

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BAZI ÜRETİM FAKTÖRLERİNİN ÇİMENTOLU YONGALEVHALARIN
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

DOKTORA TEZİ

Orm. End. Yük. Müh. Hüsnü YEL

EKİM 2015
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
Hüsnü YEL Tarafından Hazırlanan

BAZI ÜRETİM FAKTÖRLERİNİN ÇİMENTOLU YONGALEVHALARIN
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 /09/2015 gün ve 1620 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri




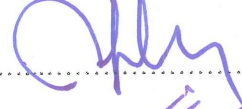

Başkan : Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU

Üye : Prof. Dr. Semra ÇOLAK

Üye : Prof. Dr. Nurettin YAYLI

Üye : Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Üye : Doç. Dr. Fatih YAPICI


.....

.....

.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Bazı Üretim Faktörlerinin Çimentolu Yongalevhaların Özellikleri Üzerine Etkileri” adlı bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora danışmanlığımı üstlenerek her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Doktora çalışmam süresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR ve laboratuvar çalışmalarında çok büyük yardımlarını gördüğüm Sayın Doç. Dr. Ahmet YAŞAR, Yrd. Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU, Arş. Gör. Uğur ARAS, Arş. Gör. Sefa DURMAZ, Arş. Gör. Türker GÜLEÇ ve Öğr. Gör. Songül TEHNELDERE’ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarları, KSÜ Üniversite - Sanayi - Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSKİM), DÜ Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) ve AÇÜ Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi değerli çalışanlarına, akademik ve idari personeline ve emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Deneme levhalarının üretimi için hammadde temininde yardımlarını esirgemeyen Trabzon Arsin Organize Sanayi Bölgesi’nde Gündoğdu Mobilya, Yılmazlar Kerestecilik ve Sözenler Orman Ürünleri, Antalya’da Eti Elektrometalurji, İstanbul’da Acarla Heraklit ve Adana’daki Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii Tic.A.Ş. Adana MDF Tesisi direktörlüğü ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Hüsnü YEL
Trabzon, 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Bazı Üretim Faktörlerinin Çimentolu Yongalevhaların Özellikleri Üzerine Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16/09/2015

Hüsnü YEL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	X
SUMMARY.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Odun-Çimento Kompozitleri Tanımı.....	5
1.3. Odun-Çimento Kompozitlerinin Tarihi Gelişimi.....	5
1.4. Odun-Çimento Kompozitlerinin Çeşitleri ve Kullanım Alanları.....	7
1.4.1. Çimentolu Yongalevha (CBPB).....	9
1.4.2. Çimentolu Lif Levha (FCB).....	12
1.4.3. Çimentolu Şerit Yongalı Levha (WSCB).....	14
1.4.4. Çimentolu Odun Yünü Levhalar (WWCB).....	16
1.5. Çimentolu Odun Kompoziti Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	20
1.5.1. Ağaç Malzeme.....	20
1.5.2. Yıllık Bitkiler.....	21
1.5.3. Odun Esaslı Geri Dönüşüm Atıkları.....	23
1.5.4. Çimento.....	25
1.5.4.1. Portland Çimentosu.....	26
1.5.4.1.1. Portland Çimentosu Üretimi.....	26
1.5.4.1.2. Çimentonun Hidratasyon Reaksiyonu.....	29
1.5.4.1.2.1. Odunun Çimento Hidratasyonuna Etkisi.....	31
1.5.4.1.2.2. Hidratasyon Isısının Belirlenmesi.....	32
1.5.5. Sertleştirici Kimyasallar.....	35

1.5.6.	Çimentoya İkame Malzemelerin Kullanımı.....	38
15.6.1	Kâğıt Fabrikası Atık Çamuru.....	38
1.5.6.2	Uçucu Kül.....	39
1.5.6.3.	Silis Dumanı.....	39
1.6.	Odun-Çimento Kompozitlerinin Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	45
1.6.1.	Odun Hammaddesi.....	45
1.6.2.	Yonga Boyutu ve Geometrisi.....	46
1.6.3.	Odun-Çimento Oranı.....	47
1.6.4.	Su-Çimento Oranı.....	48
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	50
2.1.	Materyal.....	50
2.1.1.	Ağaç Malzeme.....	50
2.1.1.1.	Titrek Kavak (<i>Populus tremula</i> L.).....	50
2.1.1.2.	Doğu Ladini [<i>Picea orientalis</i> (L.) Link].....	52
2.1.1.3.	Doğu Karadeniz Göknaarı [<i>Abies nordmanniana</i> (Stev.) Spach. subsp. <i>nordmanniana</i>].....	55
2.1.2.	Çimento.....	57
2.1.3.	Silis Dumanı.....	58
2.1.4.	Sertleştirici Kimyasallar.....	59
2.1.4.1.	Alüminyum Sülfat [$Al_2(SO_4)_3$].....	59
2.1.4.2.	Kalsiyum Klorür ($CaCl_2$).....	60
2.1.4.3.	Demir Klorür ($FeCl_3$).....	60
2.2.	Deneme Levhalarının Üretimi.....	61
2.2.1.	Yongalama.....	61
2.2.2.	Eleme.....	62
2.2.3.	Yongaların Kurutulması.....	62
2.2.4.	Sertleştiricilerin Hazırlanması.....	62
2.2.5.	Su Miktarının Hesaplanması.....	63
2.2.6.	Karıştırma İşlemi.....	63
2.2.7.	Levha Taslağının Hazırlanması.....	64
2.2.8.	Levha Taslağının Preslenmesi.....	64
2.2.9.	Pres Sonrası İşlemler.....	64

2.3.	Araştırma Yöntemi.....	67
2.3.1.	Odun Hammaddesine Uygulanan Testler.....	67
2.3.1.1.	Analiz Öncesi İşlemler.....	67
2.3.1.2.	Soğuk Su Çözünürlüğü.....	67
2.3.1.3.	Sıcak Su Çözünürlüğü.....	68
2.3.1.4.	Alkol-Benzen Çözünürlüğü.....	68
2.3.1.5.	%1'lik NaOH Çözünürlüğü.....	69
2.3.1.6.	Holoseüloz Tayini.....	69
2.3.1.6.	α -Selüloz Tayini.....	70
2.3.1.7.	Lignin Tayini.....	71
2.3.1.8.	Kül Tayini.....	71
2.3.1.9.	pH Değeri.....	72
2.3.1.10.	Şeker Analizi.....	72
2.3.2.	Deneme Levhalarına Uygulanan Testler.....	73
2.3.2.1.	Fiziksel Özellikler.....	73
2.3.2.1.1.	Rutubet Miktarı.....	73
2.3.2.1.2.	Yoğunluk.....	74
2.3.2.1.3.	Su Alma Miktarı.....	75
2.3.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı.....	75
2.3.2.1.5.	Isı İletim Katsayısı.....	76
2.3.2.2.	Mekanik Özellikler.....	77
2.3.2.2.1.	Eğilme Direnci.....	77
2.3.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	78
2.3.2.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci.....	78
2.3.2.2.4.	Vida Tutma Gücü.....	80
2.3.2.3.	Mantar Çürüklük Testi.....	81
2.3.2.4.	Formaldehit Emisyonu.....	82
2.3.2.4.	Termogravimetrik Analiz (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analiz (DTG).....	83
2.3.2.5.	Morfolojik Özellikler.....	84
2.4.	İstatistik Yöntemler.....	85
3.	BULGULAR.....	86

3.1.	Ağaç Malzemelerin Kimyasal Özelliklerine Ait Bulgular.....	86
3.2.	Deneme Levhalarının Özelliklerine Ait Bulgular.....	87
3.2.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular.....	87
3.2.1.1.	Rutubet Miktarına Ait Bulgular.....	87
3.2.1.2.	Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular.....	89
3.2.1.3.	Su Alma Miktarına Ait Bulgular.....	92
3.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranına Ait Bulgular.....	95
3.2.1.5.	Isı İletim Katsayısına Ait Bulgular.....	98
3.2.2.	Mekanik Özelliklere Ait Bulgular.....	99
3.2.2.1.	Eğilme Direncine Ait Bulgular.....	99
3.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular.....	102
3.2.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direncine Ait Bulgular.....	104
3.2.2.4.	Vida Tutma Gücüne Ait Bulgular.....	106
3.2.3.	Mantar Çürüklük Testine Ait Bulgular.....	109
3.2.4.	Formaldehit Emisyonuna Ait Bulgular.....	111
3.2.4.	Termogravametrik Analiz (TGA) ve Türev Termogravametrik Analiz (DTG) Değerlerine Ait Bulgular.....	112
4.	İRDELEME.....	114
4.1.	Odun Hammaddesinin Kimyasal Analizlerinin İrdelenmesi.....	114
4.2.	Deneme Levhalarına Uygulanan Testlere Ait Bulguların İrdelenmesi.....	118
4.2.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi.....	118
4.2.1.1.	Yoğunluğa Ait Bulguların İrdelenmesi.....	118
4.2.1.2.	Rutubet Miktarına Ait Bulguların İrdelenmesi.....	124
4.2.1.3.	Su Alma Miktarına Ait Bulguların İrdelenmesi.....	129
4.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranına Ait Bulguların İrdelenmesi.....	137
4.2.1.5.	Isı İletim Katsayısına Ait Bulguların İrdelenmesi.....	145
4.2.2.	Mekanik Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi.....	149
4.2.2.1.	Eğilme Direncine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	149
4.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulguların İrdelenmesi.....	155
4.2.2.3.	Yüzey Dik Çekme Direncine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	161
4.2.2.4.	Vida Tutma Gücüne Ait Bulguların İrdelenmesi.....	167
4.2.3.	Mantar Çürüklük Testine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	172

4.2.3.	Formaldehit Emisyonuna Ait Bulguların İrdelenmesi.....	177
4.2.4.	Termogravametik Analiz (TGA) ve Türev Termogravametik Analiz (DTG) Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	178
4.2.5.	Morfolojik Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi.....	183
5.	SONUÇLAR.....	187
5.1.	Odun Hammaddesinin Kimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	187
5.2.	Deneme Levhalarına Uygulanan Testlere Ait Sonuçlar.....	188
5.2.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar.....	188
5.2.1.1.	Yoğunluk Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	188
5.2.1.2.	Rutubet Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	189
5.2.1.3.	Su Alma Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	190
5.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	192
5.2.1.5.	Isı İletim Katsayısı Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	193
5.2.2.	Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar.....	194
5.2.2.1.	Eğilme Direnci Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	194
5.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	196
5.2.2.3.	Yüze Dik Çekme Direnci Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	197
5.2.2.4.	Vida Tutma Gücü Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	199
5.2.3.	Mantar Çürüklük Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	200
5.2.4.	Formaldehit Emisyonuna Ait Sonuçlar.....	201
5.2.4.	TGA/DTG Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	201
5.2.5.	Morfolojik Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	202
6.	ÖNERİLER.....	203
7.	KAYNAKLAR.....	205
	ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

BAZI ÜRETİM FAKTÖRLERİNİN ÇİMENTOLU YONGALEVHALARIN
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Hüsnü YEL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
2015, 224 Sayfa

Bu çalışmada; çimentoya ikame olarak ferrokrom fabrikalarının atığı olan silis dumanı (%10, 15 ve 20), kereste fabrikası artıkları (kavak, ladin ve göknar), üç farklı sertleştirici türü [$Al_2(SO_4)_3$, $CaCl_2$ ve $FeCl_3$] ve 2 farklı odun-çimento oranı (1/3 ve 1/2) kullanılarak 1200 kg/m^3 hedef yoğunlukta ve 10mm kalınlıkta üretilen üç tabakalı çimentolu yongalevhaların performans özellikleri belirlenmiştir.

Odun hammaddesinin çimentolu levhaların özellikleri üzerindeki etkisinin kaynağını anlayabilmek amacıyla ağaç türlerinin kimyasal özellikleri de belirlenmiştir. Deneme levhalarının performansları; ilgili standartlara uygun olarak fiziksel, mekanik, ısı, yanma, formaldehit, biyolojik ve morfolojik özellikler belirlenerek değerlendirilmiştir. Sertleştiriciler arasında en yüksek performans $CaCl_2$ kullanılan levhalardan, en düşük performans ise $FeCl_3$ kullanılan levhalardan elde edilmiştir. Silis dumanının %15 oranına kadar çimentolu levha üretiminde kullanımı levhaların özelliklerinde genel olarak olumlu etki yapmıştır. Fiziksel özellikler ve yüzeye dik çekme ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde ladin ve göknar levhaları, diğer özelliklerde ise kavak levhaları daha iyi performans sergilemiştir. 1/3 Odun-çimento oranlı levhalar, fiziksel özelliklerde (ısı iletkenlik hariç) 1/2'ye göre daha iyi performans sağlamıştır. Eğilme direncinde 1/2 odun-çimento oranlı levhalar, diğer özelliklerde ise 1/3 odun-çimento oranlı levhalar daha iyi performans sergilediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silis Dumanı, Ağaç Türü, Odun-Çimento Oranı, Sertleştirici Türü, Çimentolu Yongalevha

PhD. Thesis

SUMMARY

EFFECTS OF SOME MANUFACTURING FACTORS ON THE PROPERTIES OF
CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS

Hüsnü YEL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industry Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
2015, 224 Pages,

In this study; the performance features of three-layered cement-bonded particleboards manufactured at 1200 kg/m³ target density and 10 mm thickness from sawmill residues (poplar, spruce and fir) by using two wood-cement ratios (1/3 and 1/2), three hardener types [Al₂(SO₄)₃, CaCl₂ ve FeCl₃] and silica fume (%10, 15 ve 20) as a substitute for cement, which is residue of ferrochromium factories, were determined. Chemical analyzes were performed to understand the reasons of adverse effects of wood materials on the properties of cement-bonded particleboards. The performances of produced cement boards were evaluated in aspect of physical, mechanical, thermal, flammability, formaldehyde, biological and morphological properties. Among the hardeners, the highest performances were obtained from CaCl₂-added boards; while the lowest values were obtained from FeCl₃-added boards. Usage of silica fume, up to 15 % as a substitute for cement, improved the overall properties of cement bonded particleboards. While spruce and fir boards showed better performances at physical properties with internal bond strength and modules of elasticity; poplar boards showed better performances at the other properties. The boards with 1/3 wood-cement ratio exhibited better performance than that of 1/2 at the physical properties (excluding thermal conductivity). Moreover, the boards with 1/2 wood-cement ratio at bending strength and the boards with 1/3 wood-cement ratio at other mechanical properties showed better performance.

Key Words: Silica fume, Wood species, Wood-cemet ratio, Hardener types,
Cement-bonded boards

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Türkiye gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYH) ve inşaat sektörü gelişme hızı..	2
Şekil 2. İnorganik esaslı odun kompozitlerin karşılaştırılması.....	9
Şekil 3. Çimentolu yonga levha üretimi iş akış şeması.....	10
Şekil 4. Çimentolu yonga levhaların (CBPB) bazı kullanım alanları.....	11
Şekil 5. Hanschek makinesinin basit görünümü.....	12
Şekil 6. Çimentolu lif levha üretimi genel iş akışı.....	13
Şekil 7. Çimentolu lif levhaların bazı kullanım alanları.....	14
Şekil 8. Eltomatic CVS-16 odun şeridi üretme makinesi diski(a) ve şerit yongalar(b)	15
Şekil 9. WSCB levhalarının çatı, zemin ve duvarda kullanımı.....	15
Şekil 10. Odun yünü üretim makinesi ve odun yünü örnekleri	16
Şekil 11. Çimentolu odun yünü levha üretimi iş akış şeması.....	17
Şekil 12. Çimentolu odun yünü levhaların (WWCB) bazı kullanım alanları.....	18
Şekil 13. Akustik (a) ve kompozit WWCB örnekleri.....	18
Şekil 14. Monoblok bina yapımında kullanılan büyük boyutlu WWBC duvar elemanları.....	19
Şekil 15. Çimento üretimi şematığı.....	27
Şekil 16. Çimentonun hidrasyon aşamaları.....	31
Şekil 17. Çimento hidrasyon ısısının belirlenmesi.....	33
Şekil 18. Tipik bir hidrasyon eğrisinin şematik yapısı	34
Şekil 19. CO ₂ Enjeksiyon yöntemi	37
Şekil 20. Elektrik-ark fırınında silis dumanı oluşumu.....	40
Şekil 21. Ferrosilisyum üretimi ve baca tozlarının toplanması.....	41
Şekil 22. Silikoferrokrom ve ferrokrom üretimi.....	42
Şekil 23. Silis dumanın beton üzerindeki olumlu etkisi	45
Şekil 24. Farklı boyut ve yoğunluktaki mantar meşesi yongaları-çimento karışımlarının su-çimento oranlarına göre C _M faktörü değişimi.....	49
Şekil 25. Titrek kavak (<i>Populus tremula</i> L.)'ın Türkiye'deki yayılışı	51
Şekil 26. Doğu ladininin (<i>Picea orientalis</i> L.) Türkiye'deki doğal yayılış alanı.....	53

Şekil 27.	Türkiye’de göknar türlerinin yayılış alanları	56
Şekil 28.	Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3$] örnekleri.....	59
Şekil 29.	Kalsiyum klorür ($CaCl_2$).....	60
Şekil 30.	Demir klorür ($FeCl_3$).....	61
Şekil 31.	Analitik terazi ve etüv	73
Şekil 32.	Kumpas (a) ve mikrometre (b) ile yoğunluk örneklerinin boyutlarının ölçülmesi.....	74
Şekil 33.	QTM 500 Kyoto ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı.....	76
Şekil 34.	Zwick/Roell Z050 üniversal test cihazı ve test düzeneği	77
Şekil 35.	Yüzeye dik çekme direnci deney düzeneği ve mum silikon.....	79
Şekil 36.	Vida tutma gücü deney düzeneği (Zwick/Roell-5kN).....	80
Şekil 37.	Mantar çürüklük testi örnekleri	81
Şekil 38.	Perforatör cihazı.....	83
Şekil 39.	PerkinElmer STA 6000 termogravimetrik analiz cihazı.....	84
Şekil 40.	ZEISS EVO LS 10 taramalı elektron mikroskopu (SEM).....	84
Şekil 41.	Ağaç türlerine uygulanan analiz sonuçları	114
Şekil 42.	Ağaç türlerine ait şeker miktarları.....	116
Şekil 43.	Yoğunluk üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	119
Şekil 44.	Yoğunluk üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi	120
Şekil 45.	$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların yoğunluğu üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	121
Şekil 46.	$CaCl_2$ kullanılan levhaların yoğunluğu üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	121
Şekil 47.	$FeCl_3$ kullanılan levhaların yoğunluğu üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	122
Şekil 48.	Rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	124
Şekil 49.	Rutubet miktarı üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi	125
Şekil 50.	$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	126
Şekil 51.	$CaCl_2$ kullanılan levhaların rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	127

Şekil 52.	FeCl ₃ kullanılan levhaların rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	128
Şekil 53.	2 ve 24 saat su alma miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	130
Şekil 54.	2 ve 24 saat su alma miktarı üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi.....	132
Şekil 55.	Al ₂ (SO ₄) ₃ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat su alma miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	134
Şekil 56.	CaCl ₂ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat su alma miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	135
Şekil 57.	FeCl ₃ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat su alma miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	136
Şekil 58.	2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	139
Şekil 59.	2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi	140
Şekil 60.	Al ₂ (SO ₄) ₃ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	141
Şekil 61.	CaCl ₂ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	142
Şekil 62.	FeCl ₃ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	144
Şekil 63.	Isı iletim katsayısı üzerine ağaç türü ve odun-çimento oranının etkisi	146
Şekil 64.	Kavak odunundan üretilen levhaların ısı iletim katsayısı üzerine silis dumanı oranının etkisi	148
Şekil 65.	Eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	150
Şekil 66.	Eğilme direnci üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi	151
Şekil 67.	Al ₂ (SO ₄) ₃ kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	152
Şekil 68.	CaCl ₂ kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	153
Şekil 69.	FeCl ₃ kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	153
Şekil 70.	Eğilmede elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	156
Şekil 71.	Eğilmede elastikiyet modülü üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi.....	157

Şekil 72.	$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	158
Şekil 73.	$CaCl_2$ kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	159
Şekil 74.	$FeCl_3$ kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	160
Şekil 75.	Yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi	162
Şekil 76.	Yüzeye dik çekme direnci üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi	163
Şekil 77.	$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	164
Şekil 78.	$CaCl_2$ kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	165
Şekil 79.	$FeCl_3$ kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	166
Şekil 80.	Vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	168
Şekil 81.	Vida tutma gücü üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi	169
Şekil 82.	$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	169
Şekil 83.	$CaCl_2$ kullanılan levhaların vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	170
Şekil 84.	$FeCl_3$ kullanılan levhaların vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi.....	171
Şekil 85.	1/3 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç türü ve silis dumanı oranının etkisi	173
Şekil 86.	1/2 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç türü ve silis dumanı oranının etkisi.....	174
Şekil 87.	1/3 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç ve sertleştirici türünün etkisi	175
Şekil 88.	1/2 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç ve sertleştirici türünün etkisi.....	176
Şekil 89.	Sertleştirici ve ağaç türünün formaldehit içeriği üzerine etkisi.....	177
Şekil 90.	1/3 odun-çimento oranlı kavak levhaların üzerinde silis dumanının TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik.....	179
Şekil 91.	1/3 Odun-çimento oranlı kavak levhaları üzerinde sertleştirici türünün etkisine ait TGA/DTG grafiği.....	180

Şekil 92.	1/2 Odun-çimento oranlı kavak levhaları üzerinde sertleştirici türünün TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik.....	180
Şekil 93.	1/2 odun-çimento oranlı kavak levhaları üzerinde silis dumanın TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik	181
Şekil 94.	1/3 Odun-çimento oranlı ladin levhaları üzerinde silis dumanın TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik.....	182
Şekil 95.	1/3 Odun-çimento oranlı göknar levhaları üzerinde silis dumanın TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik.....	182
Şekil 96.	Farklı şartlandırıcı kullanılan levhaların SEM görüntüleri.....	184
Şekil 97.	Farklı oranlarda silis dumanı kullanılan levhaların SEM görüntüleri.....	185

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Odun-çimento kompozit tipleri.....	8
Tablo 2. Dünya çimento üretimi.....	25
Tablo 3. Portland çimentosu ana bileşenleri.....	28
Tablo 4. Çimentoların tipleri ve kullanıldığı yerler.....	29
Tablo 5. Çimentolu odun kompozitlerinin inhibitör indeksine göre sınıflandırılması.....	34
Tablo 6. Bazı ağaç türlerinin inhibitör indeksleri.....	35
Tablo 7. Etibank elektrometalürji sanayi baca tozlarının özellikleri.....	43
Tablo 8. Silis dumanının kimyasal bileşimi.....	43
Tablo 9. Titrek kavak odununun (<i>Populus tremula</i> L.) fiziksel ve mekanik özellikleri.....	52
Tablo 10. Doğu ladini odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	55
Tablo 11. Çimentonun kimyasal bileşimi.....	58
Tablo 12. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri (Antalya Etibank Elektrometalürji İşletmesi).....	58
Tablo 13. Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3$] kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	59
Tablo 14. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	60
Tablo 15. Demir klorür ($FeCl_3$) Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	61
Tablo 16. Deneme levhalarının üretim koşulları.....	63
Tablo 17. Deneme levhalarına ait üretim planı.....	65
Tablo 18. Ağaç malzemelerin kimyasal özelliklerine ait bulgular.....	86
Tablo 19. Deneme levhalarının rutubet miktarına ait bulgular.....	87
Tablo 20. Odun-çimento oranı, silis dumanı, ağaç ve sertleştirici türünün rutubet miktarı üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	88
Tablo 21. Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün levhanın yoğunluğuna etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	89
Tablo 22. Deneme levhalarının yoğunluk değerlerine ait bulgular (g/cm^3).....	89
Tablo 23. Odun-çimento oranı, silis dumanı, ağaç ve sertleştirici türünün yoğunluk üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	91

Tablo 24.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün levhanın yoğunluğuna etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	91
Tablo 25.	Deneme levhalarının su alma miktarı değerlerine ait bulgular (%).....	92
Tablo 26.	Suda bekletme süresi, odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün su alma miktarına etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	94
Tablo 27.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün su alma miktarına etkisine ait duncan testi sonuçları.....	94
Tablo 28.	Deneme levhalarının kalınlık artımına ait bulgular (%).....	95
Tablo 29.	Odun-çimento oranı, silis dumanı, ağaç ve sertleştirici türünün kalınlık artımı oranlarına etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	97
Tablo 30.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün kalınlık artımı oranına etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	97
Tablo 31.	Levhaların ısı iletkenlik katsayılarına ait bulgular (W/mK).....	98
Tablo 32.	Ağaç türü ve odun/çimento oranının levhaların ısı iletkenlik katsayısı değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları.....	98
Tablo 33.	Silis dumanın levhalarının ısı iletkenlik katsayısı değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları.....	99
Tablo 34.	Silis dumanı ve ağaç türünün levhanın ısı iletkenlik katsayısına etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	99
Tablo 35.	Deneme levhalarının eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm ²)...	100
Tablo 36.	Odun-çimento ve silis dumanı oranı, ağaç ve sertleştirici türünün eğilme direnci üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	101
Tablo 37.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün eğilme direncine etkisine ait duncan testi sonuçları.....	101
Tablo 38.	Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular (N/mm ²).....	102
Tablo 39.	Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	102
Tablo 40.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün eğilmede modülüne etkisine ait duncan testi sonuçları.....	104
Tablo 41.	Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direncine ait bulgular (N/mm ²)	104
Tablo 42.	Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün yüzeye dik çekme direnci üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	105
Tablo 43.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün yüzeye dik çekme direncine etkisine ait duncan testi sonuçları.....	106

Tablo 44.	Deneme levhalarının vida tutma gücüne ait bulgular (N/mm ²).....	106
Tablo 45.	Odun-çimento ve silis dumanı oranı, ağaç ve sertleştirici türünün levhaların vida tutma gücü üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	108
Tablo 46.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün vida tutma gücüne etkisine ait duncan testi sonuçları.....	108
Tablo 47.	Deneme levhalarının mantar çürüklük testi sonrası ağırlık değişimine ait bulgular (%)......	109
Tablo 48.	Odun-çimento ve silis dumanı oranı, ağaç ve sertleştirici türünün mantar çürüklüğü üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları...	110
Tablo 49.	Silis dumanı, sertleştirici ve ağaç türünün mantar çürüklüğüne etkisine ait duncan testi sonuçları.....	110
Tablo 50.	Bazı deneme levhalarının formaldehit içeriğine ait bulgular.....	111
Tablo 51.	Ağaç ve sertleştirici türünün levhaların formaldehit içeriği üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	111
Tablo 52.	Sertleştirici ve ağaç türünün formaldehit içeriği üzerindeki etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	112
Tablo 53.	Deneme levhalarının TGA analizine ait bulgular.....	112

SEMBOLLER DİZİNİ

CBPB	: Çimentolu yonga levha
C-S-H	: $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
CH	: $\text{Ca}(\text{OH})_2$
C_3S	: Trikalsiyum silikat (alit)
C_2S	: Dikalsiyum silikat (belit)
C_3A	: Trikalsiyum alüminat (celit)
C_4AF	: Tetra kalsiyum alüminoferrit (felit)
$\text{CS}^{\bar{2}}\text{H}$: Alçı taşı
CCA	: Bakır Krom Arsenik
DTG	: Türev termogravimetrik analiz
ED	: Eğilme direnci
EEM	: Eğilmede elastikiyet modülü
FCB	: Çimentolu lif levha
GSYH	: Gayri safı yurt içi hâsıla
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
MDF	: Orta yoğunlukta lif levha
O/Ç	: Odun-çimento oranı
OSB	: Yönlendirilmiş yonga levha
RID	: Kırılma indisi detektörü
SD	: Silis dumanı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik analiz
UK	: Uçucu kül
UV	: Ultraviyole
VTG	: Vida tutma gücü
YDÇD	: Yüzeğe dik çekme direnci
WSCB	: Çimentolu şerit yongalı levha
WWCB	: Çimentolu odun yünü levha

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

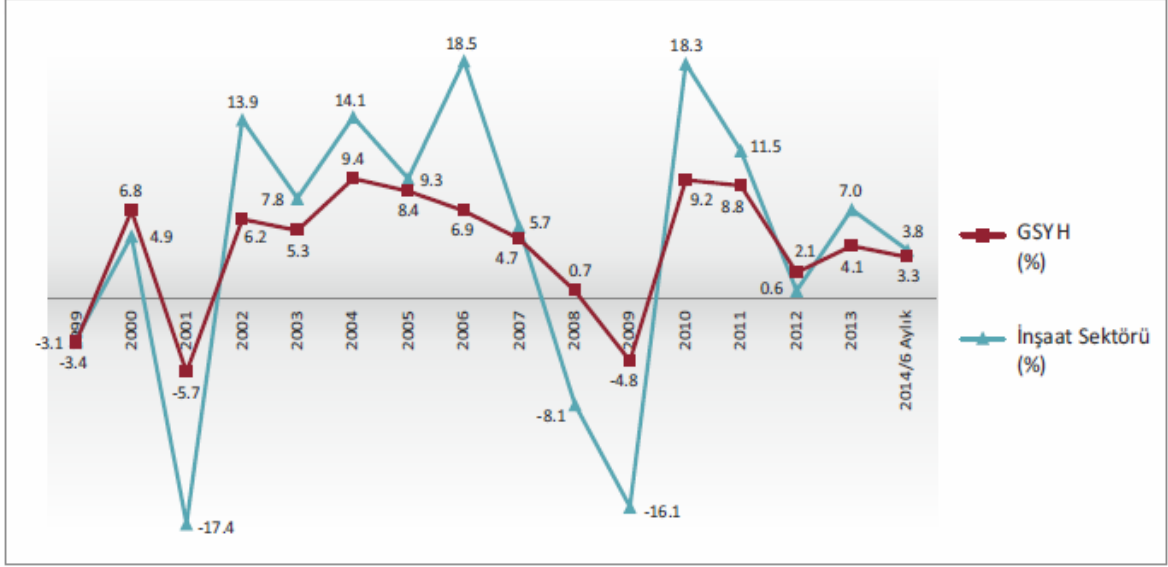
Dünyada ve ülkemizde önemli bir yere sahip olan inşaat sektörü son yıllarda ekonominin lokomotifi haline gelmiş olup, 200'den fazla alt sektör ile doğrudan ilişkilidir. Ülke ekonomisinin gelişmesi ile inşaat sektörünün gelişimi arasında paralel yönde ve kuvvetli bir korelasyon mevcuttur [1]. Bu sektör; dünya nüfusunun artması, büyük yıkımlara neden olan savaş ve depremler, insanların birden fazla konut sahibi olma isteği, yaygınlaşan kentsel dönüşüm projeleri gibi birçok faktörün etkisiyle son yıllarda hızla büyüyen ve gözde sektörlerden biri haline gelmiştir.

Sektör; 7.5 trilyon dolar ile dünya üretiminin %13.4'ünü oluşturmaktadır. 2020'ye kadar ise %70 büyüme ile 12.7 trilyon dolara ulaşarak dünya üretiminin %14.6'sını oluşturacağı tahmin edilmektedir.

Çin'in dünya inşaat sektöründeki payı 1990'da %1 seviyesinde iken 2010 yılında %14'e yükselmiştir. Orta ve doğu Avrupa'da 2020 yılına kadar sektörün yıllık büyüme oranının %7.9 olacağı tahmin edilmektedir. Rusya'nın 2020'da sektöre yaptığı katkının 117 milyar, Türkiye'nin ise 81 milyar dolara ulaşacağı öngörüsünde bulunmaktadır [2].

Türkiye'nin 2023 yılı için toplam 500 milyar dolar ihracat hedefinin; 100 milyar dolarlık kısmının inşaat malzemeleri sektörü tarafından karşılanacağını ön görülmektedir [2]. Ülkemizin gayri safi yurt içi hâsıla (GSYH) ve inşaat sektöründeki gelişme arasındaki ilişki Şekil 1'de verilmiştir [3]. Buna göre 2001 ve 2009 ekonomik krizlerinde ülke ekonomisindeki düşüşe paralel olarak inşaat sektöründe de önemli gerileme olduğu görülmektedir.

2020 yılına ilişkin öngörüler, sektörün bu süreçte çok daha hızlı büyüyeceğini ve büyümenin gelişen pazarlar ve ekonomilerin önemli rol oynayacağını göstermektedir. Dolayısıyla, önümüzdeki dönemde Çin, Hindistan, Endonezya, Rusya ve Türkiye gibi ülkelerin dünya inşaat sektöründeki katkılarının artması beklenmektedir [2].



Şekil 1. Türkiye gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYH) ve inşaat sektörü gelişme hızı [3].

İnşaat sektörü, hem ekonomik hem de stratejik açıdan kritik bir role sahiptir. Sektörün hammadde kullanımı ve atık üretimi miktarı diğer sektörlerden daha fazladır. Ayrıca, sektörün AR-GE yatırımı oldukça düşük düzeyde ve yeterince dinamik bir yapıya sahip değildir. Ev fiyatları ülkemizde olduğu gibi dünyada da maalesef çoğu insanın ulaşabileceği seviyenin üzerindedir. İnşaat sektöründe genel maliyetler ile malzeme fiyatları arasında oldukça yüksek bir korelasyon mevcuttur. Bunun en önemli nedeni bina üretimi sürecinde inşaat malzemeleri maliyetlerinin yüksek olmasıdır [2]. İnşaat endüstrisi; maliyeti düşürecek, etkinliği geliştirecek, yapısal bütünlüğü garanti edecek, insan sağlığını koruyacak, kaliteyi artıracak, mal ve can güvenliğini artıracak ve mekanik özellikleri geliştirecek malzeme seçenekleri üzerinde sürekli araştırma içerisindedir [4, 5].

Çimentolu odun kompozitleri inşaat sektöründe çok geniş bir kullanım yelpazesine sahip olup; zemin döşeme altlığı ve döşeme levhası, çatı arduvazı, dekoratif çit levhası, çit direkleri, karo destekçisi, laboratuvar tezgâhları, oluklu çatı kaplama malzemesi, demiryolu ses bariyeri, mutfak tezgâhları, ısıya dayanıklı duvar ve zemin malzemesi, dış cephe kaplaması, prefabrik ev yapımı, beton kalıp sistemi için kalıcı kalıp, ses bariyer duvarları olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu levhaların yangın, yaş ve kuru çürüklük, termit ve haşarata karşı dayanımı yanında, termal izolasyonun ve akustik performansının yüksek olması, düşük yoğunluk ve dekoratif özelliklerinden dolayı kütüphane, kapalı otopark, at çiftliği ve yüzme havuzlarında da geniş kullanım bulmaktadır.

İlk çimentolu yongalevha; (CBPB) 1967 yılında İsviçreli Durisol ile Alman Bison şirketlerinin birlikte İsviçre’de Duripanel adındaki fabrikada üretilmeye başlanılmıştır. Bundan kısa süre sonra Dünya çapında 40’ın üstünde fabrika kurulmuş ve faaliyete geçmiştir. Bu fabrikaların yaklaşık %50’si eski Sovyetler Birliği’nde kurulmuştur. Günümüzde artan talebi karşılayabilmek için Avrupalı CBPB üreticilerinin çoğu ve Rusya’daki fabrikaların bazıları 3 ve 4 vardiya şeklinde ve hatta hafta sonu dahi çalışmaktadır. Fakat Avrupalı üreticiler ABD’ye ihracat miktarını karşılayacak kadar üretim gerçekleştirememektedir. Bu nedenle bazı Avrupalı üreticiler önemli bir miktarda çimentolu yongalevhayı Rusya’dan ithal etmek zorun kalmaktadır [6].

Geleneksel reçine esaslı odun kompozit levhalarının aksine, çimentolu odun kompozitleri; çok daha yüksek yanma, mantar ve böcek dayanımı yanında daha iyi dış hava koşullarına dayanım, ses ve ısı izolasyonu ve akustik absorpsiyon özelliklerine sahiptir [7, 8, 9]. Ayrıca, tutkal bağlayıcılı odun esaslı levhalar üretimi için gerekli olan tutkal ve makinenin maliyetleri çok yüksek olup, sürekli artmaktadır. Çimentolu odun kompozitleri bu konuda da çok büyük avantaja sahiptir [10, 11, 12]. Çünkü çimentolu odun kompozitlerinin üretimi için daha az ve basit makineler kullanılabilen ve üretimde yüksek ısıya ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca çimento tutkala göre çok daha ucuz bir bağlayıcıdır.

Günümüzde dünya nüfusunun hızla artması, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, sınırlı doğal kaynakların hızla tükenmeye başlaması ve artan çevre kirliliği gibi nedenlerden dolayı atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır [13].

Silis dumanı; silisyum metali veya ferro silisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen ana bileşeni $1\mu\text{m}$ ’den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO_2) partiküllerden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür [14, 15]. Silis dumanı, çimentolu ortamda bulunduğu en önemli görevi, C_2S ve C_3S hidrasyonları sonucu oluşan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’i bağlamak ve yeni bir CSH jeli meydana getirmektir. Bu jel çimento hamurunda normal olarak oluşan CSH jellerinden biraz farklıdır. Yoğunluğu daha az, ancak geçirimsizliği daha fazladır. Böylece silis dumanı taneleri, büyük kristaller yerine çok sayıda daha küçük ve daha sağlam $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristallerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır. Silis dumanı betonda basınç dayanımını

arttırırken hidrasyon ısı, sertleşmiş betonun su geçirimsizliği ve sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmakta ve sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını arttırmaktadır [16]. Ayrıca; silis dumanının betonda kullanılması ile sera gazı salınımının ve çevre kirliliğine neden olan atık ürün miktarının azalması, atıkların saklanması kullanılan enerjinin tasarrufu gibi önemli katkılar da söz konusudur [17]. Çimentonun öğütülmesinde değirmenine % 10 oranında silis dumanı ilave edilmesi ile öğütme süresinin yaklaşık %20-25 azaldığı ve %20-25 elektrik enerjisi tasarrufu sağlanabileceğini tespit edilmiştir. Ayrıca öğütme süresinin kısalmasıyla değirmenin kapasitesinde %25 oranında bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir [18].

Betonun geçirgenliği ve Ca(OH)_2 içeriği betonun birçok kimyasala karşı direncinde rol oynadığı bilinmektedir. Silis dumanı %12'den %20'ye kadar yüksek oranlarda kullanılarak Ca(OH)_2 içeriği ve geçirgenliğinin azaltılması sağlanabilmektedir. Portland çimentosu ile kıyaslandığında yüksek dozlu silis dumanı kullanımının betonun direncini amonyum nitrat, sülfürik asit, hidroklorik asit, asetik asit, laktik asit, gibi birçok solüsyonun etkisine karşı iyileştirdiği tespit edilmiştir [19].

Silis dumanının betonlarda kullanımı genellikle çimentonun bir kısmının yerine ikame edilmesi şeklinde olmaktadır. Silis dumanının çimentonun %20'sine kadar ikamesiyle; su/çimento oranı azalmakta, betonun direncinde %15-20 oranında artış olmakta ve silis dumanı çok ince tanecikli olması nedeniyle çimento tanecikleri arasına girerek boşlukları doldurmasıyla agrega-çimento hamuru ara yüzeyi gelişmekte ve betonun permeabilitesini azaltmaktadır [20, 21].

Bu çalışmanın amacı; ferrokrom fabrikalarının baca atığı olan silis dumanının çimentolu yongalevha üretiminde çimentoya ikame olarak kullanılabilirliği ve silis dumanın, sertleştirici türü, odun-çimento oranı ve ağaç türleri ile olan etkileşimin çimentolu yongalevhaların özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, üç farklı oranda (%10, 15 ve 20) silis dumanı, üç farklı sertleştirici türü [alüminyum sülfat: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, kalsiyum klorür: CaCl_2 ve demir klorür: FeCl_3], iki farklı odun-çimento oranı (1/2 ve 1/3) ve ülkemizde doğal olarak yetişebilen üç farklı ağaç türü [Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.)), Doğu Karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana*) ve Titrek kavak (*Populus tremula* L.) kullanılarak 1200 kg/m^3 yoğunlukta ve 10 mm kalınlıkta deneme levhaları üretilmiş ve levhaların fiziksel, mekanik, ısı, yanma, formaldehit, biyolojik ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca odun

türlerinin çimentolu yongalevhalar üzerindeki etkisinin kaynağını anlayabilmek için ağaç türlerinin şeker analizi dahil kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Bu çalışma ile bir sanayi atığı olan silis dumanının çimentolu levha endüstrisinde değerlendirilebileceği, daha kaliteli, ucuz levhaların üretiminin mümkün olacağı belirlenmiştir. Optimum silis dumanı-ağaç türü-sertleştirici tür ve oranları, ağaç türlerinin çimentolu yongalevha üretimine uygunluğu ve silis dumanı miktarı-sertleştirici türüyle olan ilişkileri tespit edilmiştir.

1.2. Odun-Çimento Kompozitleri Tanımı

TS EN 633 [22]'de çimentolu yongalevha; katkı maddeleri ihtiva edebilen ve hidrolik çimento ile yapıştırılan, odun veya diğer bitki kırıntılarından meydana gelen, basınç altında üretilen levhalar olarak tanımlanmaktadır.

Kalaycıoğlu ve Özen, odun-çimento kompozitleri, odun yongası veya tarımsal bitkilerin, çimento ve katkı maddeleri ile uygun oranlarda bir araya getirilmesiyle sıcak veya soğuk basınç altında oluşturulan düzgün ve geniş yüzeyli malzeme olarak tanımlamaktadır [23].

Kompozit, birbirlerinin zayıf yönlerini kapatarak üstün özelliklerini ön plana çıkaran iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşan malzemedir. Bu nedenle, odun-çimento kompozitleri ahşabın; hafiflik, elastikiyet ve işlenebilirlik özellikleri, çimentonun; su, rutubet, yanma, mantar ve böceğe karşı direnç değerlerini bünyesinde barındıran üstün yapısal özelliklere sahip bir malzemedir.

1.3. Odun-Çimento Kompozitlerinin Tarihi Gelişimi

Çimento en çok kullanılan ve çok yönlü bir kompozit bağlayıcı malzemedir. En yaygın şekliyle çimento sağlamlık ve basınç direnç gelişimi için, kum ve taş dolgu malzemeleriyle birleştirilmektedir. Ayrıca çelik güçlendirici demirler de kullanılmaktadır. Çelik güçlendirici demirler kırılma ve eğilme direncini artırmaktadır. Lifsel güçlendiriciler ise kırılma dayanımını artırma amacıyla kullanılmaktadır. Çimento asbest levhalar bu tipin en iyi belirgin örneğidir. Çimento esaslı odun kompozitleri uzun yıllardır üretilmekle birlikte, bu malzemelerin kökenini oluşturan çimento esaslı asbest kompozitler 20.yy

başından beri üretilmektedir. Magnezyum silikat esaslı lifli yapıdaki doğal mineral madde olan asbestin uzun süreli solunmasıyla kansere neden olduğu tespit edilmiş ve 20. yy. son çeyreğinde kullanımı yasaklanmıştır. Bunun ardından asbest liflerine ikame olarak kullanılabilir dolgu malzemeleri araştırılmış ve sahip olduğu özellikleri itibariyle bitkisel esaslı lifler ve odun lifleri kullanımı yoluna gidilmiştir [24, 5].

Çimentolu odun kompozitleri Avusturya'da ilk defa Heraklith adı altında üretilmiştir. Başlangıçta magnezit ve ambalaj talaşı şeklindeki odunsu materyalden yararlanılmıştır. Sonra magnezit yerine portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentolu odun kompozitlerinin tarihi gelişimi yıllara göre şu şekildedir;

1900: Odun talaşı ve alçıtaşı (jibs) kullanılarak ilk inorganik esaslı levha marangoz Schmid tarafından Avusturya'da üretilmiştir.

1910: Avusturya'nın 37223 nolu patentine göre Heraklit ismi verilen odun yününden Magnezyum esaslı levha üretilmiştir. 1908 yılında Viyana'da Robert Scherer tarafından bu ürünün patenti alınmıştır.

1920: Josef Oberleitner, Avusturya'nın Sonntagberg kasabası yakınlarında ilk defa Portland çimentosu kullanılarak çimentolu odun yünü levha (WWCB) üretmiştir. Avrupa'da birkaç kişi de bu üretimi takip etmiş ve böylece metot yayılmıştır.

