016).

Kontrplağın yanal çivi dayanımı üzerine etki eden diğer faktör testin bitiş şeklidir. Bu konu dört farklı şekilde olabilmektedir. Birincisi; eğer kullanılan çivi düz çivi ise test esnasında çivi masif parçadan çıkabilmektedir. Bu durum düz çivilerde gözlenmektedir. Yani ölçülen maksimum kuvvet, kontrplağın yanal çivi dayanımı değil, temel eleman olan masif parçanın çivi tutma direncidir. İkincisi; çivi başının test esnasında kırılmasıdır. Bu durum ring çivilerle yapılan testlerde görülmektedir ve çivinin dayanımını göstermektedir. Üçüncüsü ise; çivi başının kontrplak malzeme içinden çıkmasıdır. Bu durumda elde edilen sonuç, kontrplağın yanal çivi dayanımı olarak kabul edilmelidir. Dördüncü ise; temel elemanın test esnasında çatlamasıdır. Bu konuda yapılan önceki çalışmalarda da benzer gözlemler bildirilmiştir (Theilen vd., 1998; Bal vd., 2016). Bu çalışmada, yukarıda anlatılan nedenlerle ring çivi kullanılmıştır. Bazı testler sonunda, çivi başlarında kırılmalar olmuştur. Bu test örnekleri ortalamaya dâhil edilmemiştir.

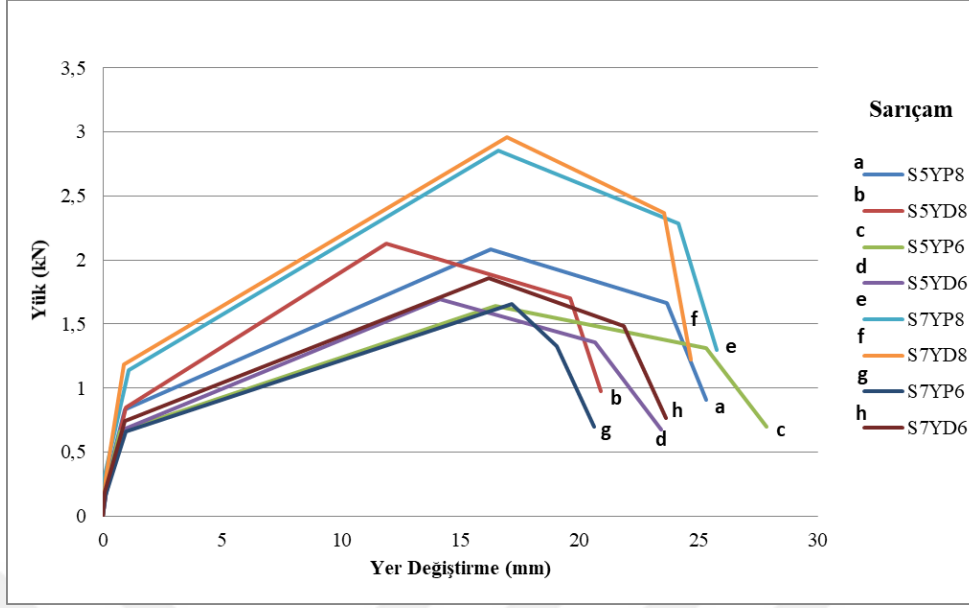
Yanal vida direnci testi ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar ve bu konudaki standartlardan elde edilen veriler incelenerek, çalışma kapsamında üretilen levhalara ait değerlerle karşılaştırmak amacıyla oluşturulan literatür taslağı Tablo 72'de verilmiştir;

Tablo 72. Yanal vida direnci literatür verileri

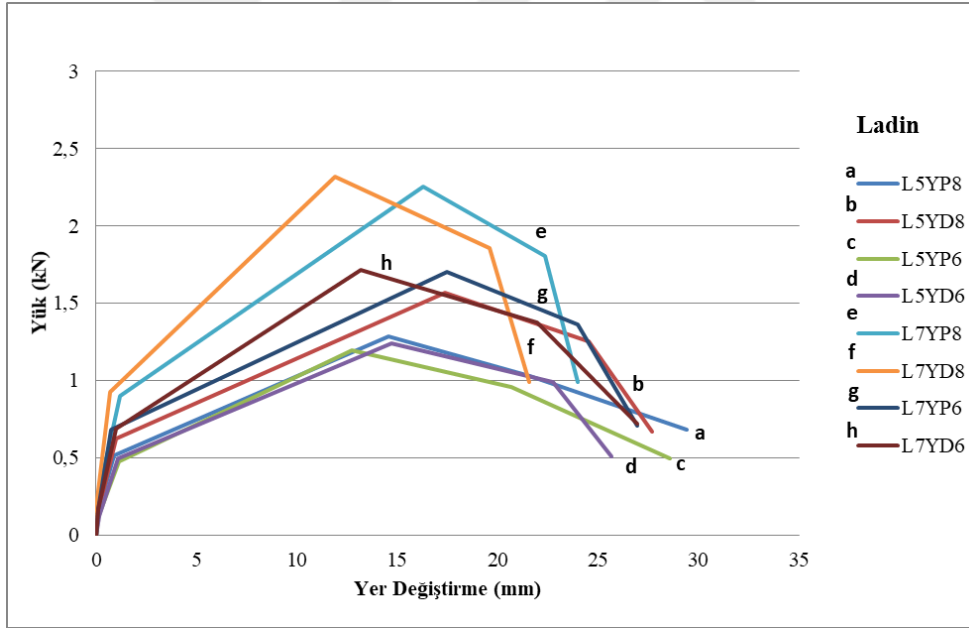
Kaynak	Levha Türü	Lif Yönü	Yanal Vida Direnci (kN)
Nanami vd.	Kontrplak	Paralel	1,57
		Dik	1,71
Literatür (Nanami)	Kontrplak	Paralel	1,08
		Dik	1,29
Ekwueme ve Hart, 2000	Kontrplak	Paralel	-
		Dik	1,22
Pirvu, 2008	18,5 mm Kontrplak	Paralel	1,7
		Dik	1,7
	28,5 mm Kontrplak	Paralel	1,8
		Dik	1,7
	15,5 mm OSB	Paralel	1,8
		Dik	1,7
	22,5 mm OSB	Paralel	1,7
		Dik	1,6
	25,5 mm OSB	Paralel	1,7
		Dik	1,6
	28,5 mm OSB	Paralel	1,9
		Dik	1,6
Sawata vd. 2010			1,53
Stieda, 1990			0,65-0,78
ISO 16670	Yapısal Levha		1,13

Yapılan literatür araştırması neticesinde elde edilen veriler çalışma kapsamında üretilen kontrplak levhaları için bulunan değerler ile karşılaştırıldığında, bütün grupların literatüre ve standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

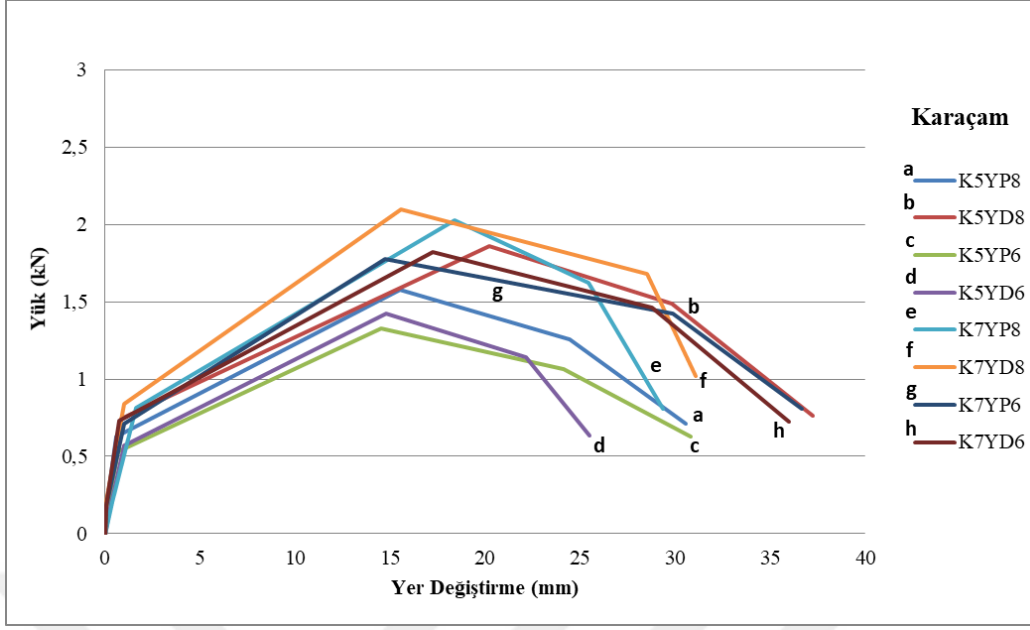
Yanal vida direnci testinde uygulanan yüke bağlı olarak vidalı sistemde meydana gelen yer değiştiriminin üretim faktörlerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Her bir ağaç türü için yük ve yer değiştirme grafiği çizilmiştir (Şekil 60-62). Bu grafiklerden rijitlik oranları ve yük altında meydana gelen yer değiştirme miktarları belirlenmiştir.



Şekil 60. Sarıçam kontrplaklarının yük-yer değiştirme grafiği



Şekil 61. Ladin kontrplaklarının yük-yer değiştirme grafiği



Şekil 62. Karaçam kontrplakların yük-yer değiştirme grafiği

Şekil 60-62 aralığındaki şekillerde ağaç türlerine göre yanal vida direnci neticesinde elde edilen grafikler görülmektedir. Elde edilen grafikler, her bir gruba ait rijitlik değerleri, uygulanan yüke karşılık gelen yer değiştirme miktarlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, sistemin yüksek rijitlik ve maksimum yük değeri verirken, son yük noktasındaki yer değiştirmenin de büyük olmasıdır. Sistem yeterli bükülmezliğe sahip olduğunda destek perde duvarları arasında yükü taşıyabilmektedir. Rijitliğin ve yük taşıma kapasitesinin yüksek olduğu sistemlerde yapının yük etkisi altında kaldığı taktirde iyi bir performans göstereceği tahmini yürütülebilir (Bott, 2005). Yani herhangi bir yanal yük etkisi altında kontrplağın, bağlı olduğu çerçeve elemandan ayrılabilmesi için daha yüksek bir kuvvet ve daha uzun bir süre geçmesi gerekmektedir. Böylelikle olası bir deprem anında tahliye için daha fazla zaman kazanılmaktadır. Üretilen levhalar üretim parametrelerine göre rijitlik ve yer değiştirme değerlerine göre karşılaştırıldığında; mekanik özelliklerde meydana gelen iyileşme ile bu değerlerin de arttığı görülmüştür.

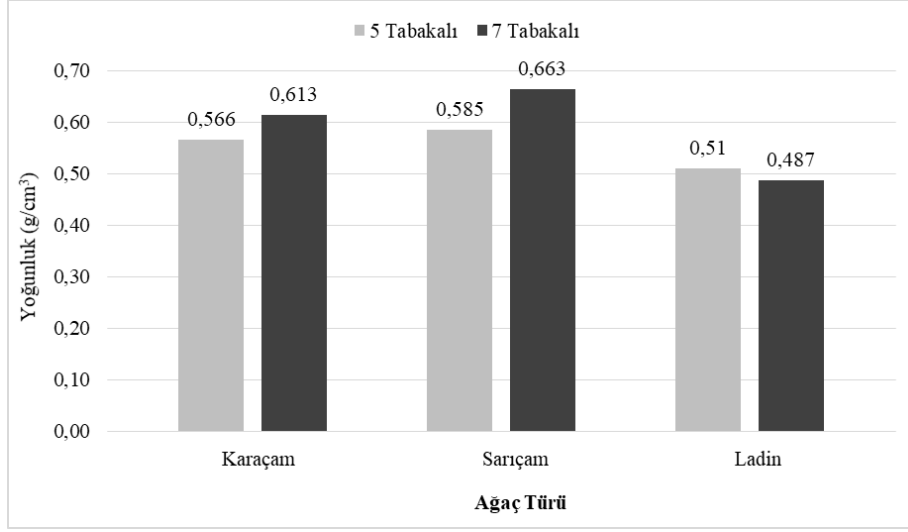
Bu çalışmada kontrplak üretim faktörlerinin yanal vida direnci üzerine etkisi incelenerek ülkemizde yetişen çam türlerinin ve ladinin uygunluğu test edilmiştir. Bu nedenle çalışmanın amaçlarına uygun olarak yapılan analizler sonucu elde edilen veriler; standartlar ve yapılmış diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. ISO 16670 standardına göre son yük noktasındaki yer değiştirme miktarı 15.6 mm olarak belirlenmiştir. Peyzer ve

Cramer (1999) tarafından yapılan çalışmada rijitlik değerleri 30°C'de 1.5 kN/mm, 120°C'de 0.79 kN/mm, 200°C'de 0.58 kN/mm, 265°C'de 0.69 kN/mm olarak bulunmuştur. Ekwueme ve Hart (2000) ise kontrplak ile alçı paneli bu açıdan karşılaştırmış ve kontrplak için rijitlik değerini 1.59 kN/mm, 16 mm ve 22 mm'lik alçı paneli için 1.06 kN/mm olarak tespit etmiştir. Pirvu, 2008 ise çeşitli kalınlıklardaki kontrplak ile OSB'yi karşılaştırmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ise şu şekildedir: 22.5 mm kalınlıktaki OSB için liflere paralel yönde maksimum yükteki yerdeğiştirme 13 mm ve rijitlik değeri 1.3 kN/mm, liflere dik yönde ise sırasıyla 17 mm ve 0.8 kN/mm; 28.5 mm kalınlıktaki OSB için liflere paralel yönde maksimum yükteki yerdeğiştirme 8 mm ve rijitlik değeri 1.3 kN/mm, liflere dik yönde ise sırasıyla 10 mm ve 1 kN/mm; 18.5 mm kalınlıktaki kontrplak için liflere paralel yönde maksimum yükteki yerdeğiştirme 21 mm ve rijitlik değeri 0.7 kN/mm, liflere dik yönde ise sırasıyla 19 mm ve 0.8 kN/mm; 28.5 mm kalınlıktaki kontrplak için liflere paralel yönde maksimum yükteki yerdeğiştirme 9 mm ve rijitlik değeri 2.5 kN/mm, liflere dik yönde ise sırasıyla 9 mm ve 1.7 kN/mm'dir (Pirvu, 2008). Yapılan bir diğer çalışmada ise rijitlik değeri 1.21 kN/mm olarak belirlenirken, maksimum yükteki yerdeğiştirme 13.5 mm bulunmuştur (Sawata vd., 2010). Bu değerler ile karşılaştırıldığında; üretilen tüm levha gruplarının son yük noktasındaki yer değıştirme miktarının (mm) standartlara ve literatüre uygun olduğu görülmektedir.

4.2. Fiziksel Özellikler

4.2.1. Yoğunluk

Üretilen kontrplakların yoğunluk değışimleri, ağaç türü ve tabaka sayısına göre Şekil 63' de verilmiştir.



Şekil 63. Üretilen levhaların yoğunluk değerleri değişimi

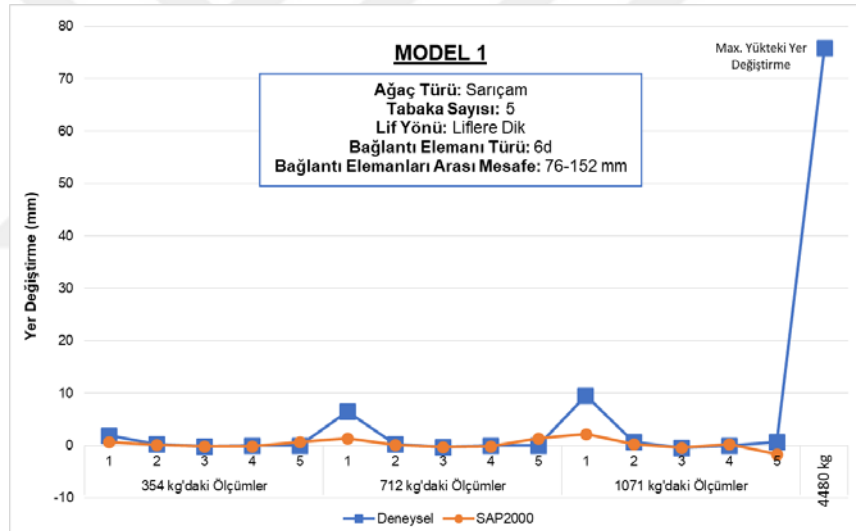
Elde edilen verilere göre, sarıçam ve karaçam kontrplaklarda, 7 tabakalı kontrplakların yoğunluk değerleri, 5 tabakalılara göre yüksek bulunmuştur. Ladin kontrplaklarda ise 5 tabakalılar bir miktar daha yüksek değerler vermiştir. Yapılan çoğul varyans analizi sonucunda genel olarak 7 tabakalı kontrplakların yoğunluğu daha fazla bulunmuştur.

Ağaç türü açısından incelendiğinde, en yüksek yoğunluk değerlerini sarıçam kontrplaklar en düşük değerleri ise ladin kontrplaklar vermiştir. Kontrplağın yoğunluğu üzerine öncelikli etki ağaç türünündür (Demirkır, 2012). Kontrplak yoğunluğu, öncelikle üretildiği ağacın yoğunluğuna bağlıdır (Özen, 1981). Literatürde, sarıçam odunlarının yoğunlukları $0,49 \text{ g/cm}^3$, ladin odunlarının yoğunlukları $0,43 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1992).

Canply (2002) tarafından yayınlanan Kanada Kontrplak Tasarım Esaslarında kontrplak yoğunluğu yumuşak ağaçlar için $0,45 \text{ g/cm}^3$ olarak belirtilmektedir. Avustralya Ahşap Mühendislik Ürünleri Kurumu tarafından yayınlanan yapısal kontrplak ve LVL Tasarım kitapçığında ise çam kontrplak yoğunluğu için $0,50-0,65 \text{ gr/cm}^3$ değerleri verilmektedir (EWPA, 2010). Çalışma kapsamında üretilen bütün grupların yoğunluk değerleri bu sınırlar içerisindedir.