1930: Hollandalı Hendrik Vanderwoerd, ilk lata destekli WWCB çatı levhası üretimini gerçekleştirmiştir.

1950: Avusturya'da, Franz Brandsteiner, kaba odun yongaları ve çimento kullanarak ilk defa Velox board isimli bir levha üretmiştir.

1960: İki alman makine üreticisi olan Brown ve Schneider; karıştırıcı ve dozajlama ekipmanları ile presler geliştirmiştir. Canali tarafından çimentolu odun kompozitlerinin üretim akışı tamamlanmıştır. Hollanda'da, Gerry van Elten, değişen hızlarda sürekli hareket edebilen kalıplarda karışımın eşit dağılımını başarmıştır.

1970: Duripanel diye isimlendirilen ilk çimentolu yonga levha (CBPB) Hans Knöpfel tarafından İsviçre'de üretilmiştir. Alman Bison şirketi, hava tahrikli dağıtım makineleri kullanılarak ilk çimentolu yonga levha (CBPB) fabrikasını kurmuştur [6]. Daha sonra çimentolu yonga levhalar (CBPB), yapısal uygulamalarda kullanılan ve kansere neden olan asbest-çimento levhalarının yerini almıştır [25].

1980: Gerry van Elten, CBPB üretiminde kullanılan mekanik dağıtıcı makineyi geliştirmiştir.

1990: Almanya'nın Magdeburg şehrinde düşük kalınlıklarda üretim imkanı sağlayan yeni bir Eltomation mekanik dağıtım makinesi kurulmuştur. Filipinler'de Dr. Pablo yüksek yoğunluklu WWCB'yi geliştirmiştir (900kg/m³). Hollanda'da Knouf Isol ilk defa 16 bıçaklı diskli eltomatik odun yünü yongalama makinesini geliştirmiştir.

2000: Eltomation, EltoBoard adında çimentolu şerit yongalı levha (WSCB) üretimi için tam otomatik bir fabrika geliştirmiştir [6].

Hollandalı Eltomation; günümüzde çimentolu odun yünü levha (WWCB) ve çimentolu yönlendirilmiş yongalevha (WSCB) fabrikalarının anahtar teslim kurulumunu gerçekleştiren en önde gelen firmadır. 1956'dan bu yana 40'tan fazla ülkede 150'nin üstünde fabrika kurmuştur.

Tarihte ilk çimentolu yonga levha fabrikası 1967'de İsviçre'de kurulmuştur. Türkiye'de ise ilk tesis 1987'de Artvin ilinin Arhavi ilçesinde faaliyete başlamıştır. 2001 yılında Tepe grubu tarafından satın alınan bu fabrika, Ankara'ya taşınmıştır. Tepe grubu bugün Ankara'da Betopan, Betopanplus, Yalıpan ve Taşonit gibi isimler ile çimentolu yonga levha ve lif levha üretimine yaklaşık 117.500 m³/yıl kapasite ile devam etmektedir [26]. Sakarya'da Hekim Yapı şirketi tarafından 2004 yılında kurulan çimentolu lif levha fabrikası, 2015 yılı itibarıyla üç üretim tesisinde toplam 125.000 m³/yıl kapasitesiyle üretim gerçekleştirmekte olup, levhalarını piyasada Hekim Board adı altında pazarlamaktadır [27]. Bunun yanında, Acarla Sanayi Kollektif Şirketi, İstanbul ilinin Kartal ilçesinde kurulu olan fabrikasında Acarla Heraklit adıyla çimentolu odun yünü yongalevha üretimi gerçekleştirmektedir. Üretilen çimentolu odun yünü levhalar, taş yünü veya styropor (polistren köpük) ile birleştirilmesiyle oluşan katlı izolasyon levhaları (Herapor), yüksek yalıtım özellikli levhalar olarak piyasaya sürülmektedir [28].

1.4. Odun-Çimento Kompozit Çeşitleri ve Kullanım Alanları

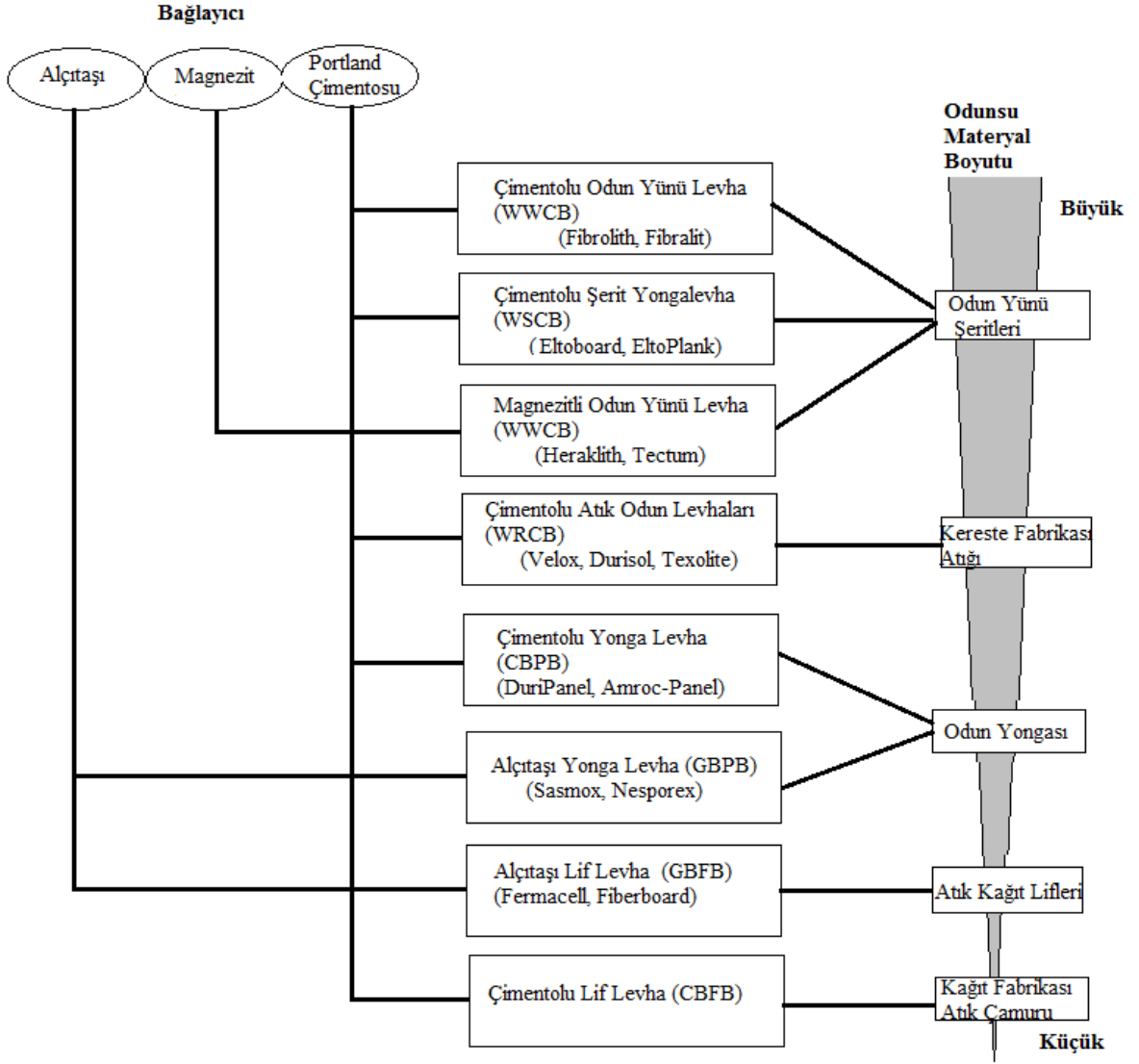
Odun-çimento kompozitleri dış hava koşulları yâda hızlı yaşlandırmaya karşı yüksek dayanım ve boyutsal kararlılık göstermekte olup, yangın mantar ve böcek gibi biyolojik faktörlere karşı yüksek dirence sahiptir. Reçine esaslı levhalardan daha ağır olmalarına rağmen betondan daha hafif olup, yoğunluklarına kıyasla mekanik direnç değerleri çok yüksektir. Yapısındaki lignoselülozik materyale bağlı olarak ses ve ısı yalıtkanlığı yüksek olduğundan binalarda %40-45 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır. Özellikle prefabrik yapı sektöründe yüke maruz kalmayan kısımlarda rahatlıkla tercih edilmektedir. Ses

yalıtımı özelliği ile de otoyol kenarlarında kullanılmaktadır [22]. Japonya’da 1991’de yangın ve depreme karşı yüksek dayanıma sahip malzemeler yapı kodu almış konutların kaplanmasında kullanılan önemli bir malzemelerden olup, %41’lik pazar payı olduğu belirtilmiştir [29].

Odun-çimento kompozitleri, genel olarak kullanılan hammadde biçimine göre adlandırılmaktadır. Tablo 1’de dünya piyasasında yaygın olarak kullanılmakta olan odun-çimento kompozitleri ve yoğunlukları verilmiştir. Şekil 2’de ise inorganik bağlayıcılı odun esaslı kompozit malzemelerin kullanılan bağlayıcı ve yonga boyutuna göre karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 1. Odun-çimento kompozit tipleri

Levha Tipi	Yoğunluk (kg/m ³)
Çimentolu Yonga Levha (CBPB)	1250–1500
Çimentolu Lif Levha (FCB)	1100–1700
Çimentolu Şerit Yonga Levha (WSCB)	1100 - 1150
Çimentolu Odun Yünü Levhalar (WWCB): Normal WWCB Akustik WWCB Kompozit WWCB Büyük boyutlu WWCB duvar elemanları Yüksek yoğunluklu WWCB	360–570
	1000-1100

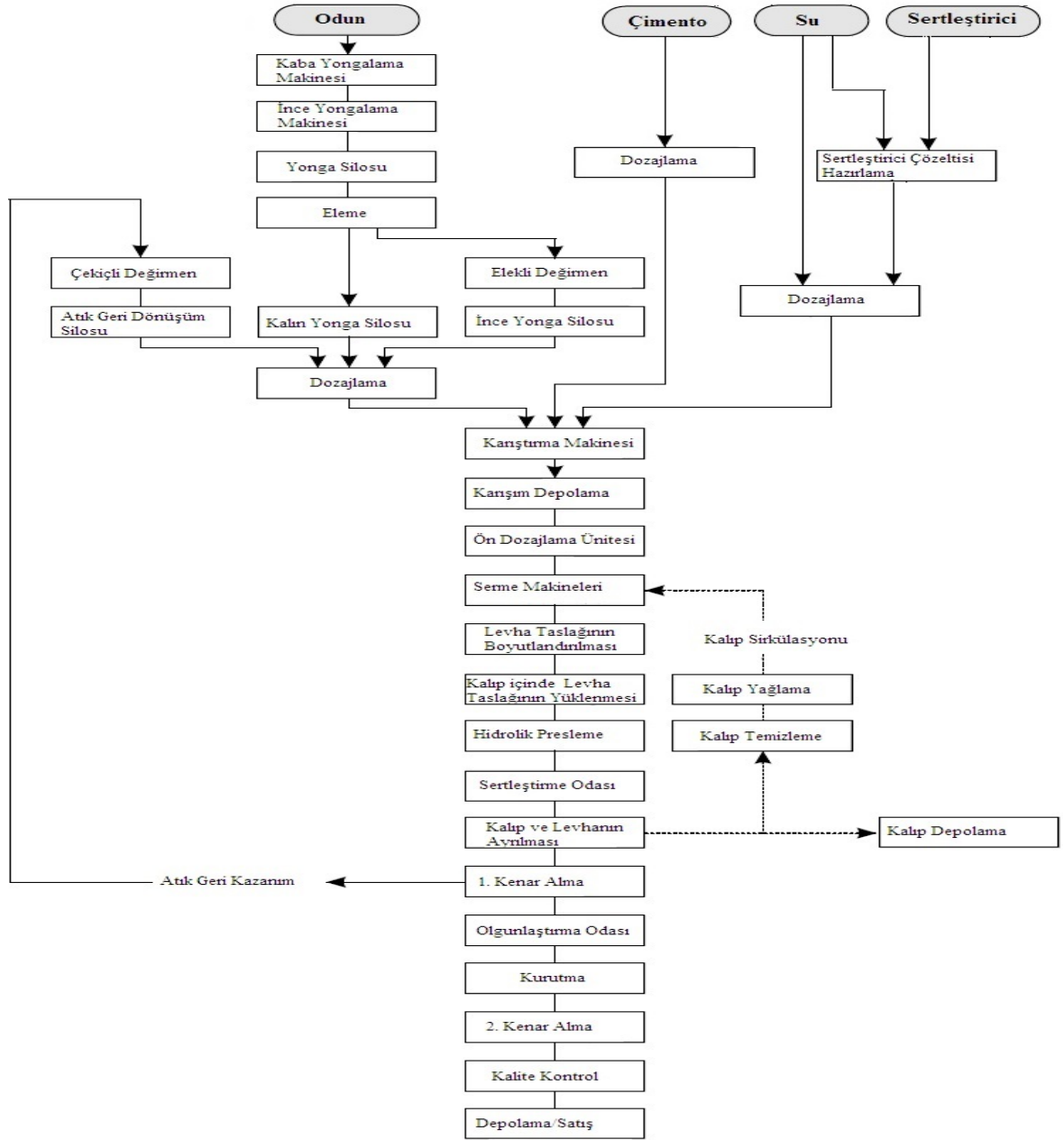


Şekil 2. İnorganik esaslı odun kompozitlerin karşılaştırılması [30].

1.4.1. Çimentolu Yongalevha (CBPB)

Çimentolu yongalevha (CBPB), 1970'li yıllarda geliştirilen ve asbest-çimento levhalarının yerine geçen yüksek yoğunluklu ($1250-1500 \text{ kg/m}^3$) bir yapı malzemesidir [25]. Dünyada en çok üretilen odun-çimento kompozitidir. Çimentolu yongalevhalar genellikle $2400-3600 \times 1250 \times 4-40$ mm boyutların üretilmektedir. Yonga boyutları organik bağlayıcı (sentetik tutkallar) ile üretilen yongalevhalarda olduğu gibi olup, kalınlık 0.25-0.40 mm, genişlikleri 2-6 mm ve uzunluklar 10-25 mm boyutlara sahip yongaların kullanılması tercih edilmektedir.

Çimentolu yonga levha iki farklı şekilde üretilebilmektedir. Bunlardan birincisinde levha üç tabakalı olacak şekilde üretilmekte ve tabakalar arasında ani bir geçiş bulunmaktadır. Yüzeysel tabakalar ince, orta tabaka ise kalın ve kaba yongalardan oluşmaktadır. Eltomasyon sistemde ise; tabakalar arasında geçiş tedricidir. En ortada en kalın yonga, en dışta (yüzeysel) ise en ince yonga olmaktadır. Yani levhanın ortasından her iki yüzeyine doğru gidildikçe yonga kalınlığı azalmaktadır [6]. Şekil 3'te tipik bir çimentolu yonga levha iş akışı şeması gösterilmektedir.



Şekil 3. Çimentolu yonga levha üretimi iş akışı şeması [6].

Çimentolu yongalevhalar (CBPB); dış cephe kaplamasında, elektrikle ısıtılan ve yükseltilmiş zemin döşemelerinde, beton zemin ve duvarların kalıcı kalıplarında, yangın ve rutubete dayanıklı mobilya üretimi, prefabrik ev yapımı ve ses yalıtımlı bölümlerin oluşturulmasında kullanılmaktadır [6, 25]. Ayrıca yüksek yoğunluğu yanında çimento ve mineral içeriğinden dolayı yüksek rüzgâr kesme ve yangın direnci de sağlamaktadırlar.

Şekil 4'te çimentolu yongalevhaların ile prefabrik bina imalatı (a;b) ve dış cephesi çimentolu yongalevha ile kaplanmış binalar (c;d) görülmektedir. Şekil 4 (c)'de görülen ev, Japonya'da inşa edilen yüzbinlerce evden sadece biridir. Japon hükümeti ülkede sık meydana gelen depremler ve ardından oluşan büyük çaplı yangınlardan doğan zararları minimize etmek için gerçekleştirdiği yasalarla; binaların dış cephesinin çimentolu levhalarla kaplanmasını zorunlu hale getirmiştir [6].

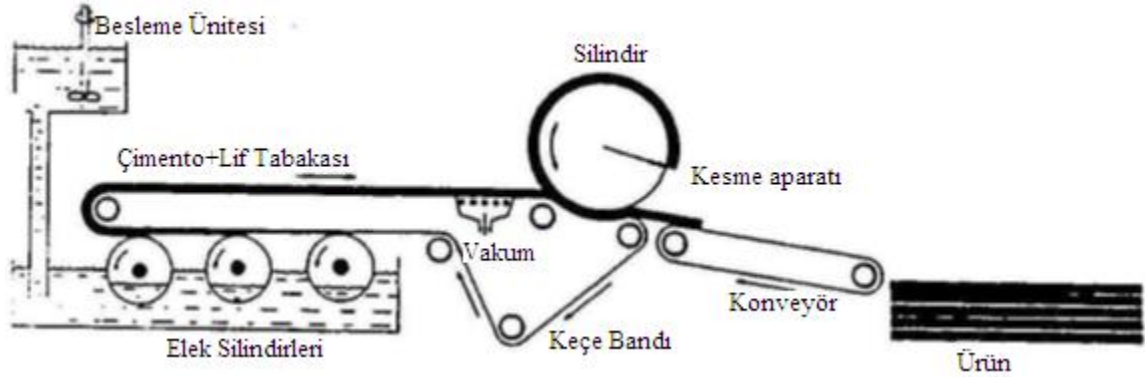


Şekil 4. Çimentolu yonga levhaların (CBPB) bazı kullanım alanları [6].

1.4.2. Çimentolu Lif Levha (FCB)

Çimentolu lif levhalar (FCB), odun lifi ve çimento kullanılarak üretilen bir yapı malzemesidir. Asbest liflerinin sağlığa zararlarının farkına varılmasıyla çimentolu lif levhalar Kuzey Amerika pazarında yer bulmuş olup, son 20 yılda pazar payını artırmıştır. Günümüzde asbest liflerin sağlığa olan ciddi zararının bilinmesine rağmen düşük maliyet nedeniyle az gelişmiş ülkelerde hala kullanılmaktadır. Gelecek 10-20 yıl içerisinde bu az gelişmiş ülkelerde de asbest liflerinden vazgeçilerek selülozik liflerin kullanımının yaygınlaşacağı bir gerçektir. Çimentolu lif levha üretiminde lif kaynağı olarak selüloz hamuru (Kraft), geri dönüştürülmüş lifler ve sentetik elyaflar kullanılmaktadır.

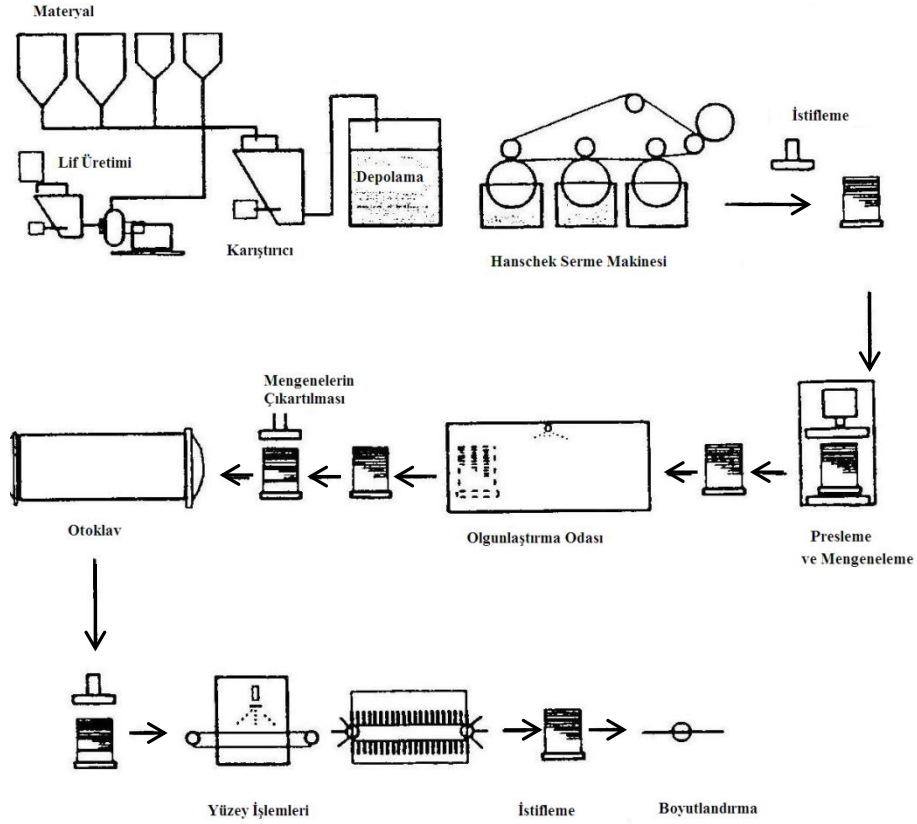
Çimentolu lif levha üretiminde yaygın olarak çalışma prensibi kâğıt üretiminde kullanılan sisteme benzeyen Hatschek yöntemi kullanılmaktadır. Şekil 5'te Hanschek makinesinin basit görünümü verilmiştir.



Şekil 5. Hanschek makinesinin basit görünümü [31].

Bu yöntemde; çimento ve katkı maddeleri içerisinde %7-10 oranında lif içeren homojen bir sulu süspansiyon kullanılmaktadır. Yukarıda konumlandırılan dozajlı bir besleme silosundan üretim hattına verilen süspansiyon, içerisinde elekt silindirlerinin bulunduğu bir havuza boşaltılır. Havuz içerisinde hem lifli karışımı istenilen kalınlıkta alan hem de çökmeyi önleyen elekt silindirleri bulunur. Havuzda ayrıca karıştırıcı silindirler bulunmaktadır. Elekt silindirleri süspansiyon içerisine belli bir derinliğe kadar daldırılarak süspansiyonun silindir yüzeyine bulaşmasını sağlar. Bu esnada elekt çevresinde elekt silindirinin havuz içerisindeki açısına bağlı olarak bir vakum etkisi yaratılır. Bu vakum; silindirler tarafından absorbe edilen süspansiyondaki suyun bir kısmını uzaklaştırır

böylece katı maddeler yüzeyde kalır. Üretilecek levha kalınlığının sağlanabilmesi havuz içerisindeki elek silindiri sayısına bağlıdır. Genellikle 3-4 adet elek silindiri kullanılır. Bu elekler üzerindeki lif keçeleri ayırıcılar vasıtasıyla keçeli sonsuz bir bant transporta aktarılır. Bu bandın sonunda yer alan vakum kasaları keçede bulunan suyun bir kısmını daha uzaklaştırır. Vakum kasaları tarafından vakumlanan lif-çimento keçesi, basıncı levha kalınlığına uygun olarak ayarlanan silindir ile preslenmektedir. Pres silindiri üzerinde istenilen kalınlığa ulaşan keçe otomatik kesici ile kesilerek bir ayırıcı yardımıyla silindir üzerinden bant transport üzerine alınır ve pres saçları ile birlikte kalınlıklarına bağlı olarak belli bir sayıda üst üste istiflenir [31]. Saçlar üzerindeki levhaların oluşturduğu istif mingeneler ile sıkıştırılır ve sertleşme işleminin tamamlanması için belli bir sıcaklık ve rutubet içeren olgunlaştırma odasına oradan da otoklava gönderilir. Otoklavdan çıkan levha nihai direncine ulaşmış olup, levhalar üzerinde istenilen işlemler (yüzey işlemleri, boyutlandırma ve taşıma vb.) yapılabilmektedir. Şekil 6'da çimentolu lif levha üretiminin genel iş akışı verilmiştir.



Şekil 6. Çimentolu lif levha üretimi genel iş akışı [31].

Çimentolu lif levhalar (FCB), döşeme altlığı, döşeme levhası (kalınlığı 12,7mm ve üstü olanlar), çatı arduvazı, dekoratif çit levhası, çit direkleri, karo destekçisi, laboratuvar ve mutfak tezgâhları, oluklu çatı kaplama malzemesi, demiryolu ses bariyeri, ısıya dayanıklı duvar ve zemin malzemesi olarak birçok kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 7’de çimentolu lif levhaların bazı kullanım alanları gösterilmektedir [32, 33].

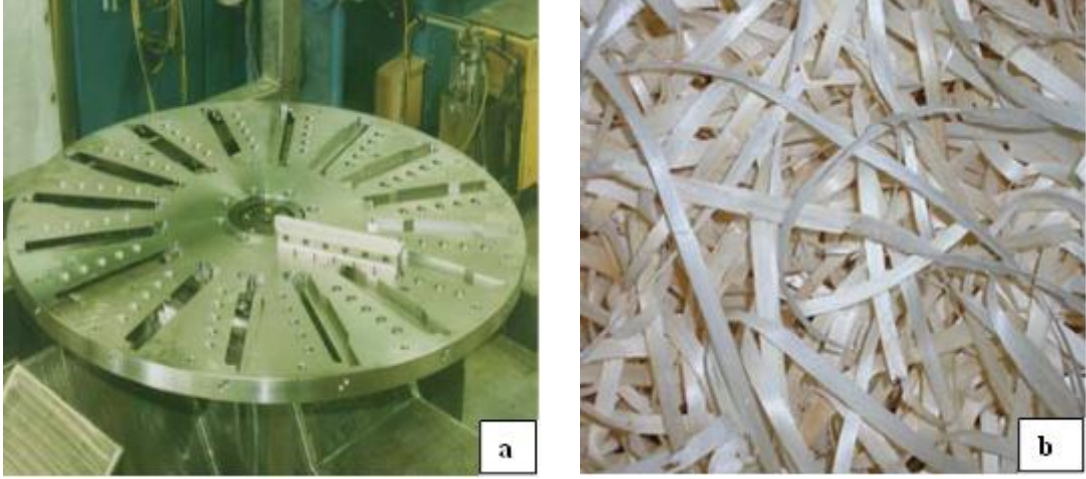


Şekil 7. Çimentolu lif levhaların bazı kullanım alanları [32, 33].

1.4.3. Çimentolu Şerit Yongalı Levha (WSCB)

Çimentolu şerit yongalı levhalar (WSCB), Eltomation firması tarafından geliştirilmiş olup, pazardaki çimentolu odun kompozitlerinin en yeni türüdür. Levhalar çimentolu odun yünü levhalara benzemekle birlikte, özgül ağırlık değeri çok yüksek olup, yaklaşık üç katıdır [32]. Bu nedenle de 1m^3 şerit yongalı levhalar üretimi için gerekli olan hammadde miktarı 1m^3 odun yünü çimentolu levha için gerekli olan hammadde miktarının üç katıdır. Bu amaçla kullanılacak şerit yongalar, odun yünü üretiminde kullanılan makinede üretilmekte olup, makinenin bıçaklarının taraklarının arası daha geniş ayarlanmaktadır. Şerit yongalı levhalar üretiminde kullanılan en ideal odun şeridi kalınlığı 0.25 mm ve genişliği ise 8 mm şeklinde olmaktadır [25, 35].

Çimentolu levhalar ile karşılaştırıldığında; şerit yongalı levhalar daha düşük özgül ağırlığa sahip olmasına rağmen, daha yüksek vida ve çivi tutma ile eğilme direnci değerlerine sahiptir [6]. Şekil 8’de WSCB üretimi için kullanılmakta olan Eltomatic CVS-16 yongalama makinesi diski ve bu makinede üretilen yongalar görülmektedir [36].



Şekil 8. Eltomatic CVS-16 odun şeridi üretme makinesi diski (a) ve şerit yongalar (b)

Levhalar genellikle, 60 cm genişlik, 240-300 cm uzunluk ve 8-25 mm kalınlıkta üretilmektedir [37]. Çimentolu şerit yonga levhalar (WSCB) zemin döşemesi ve döşeme altlığı, dış cephe kaplaması, prefabrik bina yapımı, kalıcı beton kalıbı, ses bariyer duvarları, çatı kaplamaları gibi alanlarda kullanılmaktadır [25]. Şekil 9’da Çimentolu şerit yongalevha (WSCB) ve bazı kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil 9. WSCB levhalarının çatı, zemin ve duvarda kullanımı [25, 37].

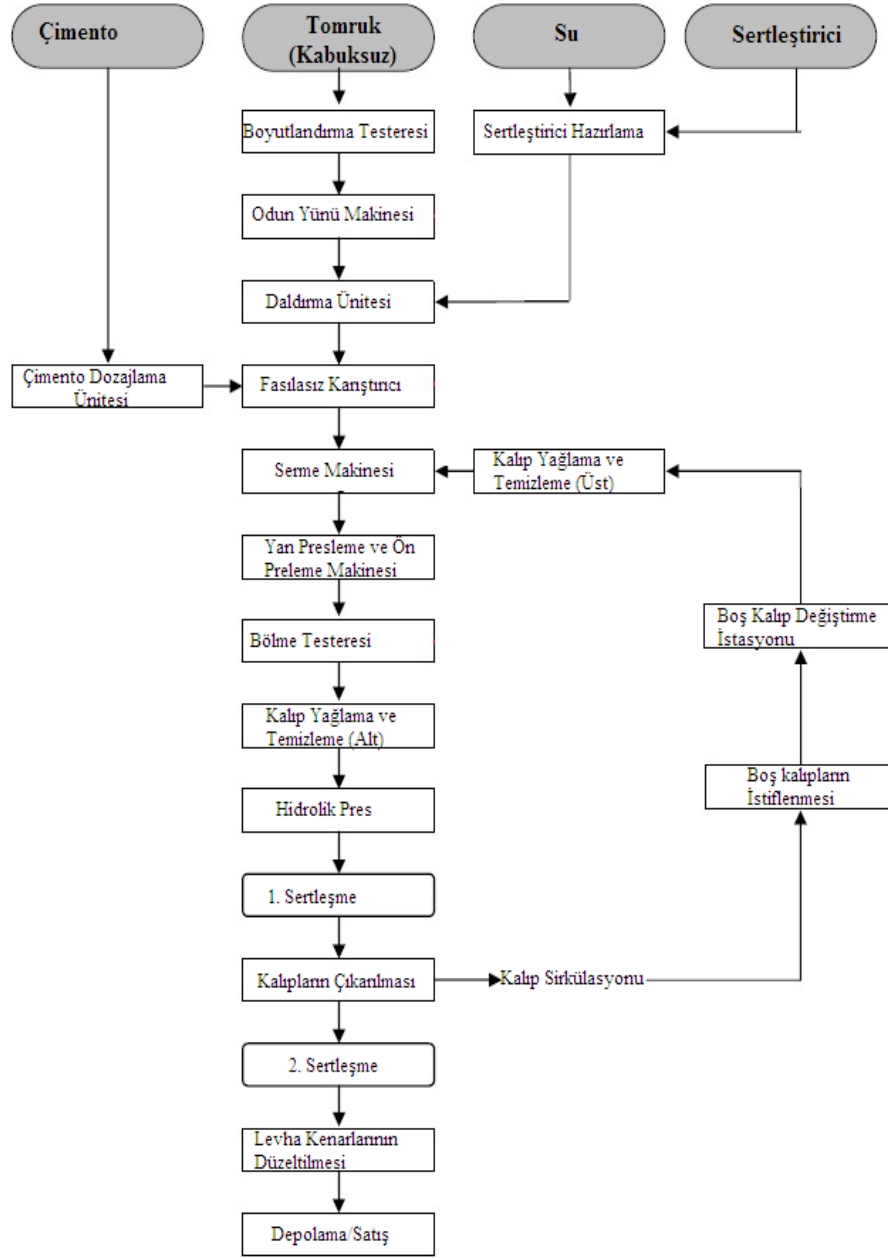
1.4.4. Çimentolu Odun Yünü Levhalar (WWCB)

Çimentolu odun yünü levhalar (WWCB) odun yünü ve çimento kullanılarak üretilen çok yönlü bir yapı malzemesidir. Odun yünleri, 50 cm uzunluğundaki tomruklardan tarak şeklindeki bıçakların yatay düzlemde ileri-geri hareketiyle yâda üzerindeki taraklı bıçakların bağlandığı diskin dönmesiyle ince şeritler halinde kesilen odun parçalarıdır (Şekil 10). Genellikle; 1-5 mm genişlik, 0.2-0.5 mm kalınlık ve 50 cm uzunluğunda üretilir. Boyutlar üretilecek levha türüne göre değiştirilir. Akustik ve dekoratif amaçla üretilecek levhalarda daha dar ve kalın, izolasyon amaçlı levhalarda ise daha geniş ve ince odun yünleri kullanılmaktadır [38].



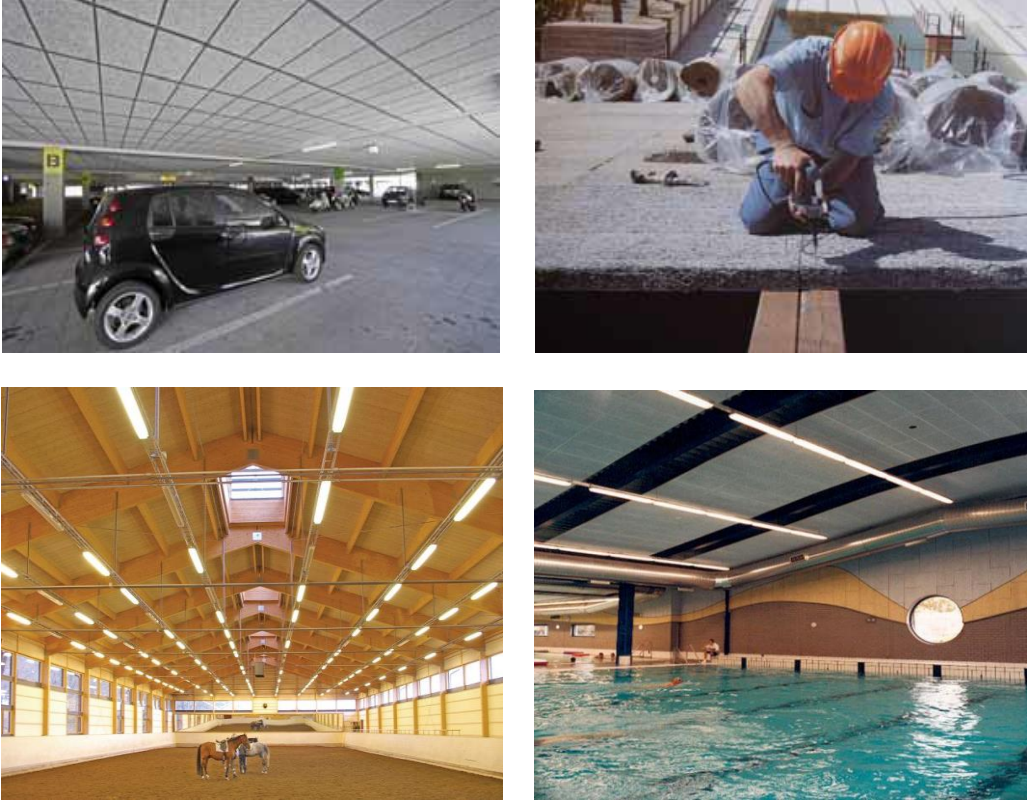
Şekil 10. Odun yünü üretim makinesi ve odun yünü örnekleri [38].

DIN 1101 standardı WWCB levhalarını kalınlık 15-100 mm, uzunluk 2000 mm ve genişlik 500 mm olacak şekilde standartlaştırmıştır. Ancak 600 mm genişlik ve 2400-3000 mm uzunluktaki levhaların üretimine de izin verilmektedir. İskandinavya’da ise levhalar 200 mm kalınlığa kadar üretilebilmektedir. Ayrıca aynı standart; çimentolu odun yünü levhaların diğer izolasyon malzemeleriyle birlikte sandviç levhalar halinde üretilmesine de izin vermektedir [35]. Çimentolu odun yünü levha üretimi iş akış şeması Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Çimentolu odun yünü levha üretimi iş akış şeması [35].

Çimentolu odun yünü levhalar yangın, yaş ve kuru çürüklük, termit ve diğer haşeratlara karşı dayanımı yanında; termal ve akustik performansının yüksek olması, düşük yoğunluk ve dekoratif özelliklerinden dolayı çok yönlü bir izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şekil 12’de çimentolu odun yünü levhaların otopark, çatı kaplama, at çiftliği ve yüzme havuzundaki kullanımları verilmiştir.

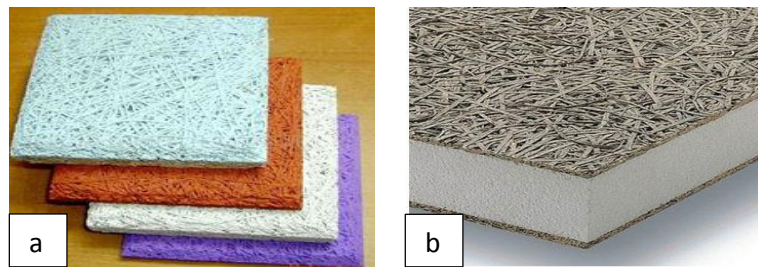


Şekil 12. Çimentolu odun yünü levhaların (WWCB) bazı kullanım alanları [39].

Çimentolu odun yünü levhalar şeritlerinin boyutları ve üretim şartlarındaki farklılıklara bağlı olarak beş grupta toplanmaktadır.

Normal WWCB, 3-5mm genişliğindeki odun yünlerinden ve Portland çimentosu ile üretilen levhalardır. Termal izolasyon, çatı ve duvar bölmelerde kullanılmaktadır.

Akustik veya Dekoratif WWCB, 1-2 mm genişliğindeki odun yünlerinden karo yâda paneller şeklinde üretilir. Estetik görünümü sağlamak için genellikle kısa odun yününden üretilmekte ve levhalar iç ortamın rengiyle uyumlu olacak şekilde boyanabilmektedir. Magnezit, beyaz veya portland çimentosu kullanılmaktadır.



Şekil 13. Akustik (a) ve kompozit (b) WWCB örnekleri

Kompozit veya sandviç WWCB, 2 veya 3 tabakalı olarak üretilir. Termal yalıtım materyali olarak kullanılmaktadır. Genellikle orta tabakada polistren (PS) veya poliüretan (PÜ) köpük, yüzeylerde ise çimentolu odun yünü levha kullanılmaktadır. Kalınlıkları genellikle 15-140mm arasında değişir. Odun yünü kısmı ise 5-20 mm arasındadır. Şekil 13'te akustik ve kompozit odun yünü levha örnekleri verilmiştir.

Yüksek yoğunluklu WWCB, 1000-1100 kg/m³ yoğunluğundaki levhalardır. Bunlar; oldukça sağlam ve iklimik koşullara karşı dirençlidir. Diğer WWCB'lerin aksine, iç ve dış duvarlarda kullanıldığında ayrı bir sıva işlemi gerektirmemektedir.



Şekil 14. Monoblok bina yapımında kullanılan büyük boyutlu WWCB duvar elemanları [39, 40].

Büyük boyutlu WWCB duvar elemanları; yoğunlukları 360–570 kg/m³ civarında, 40 cm kalınlık 260 cm genişlik ve 600 cm uzunluğunda üretilen ve doğrudan duvar (pencere ve kapı boşlukları açılmış halde) elemanlarıdır. Özellikle prefabrik bina yapımında kullanılır [24, 35].

Bu WWCB elemanları 2003'te İsveç'te geliştirilmiş olup, bu malzemeyle üretilen bina sayısı her geçen gün artmaktadır [35]. Bu duvar elemanları üretim ve ısınma maliyetlerinin azaltılması amacıyla üretilmiştir. Yapılan bir çalışmada, WWCB duvar

elemanları ile inşa edilen bir binanın enerji tüketiminde, normal WWCB levha ile izolasyonu yapılmış bir binaya göre %11 oranında tasarruf sağlandığı belirlenmiştir [40]. Şekil 14'te büyük boyutlu WWCB duvar elemanları kullanılarak bina yapımı yer almaktadır.

1.5. Çimentolu Odun Kompozit Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

1.5.1. Ağaç Malzeme

TS 1351 [41]'e göre lif ve yonga odunu olarak; boyu 0.5-2 m, ince uç çapı 4 cm, kalın uç çapı en fazla 20 cm olan yuvarlak ve yarma odunlar, kalınlığı 20 cm'den küçük parçalar, tane büyüklüğü en az 2 mm olan testere talaşları kullanılmaktadır. Yongalevha üretiminde kullanılacak odunlarda kabuk ve çürüklük bulunmamalıdır. Enine kesitin yarısına kadar olan öz çürüklüğü kabul edilebilir.

Çimentolu yongalevha üretiminde; yakacak odunlar dâhil, kapak tahtaları, çita ve tomrukların uç kısımlarından elde edilen atıklar, testere talaşları, kaplama levha üretim atıkları, lif ve yonga odunları, kereste fabrikası atıkları gibi odun hammaddeleri değerlendirilir. Aralama, bakım kesimleri ve budama ile elde edilen ince odunlar, dal ve tepe uçları ile endüstriyel atıklarda kullanılabilir [42]. Ancak şeker içeriği ve ekstraktif maddelerin tür ve miktarı odunların çimentolu kompozit üretimindeki kullanımını kısıtlamaktadır. Ağaç türü yanında, kesim zamanı, depolama koşulları, kabuk içeriği ve hammaddenin ağaçtan alındığı yer gibi çeşitli faktörlerin de çimentonun hidrasyonunu etkilediği araştırmalarla kanıtlanmıştır [43, 44].

Genel olarak, yapraklı ağaçlar iğne yapraklı türlere göre çimento ile daha az uyumluluk göstermektedir. Bu durum yapraklı ağaçların yapısındaki çözülebilen ksilan miktarının fazlalığından kaynaklanmaktadır [45]. Papadopoulos [46], saf çimentonun hidrasyon ısısı ile odun katkılı çimentonun hidrasyon ısısı arasındaki farklılığın belirlenmesi için yaptığı çalışmada; bazı ağaç türlerinin çimento ile uyum derecesini belirlemiştir. Buna göre, ağaçların çimento ile uyumluluğunu; kavak> huş> göknar> akçağaç> çam> gürgen> kayın> servi şeklinde sıralamıştır. Fan vd. [47] ise; 15 ticari tropik ağaç türünün uyumluluğunu mouvingui> nkanang> ngollon> sapel> tali > padouk > bibolo> ayous > eyong > frake> bête> bilinga> doussie> iroko> moabi olarak sıralamıştır.

Ağaç türleri arasında farklılık göstermesi yanında, aynı ağacın farklı kısımları da çimento hidratasyonu üzerinde farklılık göstermektedir. Semple ve Evans [48], monteri çamının öz ve diri odunlarından üretilen çimentolu kompozitlerin dirençlerinde önemli derecede farklılık olduğunu tespit etmişlerdir. Cabangon vd. [49], öz odununun diri oduna kıyasla çimento hidratasyonu üzerinde daha fazla etkili olduğu belirlenmiştir. Bu durumun; öz odun çözünürlüğünün diri oduna göre daha yüksek olması ve çimento hidratasyonunu engelleyen ekstraktif madde miktarının fazlalığından kaynaklandığı belirtilmektedir. Odun kabuğu içerdiği tanen nedeniyle çimentonun hidratasyonunu olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, çimentolu odun kompoziti üretiminde kabuk tercih edilmemektedir.

Dış ortamdaki depolanma süresi ve şartları da odundaki şeker oranını etkilemekte ve odun-çimento uyumu üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Schwarz ve Simatupang [50], 3 ay dış hava şartlarında depolanan kayın odunlardaki şeker miktarının %75 oranında azaldığını tespit etmiştir. Sundi vd. [51]'nin çalışmalarında, kabuksuz demir ağacının 4 hafta dış hava şartlarında depolaması sonucu şeker oranının %0.5 ve nişasta muhtevasının ise %0.7'nin altına düştüğünü belirlemiştir. Kabuklu depolanması durumunda ise aynı oranların elde edilmesi için 12 hafta bekletilmesinin gerektiği belirtilmiştir. Taze halde kullanılan demir ağacının levha üretimine uygun olmadığı fakat dış hava şartlarında 4 hafta kabuksuz depolama sonucu üretime uygun hale geldiği tespit edilmiştir.

Odun çimento kompozitlerinin üretiminde, şeker oranı düşük türler tercih edilmektedir. Örneğin sonbahar veya kış kesimi çam, göknar ve ladin gibi İYA türler yaygın olarak kullanılmaktadır. Okaliptus, akasya ve kavak gibi türler ise ekstraktif maddeleri etkisiz hale getirilerek kullanılabilir. Tanen ve aşırı miktarda şeker içeren kızılgaç (*Alnus glutinosa*) ve karaçam (*Larix decidua*) gibi ağırlıkça %0.25'den fazla glikoz, sakkaroz ve ksiloz oranına sahip türler kullanılamazlar [25].

1.5.2. Yıllık Bitkiler

Yongalevha üretiminde kullanılan hammaddelerin başında odun gelmektedir. Dünyada hammadde sorunun gün geçtikçe arttığı bir gerçektir. Çevre kirliliğinin nedenlerinin başında (özellikle hava kirliliği) ormanların hızla azalması hatta yok olma tehlikesi gelmektedir.

Öte yandan hammadde olarak orman ürünlerini kullanan endüstrilerin çok çeşitli olması yanında, kaynakların kullanımında ekonomik davranılmaması ormanları yok

ederken, kaynakların kıt ve yetersiz olması üretim maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır.

Günümüzde kaynakları; ekonomik ve rasyonel bir şekilde değerlendirerek ürün ve kaynağın %100 kullanımını zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenlerle birçok ülke; farklı hammadde kaynaklarını araştırma yoluna girmiş, oduna bağlı levha endüstrilerinde; biokütle kullanımı, atıkların tekrar üretime kazandırılması, hızlı yetişen türler yanında yıllık bitki atıklarının değerlendirilmesi gündeme gelmiştir. Özellikle yeteri kadar odun hammaddesine sahip olmayan ülkelerin bu yöndeki gayretleri çok fazladır [23]. Dünyadaki hammadde darboğazından dolayı, odun dışı ürünlerin (yıllık bitkiler, tarımsal atıklar vb.) değerlendirilmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır [52]. Araştırmalar birçok yıllık bitki artığının başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Ling vd. [53]; Japon çamı ve Japon servi odunu ile bambu, pirinç sapı ve kabuğu gibi bitkisel atıklardan ürettikleri çimentolu kompozitlerin mekanik özelliklerinin standart değerlerin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca hidrasyon testleriyle mekanik test sonuçları arasındaki ilişkinin oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Warden vd. [54]; Monteri çamı odunu ile kenevir ve muz gövde liflerinin çimentolu yongalevha üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Öncelikle; hammaddelerden yarı kimyasal termomekanik hamurlar elde edilerek %4, %8 ve %12 konsantrasyonlarda lif kullanılarak Hatschek yöntemi ile çimentolu lif levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Bitkisel atıklardan üretilen çimentolu lif levhaların eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin odunlardan üretilen levhalara benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Fernandez ve Taja [55] pirinç kabukları ile 50/50 ve 60/40 olmak üzere iki farklı çimento-pirinç kabuğu oranlarında özgül ağırlıkları 1430-1670 kg/cm³ arasında değişen çimentolu levhalar üretmişler ve eğilme dirençlerinin kimyasal madde kullanımına bağlı olarak 1.5 ile 7 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Su alma değerlerinin ise %24 ile %42 arası değiştiği belirlenmiştir.

Soroushian vd. [56], saman saplarının çimentolu yongalevha üretimi için arzu edilen geometrik ve mekanik karakteristiklere sahip olduğunu belirlemişlerdir. Yüksek hemiselüloz içeriğinin çimentoyla olan uyumunu kısıtladığı, bazı uyumsuzluk giderici tekniklerin kullanımı ile standartta belirtilen minimum fiziksel ve mekanik dirençlerin sağlanabileceğini belirlemişlerdir.

Asasutjarit vd. [57] Hindistan cevizi liflerinin çimentolu levha üretiminde kullanılabilmesi için sıcak su ön işlemine tabi tutulması gerektiği, optimum lif

uzunluğunun 10-60 mm ve çimento/hindistan cevizi lifi/su oranının 2/1/2 olarak kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerin ise piyasadaki levhalar ile karşılaştırılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Demirbaş ve Aslan [58]'ın, ladin ve kayın odunu ile findıkkabuğu ve çay atığının çimentolu levha üretiminde kullanımı üzerine yapmış olduğu çalışmada, karışımın lif oranı artıkça levhanın basınç ve eğilme direncinde azalma olduğunu belirlemişlerdir. En fazla direnç azalması çay atığında üretilen levhalarda görülürken, en az direnç azalmasının ise findıkkabuğunda üretilen levhalarda gözlenmiştir. Bunun; çok uzun ve fermente olmuş çay liflerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak findıkkabuğunun çimentolu levha üretiminde rahatlıkla kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Bilba vd [59] 200 °C'de ısıtılma tabi tutulmuş şeker kamışı posasının çimento ile hidratasyon özelliklerini çimentonun özelliklerine çok yakın bulmuşlar. Ancak ısıtılma işlem yüksek maliyet getirdiğinden bu malzemenin kullanılabilmesi için daha ucuz yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Jaraboa vd [60], farklı pişirme koşullarında mısır sapları liflerinden üretilen çimentolu lif levhaların özelliklerinin mısır liflerinin morfolojisi ve pişirme şartlarına bağlı olduğu sonucuna varmışlar, mısır liflerinin çimentolu lif levha üretiminde bir lif kaynağı olarak kullanılabilceğini rapor etmişlerdir.

1.5.3. Odun Esaslı Geri Dönüşüm Artıkları

Lif ve yonga levha, tel direği, mobilya, kereste, palet, ambalaj sandıkları, kâğıt gibi odun ve odun esaslı malzemelerin; üretimi, kullanım ve kullanım ömrünü tamamladıktan sonraki atıkları nüfusun artması ile her yıl ciddi artışlar göstermiş ve önemli bir sorun haline gelmiştir.

Diğer taraftan bazı odun ve odun esaslı malzemeler; rutubet, mantar ve böcek tahribatı ve yangın gibi faktörlere karşı direncinin arttırılması amacıyla kullanılan çevre ve insan sağlığına zararlı birçok kimyasal koruyucular ile muamele edilmektedir. Ancak bu kimyasallar doğada çok zor yok olmakta, çoğunlukla ya yakacak olarak kullanılmakta yâda doğada çürümeye bırakılmaktadır. Bu durum hem kıt ve yetersiz olan orman varlığının etkin bir şekilde kullanılmamasına hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle odun esaslı atıkların tekrar üretime sokularak hem ekonomiye katkı sağlamak hem de çevresel zararlarının önüne geçmek için birçok çalışma yapılmıştır.

Qi vd. [61], atık MDF kullanarak çimentolu levha üretmişlerdir. Direkt odun lifinden üretilen levhalara göre, atık MDF'den üretilen levhaların fiziksel özelliklerinde iyileşme gözlenirken, mekanik özelliklerinde çok az bir düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Olorunnisola ve Adefisan [62]; şeker kamışlarından üretilen dekoratif mobilya atıklarına sıcak su ekstraksiyonu uygulandıktan sonra sertleştirici olarak CaCl_2 kullanarak çimentolu levha üretmişlerdir. Bu levhalarda eğilme direnci ve su alma değerleri oldukça düşük çıkmış ve levhaların yük uygulanmayan ortamlarda, içyapı uygulamalarında kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

Kasai vd. [63], Japonya'da inşaatlardan temin edilen atık keresteler ile yoğunluğu 920 ile 1250 kg/cm^3 arasında olan çimentolu levha üretmişler, eğilme direnci 4-7 MPa ve basınç dayanımları 5-8 MPa olarak belirlemişlerdir. Basınç ile eğilme direnci arasındaki ilişki 0.5-0.9 arasında değişirken, bu oran normal betonunkinden daha yüksektir. Bu da ağaç malzemenin güçlendirici etkisini ortaya koymaktadır.

Huang ve Cooper [64]; atık odunların çimentolu odun kompozitlerinde kullanımını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; gelecekte büyük bir problem olarak ortaya çıkacak olan Bakır-Krom-Arsenik (CCA) ile emprenye edilmiş tel direklerinin değerlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışmada; CCA ile emprenye edilen odunların normal odunlara kıyasla portland çimento ile daha uyumlu olduğu, CCA emprenyeli yongalardan üretilen çimentolu levhaların direnç değerlerinin; suya karşı dayanım ve boyutsal kararlılık özelliklerinin normal levhalardan daha üstün olduğu belirlenmiştir. CCA'lı odun yongalarından Portland çimentosu ile üretilen levhalarda bakır ve arsenik sızması büyük oranda azaltılırken, krom sızmasında azalma olmamıştır. Bu levhalar çürüklük testlerinde işlem görmemiş yongalara nazaran daha yüksek dayanım özellikleri göstermiştir.

Ashori vd [65], atık ahşap demiryolu traverslerinden çimentolu yongalevha üretmiştir. Bu levhaların su alma ve kalınlık artım değerleri normal odundan elde edilen çimentolu levhalara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Mekanik özellikleri ise normal odundan üretilen çimentolu levhalarinkine hemen hemen eşit sonuçlar vermiştir.

1.5.4. Çimento

Çimento; kalkerli ve killi hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp öğütüldükten sonra en az sinterleşmeye (1350-1450 °C) kadar pişirilmesiyle oluşan klinkerin, az miktarda (%3-6) alçıtaşıyla ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) çok ince öğütülmesi sonucu elde edilen ve su ile birleştiğinde “hidrolik bağlayıcı” özellik kazanan bir hammaddedir [66].

Çimento kelimesi, Latince’deki “coementum” kelimesinden Avrupa dillerine “cement, ciment, zement” şeklinde geçmiş olup, Türkçe’ye İtalyanca’daki “cemento” kelimesinden geldiği tahmin edilmektedir. Bu kelimeler Avrupa dillerinde çimentoyu ifade etmek için kullanıldığı gibi daha genel olarak “bağlayıcı” anlamında da kullanılmaktadır. Su ile karıştırıldıklarında havada veya su altında sertleşebilen (kitle oluşturan) ve sertleştikten sonra suda çözünmeyen bağlayıcı maddelere hidrolik bağlayıcılar denilmektedir [67].

Tablo 2. Dünya çimento üretimi [68].

Ülke	Çimento Üretimi (Milyon ton)								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Çin	661	1236	1361	1388	1644	1881	2063.2	2137	2359
Hindistan	102	159	170	185	205	220	270	239	272
Avrupa Birliği	225	264	271	251	201	191	195	159	157
ABD	88.9	98.2	95.5	86.3	63.9	65.2	68.6	74	77
Brezilya	39.4	41.4	45.9	51.6	51.7	59.1	63	68	71.9
Türkiye	30	47.4	49.3	51.6	54	62.7	63.4	63.8	70.8
Rusya	28.7	54.7	59.9	53.5	44.3	50.4	56.1	53	55.6
Japonya	75.9	69.9	67.8	63	54.9	51.7	51.5	59.2	61.7
Kore	52	49.2	52.2	51.7	50.1	47.4	48.2	46.9	47.3
Suudi Arabistan	20	27	30.3	37.4	37.8	42.5	48	43	48
Endonezya	31.1	33	35	38.5	36.9	39.5	45.2	53.5	47
Meksika	33.2	37.9	38.8	37.1	35.1	34.5	35.4	36.2	37
Almanya	32.1	33.6	33.4	33.6	30.4	32..3	33.5	32.4	31.5
İtalya	39.8	47.8	47.5	43.3	36.4	34.4	33.1	26.2	23.1
Fransa	19.1	22	22.1	21.2	18.1	18	19.4	18	17.5
Kanada	12.1	14.3	15.1	13.7	11	12.4	12	12.5	12.1
Arjantin	5.5	8.9	9.6	9.7	9.4	10.4	11.6	10.7	11.9
Güney Afrika	8.4	13.1	13.7	13.4	11.8	10.9	11.2	13.8	14.9
Avustralya	6.8	9.2	9.2	9.4	9.2	8.3	8.6	9.8	10.5
Birleşik Krallık	11.9	12.1	12.6	10.5	7.8	7.9	8.5	7.9	8.2

Çimentoların, yapımında kullanılan hammaddelerin bileşim, niteliklerine uygulanan teknoloji ile pişme durumları, katkı maddelerine göre kendilerine has özellikler gösteren pek çok çeşitleri vardır. Bunların büyük bir kısmı özel ve belirli amaçlar için kullanılmakta olup, Portland çimentosuna göre önemsiz sayılabilecek derecede ve çok az üretimleri yapılmaktadır. Tablo 2’de yıllara göre Dünya çimento üretim miktarları verilmiştir.

1.5.4.1. Portland Çimentosu

1824’de İngiltere’nin Leeds kentinde Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirip öğüterek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum katıldığında ortaya çıkan malzemenin İngiltere’nin Portland Adasından elde edilen yapı taşlarına benzediğini gören Aspdin elde ettiği bu bağlayıcıya “Portland Çimentosu” adını vermiş ve patentini almıştır. Daha sonra bu malzeme 1845’de Isaac Jhonson tarafından kil ve kalker karışımı yüksek sıcaklıkta pişirilince bu günkü çimento özelliklerine çok yakın olan bir bağlayıcı elde edilmiştir [69; 70].

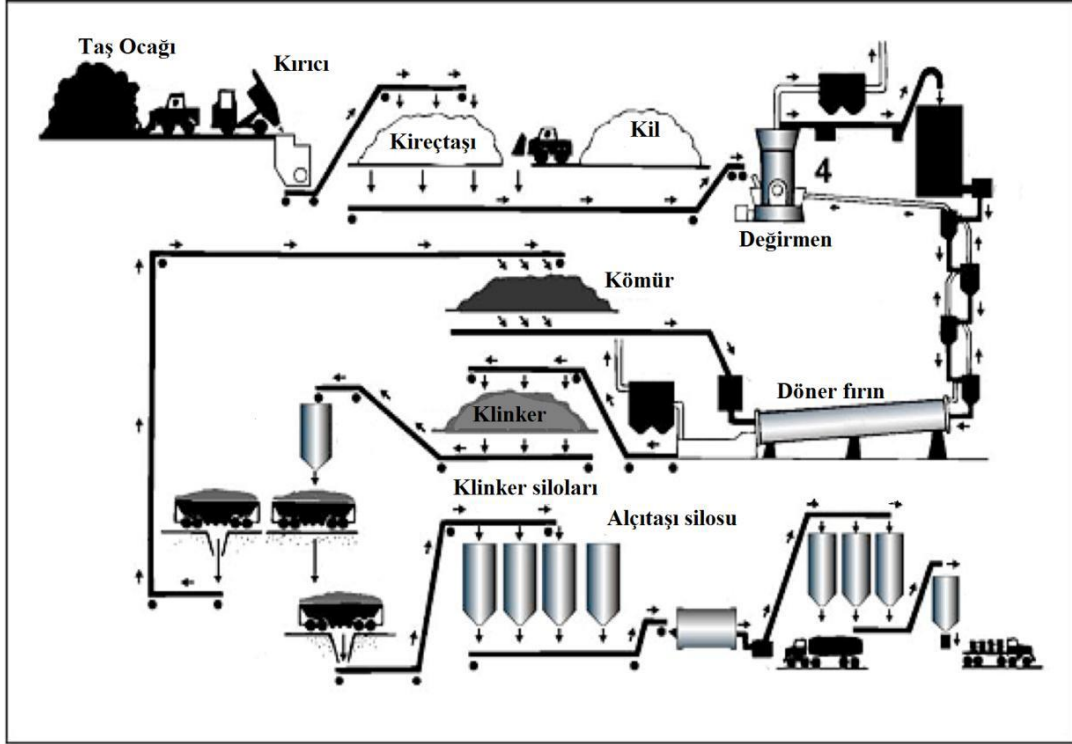
1.5.4.1.1. Portland Çimentosu Üretimi

Portland çimentosunun üretiminde iki grup hammadde kullanılır; bunların birincisi kireçtaşı, marn gibi kalkerli malzemeler, ikincisi ise içerisinde önemli miktarda silis bulunan kil, şeyl, şist, kum gibi killi malzemelerdir. Bu iki grup hammadde dışında çimento içerisinde ani prizi önlemek için %3-6 oranında alçıtaşı ve doğal yâda yapay puzolanlar da (tras, tuf, uçucu kül, curuf, vs) ilave edilir.

Kalkerli malzemeler çimentonun yaklaşık 3/4’nü oluştururken geri kalanını ise killi malzemeler oluşturur. Puzolanların kullanılması ile bu oranlar değişir. Kalkerli ve killi hammaddeler uygun oranlarda bir arada öğütülmektedir. Bu durumdaki hammaddeye Fransızca’da un anlamına gelen farin denilir. Bu karışım kendi eksenini etrafında %3-4 derece eğimle dönen fırınlarda 1350-1500 °C sıcaklıkta pişirilir. Hammadde, fırına su ile ıslatılarak çamur halinde yâda kuru olarak verilebilir. Kuru yâda ıslak süreç olarak adlandırılan üretim sistemlerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Döner fırında sıcaklık etkisiyle hammadde içerisindeki kalkerin ayrışması sonucu sönmemiş kireç

(CaO) ve kilin ayrışması sonucu da silisyum dioksit (SiO_2), alüminat (Al_2O_3) ve demiroksit (Fe_2O_3) meydana gelir.

Fırın sonuna doğru sıcaklığın artması ile oluşan reaksiyonlar sonucu klinker olarak adlandırılan ve yapısında çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran silikatlar ve alüminatlar bulunan bir malzeme meydana gelir. Döner fırından çıkan klinker soğutulduğunda henüz bağlayıcılık özelliği yoktur. Bu nedenle değirmenlerde öğütülerek toz haline getirilir. Öğütülme sırasında klinker içerisine %3 ile %6 oranında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilave edilerek birlikte öğütülür. Alçıtaşı ilavesi çimentonun priz süresini düzenlemek amacıyla yapılmaktadır. Daha sonra tane boyutu 90 ile 6.5μ arasında değişen çimento elde edilir [70; 71]. Çimento üretim iş akışı süreçleri Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Çimento üretimi şematığı [72].

Kalker ve killi malzemeler döner fırına yüklendikten sonra sıcaklığın etkisiyle sırasıyla aşağıdaki olaylar meydana gelir;

1. Önce, hammadde içerisinde bulunan serbest su (rutubet) $100 \text{ }^\circ\text{C}$ civarında buharlaşır.

2. Kilin yapısında bulunan en önemli madde $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ kimyasal formülündeki kaolin olup, 500-600 °C sıcaklık civarında su molekülünden ayrılır ve kaolin (SiO_2) ve amorf alümina'ya (Al_2O_3) dönüşür.
3. 600-700 °C sıcaklıklarda kalker içerisinde az miktarda magnezyum karbonat (MgCO_3) bulunması durumunda bu madde ayrılarak magnezyum oksit (MgO) haline dönüşür.
4. 900 °C civarında kalsiyum karbonat (CaCO_3) sıcaklık etkisiyle ağırlığının yaklaşık %44'ünü oluşturan karbondioksiti (CO_2) kaybederek sönmemiş kirece (CaO) dönüşür.
5. 900-1200 °C sıcaklıklarda sönmemiş kireç, silis ve alümina arasında kimyasal reaksiyonlar başlar ve kireç ile silisin reaksiyonu sonucunda kalsiyum silikatlar, sönmemiş kireç ile alüminanın tepkimesi sonucunda ise alüminatlar meydana gelir.
6. 1250-1280 °C'ler arasında oksitlerin eriyik haline dönüşmeye başlamasından sonra çimento bileşenleri ortaya çıkar.
7. Sıcaklığın artması ile bu tepkimeler daha hızlanarak başlı başına bir ürün olan klinker meydana gelir [71, 73]. Çimentonun ana bileşenleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Portland çimentosu ana bileşenleri [71].

Ana Bileşenler	Kimyasal Formülleri	Sembolleri	Miktarı (%)
Trikalsiyum silikat (alit)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	50
Dikalsiyum silikat (belit)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	25
Trikalsiyum alüminat (celit)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	12
Tetra kalsiyum alüminoferrit (felit)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8
Alçı taşı	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH_2	3.5

Döner fırında sıcaklığın etkisiyle oluşan tepkimeler sonucu çimentonun dört ana bileşeni oluşur. Silisyum dioksit (SiO_2) kireç ile birleşerek kalsiyum silikatlar meydana getirir. Alüminyum oksitin (Al_2O_3) kireç (CaO) ile birleşerek dört farklı kalsiyum alüminanın oluşmasına neden olur. Demir oksitin alümina ve sönmemiş kireç ile tepkimesi sonucu da tetrakalsiyum alümina ferrit (C_4AF) meydana gelir.

Döner fırındaki tepkimeler sonucu çimentonun çok büyük bir kısmını trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat ve tetrakalsiyum alüminaferrit oluşturur [70, 71, 74]. Çimento tipleri ve kullanım alanları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Çimentoların tipleri ve kullanıldığı yerler [75].

Çimento Tipi	Özellikler ve Kullanım Yeri	Ana Bileşenler (%)			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
CEM I	Normal portland çimentosu. Her türlü beton yapımında; genel amaçlar için kullanılır.	49	25	12	8
CEM II	Portland kompoze çimentosu. CEM I'e göre daha az hidrasyon ısı ve daha çok sülfat dayanımına sahiptir.	46	29	6	12
CEM III	Portland yüksek fırın cürufu çimentosudur. İlk dayanımı yüksektir. Erken dayanım gerektiğinde kullanılır.	56	15	12	8
CEM IV	Puzolanik çimento. Düşük ısı çimentodur. Temel, istinat duvarları, barajlar gibi hidrasyon ısı yayılımının az olması gereken kütle betonu dökümlerinde kullanılır.	30	46	5	13
CEM V	Kompoze çimentodur. Sülfata dayanıklıdır. Aşırı sülfatlara maruz beton işlerinde kullanılır.	43	36	4	12

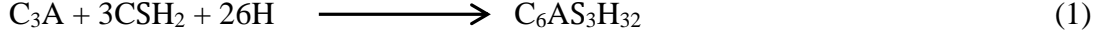
1.5.4.1.2. Çimentonun Hidrasyon Reaksiyonu

Çimento ile suyun birleşerek kimyasal reaksiyon oluşturması olayına çimentonun hidrasyonu denilmektedir. Çimento ile sudan oluşan çimento hamuru başlangıçta plastik bir yapıya sahiptir. Hidrasyon iki malzemenin birleştiği andan itibaren başlamakta ve devam etmesiyle katılaşır sert bir yapıya dönüşmektedir [76]. Çimento hidrasyonu yaklaşık 100 saatte tamamlanmış gözükse de yıllarca devam eden bir olaydır. Bu olaya hidrasyon kinetiği denilmektedir. Hidrasyonun bir başka özelliği ise bunun ekzotermik bir tepkime olmasıdır [77].

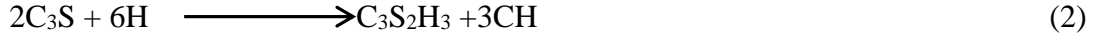
Hidrasyon reaksiyonu çimentonun su ile karıştırıldığı andan itibaren başlamakta ve karıştırma (1.), uyku (2.), sertleşme (priz) (3.), soğuma (4.) ve yoğunlaşma (5.) süreci olmak üzere 5 aşamadan oluşmaktadır. Şekil 16'da çimentonun hidrasyon reaksiyonun aşamaları görülmektedir [78].

Su ve çimentonun karıştırılmasıyla (karıştırma aşaması); alüminatlar ve alçıtaşı suda çok hızlı çözünür ve birkaç dakika içinde tepkimeye girer. Hızlı tepkime sonucu oluşan bileşikler yüksek ısı çıkışına neden olmaktadır. Klinkere eklenen alçının çok hızlı çözünmesi sonucu çözülmüş alüminatlar ve su ile tepkimeye girerek çimento taneciklerinin etrafında jelimsi bir tabaka oluşturur. Bu jelimsi tabaka alüminatların çok hızlı bir şekilde tepkimesini engeller ve sıcaklığı büyük ölçüde düşürür ve betonun ani priz

yapması engellemektedir [78]. 1 no'lu denklemde görüldüğü gibi trikalsiyum alüminat (C_3A), alçıtaşı ve suyun reaksiyonu sonucu etrenjit meydana gelmektedir.



Bu karıştırma aşamasını (1. aşama) daha az hidratasyonun gerçekleştiği uyku aşaması (Dormant Periyodu) denilen 2. aşama takip etmektedir. Bu aşama boyunca çimento plastik bir haldedir. Bu periyotta ısı çıkış hızı hemen hemen sabit kalmaktadır. Ancak, bu hiçbir tepkimenin olmadığı anlamına gelmez. Aksine çimento bileşenleri çözünmeye ve karışım suyu kalsiyum (Ca) ve hidroksil (OH-) iyonları ile doymaya devam etmektedir. İlk priz (Sertleşme) 2 ile 4. saatler arasında C_3S 'in yüksek oranda hidratasyonu ile uyku aşamasının sonunda 3. ve 4. aşamanın başlangıcında başlamaktadır. C_3S aşağıdaki tepkimede verildiği gibi tobermorit denilen, son yıllarda kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) olarak tanımlanan bir ürün ile kristal yapıya sahip kalsiyum hidroksit bileşiği (CH) meydana getirmektedir.



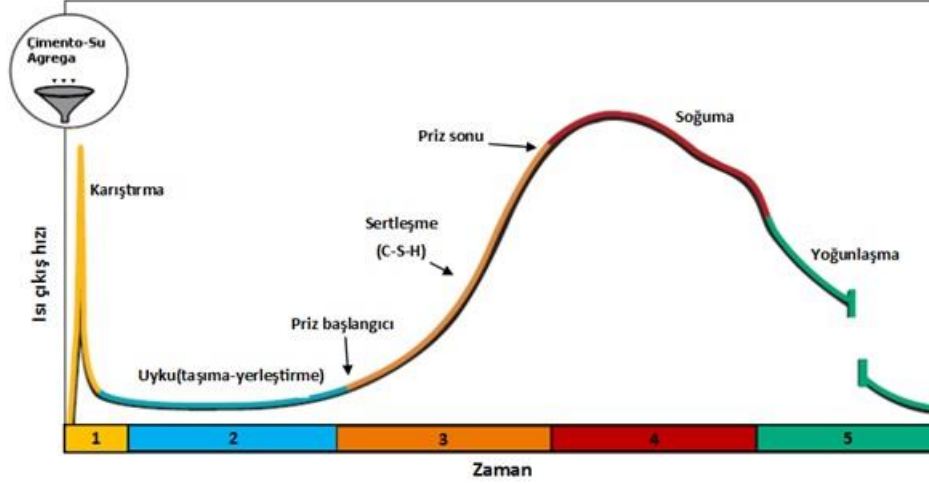
Bu reaksiyon devam ederken maksimum düzeyde hidratasyon ısı verilir. Bu ısının azalması ile dikalsiyum silikat aşağıdaki denklemde görüleceği üzere benzer ürünleri vermek üzere tepkimeye girmektedir.



C_3S ' in meydana getirdiği C-S-H miktarı C_2S 'in meydana getirdiği ürünün yaklaşık 5 -6 katıdır [71, 78].

C_3A 'nın tepkimeleri sonucu hidrogarnet (C_3AH_6) adı verilen kübik kristalli bir bileşik meydana gelir. Kristalleşmenin meydana gelmesi için uzunca bir süre geçmesi gereklidir. Tetrakalsiyum alüminaferrit (C_4AF) bileşiğinin hidratasyon hızı daha yavaş olmakla birlikte C_3A 'nın hidratasyonu gibidir. Alçıtaşı ve su C_4AF ile reaksiyona girerek kübik kristal sisteme sahip hidrogarnet (C_3AH_6) bileşiği meydana gelir. C_4AF , C_3A gibi hiçbir zaman ani olarak hidrate olmaz. C_4AF bileşeni yüzde olarak çimentonun en küçük bileşiği

olması nedeniyle sonuçlar üzerinde çok etkili olamaz. C_4AF ve C_3A 'nın tepkimeleri C_3S ve C_2S 'in tepkimeleri meydana gelirken gerçekleşir [71, 73, 74].



Şekil 16. Çimentonun hidratasyon aşamaları [78].

Hidratasyonu tamamlanmış bir Portland çimentosunun boşluklar dışındaki çimento hamuru hacminin %58'ini C-S-H, %27'sini $Ca(OH)_2$ ve %15'ini de diğer hidratasyon ürünleri oluşturmaktadır [77].

1.5.4.1.2.1. Odunun, Çimento Hidratasyonuna Etkisi

Çimentolu odun kompozitleri üretiminde en büyük sorun odun ve çimento arasındaki uyumsuzluktur. Bu durum odunun ihtiva ettiği kimyasalların bileşimi ve üretimde kullanılan odunun miktarına bağlıdır. Odunun bazı çözülebilir kimyasalları çimentonun hidratasyonunu engellemekte veya durdurmaktadır. Bu durum, saf çimento ile karşılaştırıldığı zaman daha düşük mekanik direnç ile sonuçlanmaktadır [79, 80]. Dolayısıyla, odun çimento uyumsuzluğu çimentolu odun kompozitlerinin üretiminde odun türlerinin pratik uygulamasını sınırlayabilmektedir.

Portland çimentosu hidratasyonu üzerinde odunun engelleyici etkisi iki şekilde açıklanmaktadır. Birincisi, çeşitli organik bileşikler içeren ekstraktif maddeler, çimento çözeltisindeki metal iyonları ile kompleks oluşturarak çimentodaki Ca^{2+} iyonlarının konsantrasyonunun azalmasına neden olmakta ve çözeltinin kararlılığını bozmaktadır. Buda $Ca(OH)_2$ ve CSH jelinin çekirdeklenme başlangıcını geciktirmektedir [81]. İkincisi ise;

organik bileşikler çimento tanecikleri yüzeyinde ince bir adsorpsiyon tabakası oluşturmakta ve hidrasyonu yavaşlatmaktadır [82, 83].

Odun ekstraktifleri, farklı bileşiklerden oluştuğu için çimento hidrasyonuna da etkisi farklı olmaktadır. Odunda bulunan şeker ve nişasta, odun ve çimento arasındaki uyumsuzluğa neden olan en önemli bileşiklerdir [84]. Fakat her şeker türü çimento hidrasyonu üzerinde aynı derecelerde etki etmemektedir. Örneğin; sakkaroz ve glukoz çimento hidrasyonunu en fazla engelleyen şeker türleri olup, sakkaroz glukozdan daha çok engelleyici etkiye sahiptir. Bu durum halka yapısına sahip sakkarozun, zincir yapısına sahip glukozdan daha güçlü sterik engellemeye neden olmasından kaynaklanmaktadır [85, 86]. Fruktoz gibi şekerler yaklaşık %0.50 gibi yüksek konsantrasyonlarda dahi çimentonun özelliklerini etkilemezken, glikoz gibi şekerler yaklaşık %0.25 konsantrasyonda bile çimento hidrasyonunu tamamen geciktirici etki yapmaktadır. %0.125 konsantrasyona kadar rafinoz gibi şekerler ise çimento hidrasyonunu hızlandırmaktadır [87].

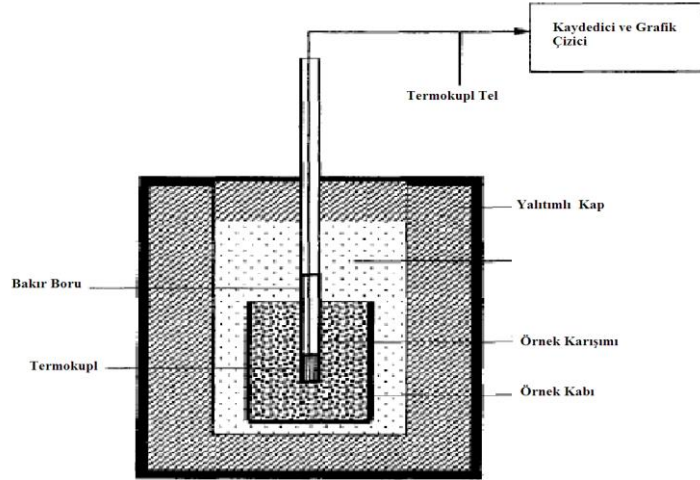
Suda çözünebilen hemiselülozlar, alkali çimento pastasında hidroliz olarak karboksilik aside dönüşmektedir. Bu durum çimento hidrasyonunu alkali degradasyon ürünleri odun ekstraktiflerinden 3 kat daha fazla engellemektedir. %0,1 gibi küçük miktarlardaki hemiselüloz, çimento hidrasyonunu önemli derecede etkileyerek çimento pastasında büyük direnç kayıplarına neden olmaktadır. Diğer taraftan, pentozların (ksiloz, arabinoz) çimento üzerinde daha az etkiye sahip oldukları görülmüştür [44, 88]. Buna ilaveten, asetik asit ve fenolik bileşiklerin çimentonun hidrasyonu üzerinde etkisi olmazken; tanen eser miktarda da olsa hidrasyonu engelleyebilmektedir [89]. Weber [90] ve Beyler [91], kaliteli bir odun-çimento kompoziti üretimi için toplam şeker oranının %0.6'yı geçmemesi gerektiğini önermektedirler.

1.5.4.1.2.2. Hidrasyon Isısının Belirlenmesi

Odun-çimento kompozitlerinde “uyumluluk” terimi, su ve belli bir miktar odunun çimento ile karışmasından sonra çimentonun sertleşme derecesi olarak ifade edilebilir. Genel olarak çimentoya odun karıştırıldığı zaman çimentonun sertleşmesinde bir kısıtlama olmazsa çimento ile bu odunun uyumlu olduğu, aksi durumda ise uyumsuz olduğu ifade edilmektedir [92]. Çimento ile odunun uyumsuz olması elde edilecek ürünün fiziksel ve mekanik direnç değerlerinde azalmaları meydana getirecektir.

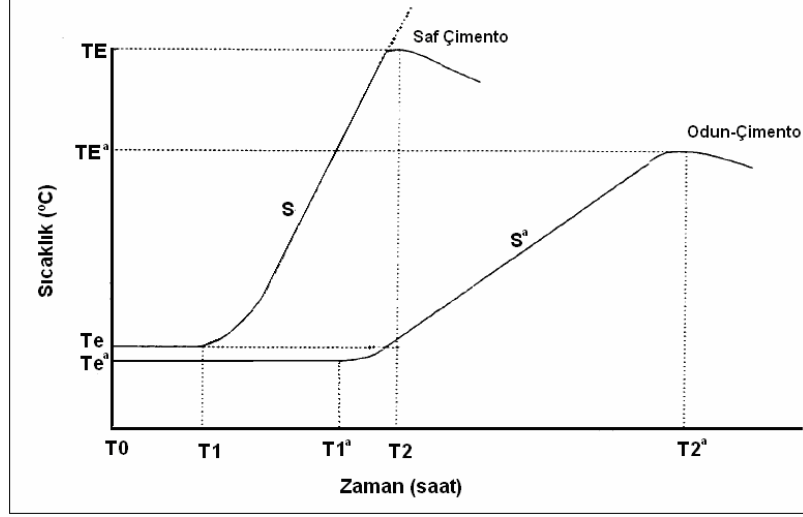
Çimento hidratasyonu ekzotermik bir reaksiyon olması nedeniyle ortamda bir ısınma meydana gelmektedir. Kısıtlanmış reaksiyonlar daha düşük hidrasyon sıcaklığı ve daha uzun hidrasyon süresi göstermektedir. Çimentolu odun kompozitlerinde istenilen direnç değerlerine ulaşmakta bazı problemler söz konusudur. Odun içerisindeki ekstraktif maddeler ve şeker yapıları çimento hidrasyonunu geciktirerek kristalin yapıların değişmesine neden olmaktadır [92].

Sanderman vd. [95], çimento hidrasyonu sonucu açığa çıkan sıcaklık artışını zamana göre ölçerek odun-çimento kompozitlerinin başlangıç hidrasyonu belirlemek için bir metot bulmuşlardır. Weatherwax ve Tarkow [45] ve Moslemi vd [96]; bu metodu geliştirerek, odun türlerinin çimento ile uyumluluk derecelerini belirlemek için, inhibitör indeksi olarak tanımladıkları bir metot geliştirmişlerdir. Hofstrand vd. [97], inhibitör indeksi hesaplamasında; saf çimento ve odun-çimento karışımı sıcaklık eğrisinin maksimum sıcaklık ve eğimini kullanmışlardır. Bu yöntemde, önce 200 gr çimento, 15gr fırın kurusu odun unu ve 90 gr su karıştırılmakta ve sonra bu karışım Şekil 17'deki gibi termokupla sahip ve yüksek izolasyonlu bir kabın içerisine yerleştirilmekte ve 24 saat süreyle odun-çimento karışımındaki zamana bağlı sıcaklık değişimi kayıt edilerek Şekil 18'deki gibi bir hidrasyon eğrisi oluşturulmaktadır.



Şekil 17. Çimento hidrasyonu ısısının belirlenmesi [94].

Şekil 18'deki hidrasyon eğrisinden yola çıkılarak aşağıdaki 4 no'lu hidrasyon formülünü elde etmiştir. Tablo 5'te, Garcia [98] tarafından yapılan odunların inhibitör indeksi değerlerine göre uyumluluk sınıflandırılması verilmiştir [99].



Şekil 18. Tipik bir hidrasyon eğrisinin şematik yapısı [97].

$$I = 100X \left(\frac{T_2^a - T_2}{T_2} \right) X \left(\frac{TE^a - TE}{TE} \right) X \left(\frac{S - S^a}{S} \right) \quad (4)$$

Burada;

I: İnhibitör indeksi (%)

TE: saf çimentonun maksimum sıcaklığı

TE^a: Çimento odun karışımının maksimum sıcaklığı

T₂: Saf çimentonun maksimum sıcaklığa ulaşma zamanı

T₂^a: Çimento odun karışımının maksimum sıcaklığa ulaşma zamanı

S: Saf çimento için maksimum eğim

S^a: Çimento odun karışımı için maksimum eğimdir.

Tablo 5. Çimentolu odun kompozitlerinin inhibitör indeksine göre sınıflandırılması [98].

İnhibitör indeksi (%)	İnhibite Düzeyi
I < 10	Düşük
I = 10-50	Orta derece
I = 50-100	Yüksek
I > 100	Aşırı

Papadopoulos [46], bazı ağaç türlerinin inhibitör indeksi değerlerini yukarıdaki yöntem'e göre belirlemiştir. Çalışmada Tip 1 Portland çimentosu kullanılmıştır. Odun yongalandıktan sonra 2cm çaplı 42 μ 'luk elekte elenmiştir. 90.5 ml saf su, 200 gr çimento ve 15 gr fırın kurusu odun örneği polietilen bir kap içerisine yerleştirilerek 3 dakika karıştırıldıktan sonra bir termokupl tel ile ağzı yalıtılmış geniş bir kapa yerleştirilmiş ve sonra strafor ile kaplanmıştır. Karışımın sıcaklığı ölçülmüş ve zamana karşı eğrisi çıkarılmış ve inhibitör indeksi yukarıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Bazı ağaç türlerinin inhibitör indeksleri [46].

Ağaç Türü	İnhibitör İndeksi (%)	İnhibite Düzeyi
Servi	57.1	Yüksek
Kayın	52.2	
Gürgen	39.1	Orta Derece
Çam	27.3	
Akçağaç	22.2	
Gök nar	16.5	
Huş	11.5	
Kavak	7.4	Düşük
Kavak-Kök nar (1/1)	12.2	Orta Derece
Kavak-Huş (1/1)	9.5	Düşük
Huş-Gök nar (1/1)	15.3	Orta Derece
Kavak- Gök nar-Huş (1/1/1)	18.9	

Okino vd. [100] yaptıkları bir çalışmada; ön işleme tabi tutulmamış Servi odunu (*Cupressus spp.*) %39.7; sıcak su ile ön işlem görmüş Servi odunu %18.11, ön işleme tabi tutulmamış Servi odunu ile birlikte CaCl₂ kullanıldığında -%0.77; sıcak su ön işlemi uygulanmış Servi odunu ile birlikte CaCl₂ kullanıldığı zaman ise -% 0.04 inhibitör indeksi değeri elde etmişlerdir.

1.5.5. Sertleştirici Kimyasallar

Sertleştiriciler öncelikle betonun direncini artırmak için kullanılırken, odun-çimento kompozitlerinde odunun çimento hidrasyon reaksiyonu üzerindeki olumsuz etkisini

engellemek yada azaltmak amacıyla kullanılmıştır. Sertleştirici kullanımı pratik ve ekonomik olması nedeniyle odun-çimento uyumsuzluğunun giderilmesinde en çok tercih edilen yöntemdir. Sertleştiriciler odun-çimento-su karışımına genellikle su ile karıştırılarak sulu çözelti halinde ilave edilmektedir.

Çimentolu yonga levhalarda sertleştiricilerin kullanımı 1880'lerin başında hidrasyonu hızlandırmak amacıyla CaCl_2 'nin kullanımıyla gündeme gelmiştir. CaCl_2 etkin yapısı ve kolay bulunabilirliği nedeniyle en yaygın kullanılan sertleştiricidir [101].

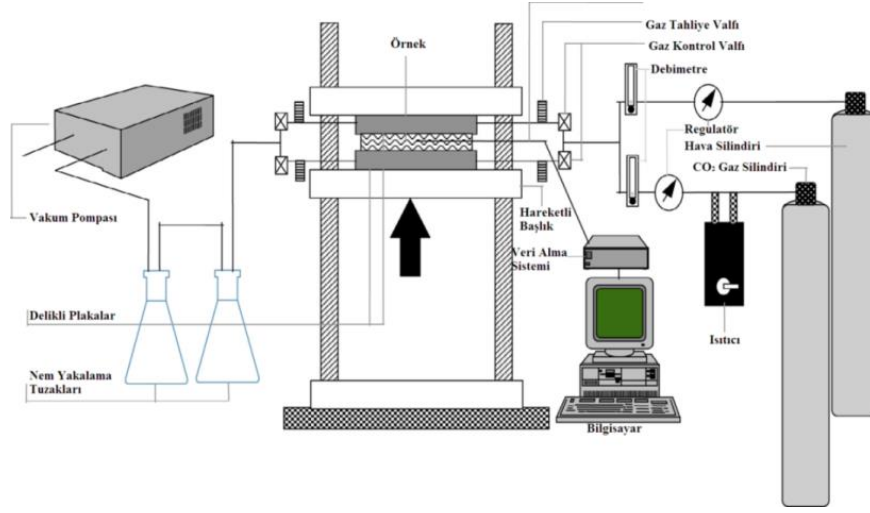
Zhengtian ve Moslemi [102] çimento ile en az uyumlu ağaç türü olan melez (*Larix occidentalis*) öz odunu ile karıştırılmış çimentonun hidrasyon ısısı üzerine klorür ve sülfat içerikli 30 farklı sertleştiricinin etkisini araştırmışlardır. Sonuçta SnCl_2 , FeCl_3 , AlCl_3 ve CaCl_2 gibi klorürlü bileşiklerin; melez odunun çimento hidrasyon ısısı üzerindeki olumsuz etkisini azalttığı belirlenmiştir.

Semple ve Evans [103], akasya (*Acacia mangium*) öz odunu-Portland çimentosu hidrasyonu üzerine; SnCl_4 , AlCl_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$, FeCl_3 , ZrNO_3 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, MgCl_2 , BaCl_2 , NiCl_2 , SrCl_2 , CaCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, PbCl_2 , Na_2CrO_7 , $\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ag}(\text{NO}_3)_2$, Cr_2O_3 ve $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ gibi maddelerin etkisini araştırmıştır. Sn^{+4} , Al^{+3} ve Fe^{+3} kanyonları içeren bileşiklerin çimento hidrasyonunu hızlandırdığını, akasyanın öz odunundaki tanen ile şelat (çelat) kompleksinin meydana getirildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca bu kanyonları içeren bileşiklerin, şelat (çelat) oluşturmayan CaCl_2 bileşiğinden daha yüksek hidrasyon değerleri verdiği tespit edilmişlerdir.

Soriano vd [104], $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CaCl_2 ve Na_2SiO_2 sertleştiricilerini, akasya (*Acacia mangium*) odunun çimento hidrasyon reaksiyonu üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılmasında kullanmışlardır. Sonuçta, Alüminyum sülfat [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] bileşiğinin diğer sertleştiricilere göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, Eusebio vd. [103] okalıptüs odunu ile çimentolu kompozit üretiminde sertleştirici olarak CaCl_2 ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanmış ve kalsiyum klorür bileşiğinin, alüminyum sülfata göre, levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini daha olumlu şekilde etkilediğini belirlemiştir.