4.3. Perde Duvarların Sonlu Eleman Modeli Analizleri ile Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

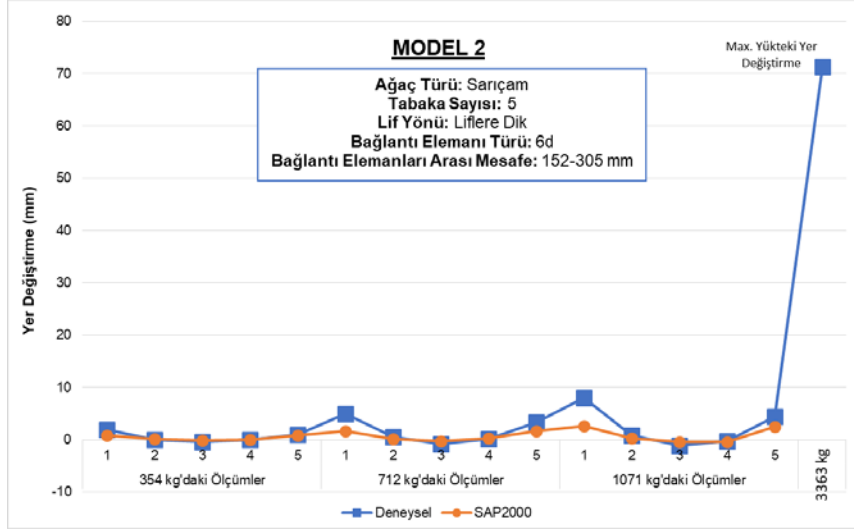
Çalışma kapsamında SAP2000 programıyla elde edilen sonlu eleman modelinin geçerliliğini belirlemek amacıyla model elde edilen sonuçlar ile çalışma kapsamındaki 48 gruba ait deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney aşamasında modeller üzerinde ASTM E 72 standardına göre 354 kg, 712 kg ve 1071 kg yükler altındaki yer değiştirme değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler, modelin 5 ayrı noktasından LVDT' ler yardımı ile yapılmış ve grafiklerde verilmiştir. Yapılan ölçümlerden sonra her bir modelin dayanabileceği son yük belirlenmesi için modele kırılma anına kadar yük uygulanmış ve bu maksimum yükteki yer değişimleri de grafikte verilmiştir. Ayrıca, 48 modele ait perde duvarlarda meydana gelen deformasyon oluşumları grafiklerin altında verilmiştir..



Şekil 64. Model 1' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



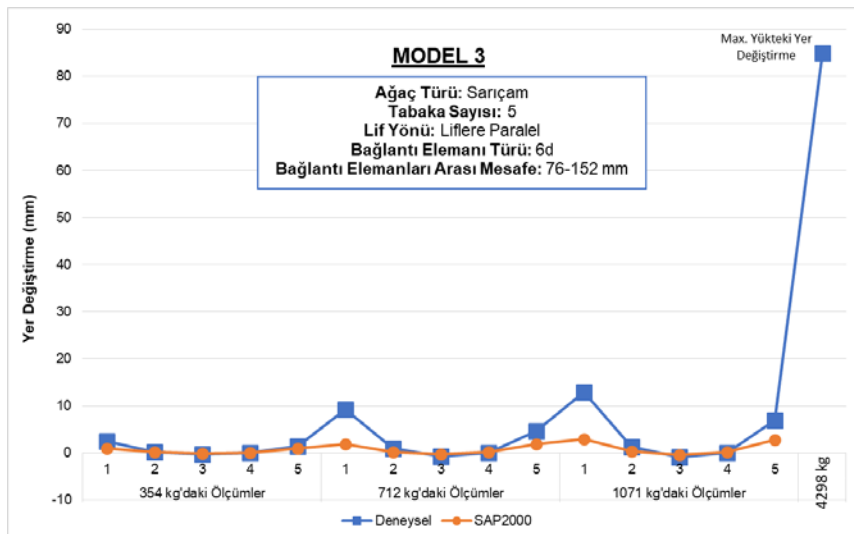
Şekil 65. Deney sonunda Model 1' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 66. Model 2' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



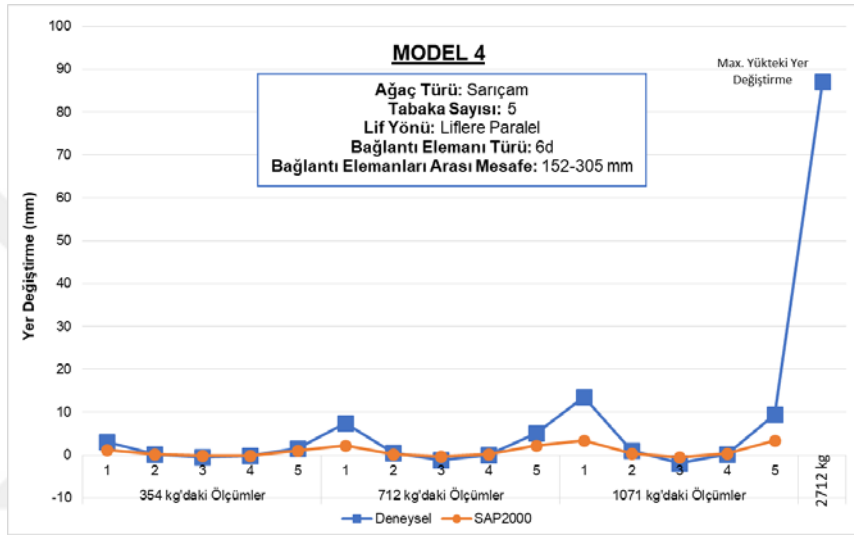
Şekil 67. Deney sonunda Model 2' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 68. Model 3' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



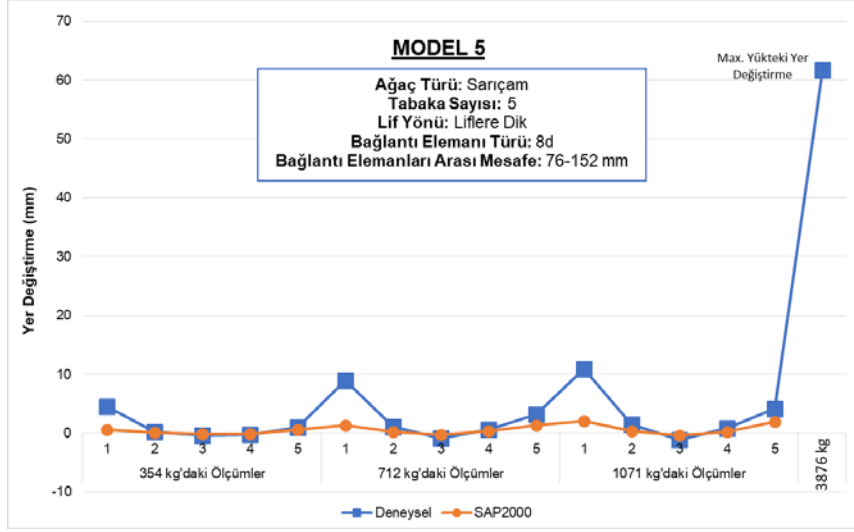
Şekil 69. Deney sonunda Model 3' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 70. Model 4' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



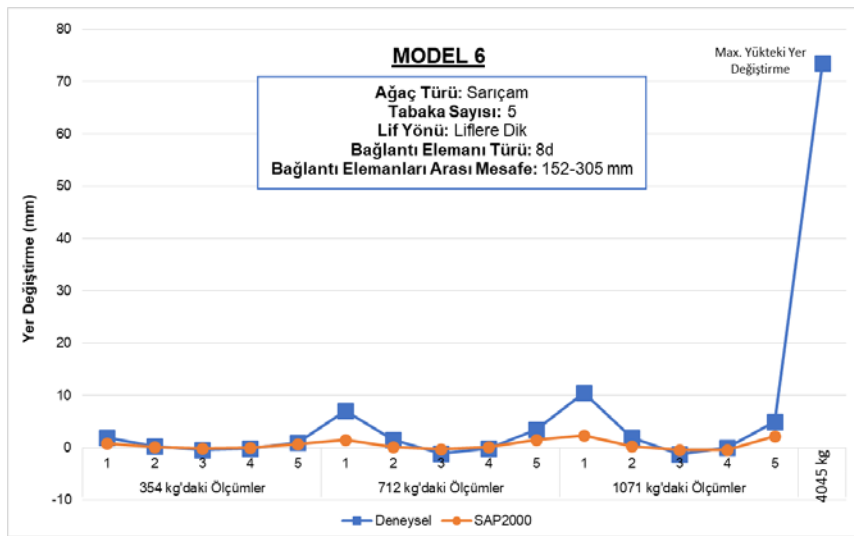
Şekil 71. Deney sonunda Model 4' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 72. Model 5' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



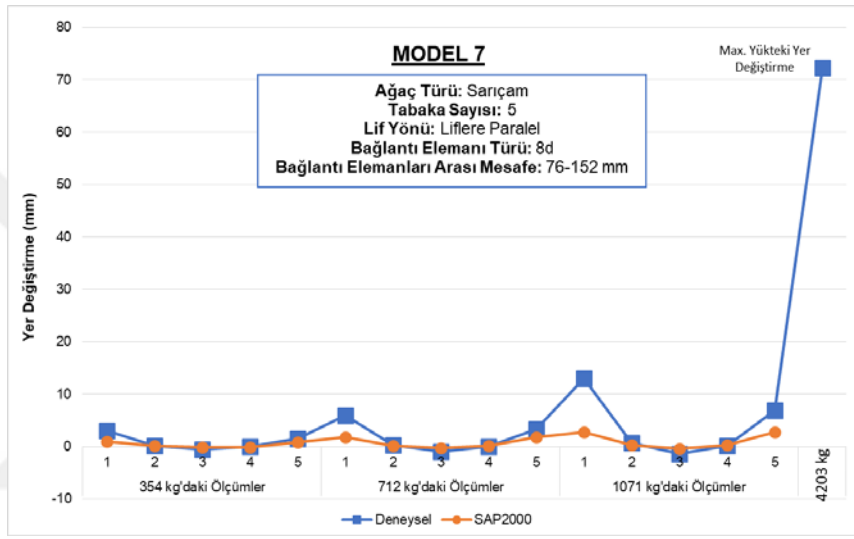
Şekil 73. Deney sonunda Model 5' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 74. Model 6' nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



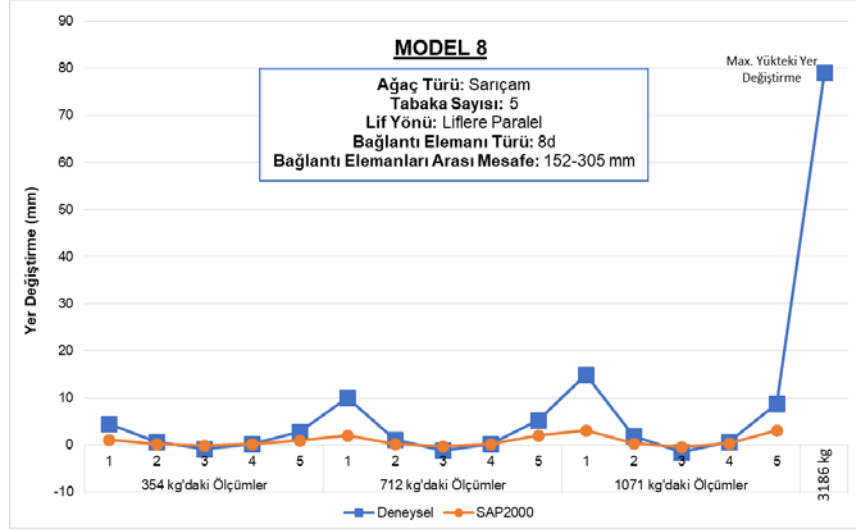
Şekil 75. Deney sonunda Model 6' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 76. Model 7' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



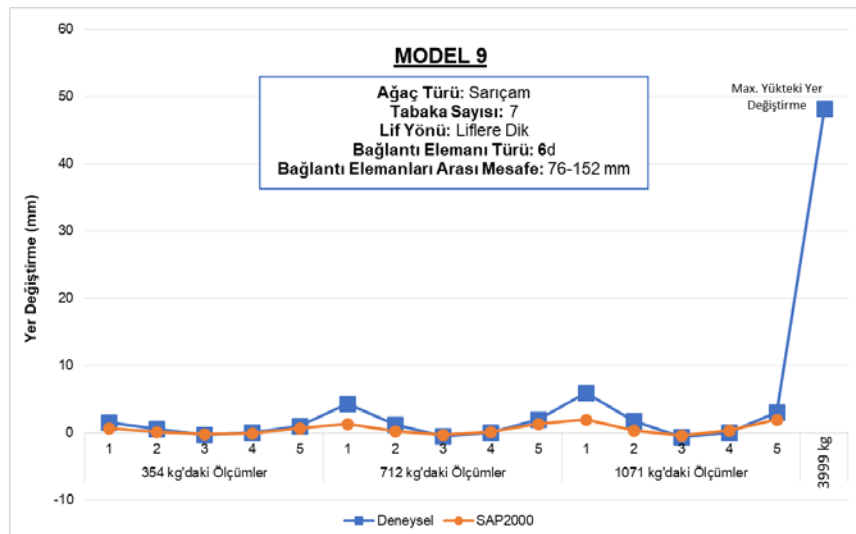
Şekil 77. Deney sonunda Model 7' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 78. Model 8' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



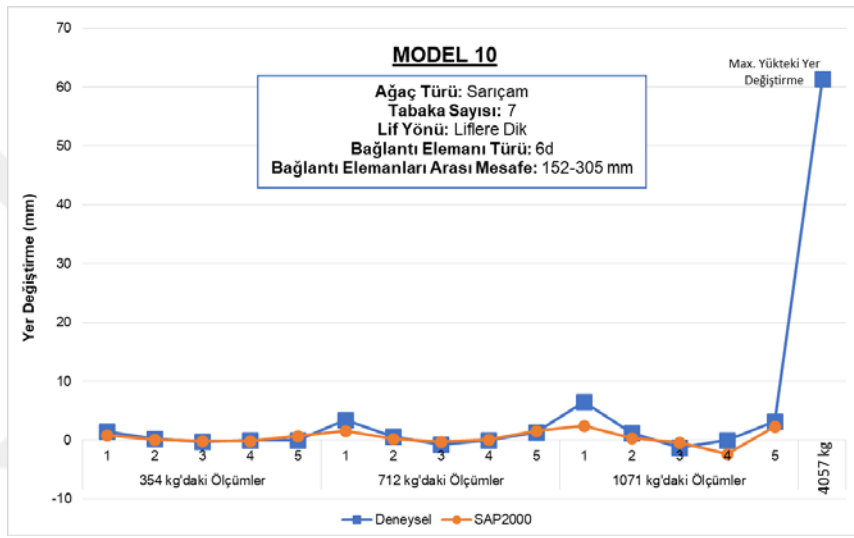
Şekil 79. Deney sonunda Model 8' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 80. Model 9' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



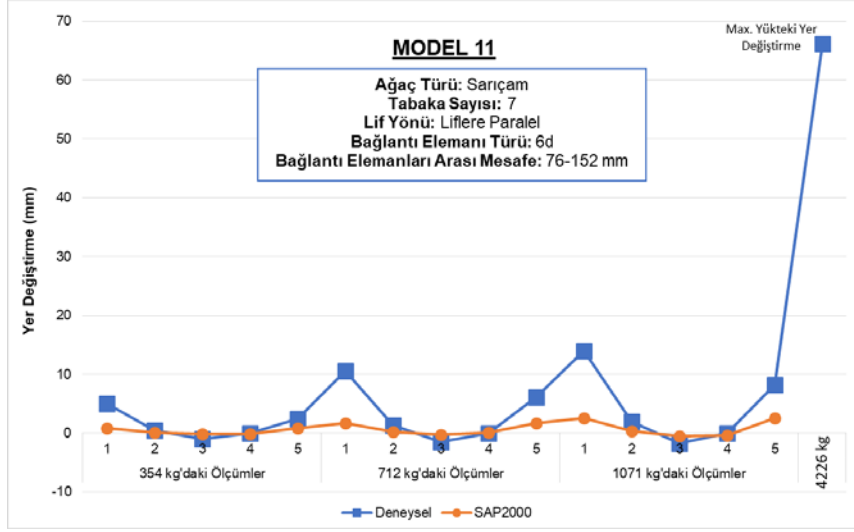
Şekil 81. Deney sonunda Model 9' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 82. Model 10' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



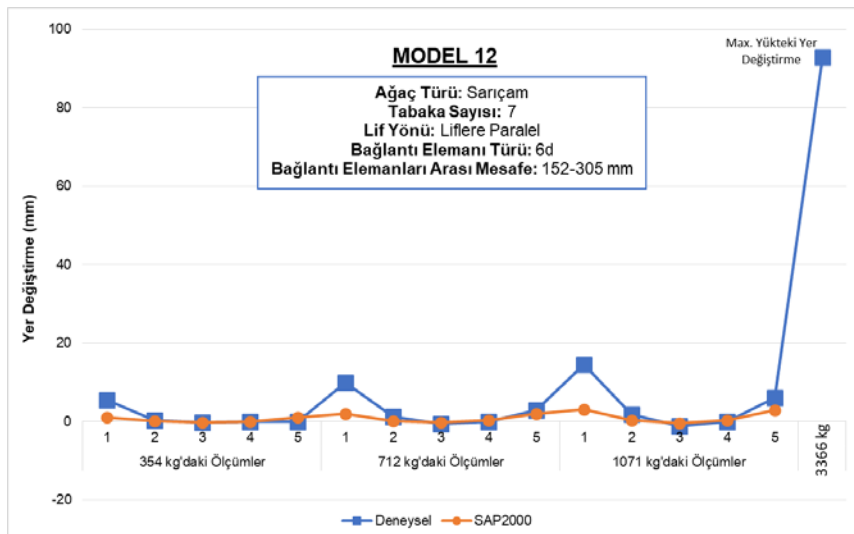
Şekil 83. Deney sonunda Model 10' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 84. Model 11' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