Sulastiningsih vd. [106], bambu-çimento levhalarının üretiminde bambunun hidrasyon reaksiyonu üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak amacıyla 5 farklı oranda (%0, %2.5, %5, %7.5 ve %10) MgCl_2 kullanmışlar ve %5'e kadar MgCl_2 kullanım oranı arttıkça levhanın özelliklerinde iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Fakat %5'ten sonra MgCl_2 kullanım oranı arttıkça levhanın direnç özelliklerinde azalma meydana gelmiştir.

Reçine esaslı levhalarda presleme süresi 6-7 dk gibi çok kısa bir süre olurken, sahip olduğu uzun sertleşme süresi nedeniyle çimentolu odun kompozitlerinin 8-24 saat gibi uzun süreyle basınç altında tutulması gerekmektedir. Bu durum endüstriyel uygulamaların verimliliği açısından önemli bir dezavantaj olarak görülmektedir. Çimentonun bu çok uzun süreli reaksiyonunu hızlandırmak ve sertleşme süresini 8-24 saatten 5 dakikanın altına indirmek için karbon dioksit (CO_2) enjeksiyon yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem, çimentolu odun kompozitlerin preslemesi esnasında alt ve üstten levha tabakası içerisinde karbon dioksit gazı geçirilmek suretiyle gerçekleştirilmektedir [107, 108]. Şekil 19'da CO_2 enjeksiyon yönteminin şematik görünümü verilmiştir [56].



Şekil 19. CO_2 enjeksiyon yöntemi [56].

Karbon dioksit levha taslağına enjekte edildiği zaman, suda çözünerek karbonik asit (H_2CO_3) meydana gelmektedir. Bu karbonik asit, trikalsiyum silikat (C_3S) ile birkaç dakika içinde çok güçlü bir reaksiyon vermektedir. Bu reaksiyon çimentonun normal hidratasyon reaksiyonunda birkaç saat sürerken, CO_2 ile birkaç dakikada gerçekleşmektedir. Tek farklılık reaksiyon ürünü olarak kalsiyum hidroksit [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] yerine kalsiyum karbonat (CaCO_3) yani kalsit meydana gelmesidir. Reaksiyondan birkaç dakika sonra kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeli karbonatlaşma reaksiyonuna devam etmektedir [56]. Böylece çimentonun normal hidratasyon reaksiyonu sonucu elde edeceği direncin %50'sinden daha fazlasını CO_2 enjeksiyonu ile ilk 4-5 dakikada elde edilebilmektedir [109]. Bu yöntem kısa

zamanda daha yüksek dirençli levha üretimine imkân verirken, üretim maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır.

1.5.6. Çimentoya İkame Malzemelerin Kullanımı

1.5.6.1. Kâğıt Fabrikası Atık Çamuru

Nüfus ve kentleşmenin artması, teknolojik yenilikler ve yaşam standartlarının yükselmesi endüstriler tarafından üretilen katı atıkların hem miktarını hem de çeşitliliğini arttırmaktadır. 2025’de Dünya’daki toplam atık miktarının 19 milyar ton olacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, endüstriyel atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği küresel bir sorun teşkil etmekte ve zararlı atıkların yönetimi insanoğlunun karşılaştığı en büyük problemlerden birisi olmaktadır [112, 113].

Dünyada kâğıt-karton üretimi 390,7 milyon ton’dur. Türkiye’nin üretimi ise 2.5 milyon ton kâğıt-karton üretimi ile Dünya sıralamasındaki yeri 25. sıradadır. 2010 yılı sonunda kâğıt-karton üretim kapasitesi, 3.687.500 ton/yıl’a ulaşmıştır [112]. Bir ton kâğıt üretiminden yaklaşık 35-45 kg atık çamur açığa çıkmaktadır. Bu atık çamur; selüloz lifleri ve kaolin, kil ve kalsiyum karbonat gibi inorganik materyaller içermektedir [113]. Bu nedenle katı atık materyalleri arasında kâğıt fabrikası atık çamuru miktarlarının çok fazla olmasından ve bulunduğu bölgede kötü bir konu oluşturmasından dolayı çevre üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olup, geri kazanılması büyük bir önem arz etmektedir.

Fernandez vd. [114]’nin kâğıt fabrikası atık çamurundan çimentolu lif levha üretiminde değerlendirilmesinin irdelendiği çalışmalarında; özellikle yüksek biyolojik aktivitesi ve içerisindeki atık lif ve kum bulunan kâğıt atıkları ve Portland çimentosunu 60/40 ve 50/50 oranlarında karıştırılarak çimentolu lif levha üretilmişlerdir. Levhaların direnç değerlerinin piyasadaki normal çimentolu lif levhaların direnç değerlerine yakın olduğu belirlenmiştir.

Fava vd. [115], kâğıt fabrikası arıtma suyu çamurunun yakılması sonucu elde edilen külün Portland çimentosuna ikame olarak %10 oranında kullanılması sonucu üretilen levhanın mekanik özelliklerinde iyileşmelerin olduğunu tespit etmişlerdir.

Dönmez Çavdar vd. [116], çimentolu yongalevha üretiminde Portland çimentosuna %10, %20 ve %30 oranlarında kâğıt fabrikası atık çamuru kullanmışlardır. Levhaların fiziksel özellikleri üzerinde önemli bir değişiklik olmazken, mekanik özelliklerinde bir

iyileşmenin olduğu gözlemlenmiştir. Kâğıt fabrikası atık çamurunun çimentolu levha üretiminde belli oranlarda kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

1.5.6.2. Uçucu Kül

Uçucu kül, termik santrallarda elektrik enerjisi üretimi için yakıt olarak kullanılan pulverize kömürün yakılması sonucunda yan ürün olarak elde edilmektedir. Kalsiyum oksit, demir oksit, magnezyum oksit, karbon gibi maddelerin dışında çok yüksek miktarda silika ve alümina içeren ve amorf yapıya sahiptir [75, 117].

Diğer puzolanik maddeler gibi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tepkimelerinde hidrolik bağlayıcı nitelik kazanmaktadır. Diğer taraftan yanmış karbon kalıntılarını da içermesi olasıdır. Bu da çimento ve beton mukavemetlerine olumsuz yönde etki eder. Uçucu küllerin spesifik yüzeyi ne kadar büyükse reaktivitesi de o kadar yüksek olmaktadır. Kül partiküllerin tane boyu ise 0.5-200 μ arasında olmaktadır [72].

Christy ve Tensing [118]; çimentoya ikame olarak %10, %20, %25 ve %30 oranında uçucu kül kullanarak ürettikleri beton özelliklerinde, %20'ye kadar silis dumanı kullanmışlar ve önemli iyileşmeler elde etmişlerdir.

Subaşı vd. [119] çimentoya %5, %10 ve %20 oranlarında uçucu kül ikame edilerek elde ettikleri betonları 100, 200, 300, 400, 500 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılarak dayanımları ölçülmüşlerdir. %5 oranında uçucu kül ikamesi ile çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşmeler sağlandığını, %10'a kadar uçucu kül ikamesi ile çimento harçları yüksek sıcaklık etkisinden daha az zarar gördüğünü belirlemişlerdir.

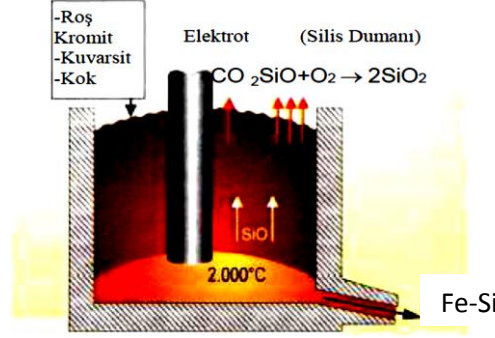
Lie vd. [120] buğday sapı ve Portland çimentosu karışımına çimento ağırlığının %10'u miktarında uçucu kül ekleyerek çimentolu levha üretmişlerdir. Uçucu külün levhanın direnç değerlerini artırdığını rapor etmişlerdir.

1.5.6.3. Silis Dumanı [SD]

Silis dumanı; silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen ana bileşeni 1 μm 'den küçük, küresel,

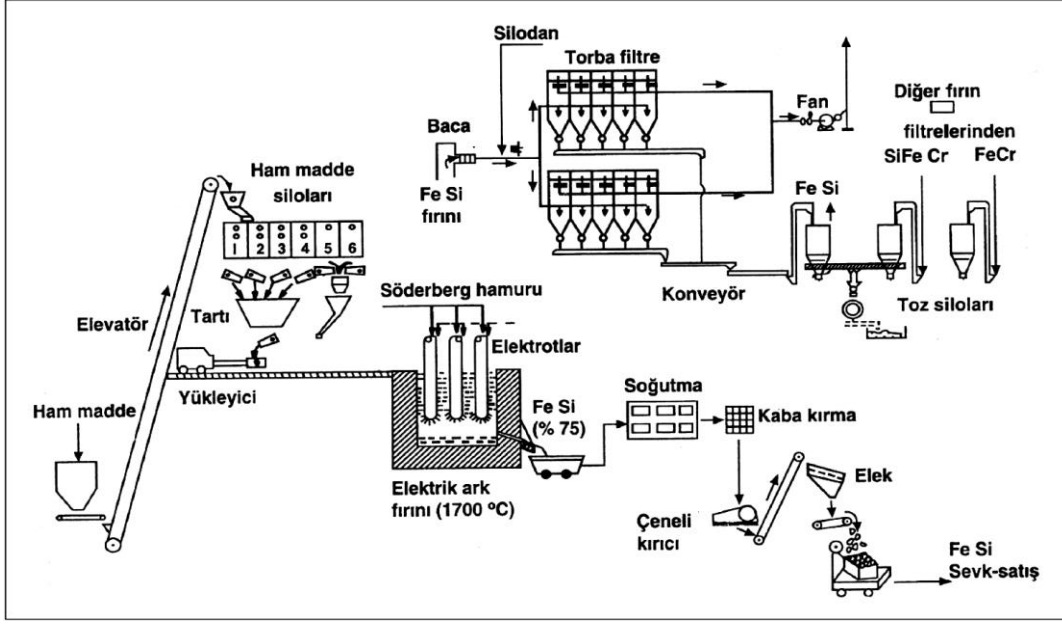
amorf, camsı silis (SiO_2) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür [14,15].

Fırınlarda düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde SiO_2 gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf SiO_2 olarak yoğunlaşarak silis dumanı bileşiminin hemen tamamını oluşturur.



Şekil 20. Elektrik-ark fırınında silis dumanı oluşumu [119].

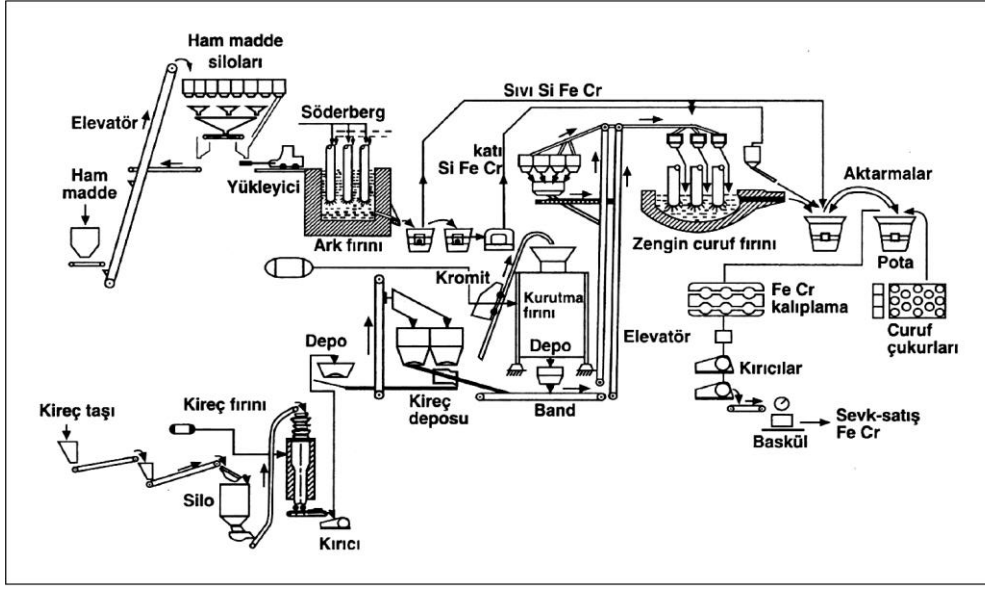
Üretim sürecinde %95 civarında SiO_2 içeren kuvarsit, demir-çelik hurdası veya demir cevheri ile metalürjik kottan oluşan hammaddeler belirli oranlarda tartılıp karıştırıldıktan sonra 600 kVA gücündeki elektrik ark-direnç fırınına sevk edilir (Şekil 20). Bu fırınlarda elektrot malzemesi olarak antrasit ve ziftten oluşan söderberg hamuru kullanılır. Demir ve silisyum oksitler karbon ile indirgenerek ferrosilisyum alaşımını oluştururlar. Fırın tabanında biriken alaşım uygun aralıklarla oluklardan alınarak kalıplarda soğutulur, kırılıp ufak parçalar halinde piyasaya sunulmaktadır. Şekil 21’de tipik bir ferrosilisyum üretimi verilmiştir. Şekildeki şemanın üst kısmında görüldüğü gibi fırın bacasından çıkan ve torba filtrelerde toplanan baca tozu (silis dumanı) silolarda birikmektedir [15]. Silis dumanı olarak nitelendirilebilen diğer bir baca tozu ise; silikoferrokrom (SiFeCr) üretimi sonucu elde edilmektedir. Silikoferrokromun tipik üretim şeması Şekil 22’de ferrokrom (FeCr) alaşımı üretimi ile birlikte görülmektedir.



Şekil 21. Ferrosilisyum üretimi ve baca tozlarının toplanması [15].

Kromsit, kuvarsit, eritici olarak kullanılan kireç ile boksit katkısı ve metalürjik kok ile elektrik ark fırınına beslenir. Fırında oksitlerin indirgenmesi sonucu SiFeCr alaşımı tabanda birikirken yüzeyde sıvı bir cüruf tabakası oluşur. Metal alaşım ve cüruf uygun aralıklarla oluklardan alınarak birbirlerinden ayrılır [15].

Baca tozu olarak özel filtrelerde tutulup toplanan silis dumanının çoğunlukla küresel olan tanelerinin ortalama çapları $0.1 \mu\text{m}$ civarındadır. Bu, çimento tanecik çapının $1/100$ 'ü kadardır. Yüksek oranda amorf silis içermesi ve çimento ile uçucu küllerden çok daha ince olması sebebiyle silis dumanı çok aktif bir puzolanik maddedir [122]. Silis dumanının özgül ağırlığı yaklaşık 2200 kg/m^3 'tür. Ancak taze olarak filtre edilmiş un halinin gevşek durumdaki birim ağırlığı sadece 200 kg/m^3 'tür. Toz haldeki silis dumanının kullanılmasındaki zorluktan dolayı, silis dumanı sıkıştırılarak aglomera haline getirilmekte veya sulu formda kullanılmaktadır [123].



Şekil 22. Silikoferrokrom ve ferrokrom üretimi [15].

Kimyasal maddelerin tanecik çaplarının ölçülmesinde özgül yüzey ölçümleri kullanılır. Nitrojen emme yöntemi ile ölçülen silis dumanının özgül yüzeyi 130.000-280.000 cm^2/gr arasında değişmektedir. Betonda kullanılan silis dumanı özgül yüzeyi 200.000 cm^2/gr civarındadır. Silis dumanının tanecik çaplarının inceliği diğer malzemelerle karşılaştırıldığında daha iyi görülmektedir [17]. Örneğin;

Silis Dumanı: $\sim 200.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Tütün Külü : $\sim 100.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Uçucu Kül: $4.000\sim 7.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Normal Portland Çimentosu: $3.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Silis dumanının kimyasal özelliği, üretilen metal yâda alaşımın tipine göre değişmektedir. Ülkemizde, silis dumanı Etibank Elektrometalürji Sanayi İşletmesinin Antalya'daki tesislerinde elde edilmektedir. Tesisin ferrosilisyum (FeSi), silikoferrokrom (SiFeCr) ve kalsiyum kromit (CaCr) fırınlarından özel filtreli toz tutucularla elde edilen silis dumanının özellikleri ve üretim miktarları Tablo 7'de verilmiştir [124].

Tablo 7. Etibank elektrometalürji sanayi baca tozlarının özellikleri [124].

Kimyasal Bileşim (%) ve Fiziksel Özellikler	Ferrosilisyum Fırını	Silikoferrokrom Fırını	Kalsiyum Kromit Fırını
SiO ₂	94.0-95.0	85.0-90.0	4.20-7.00
Al ₂ O ₃	0.40-1.35	0.80-3.00	10.00-11.00
Fe ₂ O ₃	0.40-1.00	0.50-1.40	10.00-11.00
CaO	0.60-1.00	0.90-1.80	26.00-28.00
MgO	1.00-1.50	3.00-3.65	13.00-14.00
Cr ₂ O ₃	-	0.50-1.75	30.00-32.00
S	0.15-0.30	0.40-1.00	0.40-0.80
C	0.80-1.00	1.00-1.50	0.30-0.50
Kızdırma Kaybı	0.50-1.00	1.30-2.50	0.80-1.00
Yığılma Yoğunluk (t/m ³)	0.32-0.34	0.15-0.17	1.30-1.40
Baca Tozu Yıllık Üretim (t)	1800	1200	----

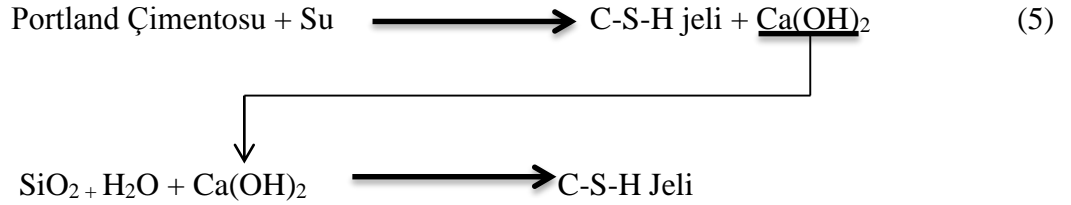
Silis dumanının esas bileşeni kristalize olmayan amorf haldeki silistir. Genelde, beton içinde katkı olarak kullanılan silis dumanının SiO₂ içeriği %85'in üzerindedir. İkinci esas bileşen ise yanmamış karbon kalıntılarıdır. Fe₂O₃ içeriği ise %1-%2 civarındadır. Al₂O₃, SO₃, MgO, Na₂O ve K₂O gibi oksitler ise genelde %1'den az miktarda bulunur [17]. Tablo 8'de silis dumanının bileşimindeki değişimler ülkelere göre verilmiştir [125].

Tablo 8. Silis dumanının kimyasal bileşimi [125].

Bileşenler(%)	Türkiye	ABD	Norveç	Kanada
SiO ₂	93-95	90-93	90-96	89.0-95.0
C	0.8-1	1.3-2.6	10.5-1.4	2.1-4.2
Fe ₂ O ₃	0.4-1	0.4-0.7	0.2-0.8	0.1-3.1
Al ₂ O ₃	0.4-1.4	0.5-1.6	0.5-3	0.1-0.7
MgO	1-1.5	0.3-0.5	0.5-1.5	0.3-1.0
CaO	0.6-1	0.5-0.8	0.1-0.5	0.1-1.0
Na ₂ O ₃	0.1-0.4	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.2
K ₂ O	0.5-1	1-1.2	0.4-1	0.5-1.4
S	0.1-0.3	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.2
Kızdırma kaybı	0.5-1	1.4-2.8	0.7-2.5	2.3-4.4

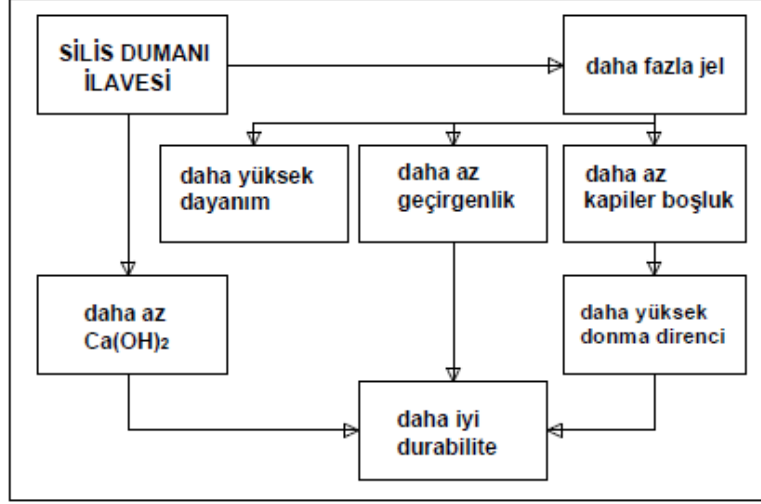
Silis dumanı, çimentolu ortamda bulunduğu en önemli görevi, C₂S ve C₃S hidratasyonları sonucu oluşan Ca(OH)₂'i bağlamak ve yeni bir CSH jeli meydana getirmektir. Bu jel çimento hamurunda normal olarak oluşan CSH jellerinden biraz farklıdır. Yoğunluğu daha az, ancak geçirimsizliği daha fazladır. Böylece silis dumanı taneleri, büyük kristaller yerine çok sayıda daha küçük ve daha sağlam Ca(OH)₂

kristallerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır. Küçük kürecikler halindeki silis dumanı tanecikleri, uygun oranda akışkanlaştırıcı katkı kullanılması halinde, çimento taneleri arasındaki boşluklarda suyun yerini alarak daha yoğun bir çimento hamuru meydana getirebilmektedir [126]. Silis dumanı ve Portland çimentosu arasındaki puzolanik etkileşim esnasında, bazı kalsiyum hidroksitler dayanımı arttıran silikat hidratlara dönüştürülür [127]. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, aynen portland çimentosunun hidrasyonunda olduğu gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasına yol açmaktadır [16].



Silis dumanı betonda basınç dayanımını artırırken hidrasyon ısısı, sertleşmiş betonun su geçirimsizliği ve sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmakta ve sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırmaktadır [16]. Şekil 23'te silis dumanının beton üzerindeki etkileri görülmektedir [17]. Ayrıca; silis dumanının betonda kullanılması ile sera gazı salınımının ve çevre kirliliğine neden olan atık ürün miktarının azalması, atıkların saklanması kullanılan enerjinin tasarrufu gibi önemli katkılar da söz konusudur.

Davul ve Kadri [128], silis dumanının %10'a kadar kullanımında betonun işlenebilirliğinin bozulmadığı; %20'ye kadar kullanımında basınç direncini kontrole göre arttırdığı belirlenmiştir. Bu artışın maksimum değerinin %15'e kadar kullanımlardan elde edildiği rapor edilmiştir.



Şekil 23. Silis dumanının beton üzerindeki olumlu etkisi [17].

1.6. Odun-Çimento Kompozitlerinin Kalitesini Etkileyen Faktörler

1.6.1. Odun Hammaddesi

Odunlar farklı tür ve miktarda ekstraktif maddeye sahip olduklarından çimento hidrasyonu dolayısıyla elde edilecek odun çimento kompozitinin direnç değerleri üzerinde farklı etkiye sahiptir. Genel olarak yapraklı ağaç odunları; yüksek miktarda çözülebilen ksilan ihtiva ettiklerinden iğne yapraklı ağaç odunlarına göre odun çimento kompozitlerinde daha düşük direnç değerleri vermektedir [45].

Aynı ağaç türünün farklı bölgelerinden elde edilen odunlar ile üretilen odun çimento kompozitlerinin direnç değerlerinde de farklılık söz konusudur.

Semple ve Evans, [48], Monteri çamının hem öz hem de diri odunundan odun çimento kompozitleri üretmiş ve öz odunun, diri oduna göre çimento hidrasyonunu ciddi şekilde engellediğini, öz odunu ile üretilen çimentolu levhaların diri odundan üretilenlere göre çok daha düşük direnç değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Cabangon vd. [49], öz odunun diri oduna göre çimento sertleşmesini engelleyebilecek çok fazla miktarda madde ihtiva ettiğini belirtmiştir.

Schwarz ve Simatupang [50] ve Sundi vd. [51], dış hava koşullarında depolanmış odunlardan üretilen çimentolu levhaların direkt kullanılan veya kapalı ortamda depolanan odunlara göre daha yüksek direnç değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Biblis ve Lo [129], kış kesiminden elde edilen odunların bahar kesiminden elde edilen odunlara göre çimento ile daha uyumlu olduğu ve daha yüksek direnç değerleri verdiğini rapor etmişlerdir.

Odun çimento kompozitlerinin üretiminde, şeker oranı düşük türler tercih edilmektedir. Sonbahar veya kış kesimi çam, göknar ve ladin gibi İYA türler yaygın olarak kullanılırlar. Okaliptus, akasya ve kavak gibi türler ekstraktif maddeleri etkisiz hale getirilerek kullanılabilir. Tanen ve aşırı miktarda şeker içeren kızılgaç (*Alnus glutinosa*) ve karaçam (*Larix decidua*) gibi %0.25 glikoz, sakkaroz ve ksiloz oranına sahip türler ise kullanılamazlar [25].

1.6.2. Yonga Boyutu ve Geometrisi

Çimentolu odun kompozitleri üretiminde her boyut ve geometrideki odun hammaddesi (yonga, odun yünü ve odun lifi) kullanılabilir. Yonga geometrisi çimentolu odun kompozitlerinin özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Yonga boyutu ve geometrisinin çimentolu odun kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerine etkisi tutkal esaslı yonga levhalara etkisinde olduğu gibidir. Tutkal esaslı kompozitlere göre, odun ve çimento arasında kimyasal bir bağlanma olmadığından çimentolu odun kompozitleri üretiminde çok daha büyük boyutlu yongalar kullanılabilir [130, 131].

Yonga geometrisi ile levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri arasında yüksek bir korelasyona etkisi söz konusudur. Kullanılan yonga ne kadar uzun ve ince olursa (narınlık oranı yüksek) o kadar yüksek fiziksel ve mekanik özellikler elde edilmektedir [11, 130]. Ancak küçük boyutlu yongaların kullanımı ile daha iyi bir sıkışma elde edilmekte ve küçük yonganın yüksek yüzey alanı-hacim oranının çimento hidrasyonu üzerindeki negatif etkisi dengelenmiş olmaktadır [130]. Diğer taraftan, ince yongalardan üretilen levhalar kalın yongalardan üretilenlere göre daha yüksek elastikiyet modülü değeri vermektedir [132].

Yongaların serme işlemi esnasında yönlendirilmesi, levhanın mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür [133,134]. Ma vd. [132], yönlendirilmiş yongalardan üretilen levhaların eğilme direnci değerlerinin yönlendirilmemiş yongalardan üretilen levhalardan 2.5 kat daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Sadece %25 oranındaki bir yönlendirme ile dahi eğilme direnci ve elastikiyet modülünde önemli artışlar elde edilmiştir.

1.6.3. Odun-Çimento Oranı

Odun/çimento (O/Ç) oranı ürün özelliklerine etki eden önemli bir parametredir. Kompozitlerde kabul edilebilir özelliklerde bağlanmanın sağlanabilmesi için odun; yonga, yün veya liflerini tamamen saracak düzeyde çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır [91]. Günümüzde ticari levhalar 1/2.75 ile 1/3.0 seviyesinde odun/çimento oranı ile üretilmektedir.

Odun miktarının artması ile elastikiyet özelliklerinde azalma görülmekte, plastik bölgede artış gözlenmekte ve malzeme dayanımının azalması ile kırılma azalmaktadır.

Çimento-odun oranı üretilen son ürün özelliklerine etki eden önemli bir parametredir. Çimento kullanılarak üretilen yönlendirilmiş levhalarında çimento-odun oranının normal çimentolu yongalevhalarla göre daha düşük olması gerektiği sonucuna varılmıştır [135]. Çimento odun oranı, ısı ve ses yalıtım özellikleri ile mekanik özellikler üzerinde önemli derecede etkilidir [136].

Odun-çimento oranının azalması sonucu hidrasyon sıcaklığının yavaş bir şekilde arttığı, hidrasyon zamanının kısaldığı ve basınç direncinin artış gösterdiği ifade edilmektedir. Çimentolu odun kompozitlerinin eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerinde odun-çimento oranının etkisi daha karmaşıktır. Çalışmalarda azalan odun-çimento oranıyla levha eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin doğrusal olarak azaldığı belirtilmektedir [137].

Marzuki vd.[139], 1/1.75, 1/2, 1/2.25 ve 1/2.5 olmak üzere 4 farklı odun-çimento oranında levha üretmişler ve odun-çimento oranının artması ile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış meydana geldiğini belirlemişlerdir. Diğer yandan, su alma ve kalınlık artımı değerlerinde de artış gözlenmiştir.

Papadopoulos vd.[135]'nin Akkavak odunundan 1, 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranlı ürettikleri levhalarda odun oranı azaldıkça kalınlık artımı, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci değerlerinde iyileşme gözlenirken, eğilme direncinde en yüksek değer 1/2 odun çimento oranında elde edilmiştir. Papadopoulos [136]'un gürgen odununun çimentolu yonga levha üretimine uygunluğunun belirlenmesi için yaptığı bir başka çalışmada ise, 1/3 ve 1/4 olmak üzere iki farklı odun çimento oranı uygulamıştır. Sonuçta 1/4 odun çimento oranında daha az mantar tahribatı meydana gelmiş ancak mekanik özelliklerde standart dışı değerler elde edilmiştir.

Oyage [140], 1/1.55, 1/2.33 ve 1/3.10 çimento-odun oranlarında çimentolu levhalar üretmiş, çimento/odun oranı azaldıkça eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde iyileşmeler görüldüğünü belirtmiştir.

1.6.4. Su-Çimento Oranı

Su; çimento esaslı ürünlerin kalitesi için en önemli faktörlerin başında gelir. Miktarının çok fazla olması hidrasyon süreci ve öncesinde çimento partikülleri arasındaki temas yüzeyini arttırdığından kılcal boşluk hacminin artmasına neden olur. Ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerine olumsuz etki edebilir [76, 102].

Çimento hamurunun bağlayıcılık kazanma hız ve miktarı çimento ile su arasındaki hidrasyonun mükemmelliğine bağlıdır. Hidrasyonun ne hızda ve mükemmellikte oluşacağı hususu ise ortamdaki sıcaklık ve rutubet değişkenlerine ek olarak büyük oranda çimentonun; içerik, tane boyutu ve miktarına bağlıdır [141].

Miyatake vd. [142], su-çimento oranının 0.5/1 den 0.44/1 oranına düşürülmesi ile çimentolu odun kompozitlerinin eğilme dirençlerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Su/çimento oranının odun-çimento kompozitler üzerine etkisi üzerine yapılan birçok çalışmada farklı sonuçlar elde edilmiştir. Optimal su-çimento oranı ise; odunun türü, rutubeti ve kesim süresi gibi özelliklerine bağlı olarak ihtiyaç duydukları su gereksiniminin farklı olmasından dolayı açık bir şekilde belirlenememektedir [143].

Su miktarı; Simatupang [141] tarafından geliştirilen ve birçok araştırmacı tarafından [135, 145, 146, 147, 148] kullanılan aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$W = 0.35C + (0.30 - MC)W \quad (6)$$

Burada;

W: Su miktarı (litre)

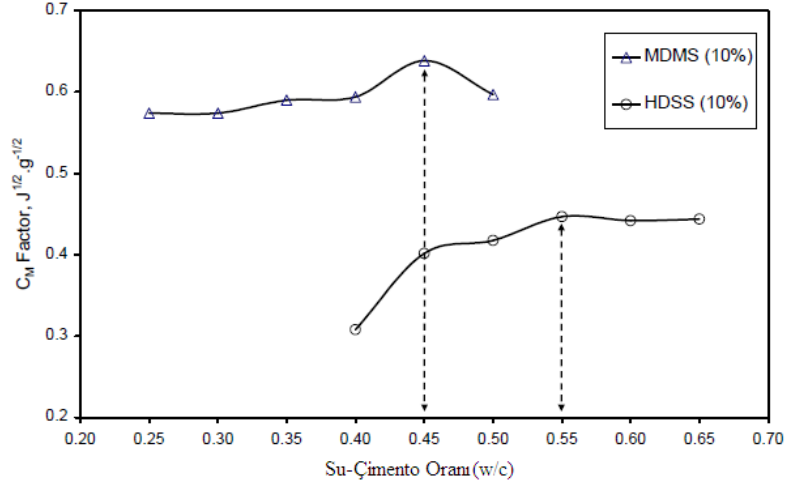
W: Fırın kurusu odun ağırlığı (kg)

C: Çimento ağırlığı (kg)

MC: Odunun rutubet miktarı (%)'dir.

Genel olarak bütün odun türleri için aynı su-çimento oranı kullanılmaktadır. Farklı türler değişik miktarlarda serbest su absorbe etme yeteneğine sahip olduklarından kullanılan su oranlarında değişiklikler gerekli olabilir. Bu da odun özelliklerini su miktarı

ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Suyun az olması ulaşılabilecek maksimum sıcaklığı düşürürken, fazla olması da maksimum sıcaklığa ulaşma süresini geciktirebilmektedir [149]. Odun çimento kompozitlerinin üretiminde kullanılacak su miktarını hesaplarken, kullanılacak odunun türü ve miktarı yanında yongalarının boyutu ve geometrisi de dikkate alınmalıdır [150].



Şekil 24. Farklı boyut ve yoğunluktaki mantar meşesi yongaları-çimento karışımlarının su-çimento oranlarına göre C_M faktörü değişimi [150].

Karade [150], orta yoğunluk ve boyutlu (MDMS) ve yüksek yoğunluk ve küçük boyutlu (HDSS) mantar meşesi yongaları kullanılarak elde ettiği odun-çimento karışımında kullanılan su-çimento oranına göre hidrasyon ısı (C_M faktörü) değişimini belirlemiş olup, elde edilen değerler Şekil 24'te verilmiştir. Buna göre, kullanılan malzemenin boyut ve yoğunluğunun su kullanım oranını etkilediği görülmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Ağaç Malzeme

Deneme levhalarının üretiminde; Doğu Ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.], Doğu Karadeniz Göknaarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana*) ve Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) kullanılmıştır. Ağaç malzemeler; Arsin Organize Sanayi Bölgesi'nde Yılmazlar Kerestecilik, Gündoğdu Mobilya ve Sözenler Orman Ürünleri firmalarından kereste artığı şeklinde temin edilmiştir.

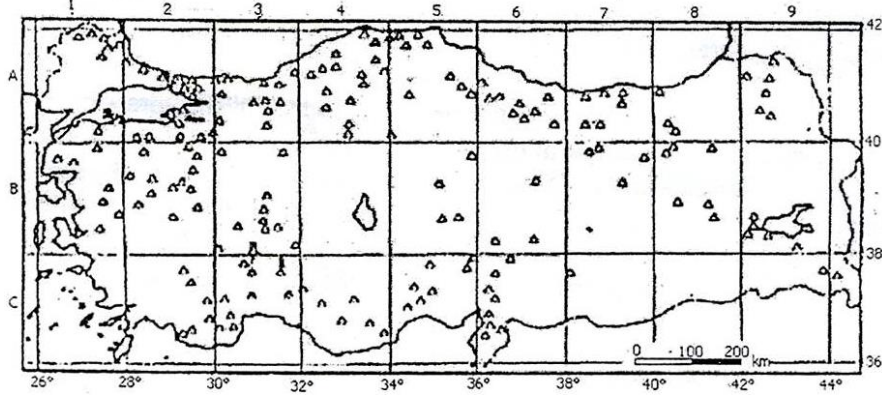
2.1.1.1. Titrek Kavak (*Populus tremula* L.)

Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) sistematikte Angiospermae'lerin Salicales takımının Salicaceae familyasına bağlı *Populus* cinsi, Leuce (Duby) seksiyonu, Trepidae alt seksiyonuna ait bir tür olarak verilmektedir [151]. Ormanlarda en çok görülen kavak türüdür. Hızlı büyür, kuvvetli kök sürgünü yapmaktadır. Büyük yangın veya hastalıklardan sonra alana ilk gelip yerleşen öncü türlerdendir [152].

Titrek kavağın coğrafi yayılışı çok geniştir. Bütün Avrupa, Kuzey Afrika, Orta Doğu, Kafkasya ve Sibiry'a'dan Japonya'ya kadar doğal yayılış göstermektedir [152]. Türkiye'de ise; Batı Trakya, Batı Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde çok iyi gelişme göstermekte olup, Güneydoğu ve İç Anadolu step bölgeleri dışında kalan tüm orman mntıklarındaki yapraklı ve ibreli karışık ormanlarında kümeler halinde veya serpilmiş olarak, yangın geçirmiş ve tıraşlama alanlarında ise saf meşcereler halinde yayılış göstermektedir [151]. Şekil 25'te Titrek Kavak'ın Türkiye'de yayılışı verilmiştir [153].

Titrek kavak; 20-25 m. boylanabilen, silindirik yapılı, sık dallı, geniş konik tepeye sahip bir orman ağacıdır [152, 153]. Kabukları yeşilimtrak-gri renkli olup, parlak ve düzdür [151]. Genç sürgün ve tomurcuklar çıplaktır. Tomurcuklar kestane kırmızısı renkte, dolgun ve biraz yapışkan yapıdadır. Genellikle çiçek tomurcukları yuvarlak, yaprak tomurcukları daha sivri şekillidir. Yaprak biçimleri daire veya geniş yumurta şeklinde, üst

yarısından sonra dilimli yâda kaba dişlidir. Yaprak gençken alt yüzü beyaz ve yumuşak tüylü, sonra alt ve üst yüzü yeşil ve çıplaktır. Çiçek tozu torbaları koyu kırmızı renktedir. Mart ayında çiçeklenmektedir. Çelikle üretilemez, tohum ve kök sürgünü ile üremektedir. Orman içlerinde nemli ve kuytu kesimleri tercih eder. Step alanları dışında hemen her yerde yetişebilmektedir [152].



Şekil 25. Titrek kavak (*Populus tremula L.*)'in Türkiye'deki yayılışı [153].

Titrek Kavak odunu yeni kesildiğinde açık renkli, diri odunu beyaz, sarımsı beyaz veya fildişi rengindedir. Kuruduktan sonra öz odununun rengi uçuklaşır. Koyu renkli bir öz odunu yoktur ve tamamen diri odun karakterindedir. Yaşlı ağaçların gövdelerinde özodunu bulunmadığından öz çürüklüğü oluşmaktadır. Yaz odunu halkası koyuca ve kokusuzdur. Genellikle ince veya orta tekstürlü ve düzgün liflidir. Spiral kalınlaşmaları ve öz lekeleri bulunmamaktadır. Tekdüze bir yapıya sahip, çok hafif ve yumuşak bir odunu vardır [151,154].

Titrek kavak odunu dağımık traheli olup, özışınları homoselülerdir. İlkbahar odunu traheleri (35-108 μm), yaz odunu trahelerine (14-72 μm) göre biraz daha büyük çaplı olmaktadır. Trahe uzunluğu 441-1088 μm 'dir. 1 mm^2 'deki trahe sayısı 66-160 adet civarındadır. Perforasyon tablası basittir. Kenarlı geçitler sık ve almaçlıdır. Trahelerin enine kesitleri köşelidir. Temel lif dokusu libriform lifleridir. Lif uzunluğu 794-1970 μm 'dir. Boyuna paransimleri marjinal olup, paransim hücrelerinin horizontal çeperleri nodüllüdür. Özışını yüksekliği 72-776 μm 'dir. Özışını hücreleri silika parçaları içermektedir [154]. Titrek Kavak odununda traheler ortalama %26.4, lifler %60.9 ve öz ışınları %12.7 civarındadırlar [155].

Titrek Kavak; kibrit çöpü, ambalaj ve kürdan üretiminde, konstrüksiyon levhalarının iç ve dış kısımlarında, spor salonlarının zemin döşemelerinde, pencere jaluzisi ve pedavra üretiminde, şimendifer vagonlarının iç kısımlarında dolgu materyali olarak, mutfak aletleri, şapka kalıpları, heykel, biblo, saat yuvaları, maden döküm modelleri, makara, ayakkabı topukları, resim şövalyesi, oyuncak, fiçı tıkaçları, çizim masaları yapımında, kaplama ve kontrplak üretiminde kullanılmaktadır. Titrek Kavak odunu dış mekânlarda, böcek ve mantarlara karşı dayanıklı olmadığından ham haliyle pek kullanılmamaktadır [151]. Tablo 9’da Titrek kavak odununa ait fiziksel ve mekanik özellikler verilmiştir.

Tablo 9. Titrek kavak odununun (*Populus tremula L.*) fiziksel ve mekanik özellikleri

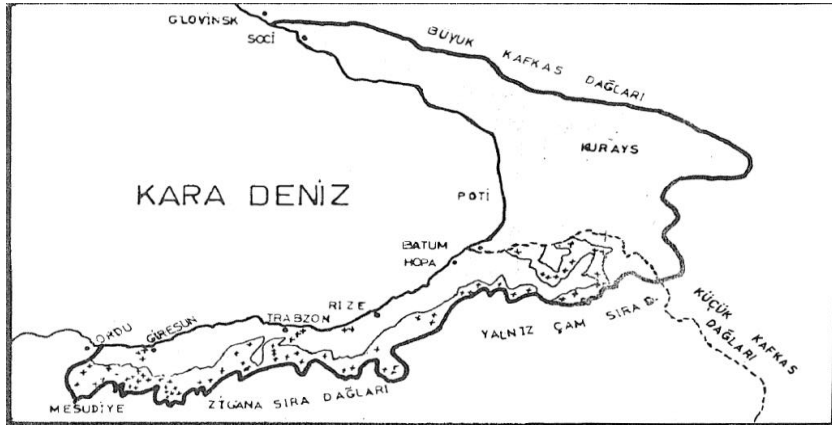
Fiziksel ve Mekanik Özellikler		Erten vd. [156]	Öner [157]
Hava kuru özgül ağırlık (g/cm ³)		0.51990	0.42190
Tam kuru Özgül Ağırlık (g/cm ³)		0.49580	0.38350
Hacim Ağırlık Değeri (g/cm ³)		-	0.33620
Yıllık Halka Genişliği (mm)		1.98130	-
Yaz Odunu Genişliği (mm)		0.68570	-
İlkbahar Odunu Genişliği (mm)		1.29560	-
Genişleme (%)	Radyal Yönde	8.29850	4.37260
	Teğet Yönde	6.26700	8.28950
	Paralel Yönde	-	0.37120
Toplam Hacimsel Genişleme (%)		14.70950	13.36872
Daralma (%)	Radyal Yönde	6.36760	3.94480
	Teğet Yönde	5.52380	8.05490
	Paralel Yönde	-	0.35880
	Toplam	11.66970	12.04446
Eğilme Direnci (kp/cm ²)		906.58060	761.75770
Dinamik Eğilme Direnci (kpm/cm ²)		-	0.522990
Elastite Modülü (kp/cm ²)		102.45500	-
Janka Sertlik (kp/cm ²)	Liflere Paralel	376.22400	258.81300
	Liflere Dik	311.99250	356.52100
Basınç Direnci (kp/cm ²)		562.00000	395.61000
Makaslama Direnci (kpm/cm ²)		89.40000	69.79000
Çekme Direnci (kp/ cm ²)		709.72600	-

2.1.1.2. Doğu Ladini [*Picea orientalis (L.) Link*]

Doğu ladini [*Picea orientalis (L.) Link.*], Gymnospermae’lerin Coniferae sınıfı, Pinaceae familyasının *Picea* cinsine dâhil olup, yaklaşık 350.000 hektarlık alanda yayılış

gösterir. Boyu genelde 40-50 m, bazen 60 metreye kadar ulaşabilen, 1.5-2 m. çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli asli orman ağacı türlerimizdendir [152,158]. Doğu Ladinini ilk kez Kuzey Anadolu Dağları'nda (Trabzon'un güneydoğusunda) Tournefort tarafından bulunmuştur. Daha sonraları Pallas bu türü *Pinus picea* olarak adlandırmıştır.

Kuzeydoğu Anadolu'nun sahil kesimleri ile Kafkasya'da doğal olarak yayılmaktadır. Ülkemizde; Türkiye-Gürcistan sınırından başlayarak batıda Ordu ili yakınlarında Melet ırmağı ile son bulmaktadır. Bu kesimde dağların çoğunlukla denize dönük kuzey yamaçlarında görülmektedir. Harşit ve Çoruh vadileri gibi deniz ikliminin etkilerini iç kesimlere kadar ulaştırabildiği büyük vadiler boyunca yine kuzey yamaçlarda meşçelere rastlamak mümkündür. Doğu Ladini ülkemizde bazen saf, çoğu kez de *Pinus sylvestris*, *Abies nordmanniana* ve *Fagus orientalis* gibi türler ile karışık orman alanları oluşturmaktadır. Çoğunlukla 900-1500m arasında karışık; 1500-2400 m arasında saf ormanlar kurmaktadır [152]. Şekil 26'da Doğu ladinin Türkiye'deki doğal yayılışı görülmektedir.



Şekil 26. Doğu ladininin (*Picea orientalis* L.) Türkiye'deki doğal yayılış alanı [159].

Doğu Ladininin kabuğu genç gövdelerde genelde açık renkli ve düzgün, yaşlı gövdelerde koyu renkli ve çatlaklıdır. Dallar çevresel olarak sık bir halde tüm gövdeye yerleşmiştir. Genç sürgünler ince, açık renkli ve tüylüdür. Tomurcukları kahverengi sivri ve reçinesizdir.

Doğu Ladini bilinen ladin taksonlarının en kısa iğne yapraklısıdır. Yaprak uzunlukları 6-11mm olup, uçları keskin değil, kör veya küt olarak sonuçlanmaktadır. Cilalı

görünümlü ve koyu yeşildir. Enine kesitleri dört köşelidir. Her yüzünde 1-4 sıra stoma çizgisi bulunmaktadır. Karmen kırmızısı renginde erkek çiçekler kozalakçık halinde, dişi çiçekler ise menekşe rengindedir. Kozalak 6-9 cm uzunluğunda olup, gençleri bazı ağaçlarda yeşil, bazılarında ise koyu kırmızı renktedir. Olgun kozalaklar ise açık kiremit renginde, oval yâda silindirik yapıda, pulların kenarları düzdür. Bu özelliği ile kendisine benzeyen Avrupa ladininden kolayca ayrılmaktadır [152].

Özodun ile diri odun arasında farklılık yoktur. Odunu genellikle beyaz, kremi beyaz, sarımsı beyaz veya toprak rengindedir. Yıllık halkaları farklılaşmış yaz odunu nedeniyle iyice belirgindir. Genellikle ilkbahar-yaz odunu geçişi yavaştır. Yetiştirme yerine göre yıllık halka genişliği farklılık gösterebilir. Yüksek yerlerde yetişen doğu ladinlerinin yıllık halkaları daha dardır. Vadilerde ve zengin topraklarda yetişen ladinlerde ise yıllık halka genişliği 10 mm'ye kadar ulaşabilmekte, ancak bu özellikteki odunların mekanik ve teknolojik özellikleri diğerlerinden daha yüksek değildir. Odun taze iken reçine kokmakta, kuruduğu zaman bu koku kaybolmaktadır [160].

Doğu ladinin olgun odununun boyuna traheitlerinde genellikle helikal kalınlaşma yoktur. Sadece ağacın öze yakın yaz odunu traheitlerinde helikal kalınlaşma oluşabilir. İlkbahar odunu traheitlerinin radyal çeperlerinde büyük üniseri, veya bazen biseri kenarlı geçitler yer almaktadır. Yaz odunu traheitlerinin hem radyal hem de teğet çeperlerinde küçük kenarlı geçitler bulunmaktadır. Özışınları heterojen ve üniseridir. Enine reçine kanallı özışınları multisiseridir. Özışını paranzim hücreleri, özışınlarının ortasında yer almaktadır. Horizontal ve vertikal çeperleri kalın ve bol geçitlidir. Enine traheitler çoğunlukla marjinaldir. Çeperleri ince ve düzdür. Çeperlerinde bol miktarda kenarlı geçit vardır. Enine traheitlerin kenarlı geçitleri boyuna traheit geçitlerinden çok daha küçük boyutludur [160].

Doğu ladinin odununun traheit uzunluğu 2160-3540 μm , çapı 30.27- 42 μm ve genişliği 28.43-46.01 μm , traheit lümen genişliği 14.92-38.56 μm ve çeper kalınlığı 3.64-6.83 μm ve birim alandaki (mm^2) traheit sayısı 285-847 adettir [161]. Doğu ladinin özışını paranzim hücreleri ile boyuna traheitlerin karşılaşma yerlerinde 1-4 adet küçük piceoid tip geçitler mevcuttur. Öz ışınlarının maksimal yüksekliği 40 hücreye ulaşabilmektedir. Odunda normal en ve boyuna reçine kanalları mevcuttur. Boyuna reçine kanalları genellikle yaz odunu zonunda bulunmaktadır. Kanalların çapı genellikle 50 mikrondur. Epitel hücre sayısı 7-9 adet olup, çeperleri kalındır. Enine reçine kanalları özışınlarının ortasından

geçmektedir. Reçine kanallı özışınları mültiseridir. Odunda boyuna paranzim yoktur [160]. Tablo 10’da Doğu Ladini odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir [162].

Tablo 10. Doğu ladini odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri [162].

Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Tam kuru özgül ağırlık (gr/cm ³)		0.416
Hava kuru özgül ağırlık (gr/cm ³)		0.451
Hacim yoğunluk değeri (gr/cm ³)		0.366
Daralma (%)	Radyal yönde	3.878
	Teğet yönde	7.147
	Hacmen	11.207
Eğilme direnci (kg/cm ²)		707.03
Basınç direnci (kg/cm ²)		390.68
Elastikiyet modülü (kg/cm ²)		10528
Çekme direnci(kg/cm ²)		875.5
Makaslama direnci(kg/cm ²)		63.52
Dinamik eğilme (kg.m/cm ²)		0.393
Yarılma direnci(N/mm ²)	Radyal yönde	3.90
	Teğet yönde	4.61
Brinell sertlik(N/mm ²)	Radyal yönde	1.47
	Teğet yönde	1.28

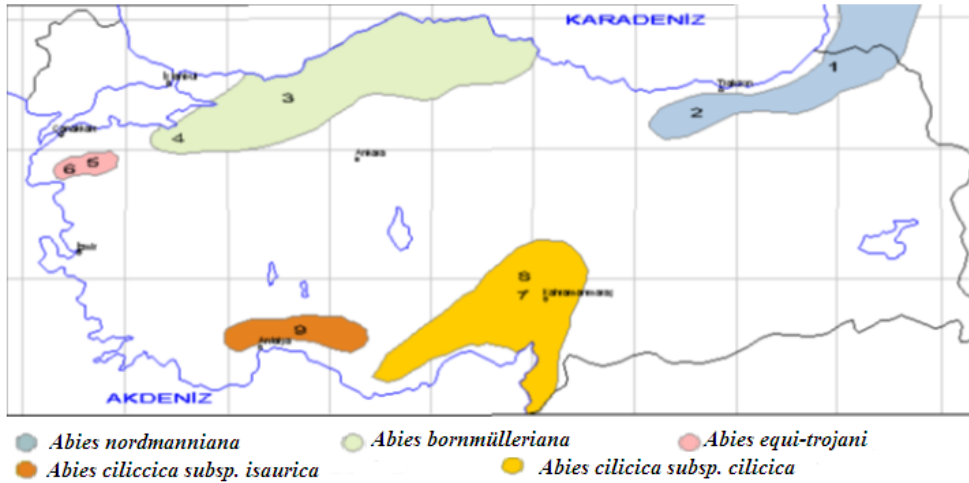
Doğu Ladinin odunu; kolay ve temiz bir biçimde işlenebilir. Planya, zımpara ve vernikleme yoluyla yüzey işlemine tabi tutulup yumuşak dokulu, çekici parlak bir görünüm verir. Tutkallamada sorun çıkarmaz, vida ve çivi tutma özellikleri iyi olan bir türdür. Uzun lifli yapısından ötürü özellikle kâğıt ve selüloz üretiminde tercih edilmektedir. Yapı kerestesi olarak çatıda, taban ve taban döşemesi olarak kapı pencere doğramaları ile bunların kasa pervazlarında, iç dekorasyon, mobilya üretiminde, inşaat sektöründe, iskele malzemesi ve kalıp tahtası olarak kullanılmaktadır [163].

2.1.1.3. Doğu Karadeniz Göknarı [*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana*]

Doğu Karadeniz Göknarı [*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana*], Gymnospermae’lerin Coniferae sınıfı, Pinaceae familyasının *Abies* cinsine dâhildir. Dünya’da sadece Türkiye’nin Doğu Karadeniz dağlarında ve Kafkaslar’da

yetişmektedir. Ülkemizde Yeşilirmak Vadisi ile Türkiye-Gürcistan sınırı arasında kalan Doğu Karadeniz orman alanlarında yayılış yapan Doğu Karadeniz Göknaarı, bu kesimlerde 800-1700 m. aralarında *Fagus orientalis Lipsky.*, *Pinus sylvestris L.* gibi ağaç türleri ile karışık ormanlar oluşturmaktadır [152].

Yaklaşık 40-50 m boylarında, dalları gövdenin altlarında yanlara doğru horizontal ve hafifçe aşağıya sarkan, tepelerde yukarıya yönelik, geniş piramidal şekilde gelişen ve çok sık dallanma yapan gri gövdeli birinci sınıf bir orman ağacıdır. Tomurcuklar yumurta biçiminde ve reçinesiz olup, yan sürgünlerin uçlarında iki yâda üç âdeti aynı düzlemde, dördüncüsü altta olmak üzere genellikle dört adet bulunmaktadır. Bu özelliği ile Avrupa Göknaarı'na (*Abies alba*) kıyasla daha sık ve zengin dallıdır. Genç sürgünleri yeşilimtırak-sarı renkli olup, üzeri genellikle kısa ve siyah tüylerle sık veya seyrek bir şekilde örtülmüştür. 20-35mm uzunluğundaki iğne yapraklar, parlak koyu yeşil renkte, uç kısımları kertikli veya küt, alt yüzlerinde belirgin iki stoma bandı bulunur. Tepe bölgesindekilerin uçları sivrice ve fırça gibi yukarıya yöneliktir. Erkek çiçekler sarımsı yeşil renktedir. Ortalama 15-18 cm uzunluk ve 5 cm çapındaki silindirik kozalaklar, uca doğru daralmakta, olgun halde kırmızı-kahverengi bir renk almaktadır. Kozalak pulları 3-4cm genişliğinde, üçgenimsi şekilde, dış pul dışarıdan görülmektedir. Kozalaklarda dış pullar, iç pullardan daha uzundur. Kozalağın üzeri bol reçinelidir [152, 154]. Şekil 27'de Türkiye'deki göknar türlerinin yayılış alanları gösterilmektedir [164].



Şekil 27. Türkiye'de göknar türlerinin yayılış alanları [164].

Doğu Karadeniz Göknarı traheitlerinin genişliği 22.5-57 μm , uzunluğu 1500-4100 μm , çapı 25-65 μm ve çeper kalınlığı 2.5-12.5 μm 'dir. İlkbahar odunu traheitleri ile öz ışınlarının karşılaşma yerlerinde bulunan basit geçitler "cupressoid", yaz odunu traheitleri ile öz ışınlarının karşılaşma yerlerindeki basit geçitler ise "cupressoid" ve "piceoid" tiptedir. Öz ışınları istisnasız homojendir [165]. Maksimal özışını yüksekliği 29 hücredir. İlkbahar odunu traheitlerinin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitleri 1-2 sıralıdır. Yaz odunu traheitlerinin kenarlı geçitleri ise daha küçük boyutludur. Krasül oluşumu yoktur. Vertikal çeperleri geçitli, horizontal çeperleri nodüllü boyuna paranzim bulunabilir. Yapısında doğal reçine kanalları ve enine traheit yoktur, ancak bazı şartlarda travmatik boyuna reçine kanalları oluşabilir [160].

Doğu Karadeniz Göknarı'nın diri ve öz odunu arasında renk farkı yoktur. Odunu genellikle beyaz, sarımsı beyaz, bazen de pembemsi beyaz renktedir. Özışınları parlak, dokusu mat olduğundan odunun görünüşü mattır. İlkbahar ve yaz odunu zonu birbirinden kesin olarak ayrıldığı için geçiş son derece hızlıdır. Yıllık halkaların ilkbahar odunu zonu beyaz-sarımtırak, yaz odunu zonu ise esmer-sarımtırak renktedir. Öz ışınları ince, makroskopik olarak görülmesi zordur. Yapısında doğal reçine kanalı bulunmamaktadır. Odunu taze iken kekremsi bir koku vermekte, kuruduğu zaman bu koku kaybolmaktadır [160, 164, 165].

Odonları yumuşak, kolay işlenir, işlendiğinde düzgün pürüzsüz bir yüzey verir, boya ve cila kabul eder. Selüloz kâğıt ve kibrit sanayinde önem taşır. İnşaatlarda binaların iç kısımlarında kullanılması uygundur [166]. Az çalışır ve az daralır. Kuruduğu zaman şekil bozulması azdır. Esnek bir ağaçtır. Reçineli ağaçlar kadar dayanıklı değildir. Böcek ve mikroorganizmalara karşı direnci çok iyi değildir. Ses ve ısı yalıtımı bakımından üstün özellikler taşır. Ortalama özgül ağırlığı 0.408 g/cm^3 'tür. Özgül ağırlık sınır değerleri 0.290-0.730 g/cm^3 arasındadır. Yıllık halka genişledikçe başlangıçta özgül ağırlıkta artış, sonra da azalma görülmektedir. Olgun ve diri odun arasında belirgin bir özgül ağırlık farkı yoktur. Gövdesinde, yukarı doğru çıkıldıkça özgül ağırlık düşer fakat daha yükseklerde çıkıldıkça bir miktar artar. Özden çevreye doğru özgül ağırlık artış göstermektedir [167].

2.1.2. Çimento

Çalışmada CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R Portland çimentosu kullanılmış olup, Trabzon Aşkale Çimento Sanayi Tic. AŞ.'den temin edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve

kimyasal özellikleri Tablo 11’de verilmiştir. “TS EN 197-1-2012 Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri” standardını sağlamaktadır [168].

Tablo 11. Çimentonun kimyasal bileşimi [169].

Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler	
Silisyum dioksit (SiO ₂)	16.87	İncelik (45 µm elek üstü, %)	8.70
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	4.35	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.91
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	3.02	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4801
Kalsiyum oksit (CaO)	56.39	Priz Başı (Saat-dk)	2sa-47dk
Magnezyum oksit (MgO)	1.97	Priz Sonu (Saat-dk)	3sa-34dk
Kükürt trioksit (SO ₃)	2.39	Hacim genişmesi (mm)	0.43
Kızdırma kaybı	13.61	Su ihtiyacı (%)	30.23
Sodyum oksit (Na ₂ O)	0.22		
Potasyum oksit (K ₂ O)	0.63		
Klor (Cl)	0.0153		
Ölçülemeyen	0.5347		

2.1.3. Silis Dumanı (SD)

Denemelerde Etibank Elektrometalürji İşletmesi’nin Antalya’daki tesislerinden temin edilen silis dumanı kullanılmış olup, özellikleri Tablo 12’de verilmiştir. Silis dumanı, çimento ağırlığına oranla karışımlara çimento ile ikame edilerek kullanılmıştır.

Tablo 12. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri [170].

Kimyasal Bileşimi	Oran (%)	Fiziksel Özellikler	
Cr ₂ O ₃	0.37	Rengi	Füme (su ile birleştiğinde siyah olmaktadır)
SiO ₂	91.92		
Fe ₂ O ₃	0.20		
Al ₂ O ₃	0.42		
CaO	2.06	Kızdırma Kaybı (%)	1.84
MgO	3.69	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.2
C	0.207	Birim Ağırlığı (kg/m ³)	245
S	0.067	Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g)	302

2.1.4. Sertleştirici Kimyasallar

2.1.4.1. Alüminyum Sülfat [$Al_2(SO_4)_3$]

Çimento ile odunun hidratasyonu esnasında uyumsuzluğunun giderilmesi amacıyla kullanılan Alüminyum Sülfat 40 mm tane büyüklüğünde, kristal granül veya ince öğütülmüş toz şeklinde temin edilmiştir. Farklı tane büyüklüğüne sahip alüminyum sülfat örnekleri Şekil 28’de verilmiştir.



Şekil 28. Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3$] örnekleri

Suya karşı hassas olması nedeniyle kuru şartlarda depolanmalıdır. Alüminyum sülfat piyasadan temin edilmiştir. Alüminyum sülfat suda çok kolay bir şekilde çözünebilmektedir. Alüminyum sülfat, %10’luk çözelti halinde karıştırılarak kullanılmıştır. Alüminyum sülfatın kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13. Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3$] kimyasal ve fiziksel özellikleri [171].

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler			
Al_2O_3 (%)	16-17	Renk	Beyaz		
Fe_2O_3 (%)	Mak. 0.02				
Suda Çözünmeyenler (%)	Mak. 0.3	Suda Çözünme (g)	75 (0° ve 100cc’de)		
pH (%2’lik çözelti)	3-3.2		430 (0° ve 100cc’de)		
Arsenik (mg / kg Al)	0.3	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	1.7		
Kadmiyum (mg/kg Al)	0.7				
Krom(mg/kg Al)	18				
Cıva (mg/kg Al)	0.7				
Nikel (mg/kg Al)	7.36	Yığılma Yoğunluğu (g/cm ³)	Parça	Granül	Pudra
Kurşun (mg/kg Al)	0.34		0.96	1	1.08
Antimon (mg/kg Al)	5.83				
Selenyum (mg/kg Al)	0.07	Tane Büyüklüğü (mm)	20-50	0-6	0-1

2.1.4.2. Kalsiyum Klorür (CaCl_2)

Beyaz, kristalimsi yapıda bir bileşik olan kalsiyum klorür çok higroskopik bir madde olup, katı halde piyasadan temin edilmiştir (Şekil 29). Suda çok iyi çözünen kalsiyum klorür oda sıcaklığında katı bir tuz olup, higroskopik yapısı nedeniyle hava almayan kuru ortamlarda saklanmalıdır. Kalsiyum klorür, kireç taşından üretilmektedir. Ayrıca, Solvay (Soda üretimi) yöntemi sonucunda yüksek miktarlarda yan ürün olarak da elde edilebilmektedir. Kalsiyum klorürde odun-çimento uyumsuzluğunun giderilmesi amacıyla %10'luk çözelti halinde karıştırılarak kullanılmıştır. Tablo 14'te kullanılan kalsiyum klorüre ait fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.



Şekil 29. Kalsiyum klorür (CaCl_2)

Tablo 14. Kalsiyum klorür (CaCl_2) fiziksel ve kimyasal özellikleri [172].

Fiziksel Görünüş	Kristal
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
Yoğunluk (20°C'de)	~ 1.85 g/cm ³
Çözünürlük (20°C'de)	~1000 g/lt
Parlama Noktası	Yanıcı değil
Erime Noktası	176 °C
pH (200°C'de)	:~4.5-8.5 (50g/LtH ₂ O)

2.1.4.3. Demir Klorür (FeCl_3)

Odun ile çimentonun uyumsuzluğunun giderilmesi veya azaltılması amacıyla kullanılan diğer bir sertleştirici türü olan demir klorür piyasadan katı ve 1 kg'lık paketler

halinde satın alınarak temin edilmiştir (Şekil 30). Diğer sertleştiricilerde olduğu gibi demir klorür de suda %10 konsantrasyonda çözüdürülerek kullanılmıştır. Demir klorüre ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 15’te verilmektedir.



Şekil 30. Demir klorür (FeCl₃)

Tablo 15. Demir klorür (FeCl₃) kimyasal ve fiziksel özellikleri [173].

Fiziksel Görünüş	Katı
Renk	Mavimsi-yeşil
Koku	Kokusuz
Yoğunluk (20 °C’de)	~ 1.89 g/cm ³
Çözünürlük (20 °C’de)	~400 g/Lt
Parlama Noktası	Yanıcı değil.
Erime Noktası	> 60 °C
pH (20 °C’de)	~3-4 (50 g/LtH ₂ O)

2.2. Deneme Levhalarının Üretimi

Deneme levhalarının üretiminde, üç farklı ağaç türü (Kavak, Ladin ve Gökmar), iki farklı odun-çimento oranı (1/2 ve 1/3), üç farklı sertleştirici (Al₂(SO₄)₃, CaCl₂ ve FeCl₃) ve dört farklı oranda silis dumanı (% 0, 10, 15, 20) varyasyonu kullanılmıştır.

2.2.1. Yongalama

Arsin Organize Sanayi Bölgesi’ndeki fabrikalardan temin edilen kavak, ladin ve gökmar odunlarının yongalamadan önce kabukları temizlenmiş ve şerit testere ile 2.5 cm kalınlığında biçilerek kaba yongalamaya hazırlanmıştır. Kaba yongalama işlemi,

Hildebrand marka laboratuvar (20/6/2) tipi iki bıçaklı kaba yongalama makinesinde gerçekleştirilmiştir. Liflere dik gerçekleştirilen kaba yongalama işlemi ile 1-1.5x2.5 cm ebatlarında kaba yongalar üretilmiştir. Kaba yongaları levha üretimine uygun boyutlara küçültmek için Robert Hildebrand marka, 6 çekiç ve 16 bıçaktan oluşan bıçak halkalı ince yongalama makinesinde öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Eleme

İnce yongalama makinesinden çıkan yongaları tasnif etmek için Algemaier marka dairesel hareket yapan 4 kademeli elek kullanılmıştır. Eleme işleminde, 3 mm gözenekli elek üzerinde kalan yongalar tekrar yongalanmak üzere ince yongalama makinesine gönderilmiştir. 3 mm elekten geçen 1.5 mm elek üzerinde kalan yongalar levhaların orta tabasında, 1.5 mm elekten geçen 0.5 mm elek üzerinde kalan yongalar ise dış tabakada kullanılmak üzere ayrı ayrı depolanmıştır. 0.5 mm elek altındaki tozlar ise üretime dâhil edilmemiştir.

2.2.3. Yongaların Kurutulması

Eleme işleminden elde edilen dış ve orta tabaka yongaları laboratuvar ortamında temiz bir yere serilerek hava kurusu rutubete (%12) kadar doğal kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi boyunca yongalar içerisine yabancı maddenin karışmamasına dikkat edilmiştir. Hava kurusu rutubete ulaşan yongalar üretime kadar muhafaza edilmiştir.

2.2.4. Sertleştiricilerin Hazırlanması

Piyasadan katı halde temin edilen $Al_2(SO_4)_3$, $CaCl_2$ ve $FeCl_3$ sertleştiricileri, tüm levhalar için çimento ağırlığının %5'i oranında kullanılmıştır. Bu sertleştiriciler su içerisinde tamamen çözününceye kadar karıştırılarak %10'luk çözeltileri hazırlanmış ve üretime bu şekilde ilave edilmiştir.

2.2.5. Su Miktarının Hesaplanması

Levha üretiminde gerekli olan su miktarı Simatupang [144] tarafından geliştirilen ve birçok araştırmacı tarafından kullanılan 6 no'lu formül yardımıyla hesaplanmıştır. Sertleştirici çözeltisinde kullanılan su miktarı ise formülden elde edilen değerden çıkarılmıştır.

$$W = 0.35C + (0.30 - MC)W \quad (6)$$

Burada;

W: Su miktarı (lt)

C: Çimento ağırlığı (kg)

W: Fırın kurusu odun ağırlığı (kg)

MC: Odunun rutubet miktarı (%)

2.2.6. Karıştırma İşlemi

Odun- çimento karışımları dış ve orta tabaka için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Her tabaka için gerekli olan yonga miktarı hesaplanmış ve geniş bir kaba konulmuştur. Yongalar öncelikle karışımda kullanılacak toplam su miktarının yarısı ile ıslatılmıştır. Böylece yonga rutubetinin %30'a ulaşması sağlanmıştır. Daha sonra silis dumanı (kullanılan levha grupları için) çimento ile homojen bir şekilde karıştırılmış olarak yongaların bulunduğu kaba ilave edilmiştir. Tablo 16'da deneme levhalarının üretim koşulları verilmiştir.

Tablo 16. Deneme levhalarının üretim koşulları

Levha ve Üretim Koşulları		Değerler
Hedeflenen Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		1.2
Boyutlar (genişlik x uzunluk x kalınlık, mm)		450x450x10
Orta Tabaka/Dış Tabaka Oranı		65/35
Sertleştirici (% çimentoya oranla)	Al ₂ (SO ₄) ₃	5
	CaCl ₂	
	FeCl ₃	
Odun-Çimento Oranı		1/2 ve 1/3
Silis Dumanı İkame Oranı (% çimentoya oranla)		0, 10, 15 ve 20
Pres Basıncı (kg/cm ²)		18-20
Pres Sıcaklığı (°C, ilk 8 saat için)		60
Presleme Süresi (saat)		24

Odun ve çimento homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra, %10'luk çözelti halindeki sertleştirici karışıma ilave edilerek homojen bir şekilde karıştırmaya devam

edilmiştir. Son olarak karışıma kalan su ilave edilerek, yonga rutubetinin ortalama %40-45 olması sağlamıştır.

2.2.7. Levha Taslağının Hazırlanması (Serme İşlemi)

Hazırlanan karışımların serilmesi için 45x45 cm boyutlarında bir şekillendirme çerçevesi kullanılmıştır. Bu amaçla; 60x60 cm boyutlarındaki alüminyum pres sacı üzerine levhanın yapışmaması için yağlı kağıt serilmiştir. Dış tabaka karışımı ikiye bölünmüş ve ilk kısım el ile homojen olacak şekilde serilmiştir. Ardından orta tabaka karışımı, son olarak ise dış tabaka karışımının ikinci kısmı serilerek üç tabakalı levha taslağı hazırlanmıştır. Serme işleminden sonra taslak şekillendirme çerçevesi büyüklüğünde bir tabla ile bastırılarak (ön presleme) sıcak pres öncesi yongaların belli oranda birbirlerine bağlanmaları sağlanmıştır. Şekillendirme çerçevesi çıkarıldıktan sonra taslak üzerine bir yağlı kağıt konulmuş ve onun üzerine de ikinci alüminyum pres sacı yerleştirilmiştir. İki pres sacı arasına iki adet 10 mm kalınlığında kalınlık takozu yerleştirildikten sonra levha taslağı sıcak preslemeye hazır hale gelmiştir.

2.2.6. Levha Taslağının Preslenmesi

Levha taslakları, 60x60 cm presleme alanı bulunan elektrikle ısıtılan tek katlı laboratuvar tipi hidrolik sıcak preste preslenmiştir. Taslaklar, 60 °C sıcaklık ve 18-20 kg/cm² basınç şartlarında 8 saat preslendikten sonra sıcaklık kapatılarak 16 saat süreyle aynı basınçta presleme işlemine devam edilmiştir. Her levha tipinden 2'şer adet olmak üzere toplam 192 adet levha üretilmiştir.

2.2.7. Pres Sonrası İşlemler

Presleme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen levhalar çimentonun sertleşme reaksiyonunun devam etmesi nedeniyle 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl neme sahip klimatize odasında 28 gün süreyle olgunlaşmaya bırakılmıştır. Daha sonra; yapılacak deney boyutlarına uygun örnekler daire testere ile kesilmiştir. Deneme levhalarına ait üretim planı Tablo 17'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 17. Deneme levhalarına ait üretim planı

Örnek Kodu	Ağaç Türü	Odun- Çimento Oranı	Sertleştirici Türü (%)			Silis Dumanı (%)	
			Al ₂ (SO ₄) ₃	CaCl ₂	FeCl ₃		
KA0	Kavak	1/3	-	-	-	-	
KA1			5	-	-	-	
KA2			-	5	-	-	
KA3			-	-	5	-	
KA10			-	-	-	-	
KA11			5	-	-	10	
KA12			-	5	-	-	
KA13			-	-	5	-	
KA15			-	-	-	-	
KA16			5	-	-	15	
KA17			-	5	-	-	
KA18			-	-	5	-	
KA20			-	-	-	-	
KA21			5	-	-	20	
KA21			-	5	-	-	
KA23		-	-	5	-		
KB0		Kavak	1/2	-	-	-	-
KB1				5	-	-	-
KB2				-	5	-	-
KB3				-	-	5	-
KB10				-	-	-	-
KB11				5	-	-	10
KB12				-	5	-	-
KB13	-			-	5	-	
KB15	-			-	-	-	
KB16	5			-	-	15	
KB17	-			5	-	-	
KB18	-			-	5	-	
KB20	-			-	-	-	
KB21	5			-	-	20	
KB22	-			5	-	-	
KB23	-	-	5	-			
LA0	Ladin	1/3	-	-	-	-	
LA1			5	-	-	-	
LA2			-	5	-	-	
LA3			-	-	5	-	
LA10			-	-	-	-	
LA11			5	-	-	10	
LA12			-	5	-	-	
LA13			-	-	5	-	
LA15			-	-	-	-	
LA16			5	-	-	15	
LA17			-	5	-	-	
LA18			-	-	5	-	
LA20			-	-	-	-	
LA21			5	-	-	20	
LA22			-	5	-	-	

Tablo 17'nin devamı

LA23	Ladin	1/3	-	-	5	20	
LB0		1/2	-	-	-	-	
LB1			5	-	-	-	
LB2			-	5	-	-	
LB3			-	-	5	-	
LB10			-	-	-	-	
LB11			5	-	-	-	
LB12			-	5	-	-	
LB13			-	-	5	-	
LB15			-	-	-	-	
LB16			5	-	-	-	
LB17			-	5	-	-	
LB18			-	-	5	-	
LB20			-	-	-	-	
LB21			5	-	-	-	
LB22			-	5	-	-	
LB23		-	-	5	-		
GA0		Gök nar	1/3	-	-	-	-
GA 1				5	-	-	-
GA 2				-	5	-	-
GA 3				-	-	5	-
GA 10				-	-	-	-
GA 11				5	-	-	-
GA 12	-			5	-	-	
GA 13	-			-	5	-	
GA 15	-			-	-	-	
GA 16	5			-	-	-	
GA 17	-			5	-	-	
GA 18	-			-	5	-	
GA 20	-			-	-	-	
GA 21	5			-	-	-	
GA 22	-			5	-	-	
GA 23	-		-	5	-		
GB0	1/2		-	-	-	-	
GB1			5	-	-	-	
GB2			-	5	-	-	
GB3			-	-	5	-	
GB10			-	-	-	-	
GB11			5	-	-	-	
GB12			-	5	-	-	
GB13		-	-	5	-		
GB15		-	-	-	-		
GB16		5	-	-	-		
GB17		-	5	-	-		
GB18		-	-	5	-		
GB20		-	-	-	-		
GB21		5	-	-	-		
GB22		-	5	-	-		
GB23	-	-	5	-			

2.3. Araştırma Yöntemi

2.3.1. Odun Hammaddesine Uygulanan Testler

2.3.1.1 Analiz Öncesi İşlemler

Odun türlerinin kimyasal analizleri için örnekler, TAPPI T11 m-45 standardına uygun olarak hazırlanmıştır [174]. Bu amaçla, ladin, göknar ve kavak odun örnekleri, öncelikle kibrit çöpü şeklinde küçük parçalara bölünmüş ve daha sonra Willey laboratuvar tipi değirmende öğütülmüştür. Öğütülen örnekler, 40-60 mesh'lik sarsıntılı elekte eleme işlemine tabi tutulmuş ve 40 mesh'lik elekten geçip, 60 mesh'lik elek üzerinde kalan odun unları kimyasal analizlerde kullanılmak üzere cam kavanozlarda muhafaza edilmiştir. Örneklerin rutubetleri, 103 ± 2 °C'de etüvde kurutularak aynı standarda göre belirlenmiştir.

2.3.1.2. Soğuk Su Çözünürlüğü

Denemeler; TAPPI T 207 om-88 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [174]. Soğuk su çözünürlüğü ile odundaki inorganik madde, tanen, boyar madde, şeker, sakız ve tuzların bulunma oranları belirlenmektedir. Bu amaçla rutubeti önceden belirlenmiş 2 gr hava kurusu örnek, 23 ± 2 °C'deki 300 ml destile su içerisine konulmuş ve ara ara karıştırılmak suretiyle 48 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda örnekler, darası alınan krozeden süzülerek destile su ile yıkanmıştır. Daha sonra örnekler, 103 ± 2 °C'deki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutularak tartılmıştır. Soğuk su çözünürlüğü, aşağıdaki 7 no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100 \quad (7)$$

Burada;

S: Soğuk su çözünürlüğü (%)

A: Ekstraksiyondan önce örneğin tam kuru ağırlığı (g)

B: Ekstraksiyondan sonra örneğin tam kuru ağırlığı (g)'dir.

2.3.1.3. Sıcak Su Çözünürlüğü

Deney TAPPI T 207 om-88 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [174]. Sıcak su çözünürlüğünde; soğuk suda çözünen maddelere ilaveten nişastada çözünmektedir. Bu amaçla; 200 ml'lik bir erlenmayerin içine rutubeti önceden belirlenmiş 2 g hava kurusu örnek ve 100 ml destile su konulmuştur. Sonra erlenmayer bir soğutucu altında 3 saat süreyle kaynayan su banyosu içinde tutulmuştur. Su banyosundaki su seviyesi ile erlenmayerdeki çözelti seviyesinin uyumlu olmasına dikkat edilmiştir. Bu sürenin sonunda, örnekler 2 no'lu krozeden süzülüp, sıcak su ile yıkanıldıktan sonra, $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve bir desikatörde soğutularak tartılmıştır.

Sıcak su çözünürlüğü aşağıdaki 8 no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100 \quad (8)$$

Burada;

S: Sıcak su çözünürlüğü (%)

A: Ekstraksiyon öncesi fırın kurusu ağırlık (g)

B: Ekstraksiyon sonrası fırın kurusu ağırlık (g)'dir.

2.3.1.4. Alkol-Benzen Çözünürlüğü

Alkol-benzen çözünürlüğü; örneklerde bulunan yağ, reçine, tanen, mum gibi ekstraktif maddelerin miktarını belirlemek amacıyla TAPPI T204 om-88 standardına göre gerçekleştirilmiştir [174]. Bu amaçla; soksolet cihazında 1 hacim %95'lik etil alkol ve 2 hacim benzen kullanılarak hazırlanan 200 ml'lik alkol-benzen karışımı ile 2 g'lık odun örneği, saatte 6 toplamda 24 devirlik zaman içerisinde ekstraksiyona tabi tutulmuştur.

Ekstraksiyon balonundan alkol-benzen çözeltisi buharlaştırıldıktan sonra balon ve içindeki kalıntı bir saat süreyle $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuş ve desikatörde soğutularak tartılmıştır. Deney sonunda örnek ağırlığındaki eksilme miktarı tam kuru odun örneğine oranla yüzde olarak 9 no'lu eşitlik ile belirlenmiştir.

$$\text{Ekstrakt (\%)} = \left[\frac{W_e - W_b}{W_p} \right] \times 100 \quad (9)$$

Burada;

We: Kuru ekstrakt ağırlığı (g)

Wb: Balondaki kalıntının ağırlığı (g)

Wp: Tam kuru örnek ağırlığı (g)'dir.

2.3.1.5. %1'lik NaOH Çözünürlüğü

%1'lik NaOH çözünürlüğü ile odunun 100 °C'de seyreltik alkalide çözünmeye karşı dayanıklılığı belirlenmektedir. En önemli uygulama odundaki düşük molekül ağırlıklı karbonhidrat, parçalanmış selüloz ve polyozların miktarının belirlenmesidir.

%1'lik NaOH çözünürlük TAPPI T-212 om-88'e göre belirlenmiştir [174]. Buna göre, 0.1 g hassasiyette tartılan 2gr örnek 200 ml'lik erlenmayer içerisine konulduktan sonra üzerine bir pipetle %1'lik NaOH çözeltisinden 100ml ilave edilmiştir. Erlenmayer 100 °C'deki su banyosuna yerleştirilmiş ve 1 saat süreyle bekletilmiştir. Bekleme süresinin 10., 15. ve 25. dakikalarında üç defa karıştırılmıştır. Daha sonra 105±2 °C'deki etüvde bekletilerek darası alınmış 2 no'lu cam krozeden süzölmüş ve %10'luk 50 ml asetik asit ve sıcak su ile yıkanmıştır. Ardından, örnekler 105±2 °C'de etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutularak tartılmıştır. %1'lik NaOH çözünürlüğü, aşağıdaki 10 no'lu eşitlik vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$S = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100 \quad (10)$$

Burada;

S: Odunun %1'lik NaOH çözünürlüğü (%)

A: Ekstraksiyon öncesi fırın kuru ağırlık (g)

B: Ekstraksiyon sonrası fırın kuru ağırlık (g)'dir.

2.3.1.6. Holoselüloz Tayini

Odundaki karbonhidratlar holoselülozlar olarak ifade edilmektedir. Holoselülozların tam olarak belirlenmesi mümkün değildir. Holoselüloz miktarının belirlenmesinde iki

yöntem uygulanmaktadır. Birinci yöntem; odunun organik bazlı sıcak alkol çözeltileriyle birbirini izleyecek şekilde klorlanması (ASTM Standart D 1104-56), ikincisi ise; Jayme [175] ve Wise vd. [176] tarafından geliştirilen sodyum klorit yöntemidir.

Bu çalışmada; en az kayıpla sonuç veren klorit yöntemi tercih edilmiştir. Analizlerde alkol-benzen ekstraksiyonuna tabi tutulmuş odun örnekleri kullanılmıştır. Bu yöntemde sodyum klorit (NaClO_2), asetik asidin etkisiyle aktif yükseltgen olan kloriti serbest bırakmaktadır. Böylece lignin yükseltgenerek, suda çözünen türevlerine dönüşmekte ve çözeltiliye geçmektedir. Karbonhidratlar ise bu koşullar altında değişmez ve holoselüloz olarak elde edilmektedir.

Yöntemde, ekstraksiyona tabi tutulmuş 5 g odun örnekleri, 160 ml saf su, 1.5 g NaClO_2 ve 10 damla buzlu asetik asit ile 250 ml'lik erlenmayere konulmuş ve erlenmayer 75 °C'deki su banyosuna yerleştirilmiştir. Erlenmayerin üzeri ağzı ters çevrilmiş erlenler ile kapatılmış ve reaksiyon süresince zaman zaman çalkalanarak karıştırılmıştır.

1 g tam kuru oduna iğne yapraklı ağaç örnekleri için 2.37 g, yapraklı türler için ise 1.89 g aktif klor gelecek şekilde sodyum klorit çözeltisi miktarı da hesaplanmış ve 5 saat süren delignifikasyon esnasında örneklere saatte bir ilave azar azar edilmiş ve ortamın pH'sı 4 civarında tutulmuştur. Delignifikasyon süresi sonunda, reaksiyonun hemen sonlandırılması ve zehirli klor çıkışını önlemek için erlenmayer bir buz banyosunda hızla soğutulmuş ve ardından 2 nolu cam krozedden süzülmüştür.

Kalıntı önce asetonla daha sonra da destile su ile yıkanmış ve 103 ± 2 °C'de kurutularak tartılmıştır. Elde edilen sonuç tam kuru oduna oranla % olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.6. α -Selüloz Tayini

Odun örneklerinde α -selüloz tayini TAPPI T203'e göre gerçekleştirilmiştir [174]. Bu yöntemde, 1.5 g holoselüloz örneği 300 ml'lik behere yerleştirilmiş ve üzerine 75 ml %17.5'lük NaOH çözeltisi eklenerek 25 °C'deki su banyosunda 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra, behere %17.5'lük NaOH'dan 25 ml daha eklenmiş ve toplam hacmin 100 ml olması sağlanmıştır. Bunun ardından, 25 °C'deki su banyosuna alınmış ve çözelti cam baget ile sürekli karıştırılarak 25 dakika bekletilmiştir. Bu süre sonunda, behere 100 ml saf su eklenmiş ve 30 dakika daha cam baget ile karıştırmaya devam edilmiştir. Ekstraksiyon tamamlandığında çözelti daha önce tam kuru ağırlığı belirlenmiş 2 no'lu kroze ile vakum altında süzülüş ve bol su ile yıkanmıştır. Ardından %10'lük asetik asit iyice emdirilerek

ekstrakt nötrale edilmiştir. Tekrar saf su ile yıkanan ekstrakt son olarak aseton ile yıkanmış ve 103 ± 2 °C'deki etüvde değişmez ağırlığa ulaşınca kadar kuruduktan sonra tartılmıştır. α -selüloz miktarı (%), örneğin ekstraksiyondan önceki tam kuru ağırlığına oranla yüzde olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.7. Lignin Tayini

Lignin tayininden birçok yöntem kullanılmakta olup, en çok tercih edileni %72'lik sülfirik asit kullanılan "Klason Lignini" yöntemidir. Belirlenmiş koşullarda sülfirik asit, karbonhidratları hidrolizleyerek çözmekte ve böylece aside dayanıklı lignin bir kalıntı olarak elde edilmektedir.

Lignin tayini TAPPI T 211 om-88 standardına göre gerçekleştirilmiştir [174]. Alkol-benzen ekstraksiyonuna tabi tutulmuş 1g hava kurusu odun örneği bir behere konulmuş ve üzerine 12-15 °C sıcaklıktaki 15 ml H₂SO₄ ilave edilmiştir. 10 dk arayla karıştırılarak 18-20 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra beherdeki örnek yıkanarak 1lt'lik erlenmayer'e aktarılmış ve asit konsantrasyonu %3'e düşünceye kadar destile su ile seyreltilmiştir. Seyreltme işlemine erlendeki sıvı miktarı 560 ml olana kadar devam edilmiştir. Bu işlemi takiben karışım bir soğutucu altında ve yaklaşık sabit hacim koşullarında 4 saat kaynatılmıştır. Daha sonra, çözünmeyen maddelerin çökmesi için çözelti 12 saat bekletildikten sonra 4 no'lu krozeden süzölmüş ve serbest asit artıkları sıcak su ile yıkanmıştır. Kalıntı 103 ± 2 °C'de değişmez ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuş ve tartımı gerçekleştirilmiştir. Lignin miktarı (%), ekstrakte edilmemiş tam kuru odun ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.8. Kül Tayini

Odun içerisinde bulunan anorganik bileşikler, materyalin 600 °C'de yakılması sonucunda kül olarak tayin edilmektedir. Kül tayini, TAPPI T 211 om-85'e göre gerçekleştirilmiştir [174]. Daha önceden muffle fırınında 600 °C'de bekletilerek sabit ağırlığa getirilen krozelerin darası alınmış, 4-5 g hava kurusu odun örneği krozelere konularak tartılmıştır. Krozeler içindeki odun örnekleri, çeker ocak altında kütle kaybına yol açmayacak şekilde gaz çıkışı bitene kadar hafif ateşte yakıldıktan sonra, 600 °C'deki

kül fırınına yerleştirilerek sabit ağırlık elde edilene kadar bekletilmiştir. Kül miktarı, tam kuru odun ağırlığına oranla yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.9. pH Değeri

pH ölçümünde kullanılan örnekler TAPPI t m-45'e göre hazırlanmıştır [174]. Rutubetleri belirlenmiş 5 g odun örneği, içinde 150 ml destile su bulunan 250 ml'lik bir erlenmayere yerleştirilmiş ve bir çalkalayıcı ile 24 saat karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti bir vakum pompası yardımıyla süzölmüş ve pH ölçümleri, bir pH metre vasıtasıyla 21.5 °C sıcaklıkta belirlenmiştir. Ölçümler 3 adet örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir [175].