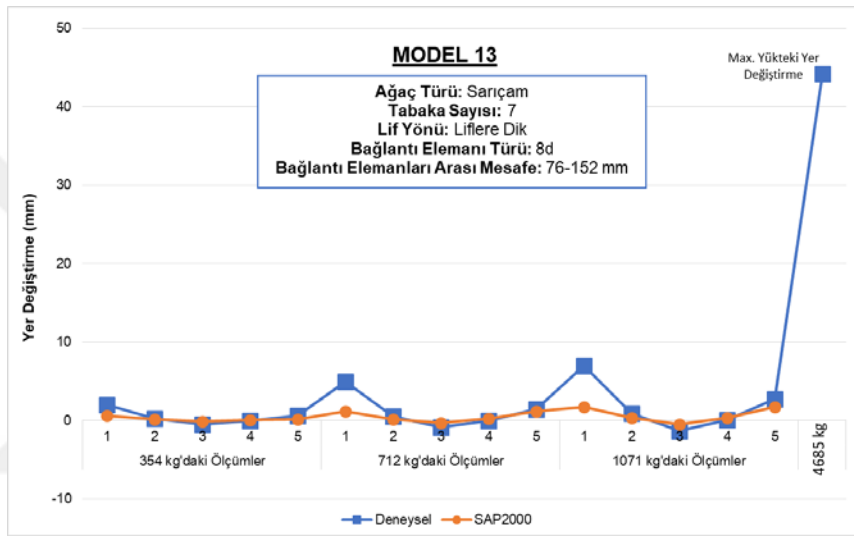
Şekil 85. Deney sonunda Model 11' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 86. Model 12' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



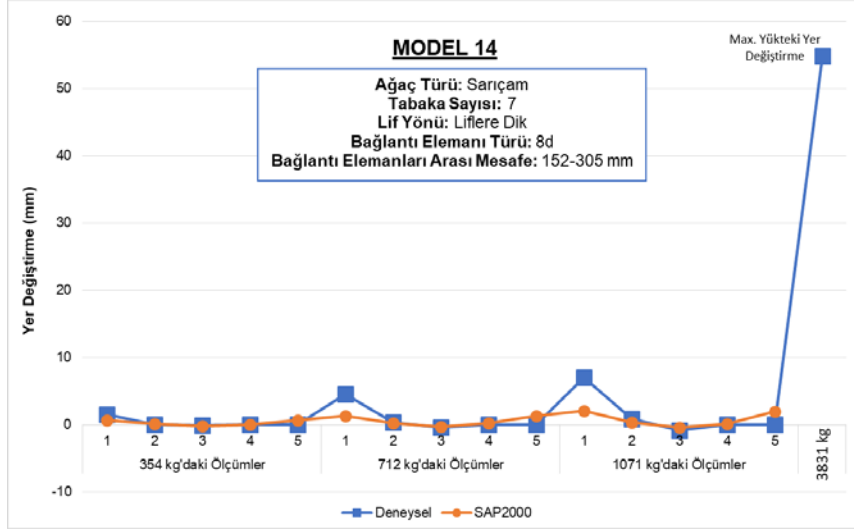
Şekil 87. Deney sonunda Model 12’ de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 88. Model 13’ ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



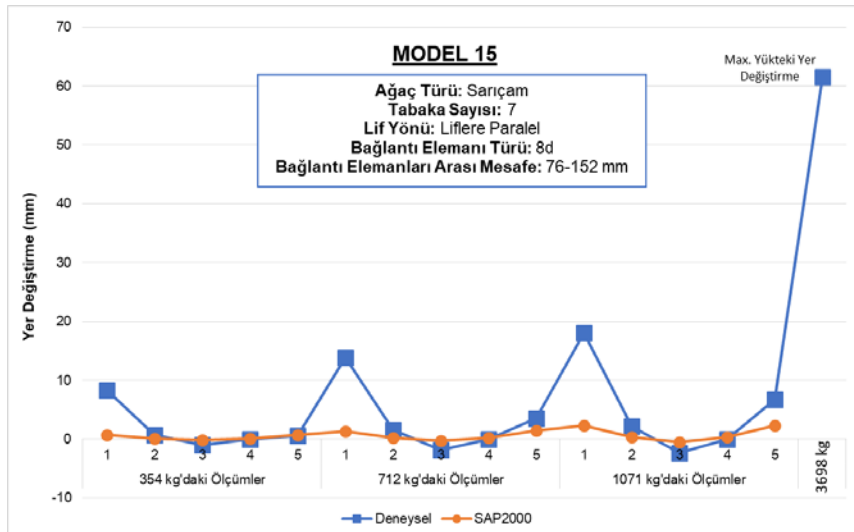
Şekil 89. Deney sonunda Model 13’ de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 90. Model 14' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



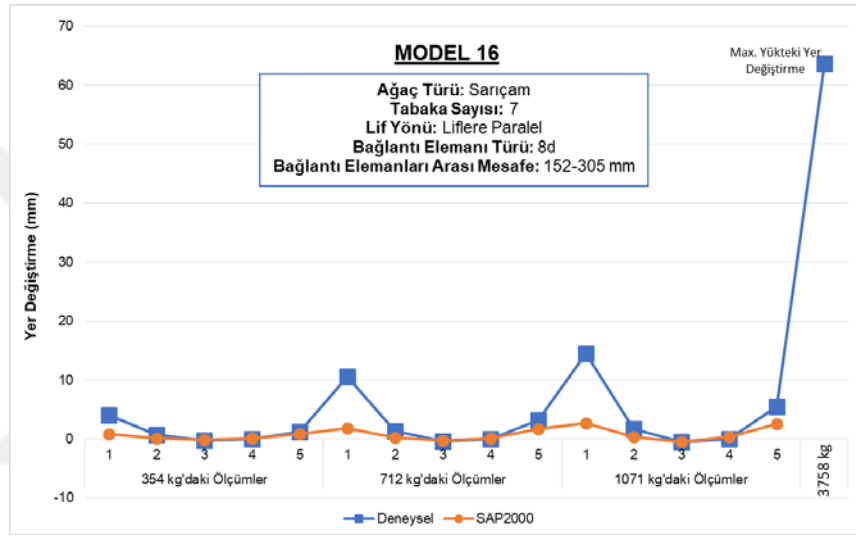
Şekil 91. Deney sonunda Model 14' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 92. Model 15' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



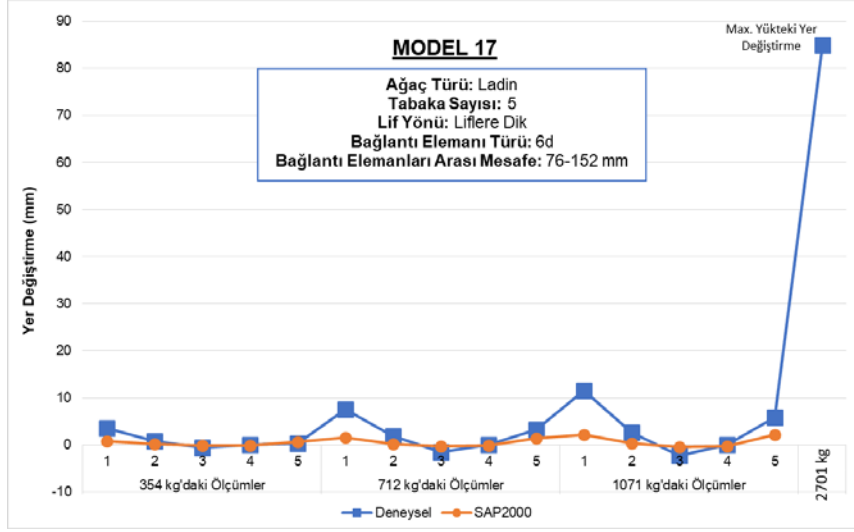
Şekil 93. Deney sonunda Model 15' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 94. Model 16' nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



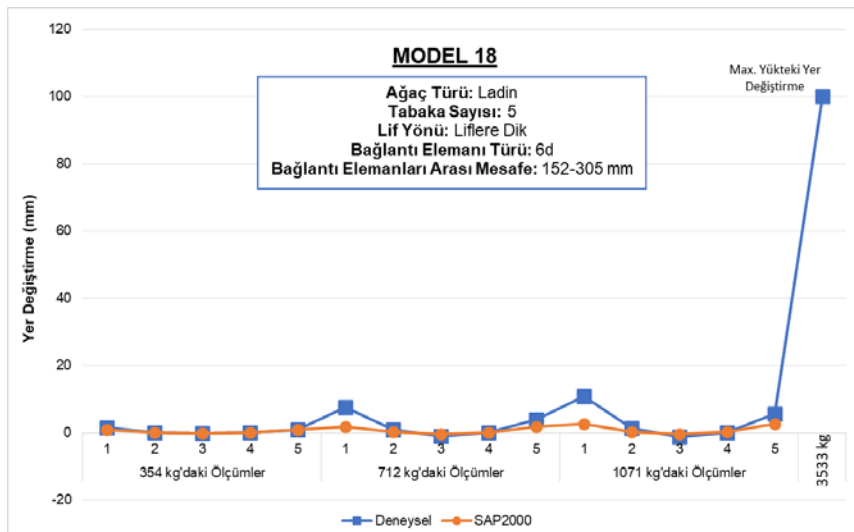
Şekil 95. Deney sonunda Model 16' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 96. Model 17' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



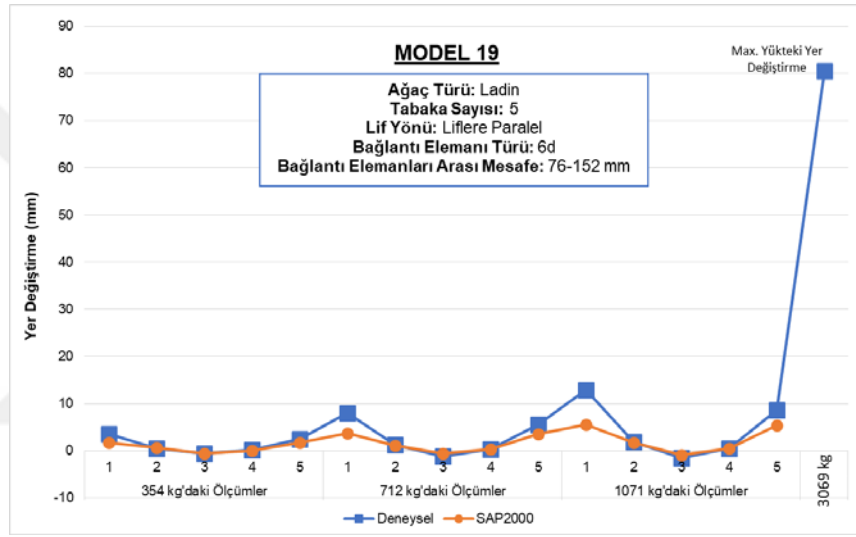
Şekil 97. Deney sonunda Model 17' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 98. Model 18' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



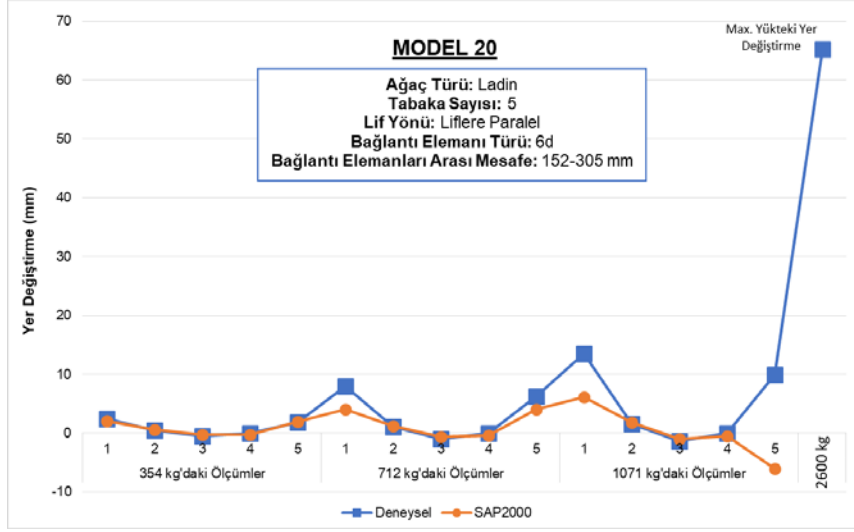
Şekil 99. Deney sonunda Model 18’ de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 100. Model 19’ un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



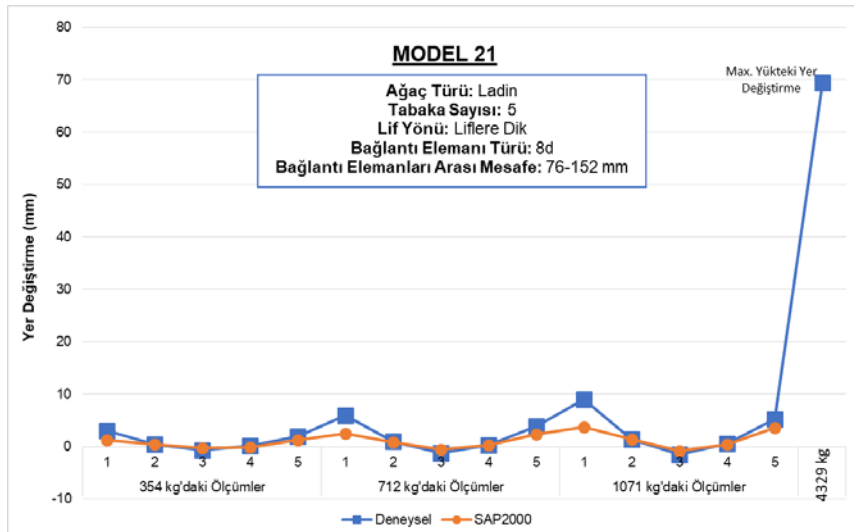
Şekil 101. Deney sonunda Model 19’ da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 102. Model 20' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



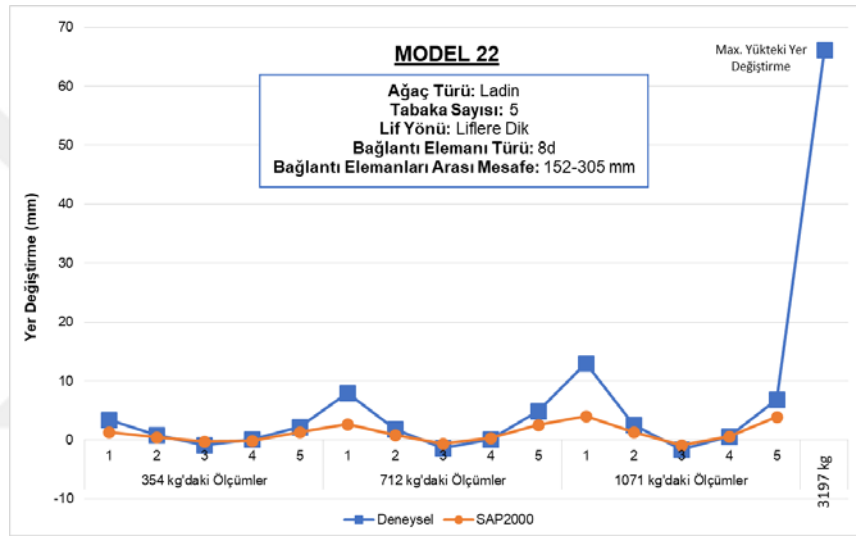
Şekil 103. Deney sonunda Model 20' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 104. Model 21' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



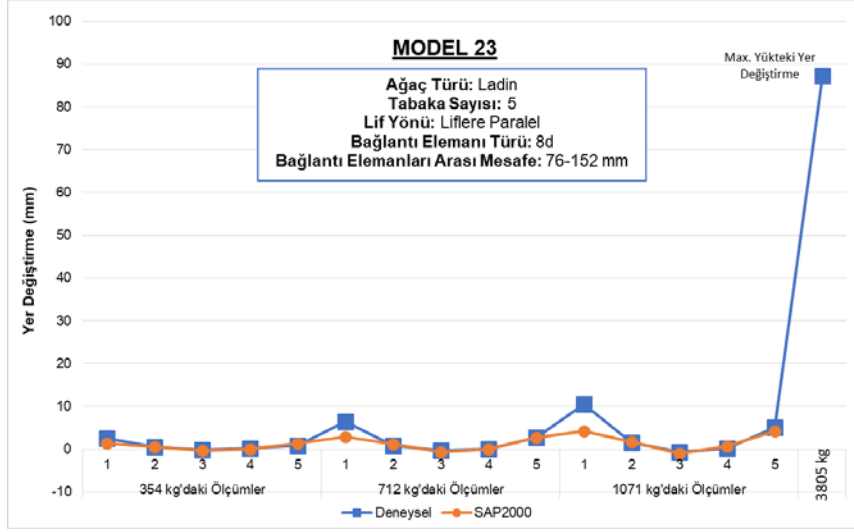
Şekil 105. Deney sonunda Model 21' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 106. Model 22' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



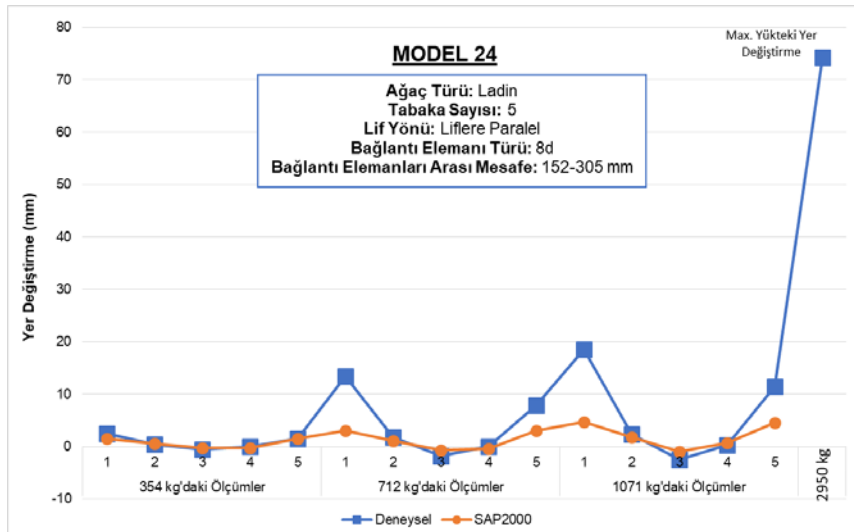
Şekil 107. Deney sonunda Model 22' de meydana gelen deformasyonlar