2.3.1.10. Şeker Analizi

Odun örneklerindeki glukoz, ksiloz, galaktoz, arabinoz ve mannoz oranlarının belirlenmesi işlemi; Sluiter vd. [178] tarafından hazırlanan Laboratuvar Analitik Prosedürlerine (LAP) göre Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman ürünleri kimyası Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, üç deney tüpüne ayrı ayrı tam kuru ağırlığı 0.3 g olan örnekler tartılarak konulmuş ve üzerine %72'lik H₂SO₄ ilave edilerek tüplerin ağzı kapatılmıştır. Homojenlik sağlanıncaya kadar Vortex'te karıştırılmış ve sonra ultrasonik banyoda 30 °C'de 10 dk. bekletilmiştir. Tekrar Vortex'te karıştırma yapılmıştır. Bu işlem 6 defa tekrarlandıktan sonra deney tüplerindeki örnekler erlenmayerlere boşaltılmıştır. Üzerine 84 ml saf su ilave edilmiş ve erlenmayerlerin ağzı alüminyum folyo ile kapatılarak 121°C'deki otoklavda 60dk bekletilmiştir. Daha sonra örnekler soğutulmuş ve 20 ml örnek behere alınmıştır. Örnekler, manyetik karıştırıcı ile karıştırılırken, pH 6-7 oluncaya kadar NH₄OH ilave edilmiştir. pH ayarlandıktan sonra örnekler plastik tüpe alınmış ve 1 gün bekletilmiştir. Şeker içeriklerinin belirlenmesinde kırılma indisi detektörü (RID) ve Shodex 1011 kolonu (mobil faz: 5 mM H₂SO₄, akış hızı: 0.5 ml/min, kolon sıcaklığı: 60 °C) entegreli yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC-Agilent 1200 system) cihazı kullanılmıştır.

2.3.2. Deneme Levhalarına Uygulanan Testler

2.3.2.1. Fiziksel Özellikler

2.3.2.1.1. Rutubet Miktarı

Deneme levhalarına ait rutubet miktarları TS EN 322 [179]'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, 50x50x levha kalınlığı mm boyutlarında kesilen örneklerin ağırlıkları ± 0.01 g duyarlılığa sahip analitik terazide tartılmıştır (Şekil 31a). Tartılan örnekler etüvde (Şekil 31b) 101-105 °C'de değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuş daha sonra tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Rutubet miktarı 11 no'lu eşitlik vasıtasıyla hesaplanmıştır.

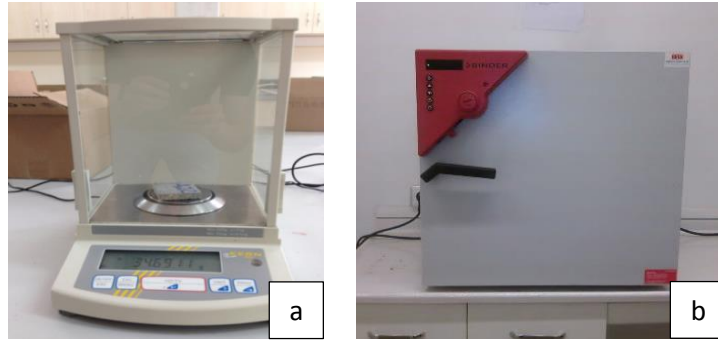
$$r = \left(\frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (11)$$

Burada;

r : Örneğin rutubet miktarı (%)

m : Klimatize edilmiş örnek ağırlığı (g)

m_0 : Tam kuru haldeki örnek ağırlığı (g)



Şekil 31. Analitik terazi ve etüv

2.3.2.1.2. Yoğunluk

Yoğunluk değeri, levhanın teknolojik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Levhaların yoğunluk değerleri TS EN 323 [179]'de belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Buna göre, 50x50x levha kalınlığı mm boyutlarında kesilen örnekler, 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl neme sahip iklimlendirme odasında hava kurusu ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin ağırlıkları analitik terazi, kalınlıkları dijital mikrometre ve genişlikler ise dijital kumpas (Şekil 32) ile ±0.01 mm duyarlılıkla ölçülmüş ve hava kurusu haldeki yoğunluk değerleri aşağıdaki 12 no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{m_r}{a_1 \times a_2 \times t} \quad (12)$$

Burada;

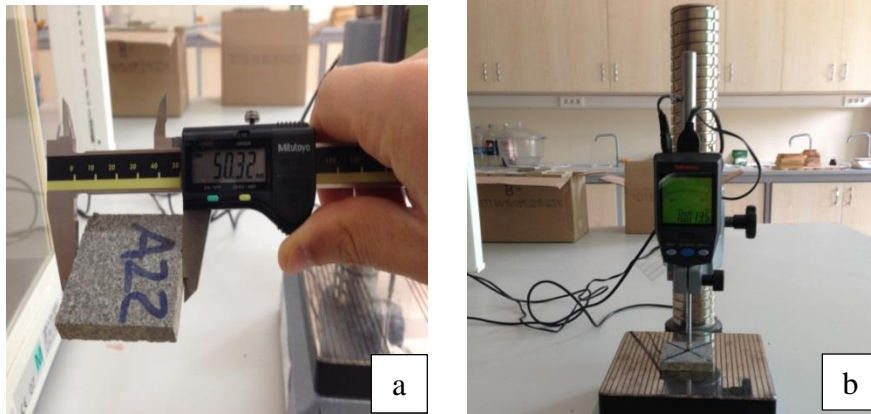
δ : Yoğunluk (g/cm³)

m_r : Hava kurusu ağırlık (g)

a_1 : Örnek genişliği (cm)

a_2 : Örnek uzunluğu (cm)

t : Örnek kalınlığı (cm)'dir.



Şekil 32. Kumpas (a) ve mikrometre (b) ile yoğunluk örneklerinin boyutlarının ölçülmesi

2.3.2.1.3. Su Alma Miktarı

Su alma miktarı ölçümleri ASTM D1037 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [181]. Bu amaçla, 50x50xlevha kalınlığı mm boyutlarında hazırlanan örneklerin ağırlıkları ± 0.01 gr duyarlıklı terazide belirlenmiştir. Daha sonra örnekler 2 ve 24 saat süre ile su yüzeyinden 25 mm altta kalacak şekilde 18-22 °C'deki temiz suya batırılmıştır. Bu süreler sonunda sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bez ile alınmış ve ağırlıkları analitik terazi ile belirlenmiştir. Su alma miktarı (SA) aşağıdaki 13 no'lu eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\%SA = \frac{M_y - M_k}{M_k} \times 100 \quad (13)$$

Burada;

SA: Su alma miktarı (%)

m_k : Örneğin ilk ağırlığı (g)

m_y : Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)'dir.

2.3.2.1.4. Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı

Deneme levhalarının kalınlık artışları TS EN 317 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [182]. Bu amaçla, 50x50xlevha kalınlığı mm boyutlarında örnekler hazırlanmıştır. Örneklerin kalınlıkları; tam orta noktasından ± 0.01 mm duyarlıklı mikrometreyle ölçülmüş ve 18-22 °C sıcaklıktaki temiz su içerisinde, su yüzeyinden 25 mm aşağıda olacak şekilde tutulmuştur. 2 ve 24 saat sonra sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bez ile alınmış ve kalınlıklar ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülerek kalınlık artışları (KA) aşağıdaki 14 no'lu eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\%KA = \frac{e_y - e_k}{e_k} \times 100 \quad (14)$$

Burada;

KA: Örneğin kalınlık artışı oranı (%)

e_y : Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

e_k : Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)'dir.

2.3.2.1.5. Isı İletim Katsayısı

Deneme levhalarının ısı iletkenlik katsayı değerleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ), Üniversite-Sanayi-Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (ÜSKİM), ASTM C 1113-09 [183] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla örnekler 100x100xörnek kalınlığı mm boyutlarında hazırlanmış ve 20±2°C sıcaklık ve %65 bağıl nemde klimatize edilmiştir. Ölçümler Şekil 33'deki Quick Thermal Conductivity Meter (QTM) 500 Kyoto cihazı ile 23 °C'de gerçekleştirilmiştir. Isı iletim katsayısı, aşağıdaki 15 no'lu eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{q \cdot \ln(t_2 \div t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (\text{W/mK}) \quad (15)$$

Burada;

λ : Isı İletim Katsayısı (W/mK)

q: Numuneden geçen ısı miktarı (W)

$t_2 \div t_1$: Ölçülen zaman aralığı (m)

$T_2 - T_1$: İki yüzey arasındaki ısı farkı (K)'dır.



Şekil 33. QTM 500 Kyoto ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı

2.3.2.2. Mekanik Özellikler

2.3.2.2.1. Eğilme Direnci

Eğilme direnci denemeleri TS EN 310 [184] standardında belirtilen esaslara uygun olarak Şekil 34’te verilen Zwick/Roell Z050 üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla levhalardan 250x50xlevha kalınlığı mm boyutlarında örnekler hazırlanmıştır. Sıcaklığı 18-22 °C ve bağıl nemi %60-70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilen örneklerde genişlik dijital kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlık ise yüklemenin yapılacağı hat üzerinde iki noktanın ortalaması alınarak 0.01 mm duyarlıklı dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Üniversal test cihazında yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1-2 dk içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 6mm/dk. hızla çalıştırılmıştır. Eğilme direnci, aşağıdaki 16 no’lu eşitlikten yararlanılarak deney esnasında üniversal test makinesine ait bilgisayar programından otomatik olarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \text{ N/mm}^2 \quad (16)$$

Burada;

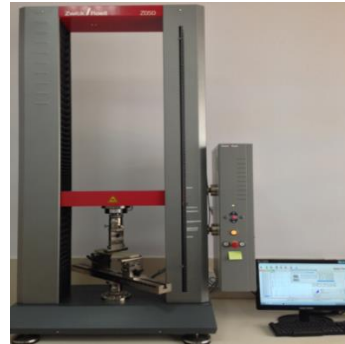
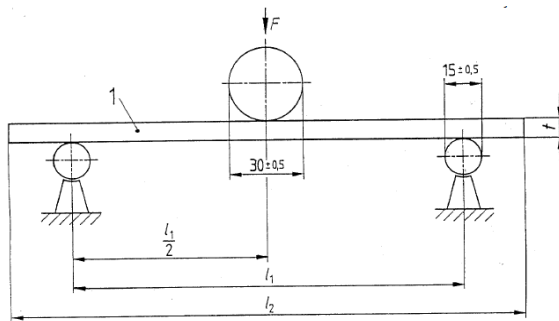
σ_e : Eğilme direnci (N/mm²)

F: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d: Örnek kalınlığı (mm)

b: Örnek genişliği (mm)’dir.



Şekil 34. Zwick/Roell Z050 üniversal test cihazı ve test düzeneği

2.3.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülü TS EN 310 [184] standardında belirtilen esaslara uygun olarak Zwick/Roell Z050 üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 250x50xlevha kalınlığı mm boyutlarında örnekler hazırlanmış ve daha sonra sıcaklığı 18-22°C ve bağıl nemi %60-70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Örneklerin genişliği dijital kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlığı ise yüklemenin yapılacağı hat üzerinde iki noktanın ortalaması alınarak 0.01 mm duyarlıklı dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Üniversal test cihazında yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1-2 dk içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 6 mm/dk hızla çalıştırılmıştır. Elastikiyet modülü, aşağıdaki 17 nolu eşitlikten yararlanılarak deney esnasında üniversal test makinesine ait bilgisayar programından otomatik olarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{Fxl^3}{4x\Delta exbx d^3} \quad (17)$$

Burada;

E: Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

F: Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

I: Dayanaklar arasındaki açıklık (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

d: Örnek kalınlığı (mm)

Δe : Eğilme miktarı (sehim) (mm)'dir.

2.3.2.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Yüzeye dik çekme direnci TS EN 319 [185] standardında belirtilen esaslara uygun olarak Zwick/Roell Z050 üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla levhalardan 50x50x levha kalınlığı mm boyutlarında örnekler alınmıştır. Sıcaklığı 18-22 °C ve bağıl nemi %60-70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilen örneklerin boyutları 0.01 mm duyarlıklı dijital kumpas ile ölçülmüştür. Daha

sonra sıcak mum silikon tabancası (Şekil 35) ile örneklerin her iki yüzüne standartta belirtilen profillere sahip alüminyum çekme takozlarına yapıştırılmıştır (Şekil 35) takoz yapıştırılan örnekler yeniden klimatize edildikten sonra yüzeye dik çekme testi yapılmıştır. Yüzeye dik çekme direnci (YDÇD), aşağıdaki 18 no'lu eşitlikten yararlanılarak deney esnasında üniversal test makinesine ait bilgisayar programından otomatik olarak hesaplanmıştır.

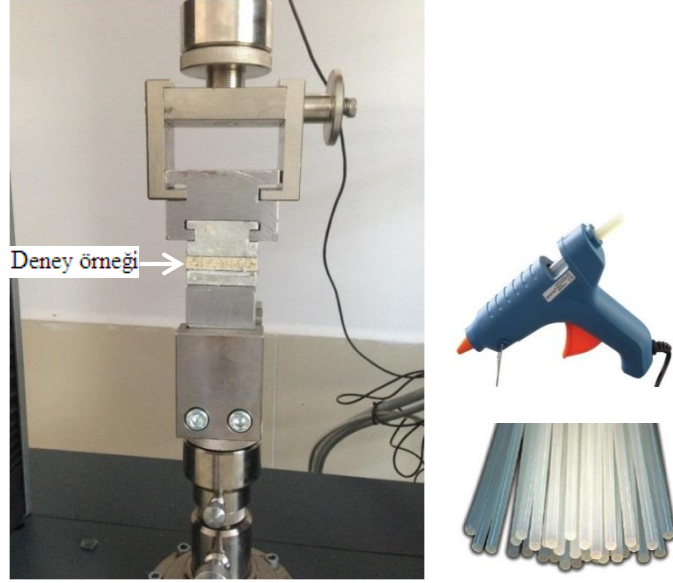
$$\delta_{\text{çd}} = \frac{F_{\text{max}}}{A} \quad (18)$$

Burada;

$\delta_{\text{çd}}$: Yüzeye dik çekme direnci (N/mm²)

F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

A : Örnek enine kesit alanı (mm²)'dir.



Şekil 35. Yüzeye dik çekme direnci deney düzeneği ve mum silikon

2.3.2.2.4. Vida Tutma Gücü

Vida tutma gücü TS EN 320 [186] standardında belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Levha kalınlığı 15mm'den daha ince olduğu için sadece yüzeye dik vida tutma gücü belirlenmiştir. Bu amaçla levhalardan 75x75x mm boyutlarında örnekler kesilmiştir. Örneklerin birer yüzlerine köşegenler çizilerek orta noktaları belirlenmiş ve 2.7±1 mm çapında matkap ile delik açılmıştır. Örnekler, %65±5 bağıl nem ve 20±2 °C sıcaklık şartlarına sahip iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşuncaya kadar depolanmıştır. Bunu takiben, TS 432-1 (EN ISO 1478) [187] standardına uygun olarak 4.2x38 mm anma boyutu ve 1.4 mm vida adımına sahip olan saç vidası ile örnek kalınlığını geçecek şekilde daha önce delinmiş kısımdan, örnek yüzeyine dik şekilde vidalanmıştır. Daha sonra, universal test cihazında vidanın 10 mm/dk hızla çıkarılması sağlanmış (Şekil 36) ve örneklerin vida tutma gücü aşağıdaki 19 no'lu eşitlikten yararlanılarak deney esnasında universal test makinesine ait bilgisayar programından otomatik olarak hesaplanmıştır.

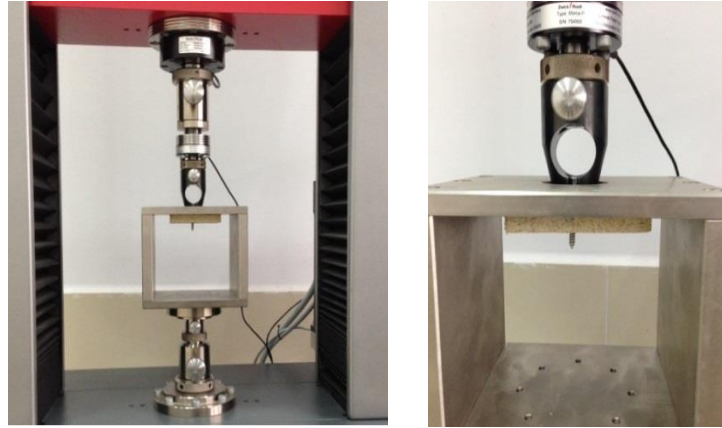
$$W = \frac{F_{max}}{L} N/mm \quad (19)$$

Burada;

W= Vida tutma gücü (N/mm)

Fmax: Uygulanan maksimum kuvvet (N)

L: Örnek kalınlığı (mm)'dir.



Şekil 36. Vida tutma gücü deney düzeneği (Zwick/Roell-5kN)

2.3.2.3. Mantar Çürüklük Testi

EN 113 [188] standardına uygun olarak, modifiye edilmiş çürüklük testleri 25x10x5 mm boyutlarında kesilmiş örnekler kullanılarak KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mikoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çürüklük testinde, *Coniophora puteana* esmer çürüklük mantarı kullanılmış ve tüm gruplara 6 tekrarlı olacak şekilde uygulanmıştır.

Örnekler önce tam kuru ağırlığa gelinceye kadar etüvde 103 ± 2 °C'de kurutulmuş, daha sonra ± 0.01 g duyarlıklı hassas terazide tartılarak tam kuru ağırlıkları (t_0) belirlenmiştir. 1 lt suya 48 g malt ekstrakt-agar konularak homojenlik sağlanıncaya kadar manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltinin sterilize edilmesi amacıyla, 1 litrelik erlenlerin ağızları alüminyum folyo ile kapatılmış, 121 °C'deki bir otoklavda 30 dk bekletilmiş ardından UV ışığı altında steril kabinde soğumaya bırakılmıştır. Şekil 37'de mantar çürüklük testi öncesi (sol) ve sonrası (sağ) örnekler görülmektedir.



Şekil 37. Mantar çürüklük testi örnekleri

Çözelti soğuduktan sonra 90 mm çaplı steril plastik petri kaplarına aktarılarak UV kabininde 1 gün boyunca bekletilmiştir. Agar çözeltisinin iyice donması sağlandıktan sonra *Coniophora puteana* mantarı aşılacaktır. Mantar misellerinin yeterince gelişmesi için bir hafta boyunca 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl nem koşullarındaki klima dolabında bekletilmiştir. Otoklavda 120 °C'de 40 dk süreyle steril edilmiş örnekler, steril bir ortamda her bir petri kabına 1 kontrol ve 1 test örneği olacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra

petri kapları 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem koşullarında 4 ay süreyle mantar saldırısına maruz bırakılmış ve bu süre sonunda örneklerin tam kuru ağırlıkları (t_s) belirlenmiştir. Örneklerde meydana gelen ağırlık kaybı (%) aşağıdaki 15 no'lu formül yardımıyla hesaplanmış ve biyolojik direnç özellikleri değerlendirilmiştir.

$$AK = \left(\frac{t_0 - t_s}{t_0} \right) \times 100 \quad (15)$$

Burada;

AK: Ağırlık kaybı (%)

t_0 : Test öncesi ağırlık (g)

t_s : Test sonrası ağırlık (g)'tir.

2.3.2.4. Formaldehit Emisyonu

Deneme levhalarının formaldehit içeriğinin belirlenmesi, EN 120 [189] standardında belirtilen perforatör yöntemine (ekstraksiyon metodu) göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 25x25xlevha kalınlığı mm boyutlarında deney örnekleri hazırlanmıştır. Yaklaşık 110 gr kadar deney örneği ±0.01 gr duyarlıklı terazide tartılarak perforatör cihazının cam balonu içine yerleştirilmiş ve üzerine 600 ml toluol eklenmiştir. Ardından perforatöre yuvarlak imbik bağlanmış ve yaklaşık 1000 ml destile su ilave edildikten sonra soğutucu ve gaz absorpsiyonu cihazı birbirine bağlanmıştır. Bunun ardından buharlaşan formaldehitin tutulmasını sağlamak için cam boru bağlanmış ve çıkan gazın yılanması amacıyla içine 150 ml su konulan erlenmayer içerisine konulmuştur. Perforatörün balon ısıtıcısı çalıştırılmıştır. Yaklaşık iki saat sonra ısıtma işlemi sonlandırılmıştır. Perforatörün içerisindeki su 20 °C'ye kadar soğutulduktan sonra çıkış musluğundan 2000 ml'lik balon jöjeye aktarılmıştır. Daha sonra balon jöje içerisindeki çözelti destile su ile 2000 ml'ye tamamlanmıştır. Şekil 38'de perforatör cihazı verilmiştir.

Hesaplamalarda kullanılmak üzere kör deneme yapılmıştır. Bu amaçla örnek konulmadan toluol ile aynı deney tekrarlanmıştır.

2000ml'lik balon jöjede bulunan çözülden önce 10 ml alınarak destile su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Daha sonra seyreltilmiş bu çözeltinin 10ml'si alınarak bir şişeye konulmuş ve üzerine 10 ml 0.01N asetil aseton ve 10 ml 0.01 N amonyum asetat ilave edilmiştir. Sıkı bir şekilde kapatılan şişeler yaklaşık 40 °C'deki su banyosunda 10 dk

kaynatıldıktan sonra bir saat oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Bu çözeltideki formaldehit miktarı UV spektrometre cihazında 412 nm’de fotometrik olarak ölçülmüştür.



Şekil 38. Perforatör cihazı

2.3.2.5. Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizi (DTG)

TGA örnek ağırlığının, sıcaklık ve zamana bağlı olarak değişiminin ölçümünü ifade etmektedir. DTG ise TGA eğrilerinin sıcaklık ve zamana bağlı birinci türevi alınarak elde edilmektedir.

TGA/DTG analizinde kullanılacak odun ve levha örnekleri öncelikle küçük parçalara bölünmüş ve daha sonra Willey laboratuvar tipi değirmende 1mm boyutuna kadar öğütülmüştür. Daha sonra örnekler 103 ± 2 °C’de değişmez ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutularak paketlenmiştir. Analizler, Artvin Çoruh Üniversitesi, Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Enstrümantal Laboratuvarı’nda bulunan PerkinElmer STA 6000 Termogravimetrik Analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 39). Cihaz, oda sıcaklığından 900 °C’ye kadar dakikada 10 °C artacak şekilde ayarlanmıştır. Değerler cihazın ekranından doğrudan alınmıştır.



Şekil 39. PerkinElmer STA 6000 termogravimetrik analiz cihazı

2.3.2.6. Morfolojik Özellikler

SEM Elektronları kullanarak örnek yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü alınmasını sağlayan sistem, örnek yüzeyinin üç boyutlu görüntülerinin belirlenmesinde son derece kullanışlı bir yöntemdir.

SEM, çekimleri KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında ZEISS marka, EVO LS 10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 40). Analiz öncesinde, KA0, KA1, KA2, KA3, KA10, KA15 ve KA20 levha örnekleri, sıvı azot içerisinde bir süre bekletildikten sonra sert bir cisim yardımıyla kırılarak temiz bir kırık yüzey elde edilmiştir. Örnek yüzeyinden meydana gelebilecek yansımaları ortadan kaldırmak amacıyla kırık yüzeyler altın tozuyla 10 mA de 120 sn süreyle kaplama işlemine tabi tutulmuşlardır. Örneklerden SEM görüntüleri dijital ortamda elde edilerek CD'ye aktarılmıştır. SEM katı fazların morfolojilerini göstermektedir.



Şekil 40. ZEISS EVO LS 10 taramalı elektron mikroskobu (SEM)

2.4. İstatistik Yöntemler

Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla, ikiden fazla örnek ve bir faktör söz konusu olduğunda basit varyans, ikiden fazla örnek ve iki faktör söz konusu olduğunda ise çoğul varyans analizi kullanılarak değişkenlerin etkilerinin anlamlı olup olmadıkları belirlenmiştir. Etkilenmenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler Duncan testi ile karşılaştırılmıştır. Duncan testinin yapılabilmesi için en az üç grup olması gerektiğinden levhaların özelliklerine ait homojenlik grupları sadece ağaç ve sertleştirici türü ile silis dumanı oranı faktörleri üzerinde uygulanmıştır. Odun-çimento oranı için homojenlik grupları belirlenememiştir. Ağaç türlerine ait kimyasal analiz ile levhalara ait TGA/DTG analizi verilerine istatistiksel analiz uygulanmamış olup, ortalama değerlere ait sonuçlar kullanılmıştır. İstatistik analizlerde SPSS 20 İstatistik Paket Programı kullanılmıştır

3. BULGULAR

3.1. Ağaç Malzemelerin Kimyasal Özelliklerine Ait Bulgular

Deneme levhalarının üretiminde kullanılan Kavak, Ladin ve Gökmar odunlarına uygulanan; α -selüloz, holoselüloz, lignin ve kül tayini ile sıcak-soğuk su çözünürlüğü, alkol-benzen çözünürlüğü, %1'lik NaOH çözünürlüğü, pH ve şeker oranlarına değerlerine ait bulgular Tablo 18'de verilmiştir. Tabloda ağaç türlerinin çözünürlük değerleri ile şeker oranları arasında doğru orantılı ve güçlü bir korelasyonun olduğu görülmektedir.

Tablo 18. Ağaç malzemelerin kimyasal özelliklerine ait bulgular

Analizler	Ağaç Türü								
	Kavak			Ladin			Gökmar		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
Soğuk Su Çözünürlüğü (%)	3.80	0.02	0.5	3.47	0.06	1.7	3.40	0.53	15.5
Sıcak Su Çözünürlüğü (%)	4.21	0.04	0.9	4.55	0.09	2.0	4.51	0.36	7.9
%1 NaOH Çözünürlüğü (%)	19.82	0.09	0.5	14.31	0.11	0.8	14.98	0.04	0.3
Alkol-Benzen Çözünürlüğü (%)	3.69	0.24	6.5	2.70	0.11	4.1	3.26	0.2	6.1
Lignin (%)	17.31	0.18	1.03	27.68	0.62	2.2	28.25	0.02	0.1
Holoselüloz (%)	85.59	0.39	0.46	78.96	0.22	0.3	73.46	0.57	0.8
α – Selüloz (%)	56.87	0.57	1.02	48.59	0.11	0.2	44.62	0.28	0.6
Kül (%)	0.29	0.02	10.3	0.32	0.02	6.3	0.49	0.02	4.1
pH (21.5 °C)	6.32			5.03			5.11		
Glikoz (%)	51.90	0.42	0.81	45.5	0.92	2.02	47	0.21	0.45
Ksiloz (%)	12.50	0.50	4.01	4.12	0.23	5.58	3.90	0.34	8.72
Galaktoz (%)	1.02	0.07	6.86	1.65	0.05	3.03	2.66	0.1	3.75
Arabinoz + Mannoz (%)	3.87	0.23	5.94	6.80	0.71	10.4	10.5	1.12	10.6

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

3.2. Deneme Levhalarının Özelliklerine Ait Bulgular

3.2.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

3.2.1.1. Rutubet Miktarına Ait Bulgular

Deneme levhalarının rutubet miktarlarına ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Deneme levhalarının rutubet değerlerine ait bulgular (%)

Levha Tipi	\bar{X}	S	V	Levha Tipi	\bar{X}	S	V
KA0	9.38	0.52	5.56	KB0	10.30	0.45	4.38
KA1	11.34	1.02	8.99	KB1	11.89	0.12	1.04
KA2	9.33	0.24	2.58	KB2	10.02	0.27	2.66
KA3	9.46	0.14	1.45	KB3	10.16	0.16	1.60
KA10	8.94	0.12	1.32	KB10	9.55	0.14	1.43
KA11	11.38	0.22	1.93	KB11	11.87	0.12	1.03
KA12	10.23	0.05	0.53	KB12	10.96	0.27	2.44
KA13	9.61	0.35	3.61	KB13	10.41	0.18	1.76
KA15	8.97	0.06	0.64	KB15	9.99	0.13	1.30
KA16	11.50	0.14	1.25	KB16	11.85	0.28	2.33
KA17	10.86	0.58	5.38	KB17	10.99	0.34	3.06
KA18	9.77	0.25	2.53	KB18	10.45	0.16	1.51
KA20	9.38	0.24	2.58	KB20	10.03	0.29	2.85
KA21	11.34	0.17	1.52	KB21	11.96	0.07	0.59
KA22	11.26	0.32	2.86	KB22	11.01	0.46	4.15
KA23	9.90	0.17	1.67	KB23	10.28	0.20	1.99
LA0	9.03	0.02	0.26	LB0	9.98	0.12	1.25
LA1	10.93	0.87	7.92	LB1	11.04	0.17	1.53
LA2	9.99	0.72	7.22	LB2	10.01	0.30	2.97
LA3	10.02	0.21	2.11	LB3	10.29	0.24	2.29
LA10	9.23	0.31	3.34	LB10	9.93	0.38	3.84
LA11	10.65	0.47	4.45	LB11	11.24	0.41	3.62
LA12	10.63	0.42	3.95	LB12	10.93	0.25	2.25
LA13	9.72	0.30	3.10	LB13	10.00	0.10	1.03
LA15	9.62	0.57	5.92	LB15	9.89	0.68	6.86
LA16	11.90	1.06	8.91	LB16	11.28	0.18	1.61
LA17	12.12	0.38	3.11	LB17	10.64	0.28	2.60
LA18	10.62	0.44	4.18	LB18	10.01	0.16	1.57
LA20	9.82	0.47	4.76	LB20	9.77	0.14	1.46
LA21	11.22	0.38	3.37	LB21	11.44	0.35	3.08
LA22	12.94	0.27	2.10	LB22	10.84	0.25	2.26
LA23	10.24	0.52	5.04	LB23	9.95	0.24	2.38
GA0	9.02	0.06	0.63	GB0	9.24	0.25	2.75
GA1	10.58	0.86	8.10	GB1	10.59	0.38	3.63

Tablo 19'un devamı

GA2	9.43	0.29	3.08	GB2	9.72	0.23	2.40
GA3	9.41	0.26	2.71	GB3	9.91	0.37	3.77
GA10	9.31	0.56	5.97	GB10	9.58	0.81	8.44
GA11	10.40	0.93	8.89	GB11	10.79	0.25	2.30
GA12	11.13	0.53	4.78	GB12	10.98	0.76	6.92
GA13	9.35	0.42	4.48	GB13	9.86	0.40	4.03
GA15	9.72	0.78	7.98	GB15	10.00	0.53	5.33
GA16	11.28	0.90	7.94	GB16	11.48	0.46	4.01
GA17	12.29	0.40	3.29	GB17	10.97	0.28	2.54
GA18	9.75	0.66	6.79	GB18	9.46	0.14	1.52
GA20	9.07	0.21	2.37	GB20	10.20	0.31	3.03
GA21	10.63	0.50	4.71	GB21	11.47	0.21	1.85
GA22	10.33	0.74	7.21	GB22	10.38	0.47	4.53
GA23	9.25	0.34	3.69	GB23	9.37	0.11	1.14

X: Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Odun-çimento oranı, silis dumanı miktarı, sertleştirici ve ağaç türünün, levhaların rutubet miktarı üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün rutubet oranı üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç Türü (A)	21.944	2	10.972	60.645	***
Sertleştirici Türü (B)	427.262	3	142.421	787.194	***
Silis Dumanı Oranı (C)	49.368	3	16.456	90.956	***
Odun-Çimento Oranı (D)	12.018	1	12.018	66.427	***
A * B İnt.	23.780	6	3.963	21.906	***
A * C İnt.	14.342	6	2.390	13.212	***
A * D İnt.	17.422	2	8.711	48.148	***
B * C İnt.	53.476	9	5.942	32.842	***
B * D İnt.	22.116	3	7.372	40.747	***
C * D İnt.	13.686	3	4.562	25.215	***
A * B * C İnt.	24.879	18	1.382	7.640	***
A * B * D İnt.	4.330	6	0.722	3.989	**
A * C * D İnt.	14.517	6	2.419	13.373	***
B * C * D İnt.	13.542	9	1.505	8.317	***
A * B * C * D İnt.	7.343	18	0.408	2.255	**
Hata	156.317	864	0.181		
Toplam	104055.197	960			

** : 0.001 < x < 0.01; *** : x ≤ 0.001

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; odun/çimento oranı, silis dumanı miktarı, sertleştirici ve ağaç türü faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (ağaç türü*sertleştirici türü*odun-çimento ve ağaç türü*sertleştirici*silis dumanı*odun-çimento oranı etkileşimleri hariç) rutubet miktarı üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Ağaç türü*sertleştirici türü*odun-çimento ve ağaç türü*sertleştirici*silis dumanı*odun-çimento etkileşimlerinin levhaların rutubet miktarı üzerindeki etkisi ise %1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 21’de verilmiştir. Buna göre; kavak ve ladin odunundan üretilen levhalar aynı homojenlik grubunda (H.G.) yer alırken, diğer tüm gruplar farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 21. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının levhaların rutubet miktarı üzerine etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Miktarı	H.G.
Kavak	a	Kontrol	d	%0	d
Ladin	a	Al ₂ (SO ₄) ₃	a	%10	c
Gökmar	b	CaCl ₂	b	%15	a
		FeCl ₃	c	%20	b

3.2.1.2. Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular

Deneme levhalarının yoğunluğuna ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Deneme levhalarının yoğunluk değerlerine ait bulgular (g/cm³)

Levha Tipi	\bar{X}	<i>S</i>	<i>V</i>	Levha Tipi	\bar{X}	<i>S</i>	<i>V</i>
KA0	1.29	0.08	6.05	KB0	1.10	0.04	3.69
KA1	1.18	0.02	2.01	KB1	1.10	0.02	1.41
KA2	1.33	0.07	5.35	KB2	1.16	0.03	2.33
KA3	1.24	0.03	2.31	KB3	1.05	0.03	3.17
KA10	1.17	0.04	3.70	KB10	1.15	0.05	4.34
KA11	1.18	0.09	7.31	KB11	1.06	0.03	3.16
KA12	1.23	0.03	2.27	KB12	1.16	0.02	1.68
KA13	1.24	0.05	4.30	KB13	1.21	0.02	1.99
KA15	1.17	0.02	1.95	KB15	1.16	0.05	3.98
KA16	1.07	0.04	3.31	KB16	1.12	0.06	5.49
KA17	1.22	0.04	3.47	KB17	1.13	0.06	5.66

Tablo 22'nin devamı

KA18	1.19	0.05	3.93	KB18	1.14	0.05	4.68
KA20	1.19	0.04	3.17	KB20	1.16	0.04	3.82
KA21	1.06	0.03	2.70	KB21	1.06	0.04	3.79
KA22	1.27	0.04	3.19	KB22	1.18	0.03	2.17
KA23	1.16	0.02	1.57	KB23	1.11	0.07	6.51
LA0	1.20	0.06	5.02	LB0	1.04	0.03	2.76
LA1	1.24	0.04	2.87	LB1	1.08	0.06	5.79
LA2	1.27	0.08	6.33	LB2	1.14	0.04	3.43
LA3	1.30	0.08	6.38	LB3	1.08	0.03	2.64
LA10	1.24	0.04	2.83	LB10	1.14	0.03	2.41
LA11	1.17	0.04	3.67	LB11	1.13	0.07	6.02
LA12	1.29	0.02	1.90	LB12	1.17	0.05	3.86
LA13	1.22	0.05	3.75	LB13	1.13	0.04	3.38
LA15	1.21	0.05	4.20	LB15	1.19	0.07	6.15
LA16	1.18	0.04	3.31	LB16	1.08	0.03	2.86
LA17	1.22	0.02	2.01	LB17	1.20	0.05	3.81
LA18	1.19	0.07	6.09	LB18	1.11	0.03	2.53
LA20	1.21	0.07	5.91	LB20	1.13	0.06	5.53
LA21	1.13	0.04	3.82	LB21	1.04	0.03	3.10
LA22	1.20	0.03	2.75	LB22	1.23	0.04	3.07
LA23	1.23	0.06	4.82	LB23	1.04	0.05	4.39
GA0	1.26	0.02	1.86	GB0	1.17	0.03	2.67
GA1	1.21	0.08	6.49	GB1	1.15	0.06	5.06
GA2	1.28	0.05	3.57	GB2	1.22	0.08	6.53
GA3	1.25	0.09	7.39	GB3	1.07	0.07	6.10
GA10	1.26	0.05	3.96	GB10	1.17	0.03	2.93
GA11	1.20	0.02	1.43	GB11	1.09	0.06	5.26
GA12	1.27	0.05	4.15	GB12	1.14	0.04	3.20
GA13	1.20	0.15	12.31	GB13	1.06	0.03	2.74
GA15	1.23	0.06	4.70	GB15	1.14	0.04	3.61
GA16	1.18	0.06	4.70	GB16	1.05	0.06	5.50
GA17	1.19	0.04	3.28	GB17	1.17	0.04	3.54
GA18	1.18	0.06	5.33	GB18	1.06	0.07	6.26
GA20	1.15	0.06	5.05	GB20	1.11	0.07	6.38
GA21	1.08	0.06	5.75	GB21	1.07	0.06	5.99
GA22	1.20	0.06	5.36	GB22	1.13	0.04	3.94
GA23	1.13	0.05	4.71	GB23	1.00	0.04	3.65

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türünün, levha yoğunluğu üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün yoğunluk üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç Türü (A)	0.021	2	0.010	3.810	*
Sertleştirici Türü (B)	1.013	3	0.338	124.156	***
Silis Dumanı Oranı (C)	0.343	3	0.114	42.012	***
Odun-Çimento Oranı (D)	1.792	1	1.792	659.309	***
A * B İnt.	0.156	6	0.026	9.561	***
A * C İnt.	0.157	6	0.026	9.634	***
A * D İnt.	0.031	2	0.016	5.707	**
B * C İnt.	0.145	9	0.016	5.931	***
B * D İnt.	0.106	3	0.035	12.950	***
C * D İnt.	0.252	3	0.084	30.918	***
A * B * C İnt.	0.184	18	0.010	3.754	***
A * B * D İnt.	0.093	6	0.016	5.732	***
A * C * D İnt.	0.115	6	0.019	7.044	***
B * C * D İnt.	0.082	9	0.009	3.354	***
A * B * C * D İnt.	0.186	18	0.010	3.792	***
Hata	2.349	864	0.003		
Toplam	1307.351	960			

*: $0.01 \leq x \leq 0.05$; **: $0.001 < x < 0.01$; ***: $x \leq 0.001$

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; ağaç türünün levha yoğunluğu üzerindeki etkisi %5 yanılma olasılığı, ağaç türü*odun-çimento etkileşimi ise %1 yanılma olasılığı için anlamlı bulunmuştur. Odun-çimento oranı, silis dumanı miktarı, sertleştirici türü faktörleri ile tüm faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (ağaç türü-odun/çimento oranı etkileşimi hariç) yoğunluk üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının levhaların yoğunluğuna etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	ab	Kontrol	b	%0	a
Ladin	a	Al ₂ (SO ₄) ₃	d	%10	a
Gök nar	b	CaCl ₂	a	%15	b
		FeCl ₃	c	%20	c

3.2.1.3. Su Alma Miktarına Ait Bulgular

Deneme levhalarının 2 ve 24 saatlerdeki su alma oranlarına ait ortalama, standart sapma ve varyans katsayısı değerleri Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. Deneme levhalarının su alma oranlarına ait bulgular (%)

Levha Tipi	2 Saat			24 Saat			Levha Tipi	2 Saat			24 Saat		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V		\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
KA0	18.0	1.4	7.5	20.4	1.6	7.9	KB0	23.6	0.5	2.2	27.2	0.5	1.8
KA1	20.6	1.2	6.0	23.0	1.5	6.5	KB1	28.3	2.8	9.9	32.6	3.2	9.9
KA2	13.7	1.2	8.5	18.5	1.1	5.7	KB2	16.8	1.2	6.9	22.6	0.8	3.3
KA3	19.8	0.5	2.6	22.4	0.7	3.2	KB3	28.7	0.6	2.2	32.7	0.9	2.8
KA10	18.9	1.4	7.2	21.9	1.8	8.1	KB10	23.6	1.0	4.3	27.8	1.3	4.6
KA11	24.2	1.6	6.8	27.8	2.1	7.6	KB11	27.0	1.2	4.5	30.8	1.5	4.9
KA12	14.8	1.3	8.6	18.5	1.1	5.7	KB12	13.2	1.1	8.7	19.6	1.0	4.9
KA13	21.2	0.4	2.1	24.6	0.7	2.9	KB13	20.8	0.5	2.5	24.2	0.6	2.6
KA15	19.1	1.1	5.7	22.0	1.6	7.2	KB15	20.9	1.3	6.3	24.8	1.2	4.7
KA16	23.7	1.3	5.4	26.7	1.6	6.1	KB16	24.6	0.7	3.0	28.3	0.9	3.1
KA17	11.8	1.1	9.3	16.6	0.7	4.4	KB17	17.3	1.6	9.2	22.6	1.1	4.7
KA18	21.3	0.9	4.3	24.6	1.0	4.0	KB18	24.5	0.9	3.6	27.9	1.3	4.6
KA20	18.5	0.8	4.5	21.6	1.2	5.4	KB20	21.4	1.0	4.6	25.1	1.1	4.4
KA21	24.2	0.8	3.1	27.6	1.0	3.8	KB21	25.8	0.3	1.3	29.4	0.6	1.9
KA22	12.3	1.0	8.1	15.4	0.4	2.7	KB22	14.2	1.0	7.1	20.2	0.5	2.5
KA23	21.2	0.6	2.8	23.6	0.6	2.4	KB23	27.0	1.6	6.1	30.0	1.6	5.4
LA0	17.5	0.6	3.5	19.4	0.7	3.9	LB0	25.7	1.1	4.4	28.1	1.5	5.4
LA1	19.8	0.4	1.9	21.9	0.5	2.2	LB1	26.0	0.9	3.4	28.4	1.2	4.1
LA2	11.2	1.0	8.6	15.1	0.7	4.9	LB2	19.6	0.6	3.0	22.1	0.9	3.9
LA3	18.1	1.2	6.5	20.4	1.5	7.3	LB3	25.9	1.0	3.9	28.6	1.1	3.9
LA10	14.3	0.8	5.8	16.9	0.8	5.0	LB10	16.3	0.5	3.3	20.5	0.6	3.1
LA11	18.5	0.9	4.6	20.8	1.1	5.2	LB11	24.0	1.0	4.1	27.3	1.2	4.5
LA12	8.4	1.0	11.5	13.8	0.8	5.8	LB12	10.3	0.9	8.5	17.3	0.7	4.0
LA13	18.5	0.6	3.4	21.7	0.9	4.1	LB13	27.0	0.8	3.0	30.6	1.0	3.4
LA15	13.3	1.3	9.5	16.8	1.2	7.1	LB15	18.2	1.7	9.5	22.3	1.6	7.1
LA16	19.3	1.1	5.7	22.2	1.2	5.6	LB16	22.7	1.1	4.8	26.1	1.3	5.1
LA17	8.8	0.9	10.0	13.9	0.9	6.1	LB17	13.7	1.3	9.8	19.7	0.6	3.0
LA18	15.3	0.7	4.6	18.2	0.6	3.2	LB18	22.9	0.7	3.1	27.0	0.9	3.5
LA20	14.5	0.8	5.6	17.6	1.0	5.9	LB20	18.7	1.9	10.0	22.6	1.8	7.9
LA21	18.6	1.4	7.8	21.2	1.5	7.3	LB21	23.2	1.8	7.7	27.0	1.6	6.0
LA22	8.0	0.7	8.9	12.9	0.4	2.7	LB22	13.5	1.1	8.2	19.1	0.7	3.8
LA23	17.0	1.6	9.7	19.9	1.9	9.3	LB23	24.3	1.0	4.3	27.8	1.3	4.8
GA0	16.2	0.5	3.1	18.6	0.6	3.3	GB0	20.5	1.0	4.8	23.7	1.2	4.9
GA1	19.7	0.8	4.1	22.1	0.9	4.2	GB1	22.2	1.3	6.0	25.2	1.7	6.9
GA2	10.1	0.3	2.9	14.2	0.6	3.9	GB2	15.8	1.0	6.6	20.4	0.9	4.4
GA3	16.5	1.8	10.8	19.7	1.9	9.8	GB3	22.6	1.7	7.4	26.7	1.9	7.1
GA10	12.7	0.9	7.4	15.9	0.8	4.8	GB10	17.4	1.1	6.4	21.5	0.9	4.3
GA11	19.2	1.3	7.0	21.8	1.4	6.6	GB11	23.3	0.9	3.8	26.5	1.1	4.2
GA12	8.7	0.8	9.6	12.9	0.6	4.9	GB12	13.1	1.1	8.3	18.9	0.6	3.1