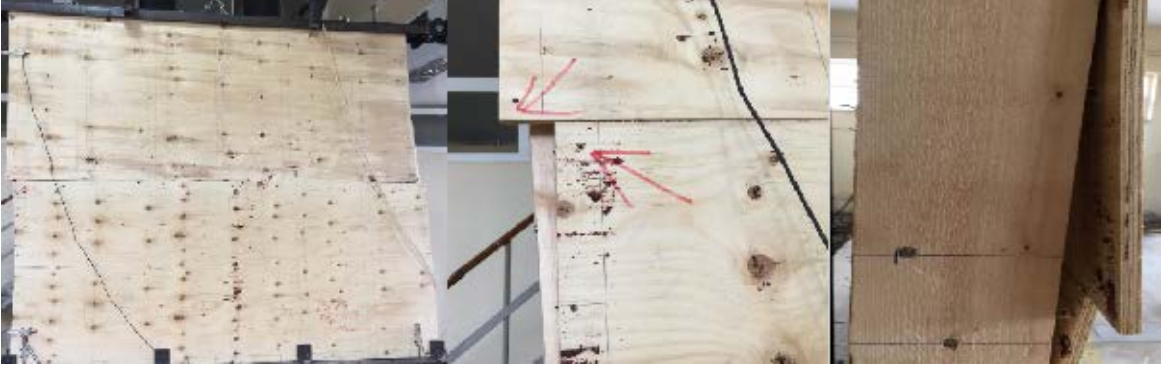
Şekil 108. Model 23' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



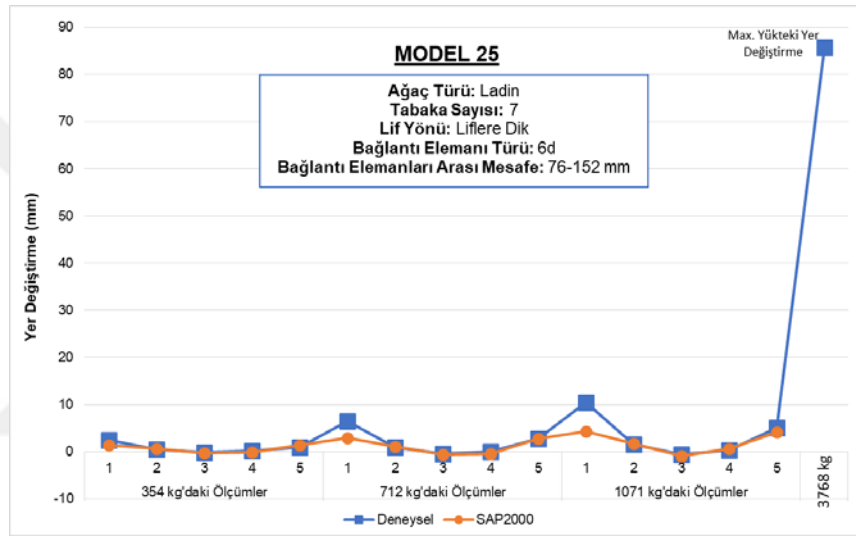
Şekil 109. Deney sonunda Model 23' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 110. Model 24' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



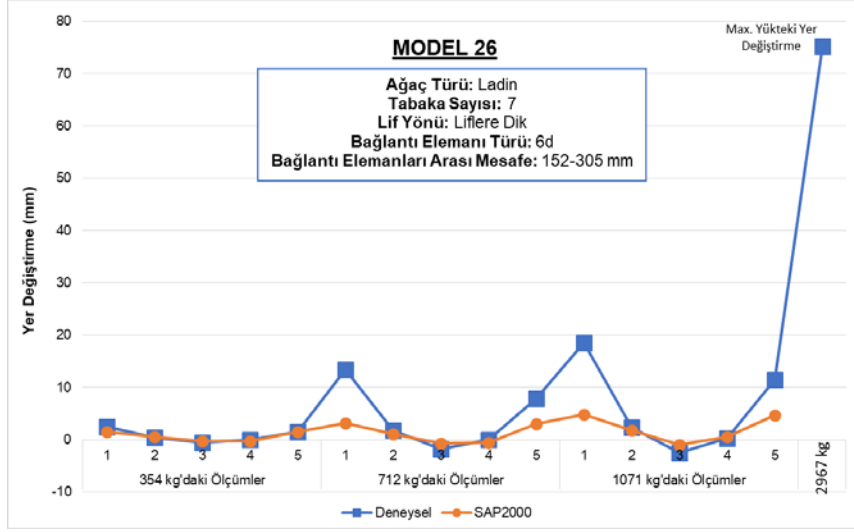
Şekil 111. Deney sonunda Model 24' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 112. Model 25' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



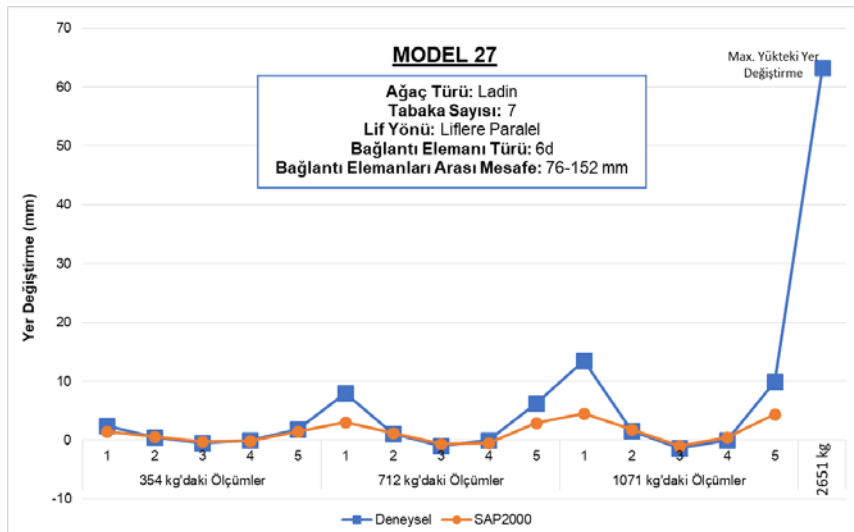
Şekil 113. Deney sonunda Model 25' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 114. Model 26' nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



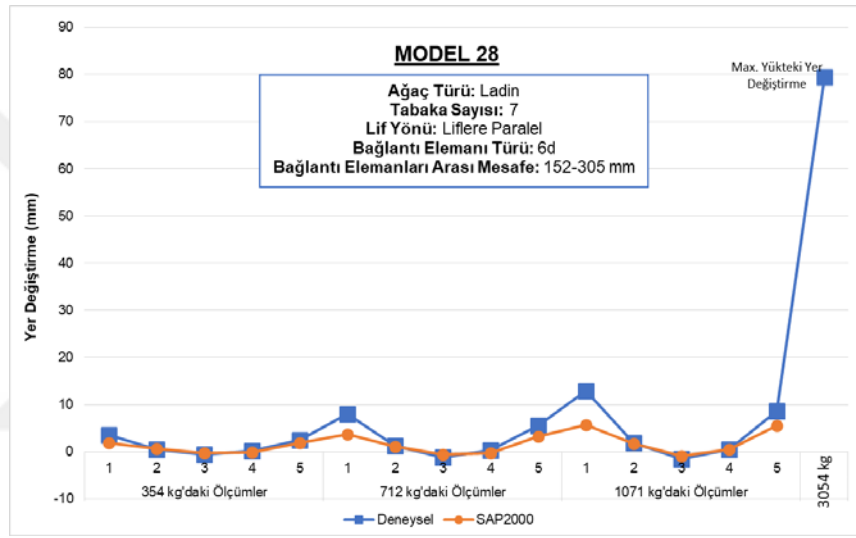
Şekil 115. Deney sonunda Model 26' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 116. Model 27' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



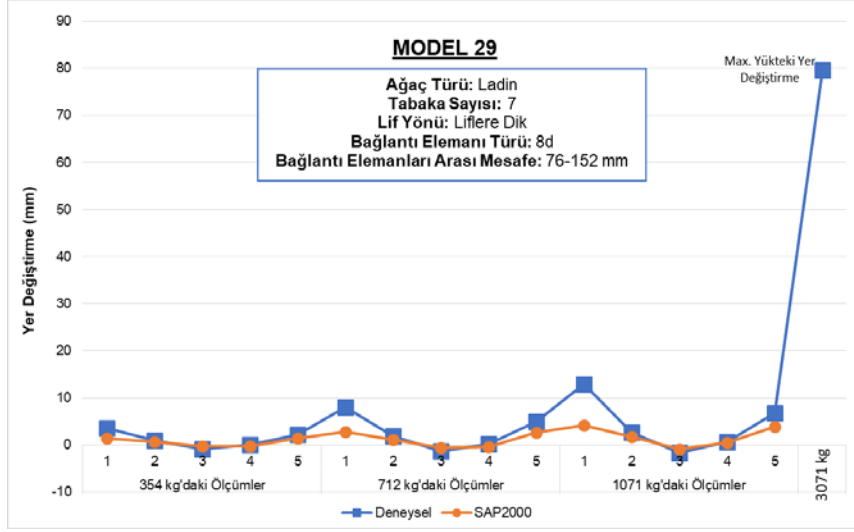
Şekil 117. Deney sonunda Model 27' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 118. Model 28' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



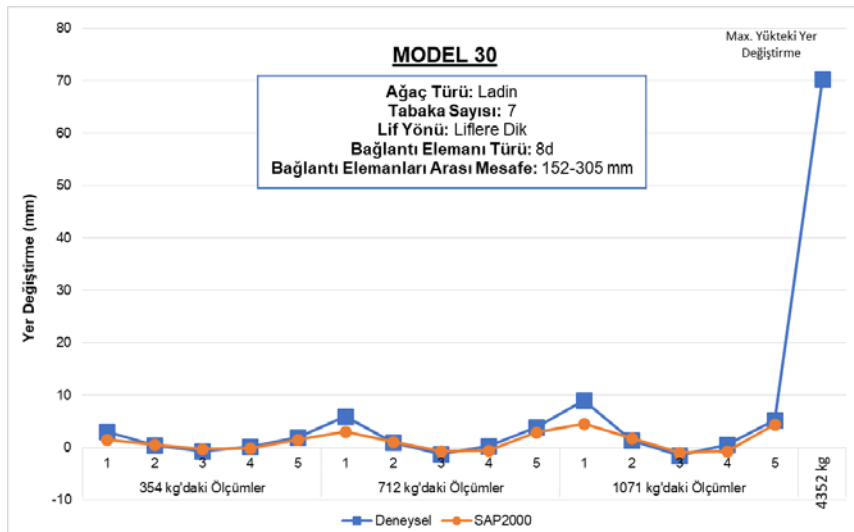
Şekil 119. Deney sonunda Model 28' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 120. Model 29' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



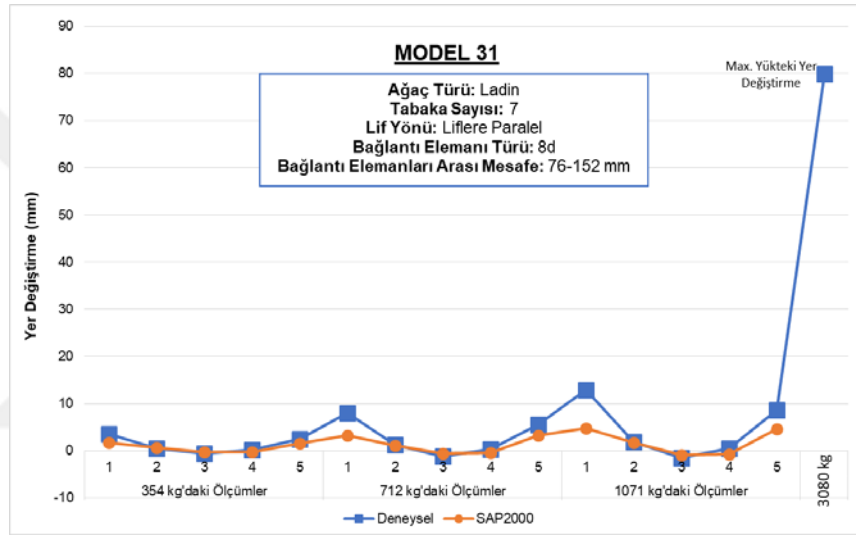
Şekil 121. Deney sonunda Model 29' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 122. Model 30' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



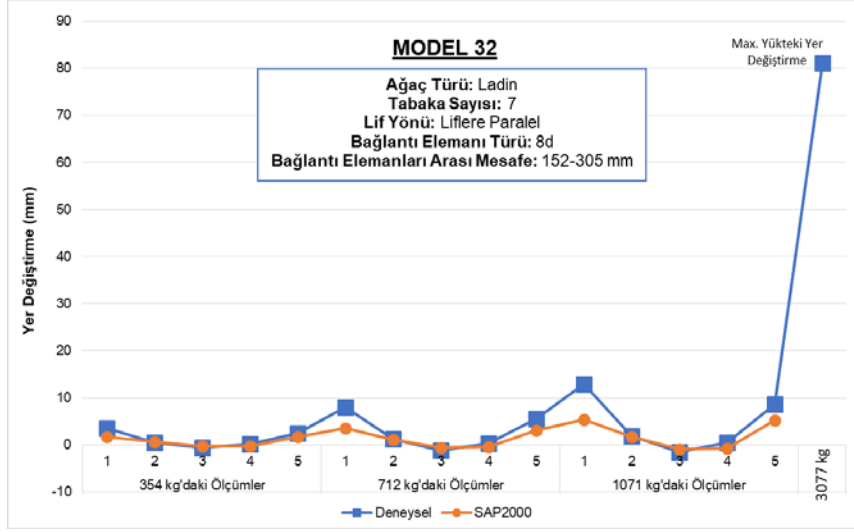
Şekil 123. Deney sonunda Model 30' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 124. Model 31' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



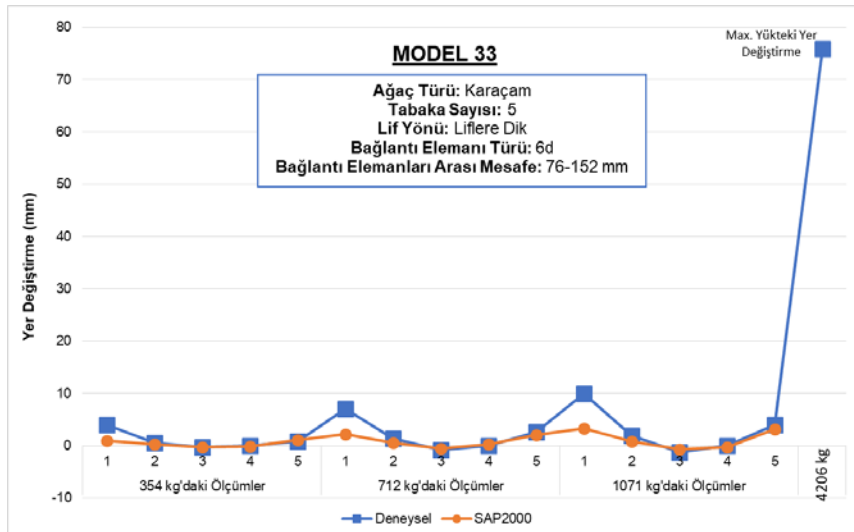
Şekil 125. Deney sonunda Model 31' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 126. Model 32' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



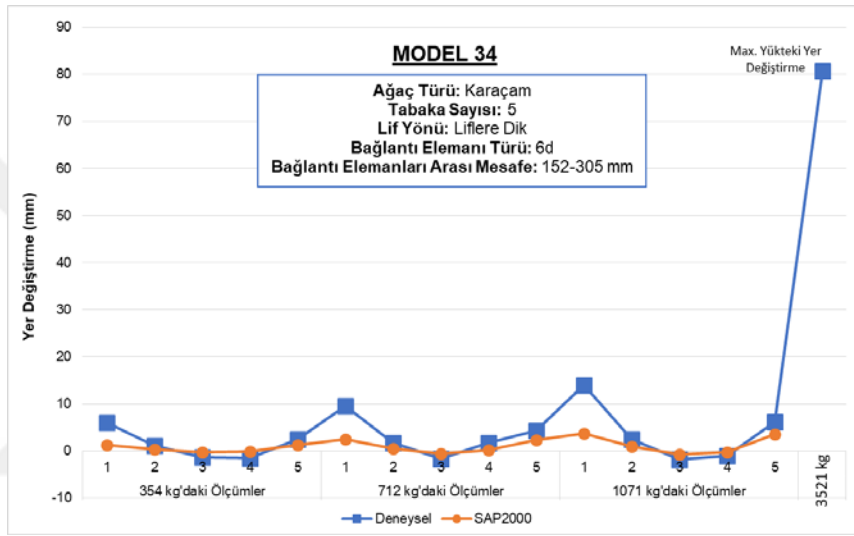
Şekil 127. Deney sonunda Model 32' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 128. Model 33' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



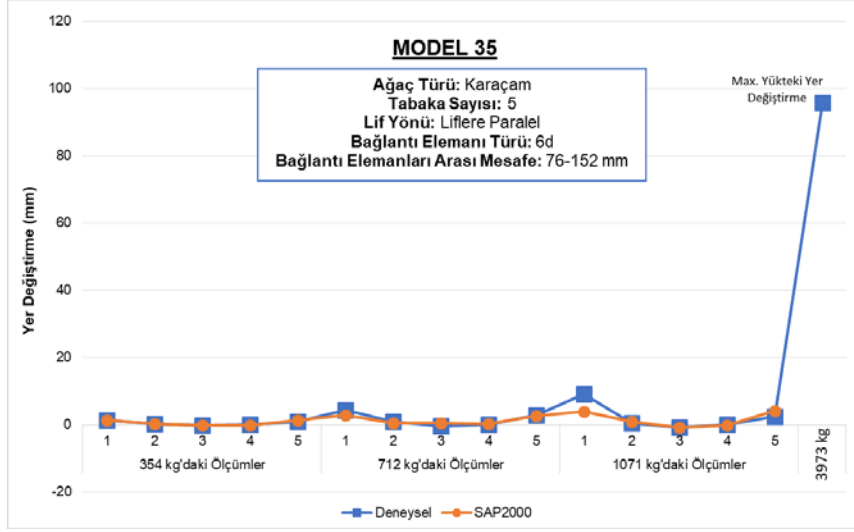
Şekil 129. Deney sonunda Model 33' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 130. Model 34' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



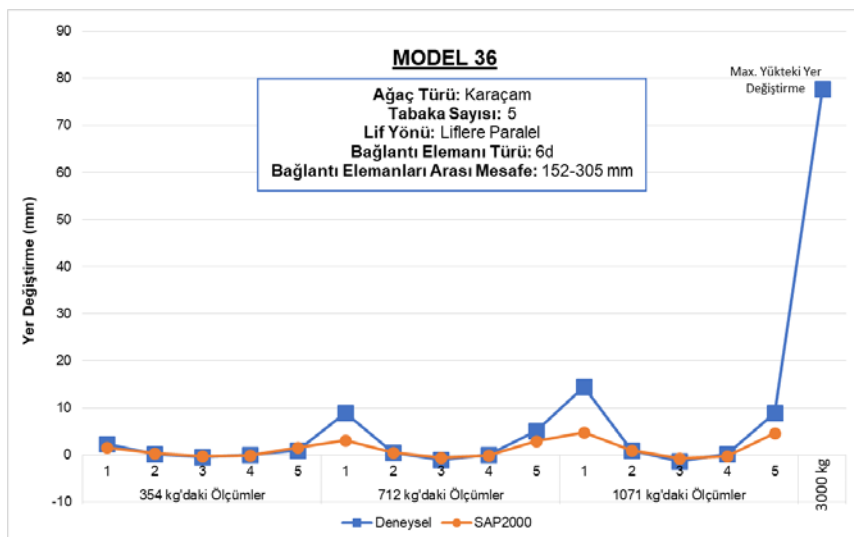
Şekil 131. Deney sonunda Model 34' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 132. Model 35' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



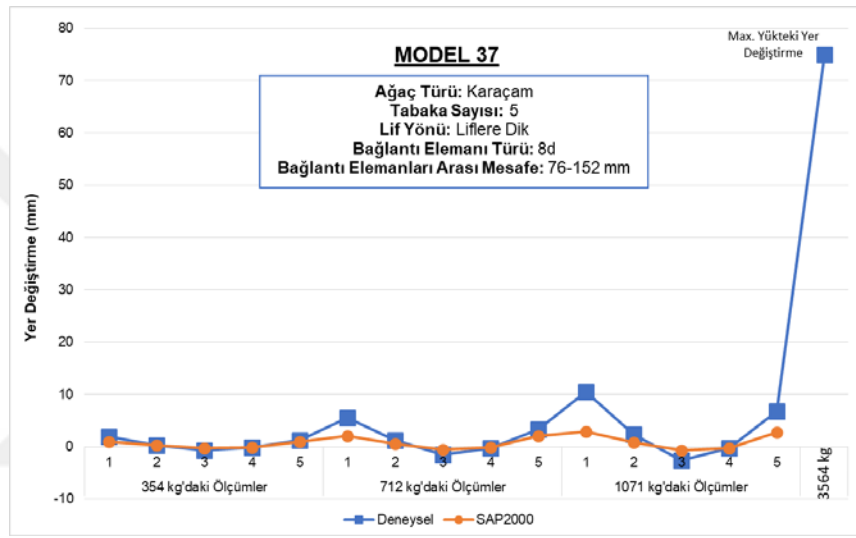
Şekil 133. Deney sonunda Model 35' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 134. Model 36' nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



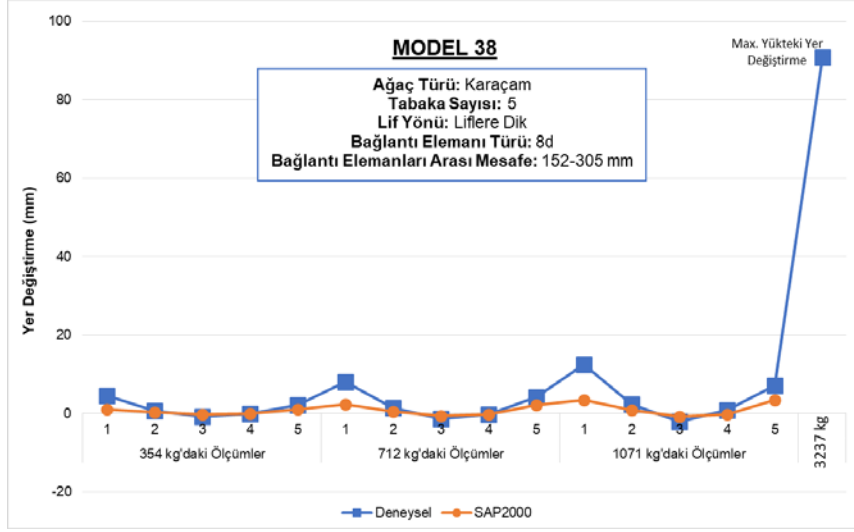
Şekil 135. Deney sonunda Model 36' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 136. Model 37' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



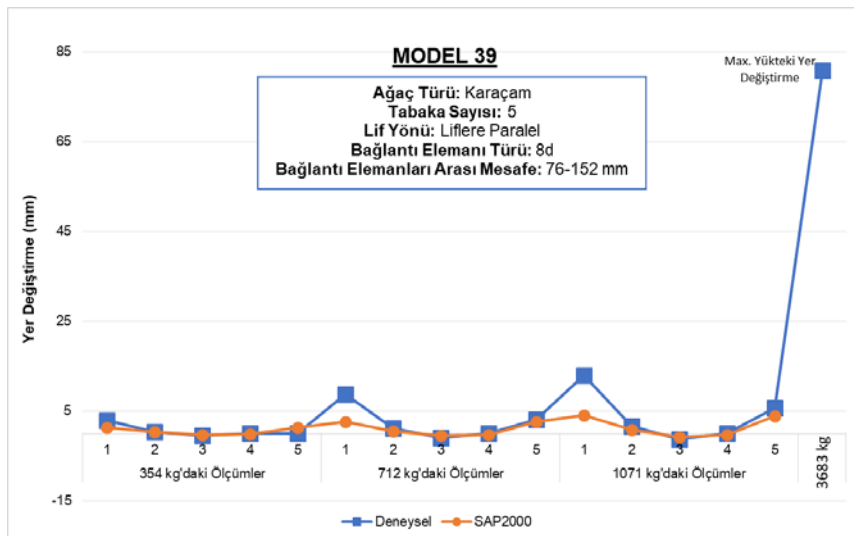
Şekil 137. Deney sonunda Model 37' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 138. Model 38' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



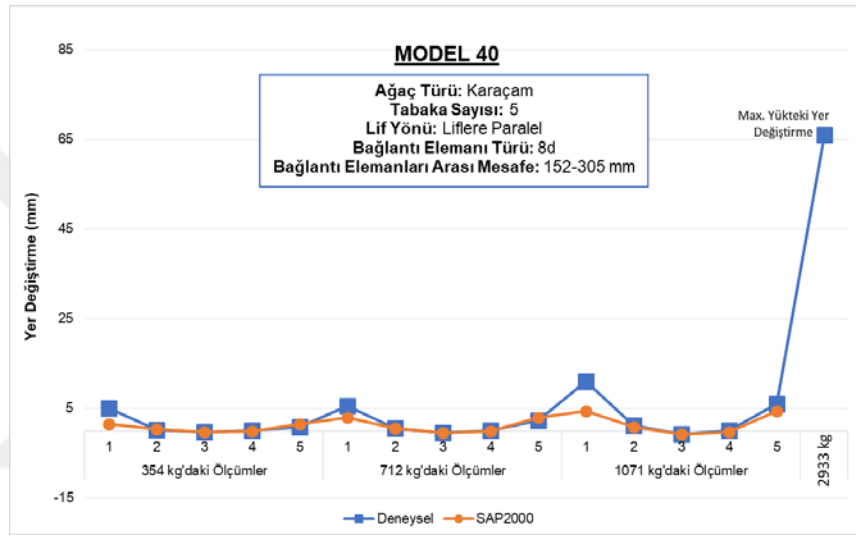
Şekil 139. Deney sonunda Model 38' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 140. Model 39' un deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



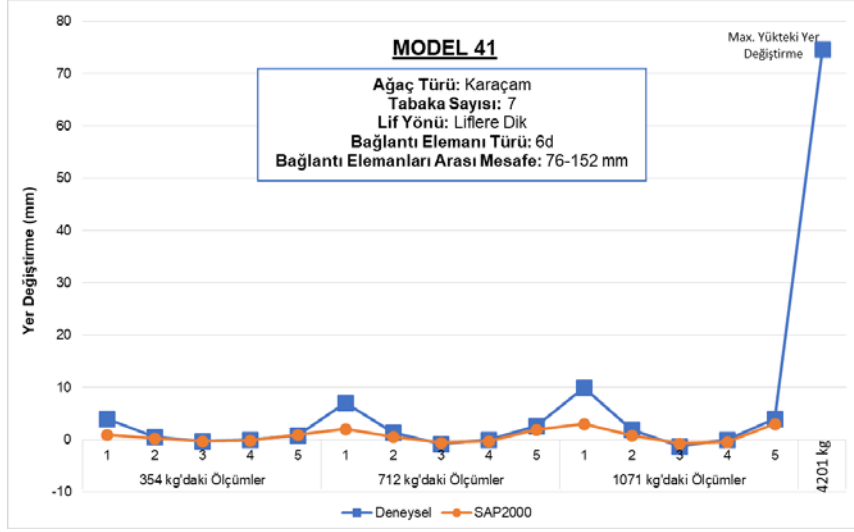
Şekil 141. Deney sonunda Model 39' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 142. Model 40' ın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



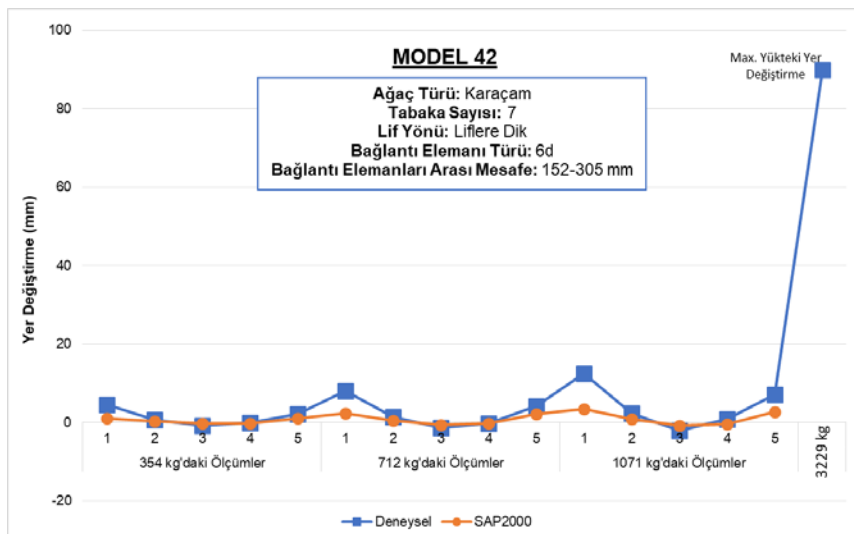
Şekil 143. Deney sonunda Model 40' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 144. Model 41' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



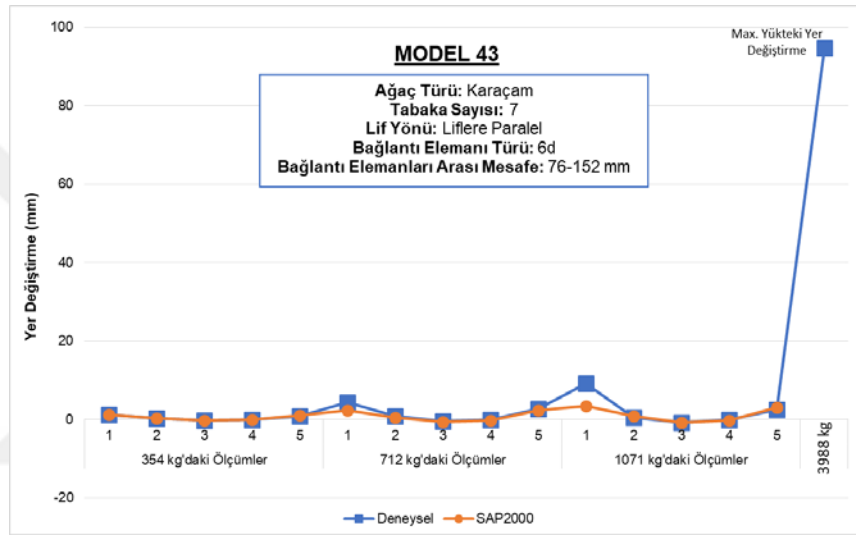
Şekil 145. Deney sonunda Model 41' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 146. Model 42' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



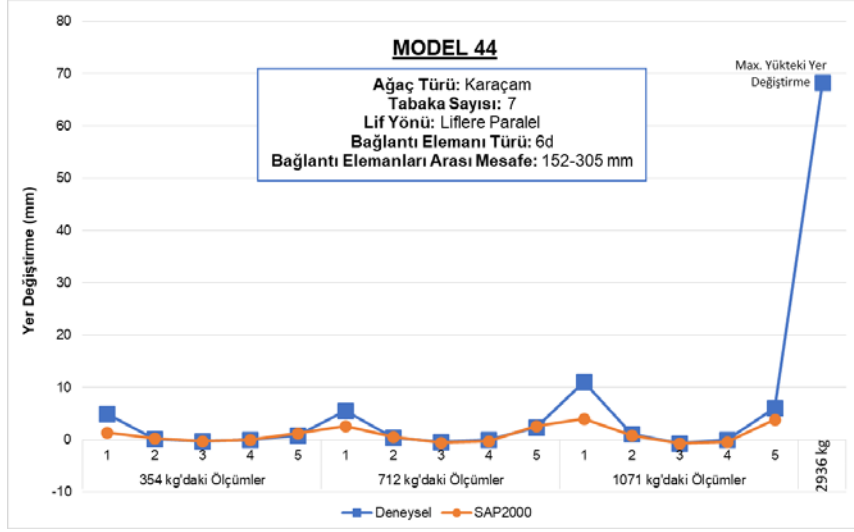
Şekil 147. Deney sonunda Model 42' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 148. Model 43' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



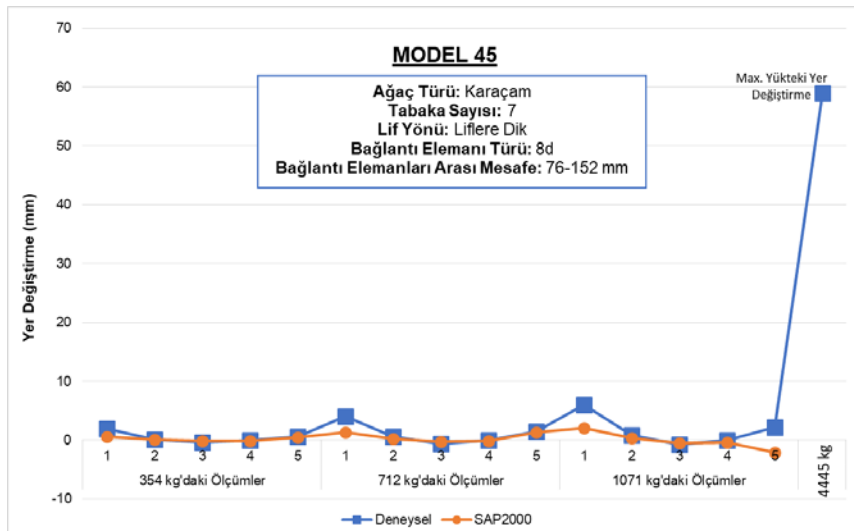
Şekil 149. Deney sonunda Model 43' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 150. Model 44' ün deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



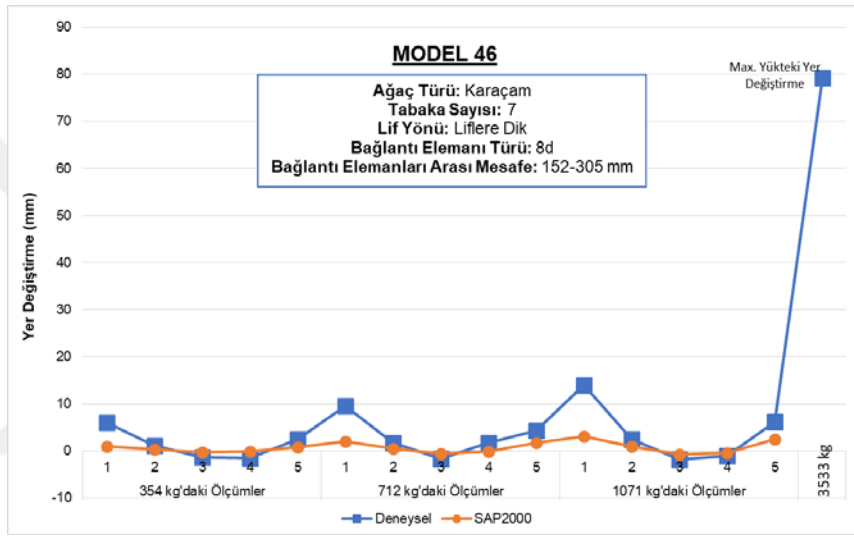
Şekil 151. Deney sonunda Model 44' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 152. Model 45' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



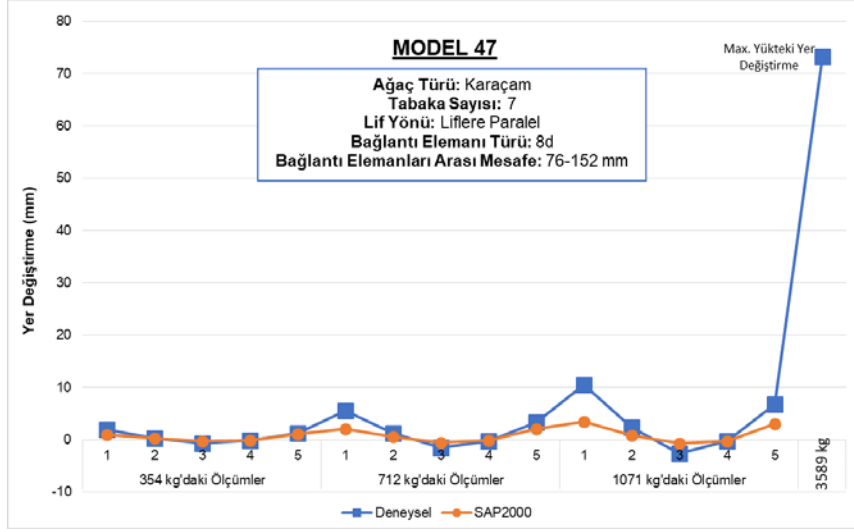
Şekil 153. Deney sonunda Model 45' de meydana gelen deformasyonlar