Tablo 25'in devamı

GA13	20.0	0.9	4.4	22.5	1.2	5.1	GB13	25.3	1.6	6.4	28.5	2.0	7.0
GA15	15.6	1.1	7.2	18.3	1.3	7.0	GB15	19.9	1.3	6.3	23.0	1.7	7.5
GA16	20.0	1.3	6.5	22.5	1.6	7.0	GB16	24.5	1.3	5.3	27.9	1.7	6.2
GA17	7.2	0.7	9.1	11.8	1.6	13.2	GB17	11.1	1.0	8.9	18.9	0.8	4.5
GA18	17.1	1.0	6.1	19.9	1.1	5.7	GB18	24.2	1.2	4.8	27.7	1.6	5.8
GA20	13.4	1.3	9.7	17.6	0.8	4.3	GB20	15.7	1.4	9.1	21.7	1.2	5.3
GA21	22.9	1.3	5.5	25.9	1.7	6.4	GB21	26.6	1.2	4.6	30.2	1.7	5.6
GA22	14.3	0.7	5.2	17.8	0.8	4.7	GB22	16.1	1.3	8.4	21.3	0.8	3.8
GA23	21.1	0.9	4.1	24.0	1.2	5.0	GB23	29.2	0.8	2.9	32.8	1.0	3.1

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Suda bekletme süresi, odun-çimento ve silis dumanı oranı, sertleştirici ve ağaç türünün; levhaların su alma oranına etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 26'da verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonucuna göre; suda bekletme süresi, odun-çimento ve silis dumanı oranı, sertleştirici ve ağaç türü faktörlerinin ve süre*odun-çimento, süre*silis dumanı, süre*sertleştirici, odun-çimento*silis dumanı, odun-çimento*sertleştirici, odun-çimento*ağaç türü, silis dumanı*sertleştirici, silis dumanı*ağaç türü, sertleştirici*ağaç türü, süre*silis dumanı*ağaç türü, odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici, odun-çimento*silis dumanı*ağaç türü, odun-çimento*sertleştirici*ağaç türü, silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü, odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü etkileşimlerinin levhaların su alma miktarı üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Süre*silis dumanı*sertleştirici etkileşiminin su alma miktarı üzerindeki etkisi %1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Süre*silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü etkileşiminin su alma miktarı üzerindeki etkisi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Diğer taraftan, süre*ağaç türü, süre*odun-çimento*silis dumanı, süre*odun-çimento*sertleştirici, süre*odun-çimento*ağaç türü, süre*sertleştirici*ağaç türü, süre*odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici, süre*odun-çimento*silis dumanı*ağaç türü, süre*odun-çimento*sertleştirici*ağaç türü ve süre*odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü etkileşimleri ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 27'de verilmiştir. Buna göre; %10 ve %15 silis dumanı içeren örnek grupları aynı homojenlik grubunda yer alırken, diğer tüm gruplar farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 26. Suda bekletme süresi, odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün su alma oranlarına etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Süre (A)	6473.427	1	6473.427	4644.992	***
Odun-Çimento Oranı (B)	11973.713	1	11973.713	8591.709	***
Silis Dumanı Oranı (C)	607.175	3	202.392	145.226	***
Sertleştirici Türü (D)	25894.826	3	8631.609	6193.590	***
Ağaç Türü (E)	3047.970	2	1523.985	1093.532	***
A*B İnt.	97.536	1	97.536	69.987	***
A*C İnt.	33.722	3	11.241	8.066	***
A*D İnt.	290.958	3	96.986	69.592	***
A*E İnt.	2.601	2	1.300	.933	Ö.D.
B*C İnt.	423.458	3	141.153	101.284	***
B*D İnt.	415.416	3	138.472	99.360	***
B*E İnt.	355.903	2	177.951	127.689	***
C*D İnt.	829.792	9	92.199	66.157	***
C*E İnt.	1119.843	6	186.641	133.923	***
D*E İnt.	413.463	6	68.911	49.447	***
A*B*C İnt.	2.945	3	0.982	0.704	Ö.D.
A*B*D İnt.	8.898	3	2.966	2.128	Ö.D.
A*B*E İnt.	3.211	2	1.606	1.152	Ö.D.
A*C*D İnt.	34.597	9	3.844	2.758	**
A*C*E İnt.	36.352	6	6.059	4.347	***
A*D*E İnt.	9.280	6	1.547	1.110	Ö.D.
B*C*D İnt.	244.643	9	27.183	19.505	***
B*C*E İnt.	320.364	6	53.394	38.313	***
B*D*E İnt.	94.680	6	15.780	11.323	***
C*D*E İnt.	1466.706	18	81.484	58.468	***
A*B*C*D İnt.	19.306	9	2.145	1.539	Ö.D.
A*B*C*E İnt.	10.687	6	1.781	1.278	Ö.D.
A*B*D*E İnt.	7.593	6	1.266	0.908	Ö.D.
A*C*D*E İnt.	42.978	18	2.388	1.713	*
B*C*D*E İnt.	688.640	18	38.258	27.452	***
A*B*C*D*E İnt.	18.170	18	1.009	0.724	Ö.D.
Hata	2408.203	1728	1.394		
Toplam	884510.749	1920			

Ö.D.: Önemli değil; $x > 0.05$; *: $0.01 \leq x \leq 0.05$; **: $0.001 < x < 0.01$; ***: $x \leq 0.001$

Tablo 27. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının su alma oranına etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	c	Kontrol	b	%0	c
Ladin	a	Al ₂ (SO ₄) ₃	d	%10	a
Gökmar	b	CaCl ₂	a	%15	a
		FeCl ₃	c	%20	b

3.2.1.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranına Ait Bulgular

Deneme levhalarının 2 ve 24 saatlerdeki kalınlık artımı oranlarına ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28. Deneme levhalarının kalınlık artımına ait bulgular (%)

Levha Tipi	2 Saat			24 Saat			Levha Tipi	2 Saat			24 Saat		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V		\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
KA0	2.7	0.15	5.5	3.1	0.26	8.2	KB0	9.5	0.90	9.5	10.6	0.52	5.0
KA1	4.1	0.39	9.5	4.7	0.38	8.2	KB1	7.7	0.51	6.6	8.9	0.65	7.3
KA2	1.6	0.16	9.6	2.2	0.15	6.5	KB2	4.3	0.40	9.4	5.9	0.45	7.6
KA3	6.1	0.56	9.3	6.9	0.68	9.9	KB3	14.2	0.98	6.9	15.7	0.68	4.3
KA10	2.2	0.14	6.2	2.8	0.19	6.8	KB10	6.7	0.59	8.9	7.3	0.42	5.7
KA11	4.1	0.20	4.8	4.4	0.23	5.2	KB11	8.1	0.58	7.2	8.8	0.50	5.7
KA12	1.8	0.15	8.5	2.3	0.20	8.7	KB12	3.9	0.25	6.4	5.8	0.42	7.1
KA13	4.5	0.44	9.6	5.1	0.31	6.1	KB13	7.4	0.36	4.9	8.2	0.48	5.9
KA15	2.1	0.16	7.4	2.3	0.19	8.4	KB15	5.2	0.41	7.9	6.1	0.38	6.3
KA16	3.8	0.38	10.1	4.0	0.35	8.8	KB16	5.9	0.58	9.8	6.5	0.61	9.4
KA17	1.2	0.12	9.9	1.7	0.10	6.2	KB17	3.1	0.29	9.3	3.9	0.20	5.1
KA18	4.4	0.47	10.6	5.1	0.21	4.2	KB18	9.0	0.65	7.2	9.7	0.60	6.2
KA20	2.1	0.17	8.2	2.5	0.21	8.7	KB20	4.4	0.30	6.7	4.8	0.35	7.3
KA21	3.6	0.33	9.2	3.9	0.31	7.8	KB21	6.2	0.45	7.3	6.6	0.51	7.7
KA22	1.3	0.12	8.8	1.5	0.15	9.9	KB22	3.5	0.30	8.7	5.1	0.37	7.3
KA23	6.9	0.50	7.3	7.6	0.49	6.4	KB23	9.5	0.89	9.3	10.1	0.38	3.8
LA0	3.0	0.24	8.0	3.3	0.21	6.3	LB0	9.6	0.60	6.3	10.6	0.46	4.3
LA1	4.6	0.41	8.8	5.1	0.38	7.5	LB1	6.2	0.49	8.0	6.7	0.61	9.1
LA2	1.9	0.13	6.8	2.5	0.23	9.5	LB2	5.9	0.38	6.4	6.5	0.53	8.1
LA3	3.2	0.29	9.0	3.7	0.22	6.0	LB3	11.1	0.46	4.2	11.9	0.51	4.3
LA10	2.0	0.19	9.4	2.8	0.24	8.5	LB10	3.7	0.32	8.5	4.8	0.47	9.8
LA11	4.2	0.31	7.5	4.5	0.19	4.1	LB11	6.5	0.40	6.1	7.4	0.30	4.1
LA12	1.2	0.07	6.2	1.7	0.14	8.4	LB12	2.4	0.14	5.7	3.6	0.23	6.5
LA13	3.0	0.12	3.9	3.6	0.10	2.9	LB13	10.1	0.83	8.3	11.3	0.26	2.3
LA15	1.4	0.13	9.2	1.6	0.08	4.7	LB15	4.1	0.40	9.7	4.9	0.37	7.4
LA16	2.9	0.15	5.1	3.3	0.17	5.2	LB16	6.4	0.52	8.1	7.1	0.36	5.1
LA17	0.8	0.05	6.3	1.9	0.08	4.5	LB17	2.6	0.20	7.6	3.6	0.33	9.3
LA18	2.8	0.26	9.3	3.3	0.20	6.1	LB18	8.1	0.70	8.7	8.5	0.36	4.2
LA20	1.6	0.10	6.0	1.9	0.18	9.2	LB20	3.8	0.35	9.1	4.4	0.38	8.8
LA21	3.0	0.26	8.5	3.4	0.28	8.3	LB21	7.1	0.68	9.7	7.9	0.26	3.3
LA22	1.1	0.13	10.9	1.4	0.07	4.8	LB22	2.4	0.22	9.2	3.3	0.24	7.4
LA23	2.8	0.22	7.8	3.3	0.18	5.3	LB23	7.4	0.63	8.5	8.2	0.73	8.9
GA0	1.8	0.15	8.2	2.1	0.14	6.6	GB0	4.5	0.24	5.3	5.1	0.29	5.7
GA1	3.4	0.34	10.1	3.7	0.22	5.9	GB1	6.3	0.16	2.5	7.1	0.29	4.2
GA2	1.0	0.07	6.5	1.2	0.07	6.0	GB2	3.3	0.11	3.2	4.3	0.30	6.9
GA3	2.8	0.25	9.0	3.7	0.19	5.2	GB3	5.4	0.30	5.6	6.2	0.60	9.7
GA10	1.3	0.09	6.8	1.7	0.15	8.7	GB10	2.0	0.19	9.1	2.5	0.11	4.4
GA11	2.5	0.06	2.6	2.9	0.21	7.5	GB11	4.7	0.28	5.8	5.3	0.40	7.5
GA12	0.7	0.06	8.1	1.0	0.05	4.9	GB12	2.3	0.21	9.3	2.8	0.25	8.9

Tablo 28'in devamı

GA13	3.8	0.38	10.0	4.5	0.24	5.5	GB13	9.2	0.68	7.4	10.3	0.33	3.3
GA15	1.3	0.09	7.2	1.6	0.08	5.1	GB15	5.8	0.30	5.2	6.3	0.40	6.3
GA16	2.7	0.17	6.2	3.1	0.15	4.9	GB16	5.7	0.35	6.2	6.5	0.49	7.4
GA17	0.8	0.08	10.4	1.2	0.11	9.1	GB17	1.6	0.14	8.9	2.8	0.03	1.1
GA18	2.7	0.15	5.4	3.1	0.27	8.8	GB18	7.5	0.24	3.2	8.2	0.70	8.6
GA20	1.4	0.11	8.2	1.7	0.09	5.2	GB20	2.4	0.16	6.8	3.1	0.24	8.0
GA21	2.3	0.16	7.3	2.7	0.18	6.7	GB21	5.6	0.34	5.9	6.4	0.61	9.4
GA22	0.8	0.07	8.6	1.2	0.12	10.2	GB22	2.7	0.16	5.9	3.6	0.33	9.2
GA23	2.6	0.22	8.5	2.9	0.21	7.2	GB23	9.0	0.52	5.8	9.9	0.37	3.8

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Suda bekletme süresi, odun-çimento ve silis dumanı oranı, sertleştirici ve ağaç türünün; levhaların kalınlık artımı oranına etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 29'da verilmiştir.

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; suda bekletme süresi, odun-çimento ve silis dumanı oranı, sertleştirici ve ağaç türü faktörlerinin ve süre*odun-çimento, süre*sertleştirici, odun-çimento*silis dumanı, odun-çimento*sertleştirici, odun-çimento*ağaç türü, silis dumanı*sertleştirici, silis dumanı*ağaç türü, sertleştirici*ağaç türü, süre*odun-çimento*sertleştirici, süre*silis dumanı*ağaç türü, odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici, odun-çimento*silis dumanı*ağaç türü, odun-çimento*sertleştirici*ağaç türü, silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü, süre*odun-çimento*sertleştirici*ağaç türü, silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü, odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü etkileşimlerinin kalınlık artımına etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Süre*silis dumanı, süre*ağaç türü ve süre*silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü etkileşimlerinin kalınlık artımına etkisi %1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Süre*sertleştirici*ağaç türü, süre*odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici ve süre*odun-çimento*silis dumanı*sertleştirici*ağaç türü etkileşimlerinin kalınlık artımı üzerindeki etkisi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Diğer taraftan, süre*odun-çimento*silis dumanı, süre*odun-çimento*ağaç türü, süre*silis dumanı*sertleştirici ve süre*odun-çimento*silis dumanı*ağaç türü etkileşimlerinin levhanın kalınlık artımı üzerindeki etkisi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 30'da verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; tüm levha grupları farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 29. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün kalınlık artımı oranlarına etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Süre (A)	205.224	1	205.224	1552.593	***
Odun-Çimento Oranı (B)	6021.141	1	6021.141	45552.086	***
Silis Dumanı Oranı (C)	621.591	3	207.197	1567.520	***
Sertleştirici Türü (D)	4696.311	3	1565.437	11843.090	***
Ağaç Türü (E)	896.234	2	448.117	3390.165	***
A*B İnt.	19.473	1	19.473	147.322	***
A*C İnt.	1.869	3	.623	4.714	**
A*D İnt.	5.019	3	1.673	12.658	***
A*E İnt.	1.462	2	0.731	5.532	**
B*C İnt.	169.826	3	56.609	428.265	***
B*D İnt.	587.381	3	195.794	1481.248	***
B*E İnt.	53.142	2	26.571	201.017	***
C*D İnt.	185.586	9	20.621	156.003	***
C*E İnt.	255.718	6	42.620	322.432	***
D*E İnt.	139.114	6	23.186	175.408	***
A*B*C İnt.	0.323	3	0.108	0.814	Ö.D.
A*B*D İnt.	2.082	3	0.694	5.251	***
A*B*E İnt.	0.661	2	0.331	2.501	Ö.D.
A*C*D İnt.	1.290	9	0.143	1.084	Ö.D.
A*C*E İnt.	4.129	6	0.688	5.206	***
A*D*E İnt.	2.054	6	0.342	2.589	*
B*C*D İnt.	180.854	9	20.095	152.025	***
B*C*E İnt.	176.209	6	29.368	222.181	***
B*D*E İnt.	106.796	6	17.799	134.658	***
C*D*E İnt.	611.131	18	33.952	256.857	***
A*B*C*D İnt.	2.549	9	0.283	2.143	*
A*B*C*E İnt.	1.442	6	0.240	1.818	Ö.D.
A*B*D*E İnt.	2.870	6	0.478	3.619	***
A*C*D*E İnt.	4.870	18	0.271	2.047	**
B*C*D*E İnt.	379.234	18	21.069	159.391	***
A*B*C*D*E İnt.	4.034	18	0.224	1.696	*
Hata	228.410	1728	0.132		
Toplam	55798.066	1920			

Ö.D.: Önemli Değil; $x > 0.05$; *: $0.01 \leq x \leq 0.05$; **: $0.001 < x < 0.01$; ***: $x \leq 0.001$

Tablo 30. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının kalınlık artımı oranına etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	c	Kontrol	b	%0	d
Ladin	b	Al ₂ (SO ₄) ₃	c	%10	c
Göknar	a	CaCl ₂	a	%15	a
		FeCl ₃	d	%20	b

3.2.1.5. Isı İletim Katsayısına Ait Bulgular

Levhaların ısı iletim katsayısı değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı sonuçları Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31. Levhaların ısı iletim katsayılarına ait bulgular (W/mK)

Levha Tipi	Ortalama (\bar{X})	Standart Sapma (S)	Varyasyon Katsayısı (V)
KA0	0.3950	0.02268	5.742
KA10	0.3374	0.02268	6.722
KA15	0.4292	0.02268	5.284
KA20	0.4312	0.02268	5.260
KB0	0.3476	0.01513	4.353
LA0	0.4391	0.01512	3.443
LB0	0.3255	0.01514	4.651
GA0	0.4731	0.01513	3.198
GB0	0.3421	0.01514	4.426

Odun-çimento oranı ve ağaç türünün; deneme levhalarının ısı iletim katsayısı değerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Ağaç türü ve odun-çimento oranının levhaların ısı iletim katsayısı değerlerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç Türü (A)	0.011	2	0.006	20.037	***
Odun-Çimento Oranı (B)	0.114	1	0.114	411.047	***
AxB İnt.	0.016	2	0.008	28.166	***
Hata	0.012	42	0.000		
Toplam	7.343	48			

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; ağaç türü, odun-çimento oranı ve ağaç türü*odun-çimento oranı etkileşiminin levhanın ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 34’te verilmiştir. Buna göre; kavak ve ladin aynı homojenlik grubunda (H.G.) yer alırken, Gökmar farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 33. Silis dumanının levhalarının ısı iletim katsayısı değerlerine etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	0.046	3	0.015	29.839	***
Gruplar içi	0.014	28	0.001		
Toplam	0.060	31			

Silis dumanının levhaların ısı iletim katsayısı değerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 33'te verilmiştir. Buna göre; silis dumanı kullanımının levhanın ısı iletkenlik katsayısına etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 34'te verilmiştir. Buna göre; %15 ve %20 silis dumanı katkılı deneme levhaları aynı homojenlik grubunda yer alırken, kontrol ve %10 silis dumanı katkılı levhalar farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 34. Silis dumanı ve ağaç türünün levhanın ısı iletim katsayısına etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	a	%0	b
Ladin	a	%10	a
Gökmar	b	%15	c
		%20	c

3.2.2. Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

3.2.2.1. Eğilme Direncine Ait Bulgular

Deneme levhalarının eğilme direncine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 35'te verilmiştir.

Tablo 35. Deneme levhalarının eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha Tipi	\bar{X}	S	V	Levha Tipi	\bar{X}	S	V
KA0	9.17	0.42	4.58	KB0	8.71	0.87	9.99
KA1	9.83	0.51	5.19	KB1	10.25	0.824	8.03
KA2	13.17	0.67	5.09	KB2	13.95	0.68	4.87
KA3	8.34	0.58	6.95	KB3	6.17	0.40	6.48
KA10	8.57	0.37	4.32	KB10	9.42	0.49	5.20
KA11	8.72	0.44	5.05	KB11	10.04	0.8	7.97
KA12	11.15	0.34	3.05	KB12	14.75	0.88	5.97
KA13	7.04	0.31	4.40	KB13	11.38	0.61	5.36
KA15	8.11	0.39	4.81	KB15	10.5	0.43	4.10
KA16	8.16	0.38	4.66	KB16	11.88	0.55	4.63
KA17	11.74	0.86	7.33	KB17	13.58	0.94	6.92
KA18	6.98	0.51	7.31	KB18	9.30	0.74	7.96
KA20	7.95	0.49	6.16	KB20	11.35	0.46	4.05
KA21	7.19	0.65	9.04	KB21	11.20	0.83	7.41
KA22	12.79	0.63	4.92	KB22	14.01	0.37	2.64
KA23	7.56	0.35	4.63	KB23	6.88	0.56	8.14
LA0	7.72	0.42	5.44	LB0	5.17	0.29	5.61
LA1	8.82	0.59	6.69	LB1	8.48	0.48	5.66
LA2	12.40	0.67	5.40	LB2	11.08	0.47	4.24
LA3	9.14	0.48	5.25	LB3	5.68	0.39	6.87
LA10	10.91	0.49	4.49	LB10	11.67	0.34	2.91
LA11	8.03	0.45	5.60	LB11	10.8	0.62	5.74
LA12	13.12	0.33	2.52	LB12	15.11	1.1	7.28
LA13	7.91	0.21	2.65	LB13	5.98	0.16	2.68
LA15	10.38	0.29	2.79	LB15	9.68	0.44	4.55
LA16	8.42	0.59	7.01	LB16	10.59	0.24	2.27
LA17	12.80	0.87	6.80	LB17	13.37	0.56	4.19
LA18	8.45	0.56	6.63	LB18	7.71	0.26	3.37
LA20	9.92	0.54	5.44	LB20	10.37	0.43	4.15
LA21	7.15	0.21	2.94	LB21	9.61	0.64	6.66
LA22	11.02	0.81	7.35	LB22	12.84	0.91	7.09
LA23	8.07	0.6	7.43	LB23	6.87	0.61	8.88
GA0	9.10	0.45	4.95	GB0	10.45	0.38	3.64
GA1	8.58	0.49	5.71	GB1	9.75	0.72	7.38
GA2	10.54	0.38	3.61	GB2	13.62	0.77	5.65
GA3	7.57	0.51	6.74	GB3	7.48	0.61	8.16
GA10	10.32	0.39	3.78	GB10	10.92	0.36	3.30
GA11	8.10	0.46	5.68	GB11	7.72	0.32	4.15
GA12	11.84	0.54	4.56	GB12	13.51	0.71	5.26
GA13	7.09	0.51	7.19	GB13	5.87	0.29	4.94
GA15	8.53	0.56	6.57	GB15	11.86	0.9	7.59
GA16	7.60	0.57	7.50	GB16	7.63	0.41	5.37
GA17	12.12	0.82	6.77	GB17	13.17	1.04	7.90
GA18	7.53	0.56	7.44	GB18	6.92	0.48	6.94
GA20	7.80	0.38	4.87	GB20	10.43	0.9	7.59
GA21	6.02	0.49	8.14	GB21	7.28	0.37	5.08
GA22	9.04	0.66	7.30	GB22	11.86	0.29	2.78
GA23	5.75	0.38	6.61	GB23	5.01	0.33	6.59

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Tablo 36. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün eğilme direnci üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç Türü (A)	168.307	2	84.154	260.031	***
Sertleştirici Türü (B)	3433.909	3	1144.636	3536.877	***
Silis Dumanı Oranı (C)	116.199	3	38.733	119.684	***
Odun-Çimento Oranı (D)	168.765	1	168.765	521.476	***
A * B İnt.	122.630	6	20.438	63.153	***
A * C İnt.	199.914	6	33.319	102.954	***
A * D İnt.	107.659	2	53.830	166.332	***
B * C İnt.	176.900	9	19.656	60.735	***
B * D İnt.	164.520	3	54.840	169.454	***
C * D İnt.	109.267	3	36.422	112.543	***
A * B * C İnt.	238.867	18	13.270	41.005	***
A * B * D İnt.	76.561	6	12.760	39.429	***
A * C * D İnt.	146.835	6	24.472	75.619	***
B * C * D İnt.	83.581	9	9.287	28.696	***
A * B * C * D İnt.	97.534	18	5.419	16.743	***
Hata	279.616	864	.324		
Toplam	93299.908	960			

***: $\alpha \leq 0.001$

Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türünün, levhannın eğilme direnci üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 36'da verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonucuna göre; odun-çimento ve silis dumanı oranı, sertleştirici ve ağaç türü faktörlerinin ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin eğilme direnci üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 37'de verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre tüm gruplar farklı homojenlik grubunda (H.G.) yer almıştır.

Tablo 37. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının eğilme direncine etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	a	Kontrol	b	%0	c
Ladin	b	Al ₂ (SO ₄) ₃	c	%10	a
Gökmar	c	CaCl ₂	a	%15	b
		FeCl ₃	d	%20	d

3.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 38’de verilmiştir.

Tablo 38. Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular (N/mm²)

Levha Tipi	\bar{X}	S	V	Levha Tipi	\bar{X}	S	V
KA0	4885.5	395.3	8.09	KB0	3285.6	255.2	7.77
KA1	6281.3	248.7	3.96	KB1	4611.4	299.5	6.49
KA2	6085.5	530.0	8.71	KB2	4832.7	241.1	4.99
KA3	3951.3	278.2	7.04	KB3	2420.1	184.5	7.62
KA10	4404.3	375.4	8.52	KB10	3777.2	242.8	6.43
KA11	5114.3	480.5	9.39	KB11	4531.4	401.0	8.85
KA12	5547.2	322.8	5.82	KB12	5242.7	361.1	6.89
KA13	3562.6	136.3	3.83	KB13	4122.7	357.0	8.66
KA15	4554.1	228.1	5.01	KB15	4215.6	331.3	7.86
KA16	4761.4	157.7	3.31	KB16	5051.4	341.3	6.76
KA17	5478.5	252.3	4.60	KB17	4907	424.2	8.65
KA18	3417.2	288.4	8.44	KB18	3338.3	235.1	7.04
KA20	4375.6	212.8	4.86	KB20	4461.4	297.0	6.66
KA21	4282.7	237.3	5.54	KB21	4888.2	411.6	8.42
KA22	5492.7	240.3	4.37	KB22	4954.1	289.6	5.85
KA23	3691.4	205.4	5.56	KB23	2800.1	203.7	7.28
LA0	4455.3	167.2	3.75	LB0	2412.7	222.8	9.23
LA1	5321.4	154.6	2.91	LB1	4420.1	451.8	10.22
LA2	6601.4	521.1	7.89	LB2	4330.1	162.3	3.75
LA3	5178.5	239.1	4.62	LB3	2888.3	152.8	5.29
LA10	6005.4	313.5	5.22	LB10	5218.5	275.0	5.27
LA11	4810.1	187.7	3.90	LB11	5358.5	392.6	7.33
LA12	6814.3	562.5	8.25	LB12	6074.3	501.3	8.25
LA13	4488.5	252.9	5.63	LB13	3038.5	201.0	6.62
LA15	6204.3	332.9	5.37	LB15	4622.7	276.8	5.99
LA16	5038.5	436.0	8.65	LB16	5802.7	369.0	6.36
LA17	6804.3	505.7	7.43	LB17	5698.5	220.1	3.86
LA18	4937.2	449.9	9.11	LB18	3331.4	167.6	5.03
LA20	5814.3	237.3	4.08	LB20	4825.6	246.3	5.10
LA21	4448.3	274.2	6.16	LB21	5385.6	531.3	9.86
LA22	5728.5	458.4	8.00	LB22	5411.4	413.7	7.64
LA23	4531.4	379.9	8.38	LB23	3481.4	251.9	7.23
GA0	5478.5	233.6	4.26	GB0	4290.1	209.4	4.88
GA1	5150.1	325.8	6.33	GB1	4491.2	157.0	3.50
GA2	6485.4	504.1	7.77	GB2	5382.7	257.2	4.78
GA3	4587.2	387.7	8.45	GB3	3765.6	313.3	8.32
GA10	6020.1	492.8	8.19	GB10	5067.2	261.4	5.16
GA11	5027.2	343.2	6.83	GB11	4038.5	288.3	7.14
GA12	6432.7	306.9	4.77	GB12	5652.7	312.6	5.53
GA13	3925.6	301.5	7.68	GB13	2854.1	187.8	6.58

Tablo 38'in devamı

GA15	5134.3	328.2	6.39	GB15	3897.2	211.7	5.43
GA16	4754.1	391.6	8.24	GB16	3934.3	180.9	4.60
GA17	6357.2	447.1	7.03	GB17	5510.1	445.1	8.08
GA18	3867	221.6	5.73	GB18	3232.7	230.7	7.14
GA20	4895.6	313.1	6.40	GB20	4495.6	238.6	5.31
GA21	3728.3	262.6	7.04	GB21	3608.3	264.2	7.32
GA22	4930.1	375.9	7.62	GB22	4958.7	399.7	8.06
GA23	3575.6	284.5	7.96	GB23	2355.4	195.4	8.30

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türünün; levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 39'da verilmiştir.

Tablo 39. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç Türü (A)	43368173.6	2	21684086.8	206.57	***
Sertleştirici Türü (B)	490497931.6	3	163499310.5	1557.5	***
Silis Dumanı Oranı (C)	23580307.6	3	7860102.5	74.88	***
Odun-Çimento Oranı(D)	136064841.5	1	136064841.5	1296.19	***
A * B İnt.	36143039.63	6	6023839.93	57.385	***
A * C İnt.	52402938.65	6	8733823.11	83.201	***
A * D İnt.	6747623.3	2	3373811.6	32.140	***
B * C İnt.	41385206.8	9	4598356.3	43.805	***
B * D İnt.	24262684.8	3	8087561.6	77.044	***
C * D İnt.	41906952.9	3	13968984.3	133.072	***
A * B * C İnt.	37616059.8	18	2089781.1	19.908	***
A * B * D İnt.	23842705.2	6	3973784.2	37.855	***
A * C * D İnt.	14467713.7	6	2411285.6	22.971	***
B * C * D İnt.	8990868.2	9	998985.36	9.517	***
A * B * C * D İnt.	12027500.9	18	668194.49	6.365	***
Hata	90696776.1	864	104973.12		
Toplam	22242572923	960			

***: $\alpha \leq 0.001$

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türü faktörlerinin ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo

40'ta verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre tüm gruplar farklı homojenlik grubunda (H.G.) yer almıştır.

Tablo 40. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının eğilmede modülüne etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	c	Kontrol	c	%0	c
Ladin	a	Al ₂ (SO ₄) ₃	b	%10	a
Gök nar	b	CaCl ₂	a	%15	b
		FeCl ₃	d	%20	d

3.2.2.3. Yüze Dik Çekme Direncine Ait Bulgular

Deneme levhalarının yüze dik çekme direncine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 41'de verilmiştir.

Tablo 41. Deneme levhalarının yüze dik çekme direncine ait bulgular (N/mm²)

Levha Tipi	\bar{X}	S	V	Levha Tipi	\bar{X}	S	V
KA0	0.85	0.07	8.77	KB0	0.38	0.03	8.17
KA1	0.61	0.06	9.34	KB1	0.57	0.04	6.93
KA2	1.62	0.15	9.22	KB2	1.36	0.05	3.59
KA3	0.57	0.05	8.18	KB3	0.25	0.02	9.29
KA10	0.55	0.05	9.61	KB10	0.54	0.05	9.40
KA11	0.61	0.05	8.57	KB11	0.58	0.05	9.30
KA12	1.43	0.13	9.48	KB12	1.40	0.13	9.16
KA13	0.54	0.05	8.86	KB13	0.65	0.06	8.49
KA15	0.67	0.06	9.00	KB15	0.61	0.04	7.25
KA16	0.52	0.04	8.22	KB16	0.68	0.05	7.04
KA17	1.76	0.14	7.88	KB17	1.43	0.07	4.66
KA18	0.73	0.06	8.57	KB18	0.49	0.03	6.03
KA20	0.86	0.06	6.85	KB20	0.74	0.07	8.87
KA21	0.59	0.04	7.38	KB21	0.73	0.06	7.53
KA22	1.85	0.10	5.40	KB22	1.32	0.12	9.34
KA23	0.70	0.06	8.98	KB23	0.51	0.04	6.79
LA0	0.74	0.06	8.30	LB0	0.18	0.01	7.11
LA1	0.81	0.07	8.86	LB1	0.50	0.03	5.73
LA2	1.46	0.08	5.29	LB2	0.70	0.07	9.34
LA3	0.86	0.05	6.36	LB3	0.26	0.02	5.88
LA10	1.18	0.10	8.92	LB10	0.88	0.07	8.21
LA11	0.66	0.05	7.98	LB11	0.61	0.05	8.55
LA12	1.70	0.17	9.73	LB12	1.26	0.10	7.87
LA13	0.79	0.05	6.32	LB13	0.27	0.02	8.06

Tablo 42'nin devamı

LA15	1.19	0.09	7.19	LB15	0.72	0.05	6.37
LA16	0.75	0.07	9.11	LB16	0.57	0.05	9.50
LA17	1.59	0.16	9.86	LB17	1.13	0.10	9.00
LA18	0.69	0.05	7.58	LB18	0.40	0.04	9.13
LA20	1.17	0.09	8.07	LB20	0.85	0.07	8.17
LA21	0.57	0.05	8.82	LB21	0.45	0.04	7.72
LA22	1.51	0.12	8.10	LB22	1.43	0.08	5.88
LA23	0.81	0.06	7.57	LB23	0.43	0.03	6.78
GA0	0.88	0.09	9.88	GB0	0.73	0.06	8.01
GA1	0.76	0.07	9.42	GB1	0.75	0.07	8.79
GA2	1.72	0.12	7.06	GB2	1.04	0.05	4.68
GA3	0.83	0.07	8.44	GB3	0.50	0.04	8.06
GA10	1.61	0.07	4.63	GB10	1.13	0.10	8.82
GA11	0.96	0.04	4.39	GB11	0.71	0.04	5.98
GA12	1.93	0.05	2.47	GB12	1.43	0.14	9.74
GA13	0.69	0.06	8.28	GB13	0.289	0.03	8.63
GA15	0.95	0.09	8.99	GB15	0.42	0.04	8.50
GA16	0.77	0.06	7.29	GB16	0.57	0.05	7.85
GA17	1.89	0.11	5.84	GB17	1.31	0.08	5.98
GA18	0.73	0.07	9.75	GB18	0.43	0.04	9.55
GA20	0.96	0.08	8.10	GB20	1.06	0.07	6.29
GA21	0.49	0.04	8.96	GB21	0.57	0.05	7.89
GA22	1.78	0.07	3.99	GB22	1.21	0.06	4.62
GA23	0.67	0.05	6.76	GB23	0.39	0.03	7.95

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Tablo 42. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün yüzeye dik çekme direnci üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Ö.D.
Ağaç Türü (A)	2.215	2	1.107	208.536	***
Sertleştirici Türü (B)	122.160	3	40.720	7668.871	***
Silis Dumanı Oranı (C)	2.767	3	0.922	173.676	***
Odun-Çimento Oranı (D)	17.887	1	17.887	3368.675	***
A * B İnt.	4.126	6	0.688	129.523	***
A * C İnt.	3.439	6	0.573	107.941	***
A * D İnt.	2.310	2	1.155	217.501	***
B * C İnt.	4.560	9	.507	95.411	***
B * D İnt.	4.171	3	1.390	261.817	***
C * D İnt.	1.075	3	0.358	67.511	***
A * B * C İnt.	5.681	18	0.316	59.441	***
A * B * D İnt.	0.573	6	0.096	17.999	***
A * C * D İnt.	1.676	6	0.279	52.608	***
B * C * D İnt.	0.512	9	0.057	10.721	***
A * B * C * D İnt.	2.396	18	0.133	25.069	***
Hata	4.588	864	0.005		
Toplam	914.821	960			

S.D.: Sertbestlik Derecesi; Ö.D.: Önem Derecesi; ***: $\chi \leq 0.001$

Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türünün, levhanın yüzeye dik çekme direnci üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 42’de verilmiştir.

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; odun-çimento ve silis dumanı oranı, sertleştirici ve ağaç türü faktörlerinin ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin yüzeye dik çekme direnci üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 43’te verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre tüm gruplar farklı homojenlik grubunda (H.G.) yer almıştır.

Tablo 43. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının yüzeye dik çekme direncine etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	c	Kontrol	b	%0	d
Ladin	b	Al ₂ (SO ₄) ₃	c	%10	a
Gök nar	a	CaCl ₂	a	%15	c
		FeCl ₃	d	%20	b

3.2.2.4. Vida Tutma Gücüne Ait Bulgular

Deneme levhalarının vida tutma gücüne ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 44’te verilmiştir.

Tablo 44. Deneme levhalarının vida tutma gücüne ait bulgular (N/mm²)

Levha Tipi	\bar{X}	<i>S</i>	<i>V</i>	Levha Tipi	\bar{X}	<i>S</i>	<i>V</i>
KA0	93	9.14	9.83	KB0	62.6	5.95	9.50
KA1	89.6	8.60	9.60	KB1	69.4	3.63	5.23
KA2	110.8	10.18	9.19	KB2	119.55	11.47	9.59
KA3	70	5.66	8.08	KB3	55.8	5.27	9.44
KA10	97	8.72	8.99	KB10	70.6	4.55	6.45
KA11	53.4	4.03	7.55	KB11	57.8	4.64	8.02
KA12	122	6.70	5.49	KB12	142.2	11.08	7.79
KA13	61	4.47	7.33	KB13	99	5.96	6.02
KA15	76	7.09	9.32	KB15	92.6	7.01	7.57
KA16	66.2	2.04	3.09	KB16	78	7.24	9.28
KA17	134.8	7.93	5.88	KB17	141.6	10.04	7.09
KA18	65.2	2.53	3.88	KB18	77.2	4.73	6.13

Tablo 44'ün devamı

KA20	87.8	7.61	8.67	KB20	90.2	3.68	4.08
KA21	77.6	7.68	9.89	KB21	85.8	6.05	7.05
KA22	147	11.33	7.71	KB22	132.8	5.35	4.03
KA23	63.2	6.20	9.81	KB23	76.6	4.88	6.37
LA0	74	6.43	8.69	LB0	45.8	3.55	7.76
LA1	87.6	6.02	6.87	LB1	65.2	3.55	5.45
LA2	124	7.80	6.29	LB2	86.6	5.60	6.47
LA3	77.6	6.69	8.62	LB3	40.8	2.82	6.91
LA10	98.8	4.34	4.39	LB10	89.6	4.45	4.97
LA11	84.6	3.31	3.91	LB11	68.8	3.43	4.98
LA12	131	8.77	6.69	LB12	128.2	5.43	4.24
LA13	77.6	5.68	7.32	LB13	37.4	2.88	7.69
LA15	113.4	5.64	4.97	LB15	91	6.15	6.75
LA16	78.2	6.23	7.97	LB16	65.4	4.09	6.25
LA17	132.4	11.97	9.04	LB17	120.4	7.79	6.47
LA18	81.2	6.58	8.10	LB18	62.2	3.68	5.91
LA20	98.8	6.12	6.19	LB20	90.2	5.35	5.93
LA21	76.8	5.14	6.69	LB21	55.4	3.17	5.72
LA22	128	5.29	4.13	LB22	99.8	5.31	5.32
LA23	81	6.77	8.35	LB23	64.4	3.57	5.54
GA0	87.6	6.48	7.40	GB0	86.4	3.57	4.13
GA1	73.6	2.80	3.80	GB1	75.6	6.00	7.94
GA2	125	8.14	6.51	GB2	121.6	6.59	5.42
GA3	63.8	3.55	5.57	GB3	59.4	4.88	8.22
GA10	107.8	5.39	5.00	GB10	104.2	4.59	4.40
GA11	76.6	5.10	6.66	GB11	68.6	5.60	8.17
GA12	126.4	7.01	5.55	GB12	141.8	12.34	8.70
GA13	59.2	3.55	6.00	GB13	43.6	3.44	7.89
GA15	88.6	8.78	9.91	GB15	69.2	6.12	8.85
GA16	66.8	2.94	4.40	GB16	60.2	4.92	8.17
GA17	134.4	11.86	8.83	GB17	118.8	5.79	4.87
GA18	81.3	2.50	3.07	GB18	56.6	4.03	7.13
GA20	85.4	6.98	8.17	GB20	98.6	5.91	5.99
GA21	77	5.77	7.50	GB21	65	2.67	4.10
GA22	112.2	5.55	4.95	GB22	114	7.15	6.27
GA23	59.6	4.55	7.64	GB23	41.6	2.88	6.91

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türünün; levhaların vida tutma gücü üzerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 45'te verilmiştir.

Tablo 45. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün levhaların vida tutma gücü üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ağaç Türü (A)	2665.285	2	1332.642	33.578	***
Sertleştirici Türü (B)	516727.924	3	172242.641	4339.906	***
Silis Dumanı Oranı (C)	9553.007	3	3184.336	80.234	***
Odun-Çimento Oranı (D)	16396.934	1	16396.934	413.145	***
A * B İnt.	12653.701	6	2108.950	53.138	***
A * C İnt.	14086.417	6	2347.736	59.155	***
A * D İnt.	21985.120	2	10992.560	276.974	***
B * C İnt.	21562.334	9	2395.815	60.366	***
B * D İnt.	1072.780	3	357.593	9.010	***
C * D İnt.	4796.680	3	1598.893	40.286	***
A * B * C İnt.	27803.039	18	1544.613	38.919	***
A * B * D İnt.	8114.482	6	1352.414	34.076	***
A * C * D İnt.	9022.982	6	1503.830	37.891	***
B * C * D İnt.	6964.627	9	773.847	19.498	***
A * B * C * D İnt.	14307.258	18	794.848	20.027	***
Hata	34290.525	864	39.688		
Toplam	8024916.25	960			

***: $\alpha \leq 0.001$

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türü faktörlerinin ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin yüzeye dik çekme direnci üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 46'da verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; ladin ve göknar aynı homojenlik grubunda (H.G.) yer alırken, kavak farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Sertleştirici türüne ait tüm varyasyonlar farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Silis dumanı miktarında ise %10 ve %15 oranında silis dumanı ile üretilen levha grupları aynı homojenlik grubunda yer almıştır. Kontrol (%0) ve %20 silis dumanlı levhalar ise farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 46. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının vida tutma gücüne etkisine ait duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	a	Kontrol	b	%0	c
Ladin	b	Al ₂ (SO ₄) ₃	c	%10	a
Göknar	b	CaCl ₂	a	%15	a
		FeCl ₃	d	%20	b

3.2.3. Mantar Çürüklük Testine Ait Bulgular

Deneme levhalarının mantar çürüklük testi sonrası meydana gelen ağırlık değişimine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 47’de verilmiştir.

Tablo 47. Deneme levhalarının mantar çürüklük testi sonrası ağırlık değişimine ait bulgular (%)

Levha Tipi	\bar{X}	S	V	Levha Tipi	\bar{X}	S	V
KA0	9.05	0.64	7.05	KB0	7.49	0.68	9.08
KA1	9.64	0.29	3.05	KB1	6.39	0.36	5.55
KA2	5.07	0.47	9.27	KB2	4.10	0.41	9.99
KA3	6.43	0.16	2.48	KB3	4.53	0.21	4.64
KA10	8.10	0.42	5.15	KB10	7.09	0.13	1.81
KA15	7.09	0.47	6.65	KB15	6.33	0.14	2.13
KA20	5.36	0.32	5.89	KB20	6.31	0.16	2.51
LA0	7.29	0.61	8.31	LB0	8.45	0.76	8.96
LA1	8.06	0.35	4.35	LB1	7.40	0.16	2.19
LA2	4.22	0.38	9.08	LB2	5.16	0.17	3.27
LA3	4.05	0.30	7.47	LB3	2.01	0.03	1.56
LA10	6.32	0.16	2.47	LB10	6.15	0.27	4.42
LA15	4.40	0.18	4.16	LB15	4.62	0.10	2.05
LA20	4.18	0.23	5.47	LB20	4.13	0.10	2.32
GA0	6.59	0.38	5.76	GB0	8.07	0.70	8.63
GA1	8.94	0.46	5.08	GB1	7.77	0.32	4.07
GA2	3.59	0.11	2.97	GB2	3.04	0.12	3.77
GA3	4.53	0.39	8.55	GB3	4.14	0.25	6.14
GA10	6.35	0.36	5.64	GB10	6.11	0.11	1.74
GA15	6.10	0.12	1.96	GB15	5.61	0.27	4.75
GA20	6.04	0.30	4.97	GB20	5.43	0.45	8.37

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türünün; mantar çürüklüğü üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 48’de verilmiştir.