Şekil 154. Model 46' nın deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



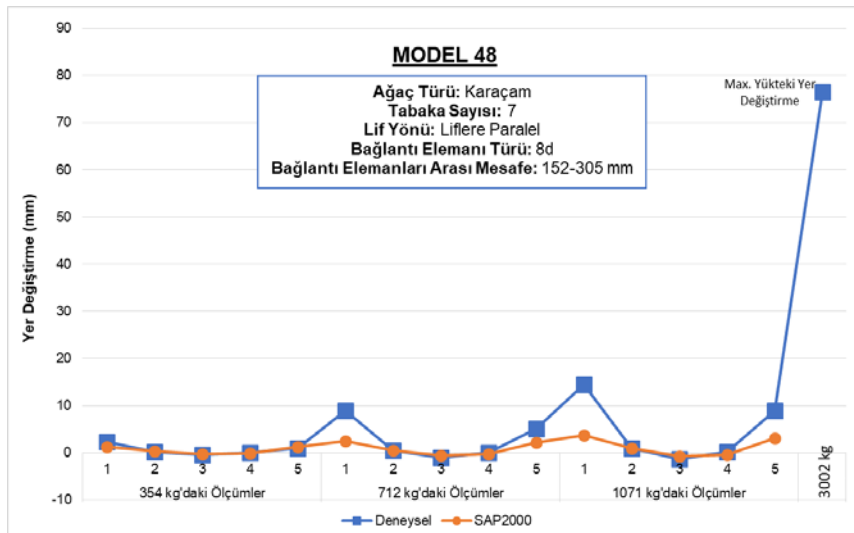
Şekil 155. Deney sonunda Model 46' da meydana gelen deformasyonlar



Şekil 156. Model 47' nin deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 157. Deney sonunda Model 47' de meydana gelen deformasyonlar



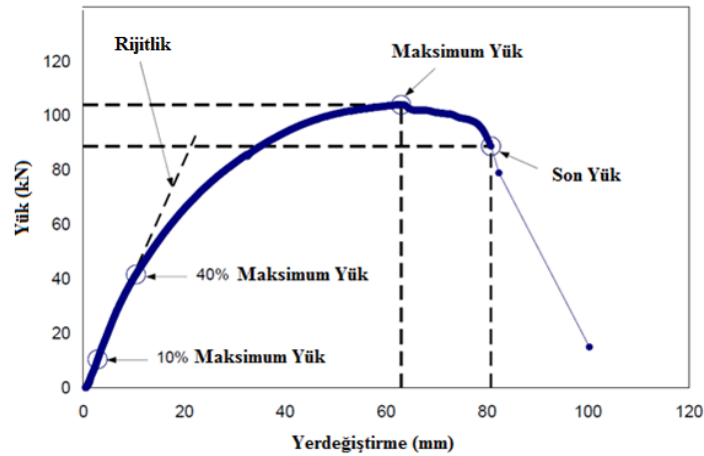
Şekil 158. Model 48' in deneysel ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 159. Deney sonunda Model 48' de meydana gelen deformasyonlar

Her bir modele ait deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılmasının verildiği Şekil 64-159'dan da görüleceği üzere tanımlanan varyasyon grupları için deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler ile SAP2000' de oluşturulan modelden elde edilen veriler örtüşmektedir. Dolayısı ile çalışma kapsamında analitik olarak kurulan modelin ispatı sağlanmıştır. Kurulan model yardımı ile bundan sonra yapılacak çalışmalarda duvar üzerinde hasarlı bir teste ihtiyaç duyulmadan istenilen verilerin sağlanması mümkün kılınabilecektir.

Test sonucunda her bir duvar modeli için elde edilen grafikler incelenerek o grubu temsil edebilecek yük-yer değiştirme eğrileri belirlenmiş ve elde edilen veriler örnek gruba ait maksimum yük ve bu yükteki yer değiştirmeyi ifade edecek biçimde grafiğe dönüştürülmüştür (Şekil 160). Söz konusu grafik yardımı ile üretilen perde duvarın yük altında gösterdiği davranışlar sayısal veriler olarak Tablo 73' de ortaya koyulmuştur.



Şekil 160. Duvarlara ait tipik yük-deformasyon eğrisi

Grafik yardımıyla aşağıdaki özellikler de belirlenmiştir:

- Rijitlik: Max yükün %10-40'ı arasında bulunan eğrinin eğimi ile hesaplanmaktadır.
- Son Yük (Ultimate Load): Max yükün %80'idir.
- Son Yükteki Yerdeğiştirme: Son yükteki yer değiştirme miktarıdır.

Tablo 73. Duvarlara ait analiz sonuçları özeti

Model No	Maksimum Yük (kN)	Maksimum Yerdeğiştirme (mm)	Son Yük (kN)	Son Yükteki Yerdeğiştirme (mm)	Rijitlik (kN/mm)
1	44,80	75,95	35,84	89,99	0,88
2	33,63	71,38	26,90	98,92	0,98
3	42,98	84,98	34,38	87,26	0,69
4	27,12	87,01	21,70	87,38	0,63
5	38,76	61,64	31,00	79,99	1,28
6	40,45	73,59	32,36	85,21	0,81
7	42,03	72,23	33,62	74,99	0,58
8	31,86	79,09	25,49	85,63	0,55
9	39,99	48,24	32,00	64,99	1,48
10	40,57	61,44	32,45	76,55	1,16
11	42,26	66,17	33,81	67,23	0,73
12	33,66	92,93	26,92	93,2	0,70
13	46,85	44,22	37,48	49,84	1,81
14	38,31	54,87	30,65	58,98	1,26
15	36,98	61,56	29,59	62,11	0,64
16	37,58	63,58	30,06	64,13	0,61
17	27,01	84,99	21,60	85,02	0,93
18	35,33	99,99	28,27	104,99	0,66
19	30,69	80,44	24,55	87,75	0,61
20	26,00	65,22	20,80	74,99	0,68
21	43,29	69,34	34,63	73,59	0,82
22	31,97	66,27	25,58	69,99	0,75
23	38,05	87,21	30,44	93,33	0,74
24	29,50	74,16	23,60	89,9	0,52
25	37,68	85,65	30,15	87,68	0,93
26	29,67	75,24	23,74	75,55	0,79
27	26,51	63,25	21,21	87,75	0,70
28	30,54	79,36	24,43	82,99	0,59
29	30,71	79,65	24,57	82,49	1,01
30	43,52	70,32	34,81	74,99	0,68
31	30,80	79,86	24,64	93,32	0,86
32	30,77	81,13	24,62	89,47	0,49

Tablo 73'ün devamı

Model No	Maksimum Yük (kN)	Maksimum Yerdeğiştirme (mm)	Son Yük (kN)	Son Yükteki Yerdeğiştirme (mm)	Rijitlik (kN/mm)
33	42,06	75,84	33,65	89,98	1,15
34	35,21	80,61	28,17	87,08	0,77
35	39,73	95,77	31,78	99,96	0,97
36	30,00	77,72	24,00	80,03	0,56
37	35,64	74,91	28,51	82,16	0,74
38	32,37	90,91	25,90	98,81	0,72
39	36,83	80,80	29,47	99,6	0,68
40	29,33	66,05	23,46	69,92	0,92
41	42,01	74,65	33,61	89,98	1,13
42	32,29	89,97	25,83	99,99	0,84
43	39,88	94,78	31,91	100,17	0,98
44	29,36	68,23	23,49	70,02	0,62
45	44,45	58,97	35,56	75,98	1,09
46	35,33	79,26	28,27	96,9	0,68
47	35,89	73,26	28,71	99,61	0,64
48	30,02	76,46	24,02	79,56	0,84

Yükler altında yapının stabil kalma yeteneği olarak tanımlanan rijitlik, yapılarda dayanıklılığı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Tablo 73 incelendiğinde en yüksek rijitlik değerini veren duvar modelinin; model 13 olarak isimlendirilen sarıçam kaplamalardan üretilen 7 tabakalı kontrplak levha elemanlarının 8d çivi ile levha kenarlarında, 76 mm levha ortasında ise 152 mm aralıklar ile çivilenmesi ile, ahşap çerçeveye liflere dik monte edilen grup olduğu belirlenmiştir. Ağaç türü olarak karaçam tercih edildiğinde en yüksek rijitlik değerini model 33 vermiştir. Ladin türünde ise model 29 vermiştir. Xiao vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, perde duvarların kaplanmasında 9 mm kalınlığında bambu kontrplaklar kullanılmış ve 2,44x2,44 m ebatlarında, 6d çiviler kullanılarak levha kenarlarında 150 mm; levha ortasında ise 300 mm bağlantı elemanı arası mesafe bırakılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda, perde duvarların rijitlik değerleri; 0,89-1,09 kN/mm arasında bulunmuştur (Xiao vd., 2015). FEMA tarafından 2001 yılında açıklanan raporda, 9,5 mm kalınlığındaki kontrplakla kaplanarak, 8d çivileri, levha kenarlarında 150 mm; levha ortasında ise 300 mm mesafe bırakılarak üretilen perde duvarların rijitlik değeri 1,3 kN/mm bulunmuştur (FEMA, 2001). Literatürde elde edilen sonuçlar ile bu çalışmadaki sonuçların birbirine yakın değerler

olduğu görülmüştür. Kontplakların dışında, Zhu vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, perde duvarların kaplanması için kullanılan OSB levhaların test edilmesi sonucu, rijitlik değeri 1,67 kN/mm bulunmuştur. OSB ile üretilen perde duvarlarında maksimum 23,04-36,3 kN yük taşıyabildiği literatürde belirtilmiştir (Phillips, 2015).

Rijitliğin yanında yapılarda özellikle yükün etkisi ile birlikte şekil değiştirme kabiliyeti olarak tanımlanan süneklik de önemli bir faktördür. Elde edilen veriler incelendiğinde yükün etkisi ile birlikte maksimum yerdeğiştirme miktarı veren grup olarak model 18; Ladin kaplamalardan üretilen 5 tabakalı kontrplak levha elemanlarının 6d çivi ile, levha kenarlarında 152 mm levha ortasında ise 305 mm aralıklar ile çivilenmesi ile, ahşap çerçeveye liflere dik monte edilen grup olduğu belirlenmiştir. Ağaç türü olarak karaçam tercih edildiğinde en yüksek yerdeğiştirme değerini, model 35 vermiştir. Sarıçam türünde ise, model 12 vermiştir. Elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere rijitlik ve süneklik farklı gruplarda ağaç türü ve denenen varyasyonlara göre farklılık göstermektedir. Duvar üzerinde yeterli rijitlik ve sünekliği sağlayacak model kullanım yeri ve koşullarına göre tercih edilebilir. Her bir perde duvarın kuvvetini belirlemek için mevcut tasarım uygulamasında oluşturulan çerçeve diyagramının esnek veya katı olarak sınıflandırılması yaygın bir uygulama olarak kullanılmaktadır (Huang, 2013). Rijit olarak düşünülen bir diyagram, yatay yükleri her duvarın rijitliği oranında perde duvarlara dağıtmaktadır. Eğer yapı esnek ise gelen yatay yükler her perde duvarın zeminine iletilmektedir. Huang (2013), rijitliğin bir perde duvardaki kuvvetin tahmin edilmesinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmiştir. Çalışma kapsamında her bir perde duvar modelinden elde edilen rijitlik değerleri, duvarların bir karkas yapıya dönüştürüldüğünde yapının sağlayacağı rijitlik ve diyagram gücünün tahmin edilmesinde önemli bir veri kaynağı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

5.1. Mekanik Özellikler

5.1.1. Yapışma (Çekme-Makaslama) Direnci

1. Ağaç türleri arasında en yüksek çekme-makaslama direnci değerleri sarıçam ve karaçam kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilirken, en düşük değerler ise ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilmiştir.

2. Tabaka sayısının çekme makaslama direnci değerleri üzerine olan etkisine bakıldığında ise 7 tabakalı kontrplakların çekme-makaslama direnci değerlerinin 5 tabakalı kontrplaklara göre daha yüksek bulunmuştur.

5.1.2. Eğilme Direnci

1. Ağaç türleri arasında en yüksek eğilme direnci değerleri sarıçam kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilirken, en düşük değerler ise karaçam ve ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilmiştir.

2. Tabaka sayısının, levhaların eğilme direnci değerleri üzerinde anlamlı bir etkiye neden olmadığı sayılabilir.

5.1.3. Elastikiyet Modülü

1. Ağaç türleri arasında en yüksek elastikiyet modülü değerleri sarıçam kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilirken, en düşük değerler ise ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilmiştir.

2. Tabaka sayısının elastikiyet modülü değerleri üzerine olan etkisine bakıldığında ise 7 tabakalı kontrplakların elastikiyet modülü değerlerinin 5 tabakalı kontrplaklara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

5.1.4. Yanal Vida Direnci

1. Ağaç türleri arasında en yüksek yanal vida direnci değerleri sarıçam kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilirken, en düşük değerler ise ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilmiştir.

2. Tabaka sayısının yanal vida direncideğerleri üzerine olan etkisine bakıldığında ise, 7 tabakalı kontrplakların yanal vida direnci değerlerinin 5 tabakalı kontrplaklara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

3. Liflere dik yönde yapılan yanal vida direnci değerleri, liflere paralel yapılan levhalara göre daha yüksek bulunmuştur.

4. Bağlantı elemanı olarak 8d çiviler kullanılarak üretilen levhaların yanal vida direnci değerleri, 6d çiviler kullanılarak üretilen levhalara göre daha yüksek bulunmuştur.

5.2. Fiziksel Özellikler

5.2.1. Yoğunluk

1. Ağaç türleri arasında en yüksek yoğunluk değerleri sarıçam kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilirken, en düşük değerler ise ladin kaplamalardan üretilen kontrplaklarda elde edilmiştir.

2. Tabaka sayısının yoğunluk üzerine olan etkisine bakıldığında ise 7 tabakalı kontrplakların yoğunluk değerlerinin 5 tabakalı kontrplaklara göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

5.3. Perde Duvarların Deneysel Sonuçları ve Sonlu Eleman Modeli Analizi

1. Oluşturulan model duvarlar arasında en yüksek maksimum yük taşıma kapasitesi; 7 tabakalı sarıçam kontrplaklardan bağlantı elemanı olarak 8d çivilerin 76-152 mm bağlantı elemanları arası mesafesinin kullanılmasıyla üretilen çerçeve sisteminin liflere dik yöndeki modelinde (Model 13) elde edilmiştir.

2. Oluşturulan model duvarlar arasında en düşük maksimum yük taşıma kapasitesi; 5 tabakalı ladin kontrplaklardan bağlantı elemanı olarak 6d çivilerin 152-305 mm bağlantı elemanları arası mesafesinin kullanılmasıyla üretilen çerçeve sisteminin liflere paralel yöndeki modelinde (Model 20) elde edilmiştir.

3. Sarıçam kontrplaklardan oluşturulmuş model duvarlar arasında en düşük maksimum yük taşıma kapasitesi; 5 tabakalı kontrplaklardan bağlantı elemanı olarak 6d çivilerin 152-305 mm bağlantı elemanları arası mesafesinin kullanılmasıyla üretilen çerçeve sisteminin liflere paralel yöndeki modelinde (Model 4) elde edilmiştir.

4. Ladin kontrplaklardan oluşturulmuş model duvarlar arasında en yüksek maksimum yük taşıma kapasitesi; 7 tabakalı kontrplaklardan bağlantı elemanı olarak 8d çivilerin 152-305 mm bağlantı elemanları arası mesafesinin kullanılmasıyla üretilen çerçeve sisteminin liflere dik yöndeki modelinde (Model 30) elde edilmiştir.

5. Karaçam kontrplaklardan oluşturulmuş model duvarlar arasında en yüksek maksimum yük taşıma kapasitesi; 7 tabakalı kontrplaklardan bağlantı elemanı olarak 8d çivilerin 76-152 mm bağlantı elemanları arası mesafesinin kullanılmasıyla üretilen çerçeve sisteminin liflere dik yöndeki modelinde (Model 45) elde edilmiştir.

6. Karaçam kontrplaklardan oluşturulmuş model duvarlar arasında en düşük maksimum yük taşıma kapasitesi; 5 tabakalı kontrplaklardan bağlantı elemanı olarak 8d çivilerin 152-305 mm bağlantı elemanları arası mesafesinin kullanılmasıyla üretilen çerçeve sisteminin liflere paralel yöndeki modelinde (Model 40) elde edilmiştir.

7. Her bir modele ait deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırıldığında tanımlanan varyasyon grupları için deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler ile SAP 2000' de oluşturulan modelden elde edilen veriler örtüşmüştür.

5.4. Yapay Sinir Ağları Modellemesi Sonuçları

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan faydalanılarak, maksimum yer değiştirme miktarına olanak sağlayacak optimum bağlantı elemanı türü, bağlantı elemanları arası mesafe yapay sinir ağları modellemesi ile belirlenmiş olup ağaç türü, tabaka sayısı ve lif yönüne göre maksimum yer değiştirme değerlerini veren YSA modelleme sonuçları Tablo 74'te verilmiştir.

Tablo 74. YSA modeli ile oluşturulan optimum sonuç tablosu

Ağaç Türü	Tabaka Sayısı	Lif Yönü	Bağlantı Elemanı Türü	Bağlantı Elemanları Arası Mesafe (Levha Kenarlarında) (mm)	Bağlantı Elemanları Arası Mesafe (Levha Ortalarında) (mm)	Maksimum Yer Değiştirme (mm)
Sarıçam	5	Dik	6d	76	302	82,238
Sarıçam	7	Dik	6d	76	302	68,183
Sarıçam	5	Paralel	6d	76	302	89,433
Sarıçam	7	Paralel	6d	76	302	77,529
Ladin	5	Dik	6d	76	302	88,059
Ladin	7	Dik	6d	76	302	75,749
Ladin	5	Paralel	6d	76	302	94,392
Ladin	7	Paralel	6d	76	282	82,059
Karaçam	5	Dik	6d	76	302	93,181
Karaçam	7	Dik	6d	76	302	82,367
Karaçam	5	Paralel	6d	76	202	93,666
Karaçam	7	Paralel	6d	76	152	78,922

Çalışma kapsamında her bir deney grubu için elde edilen veriler, çalışma kapsamında öngörülen varyasyonlar çerçevesinde belirlenmiştir. Fakat bu çaptaki çiviler ve bu çiviler arası mesafe bizim ağaç türlerimiz ve yerli üretim kontrplaklarımızla oluşan perde duvarların göstereceği yanal direnç açısından optimum sonuçlar olmayabilir. Bu varyasyonların haricindeki çap ve uzunluk değerlerinde en iyi direncin sağlanabileceği de göz ardı edilmemesi gereken bir gerçektir. Optimum koşulların hesaplanabilmesi için hem geniş bir zamana hem de yüksek maliyete ihtiyaç duyulmaktadır. Böylesi bir maliyet ve zaman kaybı olmadan sorunu çözebilmek için YSA ile modelleme yapılmıştır. Tablo 74 incelendiğinde, maksimum yer değiştirme miktarlarının ağaç türüne göre çalışma kapsamında öngörülen varyasyonların haricinde de elde edilebileceği görülmektedir. Optimum sonuçların elde edilebilmesi için bütün varyasyonların denenmesi imkansız olup, uygulanan modelleme ile işgücü, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır.

6. ÖNERİLER

Türkiye'de ahşap yapı konusundaki standardizasyon eksikliği göz önüne alındığında, çalışmadan elde edilen sonuçların, hızlı bir gelişme içinde olan orman ürünleri ve inşaat sektörlerinde önemli bir açığı giderebilme kapasitesine sahip olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan yerli ağaç türlerinin ahşap karkas yapılarda kullanılabilir niteliğe sahip olduğu ve perde duvarlarda kaplama malzemesi olarak kullanılacak kontrplakların üretiminde tercih edilmesi durumunda iyi performans gösterecekleri göz ardı edilmemelidir. Ayrıca ülkemiz ahşap yapı sektörü için hammadde açısından dışa bağımlılığın azaltılması açısından yerli türlerin kullanımı ile ahşap yapıların üretimine yönelik olarak çalışmaların daha da artırılması gerektiği önerilebilir. Çalışma kapsamında elde edilen veriler, aynı zamanda ahşap yapıların ekonomik ve hızlı inşası gibi avantajları nedeniyle kentsel dönüşüm projelerinin gündeminde olduğu belediyeler için de bir yardımcı rehber niteliğinde olacağı düşünülmektedir.

YSA ile elde edilen optimum sonuçlar ahşap yapı ve orman ürünleri sektörü için kullanılabilir nitelikte olup, ileride yapılacak çalışmalar içinde özgün bir kaynak olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Her bir modele ait deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırıldığında, tanımlanan varyasyon grupları için deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler ile SAP2000' de oluşturulan modelden elde edilen veriler örtüştüğü görülmektedir. Dolayısı ile analitik kurulan modelin başarılı olduğu söylenebilir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kazanılan model kullanılarak yapı kurulması inşası ve hasarlı testi yapmadan sadece malzeme özellikleri girilerek yapının olası yanal yükler altında sergileyeceği davranış tahmin edilebilecektir. Bu modelin ilgili sektör ve akademik çevrede kullanımı, önemli bir işgücü ve maliyet tasarrufu sağlayacağından önerilebilir. Pek çok deprem ülkesi tarafından kullanılan ahşap yapılar, depreme dayanıklı yapıların en önemlileri olarak gösterilmektedir. Ahşap yapı maksatlı kullanan ülkelerin hemen hepsi kendi ülke şartlarına göre ahşap ve yapı için pek çok standart ve el kitabı geliştirmiştir. Ülkemizde ahşap yapı üzerine çok sınırlı çalışmalar yapılması nedeni ile bu tür kaynak ve bilgiler Türkiye koşulları için mevcut değildir.

Bu çalışma ile ülkemizde yetişen ve yapı maksatlı kullanım amacına uygun ağaç türlerinden üretilen kontrplak levhaların ahşap yapılarda dayanım üzerine etkisi ortaya konularak böylesi bir kaynak kullanıcıya sunulmuştur. Bundan sonraki çalışmalar için, bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında gerçek boyutlarda tam ölçekli bir ahşap yapının üretilerek deprem anında gösterdiği performansın belirlenmesi önerilmektedir.



7. KAYNAKLAR

- Aktan, S. ve Kır a, N., 2010. Betonarme Binalarda Perdelerin DavranıŐa Etkileri, Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University, 23, 1, 15-32.
- AnŐın, R. ve  zkan, Z., C., 1993. Tohumlu Bitkiler – Odunsu Taksonlar. Trabzon: K.T. . Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 19.
- APA, 1999a. The Engineered Wood Association. Sanded Plywood, APA Product Guide, Canada.
- APA, 1999b. The Engineered Wood Association. American Plywood in Roof Construction: A Design Guide published by Construction Research Communications Ltd. by permission of Building Research Establishment Ltd. UK.
- APA, 2007. The Engineered Wood Association. Voluntary Product Standard. PS 1-07 Structural Plywood with Typical APA Trademarks, Form No: H860, February.
- APA, 2010. The Engineered Wood Association. Technical Topics. Form No: TT-044B, March.
- Arıkan, S., 2017. Sonlu Elemanlar Metodunun M hendislikte Uygulamaları, ODT , Ankara, Türkiye.
- ASTM American Society for Testing and Materials (ASTM) E 72, 2014. Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction, West Conshohocken, A, United States.
- ASTM D 1761, 2012. Standart Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood, American Society for Testing and Materials.
- Ataman, F., Kaynak, T. ve Y nc , S., 1999. Bilgisayar ortamında sistem modelleme yoluyla yapay zeka ieren  z mlerin irdelenmesi, Elektrik-Elektronik–Bilgisayar M hendisliği 8. Ulusal Kongresi, Sayfa, 677.
- Atik, K., 2004. Direkt GenleŐmeli Evaporatörün Yapay Sinir AĞları İle Modellenmesi, Teknoloji, 7, 4, 649-658.
- Avramidis, S., Iliadis, L. and Mansfield, S., D., 2006. Wood dielectric loss factor prediction with artificial neural Networks, Wood Science and Technology, 40, 7, 563–574.

- Aydın, İ., 2004. Çeşitli ağaç türlerinden elde edilen kaplamaların ıslanabilme yeteneği ve yapışma direnci üzerine bazı üretim şartlarının etkileri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, İ. and Çolakoğlu, G., 2008. Variations in bending strength and modulus of elasticity of spruce and alder plywood after steaming and high temperature drying, Mechanics of Advanced Materials and Structures, 15, 5, 371-374.
- Aydın, İ., Çolakoğlu, G., Çolak, S. and Demirkır, C., 2006. Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood, Building and Environment, 41, 1311-1316.
- Aydın, İ. and Demirkır, C., 2010, Activation of Spruce Wood Surfaces by Plasma Treatment After Long Terms of Natural Surface Inactivation, Plasma Chemistry and Plasma Processing, 30, 697-706.
- Bal, B., C., 2011. Okaliptüs grandis (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ve Lamine Ağaç Malzeme Üretiminde Kullanılması Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Bal, B., C., Akçakaya, E. ve Gündeş, Z. 2016. Farklı Ağaç Türlerinden Üretilmiş Kontrplakların Yanal Çivi Dayanımı, Ormancılık Dergisi, 12, 1, 145-153.
- Bal, B., C. ve Bektaş, I., 2013. Okaliptüs, Kayın ve Kavak Kaplamalarından Üretilen Kontrplakların Eğilme Özellikleri, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13, 2, 175-181.
- Bal, B., C., Gündeş, Z. ve Akçakaya, E., 2015. Kavak, Kayın ve Okaliptüs Kaplamaları ile Üretilen Kontrplakların Vida Tutma Direnci, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, 18, 2, 77-83.
- Bal, B., C., Özdemir, F. ve Altuntaş, E., 2013. Masif Ağaç Malzeme ve Tabakalı Kaplama Kerestenin Vida Tutma Direnci Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Düzce Üniversitesi, Ormancılık Dergisi, 9, 2, 14-22.
- Beall, F., C., 2005. Monitoring Cumulative Damage in Shear Wall Testing with Acoustic Emission, 14 th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. University of Applied Sciences, Germany, Eberswalde, May.
- Bott, J., W., 2005. Horizontal stiffness of wood diaphragms, Master of Science in Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia.
- Bozkurt, A., Y. ve Erdin, N. 1992. Odun Anatomisi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 415.

- Bozkurt, A., Y. ve Göker, Y., 1996. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ders kitabı, 2. Baskı. Üniversite Yayın No: 3944, Orman Fakültesi Yayın No: 436. ISBN 975-404-420-1.
- Breyer, D., E., Fridley, K., J., Pollock, D., G. and Cobeen, K., E., 2003. Design of Wood Structures ASD: Fifth Edition. Mc Graw- Hill. USA , Newyork.
- Bryan, T. and Readling, P., E., 2008. Lateral Load Design Solutions, I. APA The Engineered Wood Association. March.
- Canply, 2002. Canadian Plywood Association. Plywood Handbook. Vancouver, Canada: U.S. Edition, 20.
- Castellani, M. and Rowlands, H. 2008. Evolutionary feature selection applied to artificial neural networks for wood-veneer classification, International Journal of Production Research, 46, 11, 3085–3105.
- Ceccotti. A., Lauriola, M., P., Pinna, M. and Sandhaas. 2006. Sofie project - cyclic tests on cross-laminated wooden panels, WCTE 2006 - 9th World Conference on Timber Engineering - Portland, OR, USA - August 6-10.
- Ceccotti, A., 2010. Cross Laminated Timber Introduction to Seismic Performance, Trees and Timber Institute IV ALSA-CNR National Research Council, Italy. Available at www.bcwood.com/resources/cross-laminated-timber-symposium-presentations.
- Ceylan, İ., 2008. Determination of drying characteristics of timber by using artificial neural networks and mathematical models, Drying Technology, 26, 1469–1476.
- Chin, C., Y., 1992. The reliability analysis of wood diaphragms under wind loading, Chin, Caroline Yan, PhD., Washington state University, Department of Civil and Environmental Engineering.
- Chow, S. and Chunsi, K., S., 1979. Adhesion Strength and Wood Failure Relationship in Wood-Glue Bonds, Mokuzai gakkaiishi, 25, 2, 125-131.
- Chui, Y., H., Ni, C. and Jaing, L., 1998. Finite-Element Model For Nailed Wood Joints Under Reversed Cyclic Load, Journal of Structural Engineering, 124, 96–103.
- Cook, D., F., Ragsdale, C.,T. and Major, R., L., 2000. Combining A Neural Network With A Genetic Algorithm For Process Parameter Optimization, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 13, 391–396.
- Çakıroğlu, O. ve Aydın, İ., 2012. Huş Odununun Kayın Odununa Alternatif Olarak Kontrplak Üretiminde Değerlendirilmesi, KSÜ Mühendislik Bilim Dergisi, Özel Sayı, 50-55.
- Çalık, Ç., 2012. Dünyadan ve Türkiye’den Örneklerle Çok Amaçlı Salon Yapılarının Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yönünden İncelenmesi, Uzmanlık Tezi, Kültür ve Turizm Bakanlığı, Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Çalıova, Z., 2011. Kızılağaç ve Doğu Ladini Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çalışkan, M. 2008. Kontrplak, Laminart Dergisi, 10, 59, 71.
- Çolakoğlu, G., 1993. Kontrplak Üretim Şartlarının Formaldehit Emisyonu ve Teknik Özelliklere Etkisi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çolakoğlu, G., 2004. Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları. Trabzon: KTÜ Orman Fakültesi.
- Demir, Y., Tuntaş, R. ve Köksal, M. 1999. Anahtarlama Devrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Analizi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, Gaziantep, 673.
- Demirkır, C., 2012. Çam Türlerinden Elde Edilen Kaplamaların Yapı Maksatlı Kontrplak Üretiminde Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demirkır, C., Çolakoğlu, G. and Karacabeyli, E., 2013. The effect of some manufacturing factors on technological properties of plywood from northern Turkey and suitability of the panels for use in shear walls, ASCE Journal of Structural Engineering, 139, 12, 1-6.
- Deprem Yönetmeliği, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi.
- DIN 68705-3, 2003. Yapı Kontrplakları, Alman Standartlar Enstitüsü, Verlag.
- DIN 68708, 1976. Sperrholz-Begriffe, DIN, Berlin.
- Dinehart, D., W. and Shenton, W., 1998. Comparison of Static and Dynamic Response of Timber Shear Walls, Journal of Structural Engineering, 124, 6, 686–695.
- Dolan, J., D., 1991. Dynamic Tests of Full-Size Timber Shear Walls, Proceedings of the International Timber Engineering Conference, (Sept 2 - 5), London, UK, 4, 4267 – 4274.
- Durmuş, A., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş Ders Notları. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi. İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1-2.
- Earthquake Resistant Housing. 2002. A Wood – Frame Building Performance Fact Sheet. Canada: Forintek Canada Corp. CMHC. SCHL. September.
- Efe, H. ve Kasal, A., 2007. Çeşitli Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Politeknik Dergisi, 10, 3, 303-311.

- Ehlbeck, J., 1979. Nailed Joints in Wood. Wood Research and Wood Construction Laboratory, Virginia Polytechnic Institute and State University, Report No. 166, September, 145.
- Ekwueme, C., G. and Hart, G., C., 2000. Non-linear analysis of light-framed wood buildings. In Proceedings of the 12th World Conference in Earthquake Engineering, Auckland, New-Zealand.
- EN 313-2, 1999. Plywood-Classification and Terminology Part-2, Terminology, CU.
- Engineered Wood Products Association of Australasia, 2010. Structural Plywood & LVL Design Manual. EWPA.
- Erdil, Y., Z., Zhang, J. and Eckelman, C., A., 2002. Holding strength of screws in plywood and oriented strandboard, Forest Products Journal, 52, 6, 55–62.
- Erkoç, E., 2004. Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama-Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi (İstanbul Örnekleri), Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esteban, L., G., Fernandez, F., G., Palacios, P., D., Romero, R., M. and Cano, N., N., 2009. Artificial neural networks in wood identification: the case of two juniperus species from the canary islands, Iawa Journal, 30, 1, 87–94.
- Esteban, L., G., Fernandez, F., G., Palacios, P., D. and Gonzalez, R., B. 2010. Use of artificial neural networks as a predictive method to determine moisture resistance of particle and fiber boards under cyclic testing conditions (UNE-EN 321), Wood Fiber Science, 42, 3, 335–45.
- FEMA. 2001. Report of a testing program of light-framed walls with wood-sheathed shear walls. Rep. No. FEMA-DR-1008-8011, Washington, DC.
- Fernández, F., G., Esteban, L., G., Palacios, P., D., Navarro, N. and Conde, M., 2008. Prediction of standard particleboard mechanical properties utilizing an artificial neural network and subsequent comparison with a multivariate regression model, Investigación Agraria. Sistemas Y Recursos Forestales, 17, 2, 178–187.
- Foliente, G., C., 1995. Hysteresis Modeling Of Wood Joints And Structural Systems, Journal of Structural Engineering, 121, 1013–1022.
- Food and Agriculture Organization (FAO). Division - Forestry Production and Trade. <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/E>. 30 Ekim 2018.
- Gillespie, R., H. and River, B., H., 1976. Durability of Adhesives in Plywood. Forest Products Journal, 26, 10, 21-25.
- Gindl, W. and Gupta, H., S. 2002. Cell-wall Hardness and Young's Modulus of Melamine-Modified Spruce Wood by Nano-Indentation, Composites Part A, Applied Science and Manufacturing, 33, 8, 1141-1145.

- Golbabaie, H. Applications of Biocomposites in Building Industry, Department of Plant Agriculture University of Guelph, http://www.plant.uoguelph.ca/courses/plnt-6250/pdf/M_Golbabaie.pdf. 26 Kasım 2017.
- Gonzalo, A., R., Pablo, A., E. and Ramirez, P., A., 2009. Automated Visual Inspection System For Wood Defect Classification Using Computational Intelligence Techniques, International Journal of Systems Science, 40, 2, 163-172.
- Göker, Y., As, N., Akbulut, T. ve Dündar, T. 2000. Lif Kıvrıklığının Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Odununun Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 24, 1, 45-50.
- Graf, W., 2008. Wood Frame Buildings. The Shake out Scenario. Prepared for United States Geological Survey and California Geological Survey. URS Corporation. Los Angeles CA, May.
- Gu, J., 2006. An Efficient Approach to Evaluate Seismic Performance and Reliability of Wood Shear walls, PhD thesis, The Faculty of Graduate Studies (Forestry), University of British Columbia.
- GuangSheng, C. and Li, G. 2008. Comparison of forecasting methods for wood quality, Journal of Northeast Forestry University, 36, 6, 30–31.
- Güdül, H., Demir, A. ve Aydın, İ., 2016. Kaplama Rutubetinin Formaldehit Emisyonu ve Kontrplak Teknolojik Özelliklerine Etkisi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5, 2, 144-150.
- Güzel, N. ve Yesügey, S., C., 2015. Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzeme ile Çok Katlı Ahşap Yapılar, Mimarlık Dergisi, 382, Nisan-Mart Sayısı.
- Halligan, A., F. and Schiewind, A., P., 1974. Prediction of particleboard mechanical properties at various moisture content, Wood Science Technology, 8, 68-78.
- Hayashi, K., 1988. Studies on methods to estimate the racking resistance of houses with wooden wall panel sheathing: Part I Experimental Study, Proc. Intl. Timber Engrg. Conf., Forest Products Res. Soc., Madison, WI, I, 774 – 783, (Sept 19 – 22).
- Haykin, S., 1994. Neural Networks, A Comprehensive Foundation. New York: MacMillan College Publishing Comp. Inc.
- He, G., Yu, C. and Dai, C. 2007, Theoretical Modeling of Bonding Characteristics and Performance of Wood Composites. Part III. Bonding Strength Between Two Wood Elements, Wood and Fiber Science, 39, 4, 566-577.
- Huang, X., 2013. Diaphragm Stiffness in Wood-Frame Construction, Master Thesis, Master of Applied Science in The Faculty of Graduate Studies (Civil Engineering), University of British Columbia, Vancouver, Canada.

- Hunt, R., D. and Bryant, A., H., 1990. Nailed Joints for timber Structures, Proceeding of Pacific Timber Engineering Conference, Auckland, New Zealand, May, 616-621.
- ISO 16670. 2003. Timber structures -- Joints made with mechanical fasteners -- Quasi-static reversed-cyclic test method, Switzerland.
- İşci, C., 2008. Deprem nedir ve nasıl korunuruz, Journal of Yaşar University, 3, 9, 959-983.
- Kalkert, R., E. and Dolan, J., D., 1997. Behavior of 8-D nailed stud-to-sheathing connections, Forest Products Journal, 47, 6, 95–102.
- Kamiya, F., 1988. Nonlinear Earthquake Response Analysis of Sheated Wood Walls by a Computer – Actuator On – Line System, Proc. Intl. Timber Engrg. Conf., Forest Products Res. Soc., Madison, WI, I, 838 – 847 (Sept 19-22).
- Kawai, N., 1999. Prediction Methods For Earthquake Response Of Shear Walls, Proc., Pacific Timber Engineering Conf., Rotorua, New Zealand, 317–324.
- Kim, S., M., Kim, H., S., Kim, H., J. and Yang, H., S., 2008. Fast curing PF resin mixed with various resins and accelerators for building composite materials., Construction and Building Materials, 22, 2141-6.
- Krüger, E., L. and Adriazola, M., 2010. Thermal analysis of wood-based test cells, Construction and Building Materials, 24, 6, 999-1007.
- Kurowska, A., Borysiuk, P. and Maminski, M., L., 2011. Simultaneous veneers incising and lower pressing temperatures – The effect on the plywood pressing time, European Journal of Wood and Wood Products, 69, 495–7.
- Lam, F., Prion, H., G., L. and He, M., 1997. Lateral resistance of wood shear walls with large sheathing panels, Journal of Structural Engineering, 123, 12, 1666–1673.
- Li, H., Li, C., Chen, H., Zhang, D., Zhang, S. and Li. J., 2014. Effects of Hot-Pressing Parameters on Shear Strength of Plywood Bonden With Modified Soy Protein Adhesives, Bioresources, 9, 4, 5858-5870.
- Li, J., 2013. Wood Frame Design and Construction. A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor of Science in Wood Products Processing.
- Li, J., Beall, F., C. and Breiner, T., A., 2007. Analysis of Racking of Structural Assemblies Using Acoustic Emission, Advances in Acoustic Emission. AEWG, AE Group, 6, 202.
- Long, W. and Rice, R., W., 2008. Detection of Structural Damage in Medium Density Fiberboard Panels Using Neural Network Method, Journal of Composite Materials, 42, 11, 1133-1145.

- Mansfield, S., D., Iliadis, L. and Avramidis, S., 2007. Neural Network Prediction of Bending Strength and Stiffness in Western Hemlock (*Tsuga heterophylla* Raf.). Holzforschung, 61, 6, 707-716.
- Mayes, D. and Oksanen, O., 2002. Thermowood Handbook, Finnforest, Finland, 5-15.
- McCormick, T. P. 2005. Seismic Retrofit Training For Building Contractors & Inspectors. Shear Walls, Publisher: Timothy P. McCormick, ISBN: N/A, edition 2005.
- McDowell, C., G. and Halligan, A., F. 1988. Particleboard As A Wall Bracing Media in Domestic Dwelling Construction, Proc. Intl. Timber Engrg. Conf., Forest Products Res. Soc., Madison, WI, I, 794 – 803 (Sept 19 – 22).
- McNatt, J., D., 1979. Wood Diaphragm Materials. US Forest Products Laboratory, USA.
- Minister of Housing and Social Development, 2009a. Ministerial order no. M008. Regulation of the Minister of Housing and social Development Province of British Columbia. Jan8.
- Minister of Housing and Social Development, 2009b. Ministerial order no. M121. Regulation of the Minister of Housing and social Development Province of British Columbia. April 3.
- Mirski, R., 2009. The Effect of Variable Environmental Conditions on Dimensional Changes in Thin Wood-Based Materials, Part I. Absorption changes. EJPAU Wood Technology, 12, 4.
- Nanami, N., Shibusawa, T., Sato, M., Arima, T. and Kawai, M., 2000. Durability Assessment of Wood-Framed Walls and Mechanical Properties of Plywood in Use, in Proceedings of The World Conference On Timber Engineering, British Columbia, University of British Columbia.
- Nayır, K., 2006. Perdeli – Çerçevesiz Betonarme Binaların Deprem Bölgelerine Bağlı Olarak Tasarımı ve Optimum Maliyetinin Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Ni, C. and Karacabeyli, E., 2005. Stiffness of shear walls and diaphragms, Chun Ni, Forintek Canada Corp. Western Division 2665 East Mall, Vancouver, British Columbia. Project No.3544, Canadian Forest Service No.38, Final report 2004/05.
- Nordmark, U., 2002. Knot Identification from CT Images of Young *Pinus sylvestris* Sawlogs Using Artificial Neural Networks, Scandinavian Journal of Forest Research, 17, 1, 72 78.
- O'Donnell, A. and Krezel, J.. Ductility and Stiffness—What They Are and Why They Matter in an Earthquake. <https://www.air-worldwide.com/Blog/Ductility-and-Stiffness%E2%80%94What-They-Are-and-Why-They-Matter-in-an-Earthquake>. 17 Aralık 2016.

- Oliva, M., G. and Wolfe, R., W. 1988. Contribution of gypsum wallboard to racking performance of walls, Proc. Intl. Timber Engrg. Conf., Forest Products Res. Soc., Madison, WI, I, 759 – 765 (Sept 19 – 22).
- Orman Atlası, 2014. Orman Atlası, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Önal, O., T., 2001. Schauman Wood, Yapılarda Kontrplak Kullanımı,'Nordic wood' projesi ve Finlandiya Açık Ahşap Sistemi.
- Örs, Y., Çolakoğlu, G., Aydın, İ. ve Çolak, S., 2002. Kayın, Okume ve Kavak Soyma Kaplamalarından Farklı Kombinasyonlarda Üretilen Kontrplakların Bazı Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması, Politeknik Dergisi, 5, 3, 257-265.
- Özalp, M., Atılğan, A., Esen, Z. and Kaya, S., 2009. Comparing The Resistance and Bending in The Plywoods Which Each Made With Different Glues, Journal of The Institute of Science and Technology of Dumlupınar University, 18, 99-104.
- Özçifçi, A., Altun, S. and Yapıcı, F., 2009. Effects of Heat Treatment on Technological Properties of Wood, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09) Bildiriler Kitabı, 13-15.
- Özen, R., 1981, Çeşitli Faktörlerin Kontrplağın Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yaptığı Etkilere İlişkin Araştırmalar. Trabzon: .K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 9.
- Öztank, N., 2004. Orta Yükseklikteki (4 – 8 kat) Konut Yapılarında Ahşap Teknolojisinin Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları. İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim Bilgisayar Sis. San ve Tic. A.Ş.,
- Öztürk, H., 2012. Farklı Bölgelerde Yetişen Sakallı Kızılağaç'dan Elde Edilen Kontrplakların Bazı Teknolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pei, S., Popovski, M. and Van De Lindt, J., W. Seismic design of a multi-story cross laminated timber building based on component level testing. World Conference on Timber Engineering, Auckland. <http://www.timberdesign.org.nz/files/00279%20Shiling%20Pei.pdf> 2012. 20 Kasım 2018.
- Peker, H. ve Tan, H., 2014. Bölge Farklılığı, Buharlama, Kurutma Sıcaklığı, Tutkal Türü ve Tabaka Sayısının Ladin Odunundan Üretilen Kontrplakların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, Ormancılık Araştırma Dergisi, 1, 1 A, 50-59.
- Peyer, S., M. and Cramer, S., M., 1999. Behavior of Nailed Connections At Elevated Temperatures, Wood and Fiber Science, 31, 3, 264-276.

- Phillips, R., J., 2015. Investigation of Shear Capacity for Light-Frame Wood Walls Constructed with Insulated Oriented Strand Board Panels, Master Thesis, the Graduate School of Clemson University, U. S.
- Pirinen, M., 2014. Ductility of Wood and Wood Members Connected with Mechanical Fasteners, Master Thesis, Aalto University, School of Engineering, Finland.
- Pirvu, C., 2008. Structural Performance of Wood Diaphragms With Thick Panels, Canadian Forest Service No. 13, Final report. FPInnovations Forintek, March.
- Popovski, M. Seismic Performance of CLT Construction. FP Innovations. Available at http://www.cecobois.com/index.php?option=com_content&view=article&id=315&Itemid=199. 17 Aralık 2017.
- Pozza, L., Scotta, R., Trutalli, D., Pinna, M., Polastri, A. and Bertoni, P., 2014. Experimental and numerical analyses of new massive wooden shear-wall systems, Buildings, 4, 3, 355-374.
- Prion, G., L., H. and Filiatrault, A., 1995. Performance of Timber Structures During the Hyogo – ken Nanbu Earthquake of January 17, Canadian Journal of Civil Engineering, 23, 652 – 664.
- Rainer, J., H., and Karacabeyli, E., 1999. Performance of wood – frame building construction in earthquakes, Forintek Canada Corp. Project No. 2138, March.
- Rainer, J., H. and Karacabeyli, E., 2000. Ensuring good seismic performance with platform frame wood housing, Construction Technology Update No:45, National Research Council of Canada.
- Reardon, G., F., 1988. Effects of non structural cladding on timber framed house construction, Proc. Intl. Timber Engrg. Conf., Forest Products Res. Soc., Madison, WI, II, 276 – 284 (Sept 19 – 22).
- Risen, C. The World's Most Advanced Building Material Is. Wood. Popular Science 2014. <http://www.popsci.com/article/technology/worlds-most-advancedbuilding-material-wood-0?dom=PSC&loc=recent&lnk=5&con=the-worlds-most-advanced-building-material-is-wood>. 18 Aralık 2017.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları– 1:Yapay Sinir Ağları. Kayseri: Ufuk Kitap Kırtasiye–Yayıncılık Tic. Ltd. Şti.,
- Samarasinghe, S., Kulasiri, D. and Jamieson, T., 2007. Neural Networks For Predicting Fracture Toughness Of Individual Wood Samples, Silva Fennica, 41, 1, 105–122.
- Sawata, K., Honda, K., Hirai, T., Koizumi, A. and Sasaki, Y., 2010. Effect of member thickness and nail length projecting from main member on shear performance of single shear nailed joints, Makuzai Gakkaishi, 56, 5, 317-325.

- Schmoltdt, D., L., He, J. and Abbott, A., L., 2000. Automated Labeling of Log Features in CT Imagery of Multiple Hardwood Species, Wood Fiber Science, 32, 3, 287–300.
- Scholten, J., A., 1965. Strength of Wood Joints Made with Nails, Staples, or Screws Forest Products Laboratory, U.S. Forest Service Research Note FPL-0100. Forest Service U.S. Department of Agriculture. March.
- Shenton, H., W., Dinehart, D., W., and Elliott, T., E., 1998. Stiffness and Energy Degradation of Wood Frame Shear Walls, Canadian Journal of Civil Engineering, 25, 412–423.
- Skaggs, T., D. and Rose, J., D., 1996. Cyclic Load Testing Of Wood Structural Panel Shear Walls, Proc., Int. Wood Engineering Conf.
- Skapura, M., D., 1995. Building Neural Networks, Addison-Wesley, 211-241.
- Soltis, A., L. and Falk, R., H., 1992. Seismic Performance of Low Rise Wood Buildings, The Shock and Vibration Digest, 24, 12, 3-6.
- Somer, M., E., 2010. Sürdürülebilir ve Ekolojik Yapı Elde Etmede Ahşap Kullanımı. Mimarlık Dergisi, 354.
- Stark, N., M., Cai, Z. and Carll, C., 2010. Wood-based composite materials: Panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composite materials. Wood handbook: wood as an engineering material: chapter 11. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1-28.
- Stewart, W., G., 1987. The seismic design of plywood sheathed shear walls, PhD Thesis, University of Canterbury, Civil Engineering Department, New Zealand.
- Stewart, W., G., Dean, J., A. and Carr, A., J., 1988. The Earthquake Behaviour of Plywood Sheathed Shear Walls, Proc. Intl. Timber Engrg. Conf., Forest Products Res. Soc., Madison, WI, II, 248 – 261 (Sept 19 – 22).
- Stieda, C., K., A., 1990. The Lateral Resistance of Nailed Plywood To Wood Connections, Project No: 54-43D-216, Forestry Canada No:26B.
- Suematsu, A. and Okuma, M., 1993. Mechanical Properties of Low Density Particleboard Modulus of Rigidity and Lateral Nail Resistance, Mokuzai Gakkaishi, 39, 3, 293-300.
- Teibinger, M., 2013. Construction with Cross-Laminated Timber in Multi- Storey Buildings, Focus on Building Physics Vienna.
- The Encyclopedia of Wood. Lawrence A. Soltis. Fastenings, 1999. U.S. Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin. Skyhorse publishing. ISBN-13: 978-1-60239-057-7, 1-27.

- Theilen, R., Bender, D. And Pollock, D., 1998. Lateral resistance of ring-shank nail connections in southern pine lumber. Faculty Publications Department of Mechanical and Civil Engineering. Paper 32.
- Timothy P. and McCormick, T., 2005. Seismic Retrofit Training For Building Contractors & Inspectors. Shear Walls, Publisher: Timothy P. McCormick, ISBN: N\A, edition 2005.
- Toker, R., 1960. Batı Karadeniz Sarıçam'ının Teknik Vasıfları ve Kullanım Yerleri Hakkında Araştırmalar. Orman Araş. Ens. Yay. Tek. Böl. Seri No: 10.
- Toksoy, D., Çolakoğlu, G., Aydın, İ., Çolak, S. and Demirkır, C., 2006. Technological and Economic Comparison of The Usage of Beech and Alder Wood in Plywood and Laminated Veneer Lumber (LVL) Manufacturing, Building and Environment, 41-7, 872-876.
- Topçu, A., 2017. Sonlu Elemanlar Metodu, Ders Notu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- TS 2128 EN 313-2, 2005. Kontrplak - Sınıflandırma ve Terimler - Bölüm 2: Terimler.
- TS 3969 EN 314-1, 1998. Kontrplak-Kaplama Yapışma Kalitesi, Bölüm:1 Deney Metodları, 1.Baskı, Türk StandartlarıEnstitüsü, Ankara.
- TS 4645 EN 636, 2005. Kontrplak – Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1995-1-2, 1996. Eurocode 5: Ahşap yapıların projelendirilmesi. Bölüm 1-2: Genel Kurallar, Yapısal yangın projelendirilmesi.
- TS EN 1998-5, 2005. Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapı tasarımı. Bölüm 5: Temeller, Zemin Dayanma Yapıları ve Geoteknik Hususlar.
- TS EN 310. 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 314-1. 1998. Kontrplak-Kaplama Yapışma Kalitesi, Bölüm:1 Deney Metodları, 1.Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 323. 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- Tutuş, A., Kurt, R., Alma, M., H. ve Meriç, H., 2010. Sarıçam Odununun Kimyasal Analizi ve Termal Özellikleri, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, 1845-1851.
- Uçar, T. ve Merter, O., 2012. Binaların Deprem Hesabında Kullanılan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle İlgili Bir İrdeleme, Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2, 2, 15-31.

- Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2012-2023.
https://www.afad.gov.tr/upload/Node/2403/files/udsep_1402013_kitap.pdf. 21 Aralık 2016.
- URL-1, 2017.<http://www.brucall.com/platform-frame-construction/>. 12 Eylül 2017.
- URL-2, 2017.<https://likemyplace.wordpress.com/2014/02/14/history-balloon-framing-the-first-prefabricated-building-system-us/>. 13 Eylül 2017.
- URL-3, 2017. <http://www.inquiring-eye.com/anatomy/framing.htm>. 13 Eylül 2017.
- URL-4, 2017.<https://www.sanalsantiye.com/ahsap-yapilar-kanada-ornegi/>. 14 Eylül 2017.
- URL-5, 2018. <http://www.understandconstruction.com/plywood.html>. 15 Eylül 2018.
- Van De Lindt, J., W. and Walz, M., A., 2003. Development and application of wood shear wall reliability model, Journal of Structural Engineering, 129, 3, 405–413.
- Varoglu, E., Karacabeyli, E., Stiemer, S. and Ni, C., 2006. Midply Wood Shear Wall System: Concept and Performance in Static and Cyclic Testing, Journal of Structural Engineering, 132, 9, 1417-1425.
- Wieruszewski, M. and Mazela, B., 2017. Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Form of Construction Wood, Drvna Industrija, 68, 4, 359-367.
- Williamson, T. Connection Solutions for Wood Framed Structures P.E. Consulting Engineer Retired Vice President, Wood Solutions Fair April,7. http://www.woodworks.org/files/PDF/Presentations/MN_WSF_2011/Connections.pdf. 18 Aralık 2017.
- Winistorfer, S., G. and Soltis, L., A. 1994. Lateral and Withdrawal Strength of Nail Connections for Manufactured Housing, Journal of Structural Engineering, ASCE. 120, 12, 3577-3594.
- Wood Handbook, 2010. Wood as an Engineering Material. Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture, Forest products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190.
- Wu, Q., 1999. Screw-Holding Capacity of Two Furniture-Grade Plywoods, Composites and Manufactured Products, Forest Products Journal, Vol 49, no.4.
- Xiao, Y., Li, Z. and Wang, R., 2015. Lateral Loading Behaviors of Lightweight Wood-Frame Shear Walls With Ply-Bamboo Sheathing Panels, Journal of Structural Engineering, 141, 3, B4014004, 1-9.
- Xu, X., Yu, Z., Hu, Y., Fan, L., Tian, T. and Cen, K., 2007. Nonlinear Fitting Calculation of Wood Thermal Conductivity Using Neural Networks, Zhejiang University Press, 41, 7, 1201–1204.

- Yaman, C., 2015. Mudurnu Yöresindeki Tarihi Ahşap Evlerde Kullanılan Gökmar ve Karaçam Ağaç Türlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Yıldız, B., 2001. Finansal Başarısızlığın Öngörülmesinde Yapay Sinir Ağı Kullanımı ve Halka Açık Şirketlerde Ampirik Bir Uygulama, İMKB Dergisi, 17, 50-59.
- Yoshihara, H., 2009. Poisson's Ratio of Plywood Measured By Tension Test, Holzforschung, 63, 5, 603-608.
- Zhang, G., Patuwo, B., E. and Hu, M., Y., 1998. Forecasting With Artificial Neural Networks: The State of The Art, International Journal of Forecasting, 14, 35-62.
- Zhang, J., Cao, J. and Sun, L., A., 2007. Novel Fusion Technique based Functional Link Artificial Neural Network for LMC Measuring, 2007 Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 23–25 May 2007, 471–475.
- Zhu, E., Chen, Z., Chen, Y. and Yan, X., 2010. Testing and FE Modeling of Lateral Resistance of Shear Walls in Light Wood Frame Structures, Journal of Harbin Institute of Technology, 42, 10, 1548–1554 (in Chinese).

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2010 yılında fakülte birinciliği derecesiyle mezun oldu. Askerlik hizmeti ve dört aylık özel sektör tecrübesinden sonra, 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne ÖYP Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2013 yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı ve 2015 yılında, Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Aralık 2015'de, KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümüne görevlendirilen Aydın DEMİR, orta derecede ingilizce bilmektedir.