Tablo 48. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün mantar çürüklüğü üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç Türü (A)	94.395	2	47.197	370.575	***
Sertleştirici Türü (B)	817.793	3	272.598	2140.326	***
Silis Dumanı Oranı (C)	236.795	3	78.932	619.740	***
Odun-Çimento Oranı (D)	42.970	1	42.970	337.386	***
A * B İnt.	65.951	6	10.992	86.303	***
A * C İnt.	38.109	6	6.352	49.870	***
A * D İnt.	5.817	2	2.909	22.837	***
B * D İnt.	43.578	3	14.526	114.053	***
C * D İnt.	6.671	3	2.224	17.460	***
A * B * D İnt.	23.546	6	3.924	30.812	***
A * C * D İnt.	30.548	6	5.091	39.975	***
Hata	48.143	378	.127		
Toplam	16388.275	420			

***: $\alpha \leq 0.001$

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; odun-çimento ve silis dumanı oranı ile sertleştirici ve ağaç türü faktörleri ile bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (silis dumanı*sertleştirici türü, ağaç türü*silis dumanı*sertleştirici türü, silis dumanı*sertleştirici türü*odun-çimento oranı ve ağaç türü*silis dumanı* sertleştirici türü*odun-çimento oranı etkileşimleri hariç) levhaların mantar çürüklüğü üzerindeki etkisini %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 49’de verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; $Al_2(SO_4)_3$ ve $FeCl_3$ sertleştiricileri ile üretilen levhalar aynı homojenlik grubunda (H.G.) yer alırken, diğer tüm gruplar farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 49. Sertleştirici ve ağaç türü ile silis dumanı oranının mantar çürüklüğüne etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.	Silis Dumanı Oranı	H.G.
Kavak	a	Kontrol	b	%0	b
Ladin	c	$Al_2(SO_4)_3$	a	%10	a
Gök nar	b	$CaCl_2$	c	%15	c
		$FeCl_3$	c	%20	d

3.2.4. Formaldehit Emisyonuna Ait Bulgular

Deneme levhalarının formaldehit içeriğine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 50’de verilmiştir.

Tablo 50. Bazı deneme levhalarının formaldehit içeriğine ait bulgular (%)

Levha Tipi	\bar{X}	S	V
A16	0.73	0.045	6.16
A17	1.02	0.026	2.55
A18	1.15	0.072	6.26
C16	0.93	0.035	3.76
C17	0.79	0.032	4.05
C18	1.00	0.047	4.71
E16	0.99	0.071	7.17
E17	0.83	0.032	3.86
E18	0.73	0.043	5.89

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, V: Varyasyon Katsayısı

Sertleştirici ve ağaç türünün; levhaların formaldehit içeriği üzerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 51’de verilmiştir.

Tablo 51. Ağaç ve sertleştirici türünün levhaların formaldehit içeriği üzerine etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ağaç Türü (A)	0.102	2	0.051	22.748	***
Sertleştirici Türü (B)	0.061	2	0.031	13.688	***
A * B İnt.	0.687	4	0.172	76.547	***
Hata	0.081	36	0.002		
Toplam	38.014	45			

Çoğul varyans analizi sonucuna göre; sertleştirici ve ağaç türü faktörlerinin ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşiminin formaldehit içeriği üzerindeki etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 52’de verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; $Al_2(SO_4)_3$

ve CaCl_2 aynı homojenlik grubunda (H.G.) yer alırken, FeCl_3 farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Ağaç türüne ait tüm varyasyonlar farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 52. Sertleştirici ve ağaç türünün formaldehit miktarı üzerindeki etkisine ait Duncan testi sonuçları

Ağaç Türü	H.G.	Sertleştirici Türü	H.G.
Kavak	c	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	a
Ladin	b	CaCl_2	a
Gök nar	a	FeCl_3	b

3.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analiz (DTG)

Odun-çimento oranı, sertleştirici türü ve silis dumanı miktarının deneme levhalarının sıcaklığa göre meydana gelen ağırlık kaybı oranları ve 900°C 'deki kalıntı miktarı üzerindeki etkisi Tablo 53'de verilmiştir.

Tablo 53. Deneme levhalarının TGA analizine ait bulgular

Örnek	Ağırlık Kaybı (%)									Kalan (%)
	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)									
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900
Kavak	2.46	0.55	17.4	53.52	5.29	4.28	3.51	3.05	1.56	8.19
Ladin	5.71	0.45	11.0	54	6.19	6.42	5.27	4.11	1.75	4.21
Gök nar	6.52	0.89	14.4	48.27	6.33	6.46	5.63	4.43	2.09	3.80
Çimento	0.83	1.78	1.20	1.09	1.93	1.38	3.56	11.36	0.39	76.47
KA0	1.59	1.83	4.37	7.89	2.84	2.13	3.73	9.86	0.62	65.03
KA1	1.71	2.15	4.76	7.99	3.02	2.48	4.70	9.18	0.80	63.10
KA2	2.10	2.24	5.45	9.17	3.06	2.39	4.96	8.49	0.52	61.47
KA3	1.97	2.19	5.67	9.62	3.09	2.57	5.03	7.46	0.58	61.71
KA10	1.73	1.98	4.45	8.47	2.94	2.14	3.53	8.37	0.55	65.71
KA15	1.92	2.01	5.14	9.84	2.94	2.04	3.04	7.66	0.58	64.75
KA20	1.39	1.72	4.64	9.54	2.96	2.08	3.10	7.17	0.64	66.74
KB0	2.38	1.53	9.32	19.34	4.19	2.49	3.57	6.99	0.67	49.30
KB1	2.07	2.01	7.08	13.67	3.60	2.41	3.86	8.36	0.69	56.14
KB2	1.60	1.81	5.48	8.87	3.05	2.48	4.79	8.41	0.57	62.91
KB3	2.15	1.95	5.96	10.47	3.29	2.46	4.56	7.62	0.57	60.86
KB10	1.74	1.50	6.01	12.17	3.28	2.18	3.30	7.34	0.51	61.94

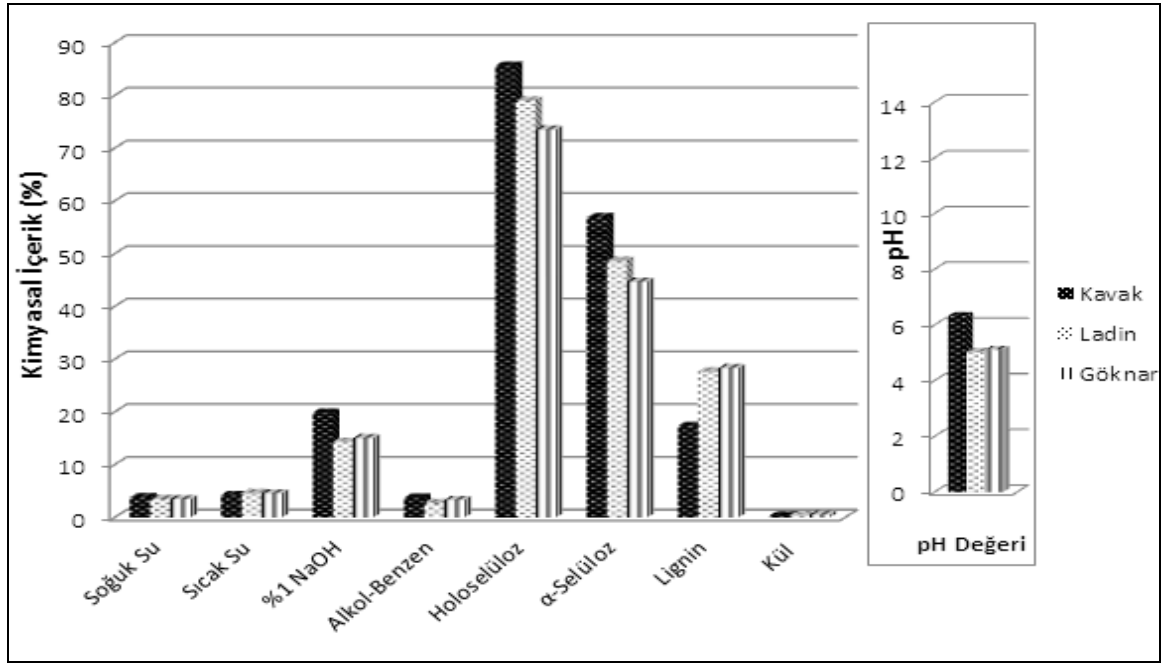
Tablo 53'ün devamı

KB15	1.43	1.60	7.04	13.98	3.74	2.52	3.57	3.79	0.70	61.40
KB20	2.09	1.90	6.45	12.72	3.43	2.35	3.17	3.58	0.70	63.54
LA0	2.23	1.48	4.96	9.06	4.55	4.92	5.55	9.93	0.23	56.43
LA10	1.76	1.62	4.25	8.03	3.96	4.34	4.57	2.92	0.26	67.91
LA15	2.67	2.05	4.55	7.86	4.28	4.62	5.36	6.70	0.37	61.02
LA20	2.90	2.30	4.62	7.97	4.40	4.78	5.42	5.61	0.38	61.46
GA0	0.77	1.40	4.19	7.59	4.09	4.69	6.12	8.73	0.33	62.04
GA10	3.12	2.29	4.15	7.69	3.99	4.39	4.85	2.56	0.42	66.06
GA15	2.56	2.01	4.72	8.33	4.29	4.64	5.63	5.16	0.27	61.82
GA20	3.07	2.79	4.87	7.7	4.19	4.85	5.66	2.79	0.43	63.03

4. İRDELEME

4.1. Odun Hammaddesinin Kimyasal Analizlerinin İrdelenmesi

Deneme levhalarında kullanılan ağaç türlerine uygulanan kimyasal analiz sonuçları Şekil 41’de verilmiştir.



Şekil 41. Ağaç türlerine uygulanan analiz sonuçları

En yüksek soğuk su ve %1 NaOH çözünürlüğü kavak (%3.8 ve %19.82) odunundan elde edilirken, ladin ve göknar odununda bir birine çok yakın değerler belirlenmiştir. En yüksek sıcak su çözünürlüğü ise ladin (%4.55) odunundan elde edilmiştir.

Alkol-benzen çözünürlüğünde en düşük değer ladin (%2.7) odunundan elde edilmiş, kavak ve göknar ise birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Lignin tayininde ladin ve göknar odunlarından benzer sonuçlar elde edilirken, kavak odununda çok daha düşük değerler elde edilmiştir. Holoseüloz ve α -selüloz tayininde en yüksek değerler kavak odunundan elde edilirken, en düşük değer göknar odunundan elde edilmiştir. Kül tayininde en yüksek değer göknar odunundan elde edilmiştir. pH değerleri ladin ve göknar odununda sonuçlar birbirine yakınken, kavak odununda daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Holoselüloz ve lignin miktarları genellikle türlerin kimyasal karakterizasyonunu belirlemek amacıyla kullanılır. Lignin ve holoselüloz oranlarının toplamının teorik olarak 100 olması gerekirken, denemelerde Kavak'ta 101, Ladin'de 106.64 ve Gökmar'da ise 101.71 olarak bulunmuştur. Literatürde de bu değerlerin toplamı çoğunlukla %100'ün üzerinde değerler göstermekte, hatta % 112'lere kadar çıkabilmektedir. Bunun nedeni, holoselülozda bulunan önemli miktardaki asitte çözünür ligninin holoselüloz verimine katkıda bulunmasıdır. Ligninin holoselülozda kalması selüloz, hemiselüloz ve lignin arasındaki olası kimyasal bağlarla açıklanmaktadır [164].

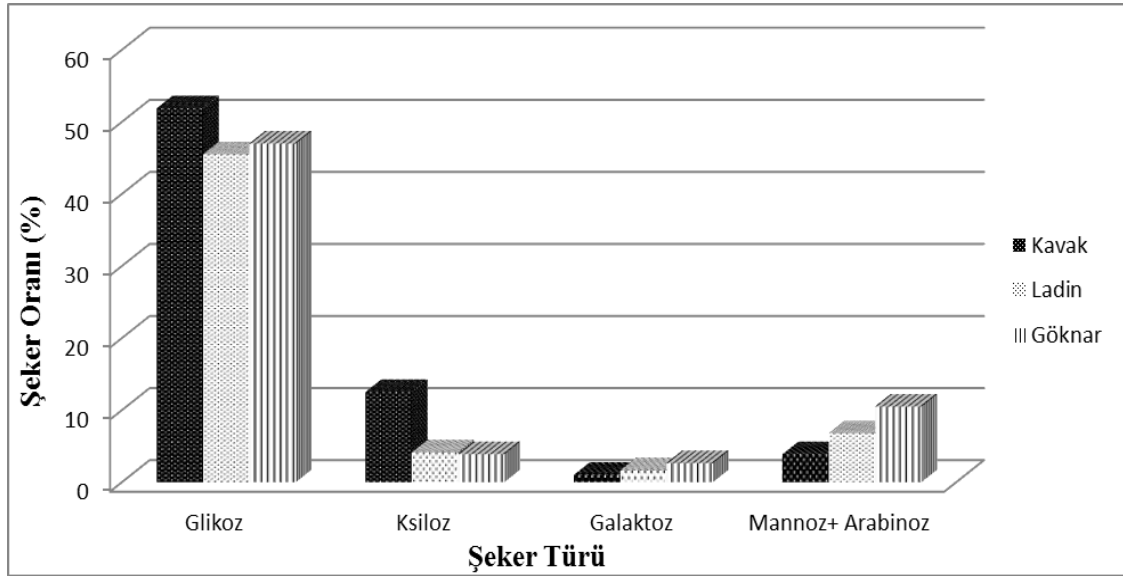
Huş [190] titrek kavak odunun kimyasal özellikleri üzerine yaptığı çalışmada; holoselülozu %79.5, α -selülozu %51, lignini %17.3, alkol-benzen çözünürlüğünü %1.5, soğuk su çözünürlüğünü %1, sıcak su çözünürlüğünü %2 ve kül oranını %0.3 olarak tespit etmiştir. Atik [191] tarafından aynı tür ile ilgili yapılan bir başka çalışmada, holoselülozu %85.54, α -selülozu %57.84, lignini %16, alkol-benzen çözünürlüğünü %2.95, %1'lik NaOH çözünürlüğünü %18.57, sıcak su çözünürlüğünü %2.62, külü ise %0.38 olarak belirlenmiştir. Öner ve Aslan [192] tarafından aynı tür ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada ise; lignin %17.4, alkol-benzen çözünürlüğü %3.53, %1'lik NaOH çözünürlüğü % 19.89, sıcak su çözünürlüğü %3.44, kül oranı ise % 0.28 olarak tespit etmiştir. Güçüş ve Eroğlu [193] ise aynı tür için; holoselülozu % 85.7, hemiselülozu %27.7, selüloz %58.1, lignini %17.2, sıcak su çözünürlüğünü %4.95 ve %1'lik NaOH çözünürlüğünü ise %19.2 olarak belirlemiştir.

Doğu ladini odunun kimyasal yapısını belirleyici çalışmalarda; Bostancı [194] holoselülozu %73.92, lignini %28.61, külü %0.49, alkol-benzen çözünürlüğünü %1, %1'lik NaOH çözünürlüğünü %10.43 ve sıcak su çözünürlüğünü %1.56; Yıldız [195] holoselülozu %75.55, hemiselülozu %21.43, lignini %24.37, alkol-benzen çözünürlüğünü %0.14, %1 NaOH çözünürlüğünü %10.72, sıcak su çözünürlüğünü %2.59; Aslan [5] ise alkol-benzen çözünürlüğünü %2.3, %1 NaOH çözünürlüğünü 17.6, soğuk su çözünürlüğünü %2.34, sıcak su çözünürlüğünü 3.84 ve pH'sını (18.6°C) 5.37 olarak rapor etmiştir.

Doğu Karadeniz Gökmarı'nın kimyasal yapısı üzerine yapılan çalışmalarda: Tank [196], holoselülozu %69.85, lignini %30.2, kül %0.56, alkol-benzen çözünürlüğü %3.91, %1 NaOH çözünürlüğü %8.85 ve sıcak su çözünürlüğü %1.71 olarak elde etmiştir. Özdemir [164] ise; holoselülozu %76.52, lignini %27.85, külü %0.37, %1 NaOH çözünürlüğünü %12.36, sıcak su çözünürlüğünü ise %2.16 olarak belirlemiştir.

Denemelerde elde edilen kimyasal bileşenlere ait değerler Özdemir [164]'in çalışmasıyla uyumluluk göstermiştir. Çözünürlük değerleri ise daha yüksek bulunmuştur.

Odun türlerinin şeker analizleri sonucunda; glikoz ve ksiloz şekerlerinde en yüksek değerler kavak odunundan elde edilmiş olup, göknar ve ladin odunlarında ise birbirine yakın değerler bulunmuştur. Galaktoz ve mannoz+arabinoz şekerlerinde ise en yüksek değerler göknar odunundan, en düşük değerler kavak odunundan elde edilmiştir. Ağaç türlerinin şeker oranları Şekil 42'de verilmiştir. Şeker oranlarının biraz düşük çıkması yoğun sülfirik asit hidrolizi süresince şekerlerin degradasyonundan kaynaklanmış olabilir [197, 198].



Şekil 42. Ağaç türlerine ait şeker miktarları

Literatürde ağaç türlerinin şeker oranlarına bakıldığında; Pettersen [199], titrek kavak odununda glukoz %49, ksiloz %17, galaktoz %2, arabinoz %0.5 ve mannoz ise %2.1 olarak rapor etmiştir. Uçar ve Balaban [198]; doğu ladini odununda glukoz %49.1, ksiloz %7.5, galaktoz %2.5, arabinoz %2.3 ve mannoz ise %14.4; göknar odununda ise glukoz %48.1, ksiloz %6.9, galaktoz %2.8, arabinoz %2.2 ve mannoz ise %13 olarak belirlenmiştir.

Denemelerde kullanılan ağaç türlerinin kimyasal özellikleri, genel olarak literatür ile uyumluluk göstermiştir. Çözünürlük değerleri, bazı araştırmacılarınkinden yüksek bulunmuştur. Odun hammaddesinin kimyasal içeriği; örnekteki iç kabuk miktarı, ağaçtan

alındığı bölge (öz odunu, diri odun, dal ve gövde gibi), yetişme bölgesi, yaşı, kesim zamanı, kesim sonrası bekleme süresi gibi birçok faktöre göre değişiklik gösterebilir.

Odun heterojen kimyasal yapıya sahip olup; bu yapı yüksek molekül ağırlıklı yapısal bileşenler (selüloz, hemiselüloz ve lignin) ve düşük molekül ağırlıklı yapısal olmayan bileşenler (ekstraktifler ve inorganik bileşikler) olarak iki gruba ayrılabilir. Selüloz ve lignin; su, organik ve alkali çözücülerde çözünmemektedir. Hemiselüloz 5 ve 6 karbonlu şekerlerden oluşan farklı bir polimer grubudur. Hemiselüloz alkalide çözünebilir ve hatta bazı yapraklı ağaç odunlarının polyozları suda dahi çözünebilmektedir.

Çimentonun hidratasyon reaksiyonu alkali ortamda gerçekleştiği (pH 12.5) için düşük pH değerine sahip odunlar çimentolu levha özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir [197]. Bu nedenle, kavak odununun pH açısından göknar ve ladin odununa göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Roffael ve Sattler [202], çimento süspansiyonun alkalinitesinin odun karbonhidratlarının çözünmesine katkı sağladığı ve yüksek alkali tamponlama kapasitesine sahip çimentoların levhaların mekanik özelliklerini düşük tamponlama kapasitesine sahip çimentolara oranla azalttığını tespit etmişlerdir.

Patil [203], soğuk veya sıcak su ile ön işleme tabi tutulmuş odunlardan üretilen levhalarda ön işlem uygulanmamış odunlardan üretilenlere göre daha yüksek levha direnci elde etmiştir. Odundaki holoselüloz oranının artmasının çimentonun sertleşmesini geciktirdiği ve ayrıca odunun soğuk - sıcak su ve %1'lik NaOH çözünürlüğü ile odun-çimento uyumunun ters ilişkili olduğunu tespit etmiştir.

Hacmi ve Moslemi [201], odun ekstraktiflerinin çimento hidratasyonunu olumsuz yönde etkilediğini tespit etmiştir. Biblis ve Lo [129], odun ekstraktiflerindeki basit şekerlerin çimento hidratasyonunu engelleme konusunda çok güçlü olduğunu rapor etmiştir. Çimentoda %0.03-0.15 konsantrasyonundaki şeker, sertleşme süresini geciktirmekte ve çimento direncini olumsuz etkileyebilmektedir [204]. Bunun yanında; seker asitleri [205], hemiselüloz [206], nişasta, reçine, yağ asitleri, terpenler, terpenoidler, tuzlar [207] ve tanenler de [208, 209] çimento hidratasyonunu olumsuz etkilemektedir.

4.2. Deneme Levhalarına Uygulanan Testlere Ait Bulguların İrdelenmesi

4.2.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi

4.2.1.1. Yoğunluğa Ait Bulguların İrdelenmesi

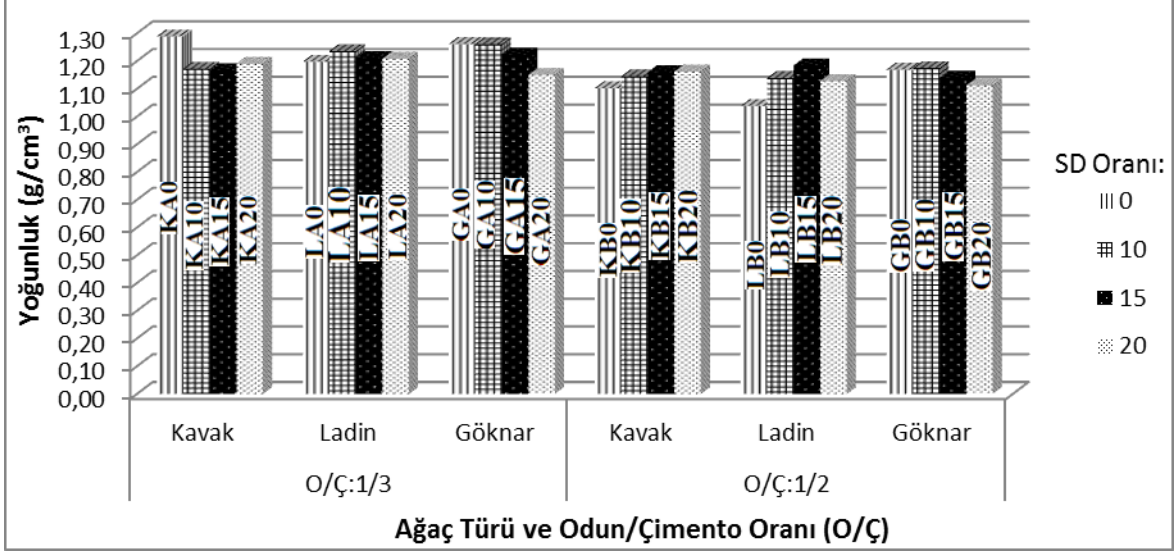
Deneme levhalarının yoğunluk değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç ve sertleştirici türlerinin etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 43-47'da verilmiştir. Genel olarak, 1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhalar 1/2'ye göre yoğunluk değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ağaç türleri arasında en yüksek yoğunluk değerleri ladin odunundan üretilen levhalardan elde edilirken, en düşük sonuçlar göknar levhalardan elde edilmiştir. Sertleştirici açısından en yüksek yoğunluk değeri CaCl_2 , en düşük sonuçlar ise FeCl_3 kullanılan levhalarda görülmüştür. Kontrol (%0) ve %10 silis dumanı kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek değerler elde edilirken, en düşük sonuçlar %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

1/3 odun-çimento oranı kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek yoğunluk değeri KA2 (1.33 g/cm^3) grubundan, en düşük ise KA21 (1.06 g/cm^3) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranı kullanılarak üretilen levhalarda ise en yüksek yoğunluk değeri LB22 (1.23 g/cm^3) grubundan, en düşük değer ise GB23 (1.01 g/cm^3) grubundan elde edilmiştir.

Deneme levhalarının yoğunluk değeri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkileri Şekil 43'te verilmiştir. Odun-çimento oranı 1/3 olan levhaların, 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek yoğunluk değeri verdiği görülmüştür. Bu durum, odun ($400-500 \text{ kg/m}^3$) ile karşılaştırıldığında, çimentonun yoğunluğunun (2910 kg/m^3) çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Odun yoğunluğunun azalması ile bir levha üretimi için daha fazla hacimli taslak elde edileceğinden ve yetersiz basınçtan dolayı 1/2 odun-çimento oranlı levhalar daha düşük yoğunluk değeri vermiştir.

Hedeflenen levha kalınlığı 10 mm olmasına rağmen, gerçekleşen kalınlıklar 9.27-11.49 mm arasında değişmektedir. Buna çimento miktarındaki değişime bağlı olarak hacim farklılıkları dolayısıyla sıkıştırma faktöründeki [146] farklılıkların neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhalar 1/3 odun-çimento oranıyla üretilenlere göre daha düşük değerler vermiştir. Zhou ve Kamdem [204],

bu durumun presleme sonrası yongaların geri yaylanmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Birçok araştırmacı da benzer sonuçlar elde etmiştir [65, 100, 135, 148, 211].

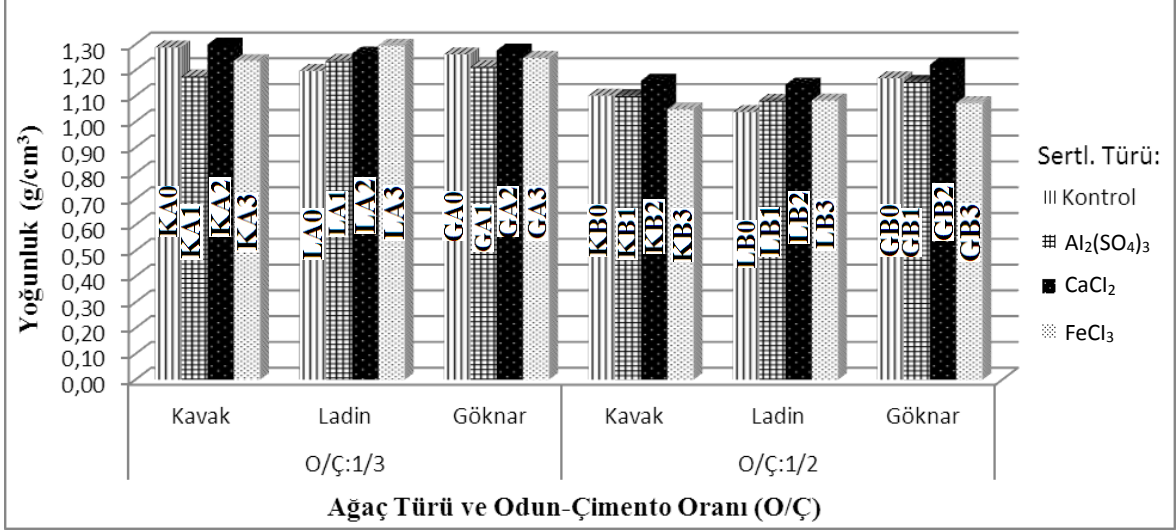


Şekil 43. Yoğunluk üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

Silis dumanının, 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhaların yoğunluk değerlerinde azalışa, 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhaların yoğunluk değerlerinde ise artışa neden olduğu gözlenmiştir. Silis dumanı (2200 kg/m^3); çimentoya (2910 kg/m^3) göre daha hafif ve tanecik çapı yaklaşık 100 kat daha küçüktür [122, 123]. Bu nedenle, 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda çimentoya ikame olarak kullanılan silis dumanı yoğunluğunun çimento yoğunluğundan daha düşük olması nedeniyle levhanın yoğunluk değerlerini düşürmüştür. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise odun oranının fazla ve levha strüktürünün kaba olması nedeniyle silis dumanı levhanın yapısında oluşan boşlukları doldurarak, hacmini artırmadan levha yoğunluğunda artışa neden olmuş olabilir.

Deneme levhalarının yoğunluk değeri üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi Şekil 44'te verilmiştir. Şekil 43'de olduğu gibi burada da 1/3 odun-çimento oranlı levhaların 1/2 oranlı levhalara göre daha yüksek yoğunluk değeri verdiği gözlenmiştir. En yüksek yoğunluk değerlerinin CaCl_2 sertleştiricili levhalardan elde edildiği görülmektedir. Normal olarak sertleştirici türünün levha yoğunluğu üzerinde bir etkisinin olması beklenmemektedir. Ancak bazı levha grupları pres altındayken levhadan su çıkışı olmuş ve su ile birlikte bir miktar çimentonun levha dışına aktığı gözlenmiştir. Bu durumun kullanılan ağaç ve sertleştirici türüne ve hatta odun-çimento oranına göre farklılık

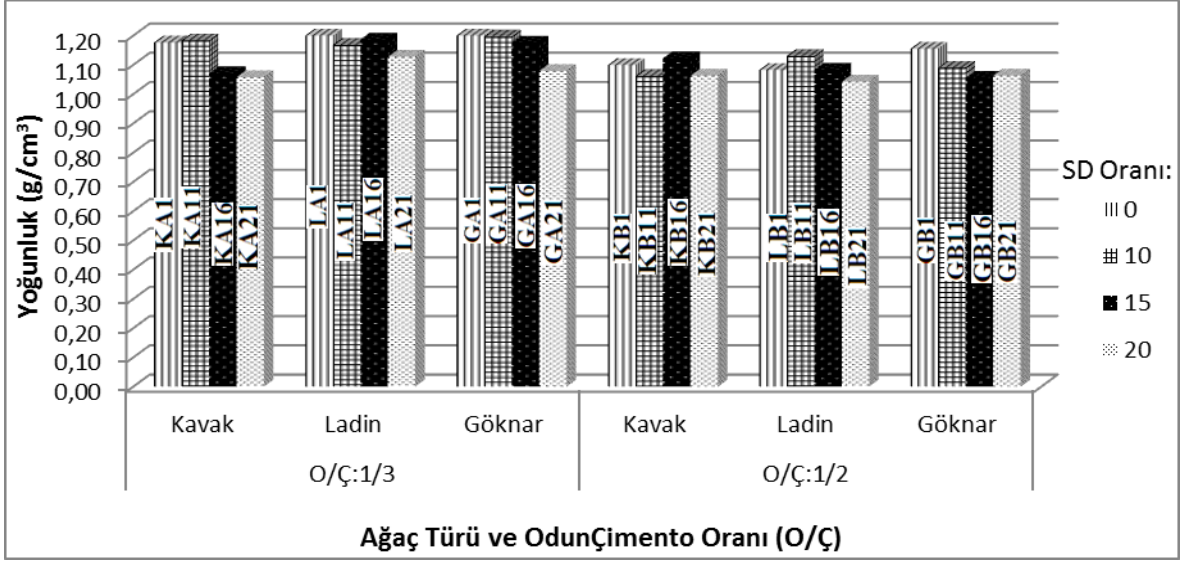
gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle levhalardaki yoğunluk farklılığının su ile birlikte çıkan çimentodan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 44. Yoğunluk üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi

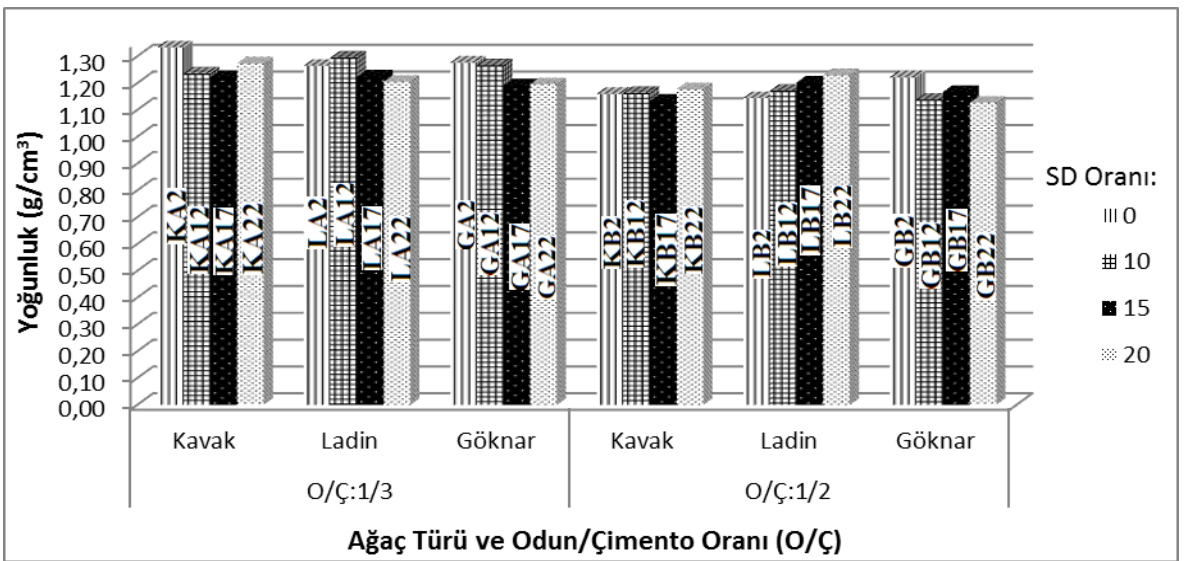
Presleme sırasında bazı levha gruplarından su çıkışının nedeni; suyun taslak hamurunda odun yongalarını oluşturan hücrelerin çeperlerini ıslatma miktarının (absorpsiyon kapasitesinin) düşük olması yani taslak içerisinde serbest suyun bağlı sudan fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. Bunun sebepleri ise odundaki ekstraktif maddelerin çimento ile odunun hidrasyonunun engellemesi ve hamurda bulunan suyun hücreler tarafından emiliminin (absorpsiyonunun) azalmasıdır. Zira su itici ekstraktif maddeler, odunun suya karşı direncini artırdıkları için hamur içerisinde bulunan su bağlı değil serbest su halindedir. Bu durumda pres basıncına bağlı olarak serbest suyun levha taslağını terk etmesi bağlı suyun terk etmesinden daha kolay olduğudur.

Al₂(SO₄)₃ kullanılan levhaların yoğunluk değeri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 45'te verilmiştir. Genel olarak; 1/3 odun-çimento oranlı levhalar 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek yoğunluk değeri vermiştir. 1/3 odun-çimento oranlı Al₂(SO₄)₃ kullanılan levhalarda silis dumanı artıkça levha yoğunluğunda azalma gözlenmiştir. Silis dumanının, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda (göknardan üretilenler hariç) belli bir orana kadar yoğunluğu artırdığı gözlenmiştir. Yoğunluk düşüş miktarı, ağaç türüne göre de farklılık göstermiştir.



Şekil 45. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların yoğunluğu üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

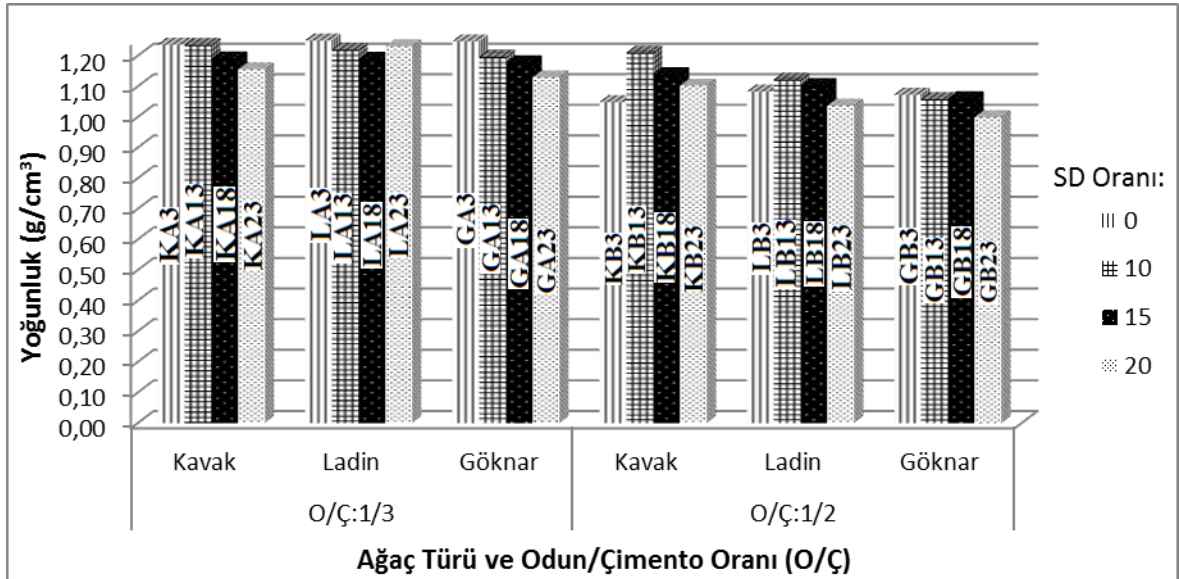
$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda %20 silis dumanı kullanımıyla kontrol levhalarına göre; kavak levhalarda %10, ladin levhalarda %8.9 ve göknar levhalarda ise %13; 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise; kavak levhalarda %3.6, ladin levhalarda %3.7 ve göknar levhalarda ise %7.8 yoğunluk düşüşü meydana geldiği gözlenmiştir. Sadece 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %15 ve ladin levhalarda ise %10 silis dumanı kullanımı levhanın yoğunluk değerini arttırmıştır.



Şekil 46. $CaCl_2$ kullanılan levhaların yoğunluğu üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

CaCl₂ kullanılan levhaların yoğunluğuna odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 46'da verilmiştir. CaCl₂ kullanılan levhalarda da, 1/3 odun-çimento oranlı levhalar 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek yoğunluk değeri vermiştir. 1/3 odun-çimento oranlı CaCl₂ kullanılan levhalarda %20 silis dumanı kullanımı kavaklarda %4.5, ladinlerde %3.9 ve göknarlarda ise %6.25 yoğunluk düşüşü meydana gelmiştir. CaCl₂ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda %20 silis dumanı kullanımıyla kavaklarda %1.17, ladinlerde %7.8 yoğunluk artışı, göknar levhalarda ise %7.4 yoğunluk düşüşü meydana geldiği gözlenmiştir.

FeCl₃ kullanılan levhalarının yoğunluğu üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 47'de verilmiştir. Diğer gruplarda olduğu gibi FeCl₃ kullanılan levhalarda da, 1/3 odun-çimento oranlı levhalar daha yüksek yoğunluk değeri vermiştir. FeCl₃ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı kavak ve ladin levhalarda silis dumanı ilavesiyle yoğunluk değerleri artarken, diğer gruplarda düşmüştür. FeCl₃ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda %20 silis dumanı kullanımıyla; kavaklarda %6.4, ladinlerde %5.3 ve göknarlarda ise %9.6 yoğunluk düşüşü meydana gelmiştir. FeCl₃ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda %20 silis dumanı kullanımıyla; kavaklarda %4.7 yoğunluk artışı olurken, ladinlerde %3.7 ve göknarlarda ise %6.5 oranında yoğunluk düşüşü meydana gözlenmiştir.



Şekil 47. FeCl₃ kullanılan levhaların yoğunluğu üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

Zhou ve Kamdem [210], CCA emprenyeli çam odunundan 1-1/5 odun-çimento oranlı levhalar üreterek, odun-çimento oranının fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini araştırmışlar ve ortalama yoğunluklarının $815-1303 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Yoğunluk artmasının nedenini; çam odununa (700 kg/m^3) oranla çimento yoğunluğunun (2860 kg/m^3) çok yüksek olması ve çimento miktarının artmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Yoğunluğun düşük çıkmasını ise; 10 mm olarak hedeflenen levha kalınlığının; pres çıkışı geriye yaylanmalar sonucu olarak 10.2 ile 10.9 mm arasında değişimine bağlantılı hacim genişlemesinden kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Maminski vd. [211] farklı odun-çimento oranlarında kavak odunundan üretilen odun yünü levhalarda benzer sonuçlar bulmuş olup, odun miktarının artmasıyla levhanın yoğunluğunun azaldığını gözlemlemişlerdir.

Sudin ve Swamy [148], çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanarak bambudan 1.30 g/cm^3 yoğunluklu levha üretmişlerdir. Sonuçta, her üç katkı maddesinin de kullanım oranı arttıkça levha yoğunluğunu düşüğü tespit edilmiştir.

Ashori vd. [65] 25 ve 60°C pres sıcaklığında, %3, %5 ve %7 CaCl_2 kullanarak demiryolu traverslerinden üretilen levhaların yoğunluğunu $0.98-1.17 \text{ g/cm}^3$ arasında tespit etmiştir.

Papadopoulos vd. [135], 1, 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranlarında kavak odunundan üretilen çimentolu OSB levhalarının yoğunluk değerlerini $0.97-1.11 \text{ g/cm}^3$ arasında elde etmişlerdir.

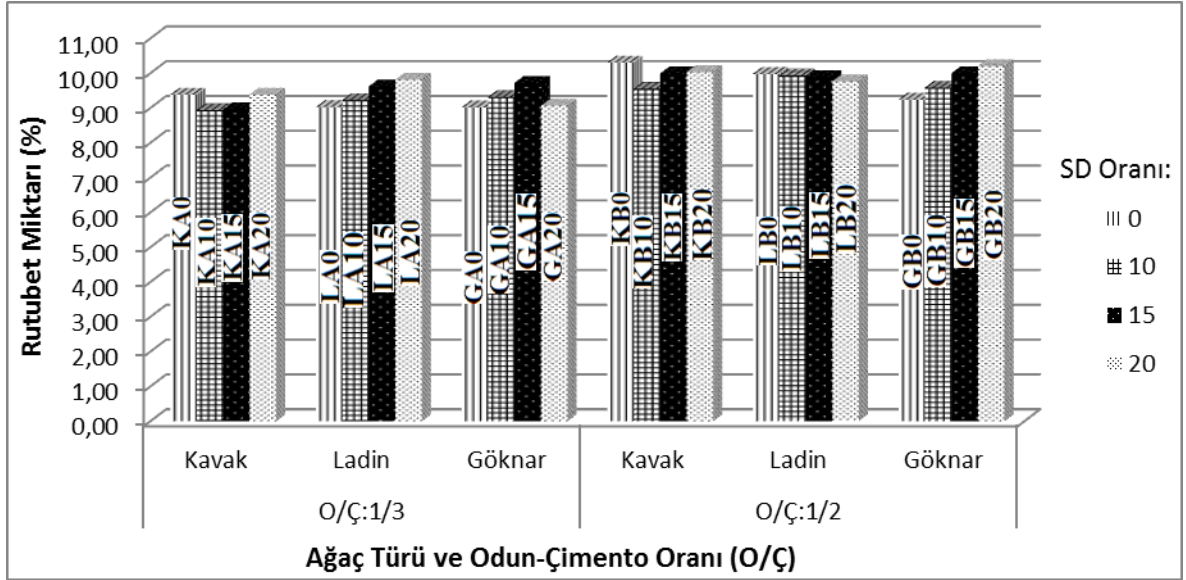
Okino vd. [100], sıcak su ekstraksiyonu yapılmış ve yapılmamış servi odunundan çimentolu levha üretmiş, sıcak su ekstraksiyonunun levhanın mekanik özelliklerini geliştirirken, su alma ve kalınlık artımı değerlerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Sıcak su ekstraksiyonuna tabi tutulmuş servi odunundan üretilen levhalar kontrole göre daha yüksek yoğunluk değeri verdiği rapor edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen levhaların yoğunluk değerleri literatür ile uyumluluk göstermektedir.

4.2.1.2. Rutubet Miktarına Ait Bulguların İrdelenmesi

Levhaların rutubet değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç ve sertleştirici türlerinin etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 48-52’de verilmiştir. Genel olarak, yoğunluk değerlerinin aksine, 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhaların 1/3’ye göre daha yüksek rutubet değeri verdiği gözlenmiştir. Ağaç türlerinin kıyaslanmasında, en yüksek rutubet miktarı göknar levhalardan elde edilirken, en düşük değerler ladin levhalardan elde edilmiştir. Sertleştirici türleri arasında en yüksek rutubet miktarı değeri $Al_2(SO_4)_3$, en düşük ise $CaCl_2$ kullanılan levhalarda gözlenmiştir. En yüksek rutubet miktarı %20 silis dumanı kullanılan levhalardan elde edilirken, en düşük değerler ise Kontrol (%0) ve %10 silis dumanı kullanılarak üretilen levhalardan elde edilmiştir.

1/3 odun-çimento kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek rutubet değeri LA22 (%12.94) grubundan, en düşük ise KA10 (%8.94) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranı kullanılarak üretilen levhalarda ise en yüksek rutubet değeri KB21 (%11.96) grubundan, en düşük değer ise GB0 (%9.24) grubundan elde edilmiştir.

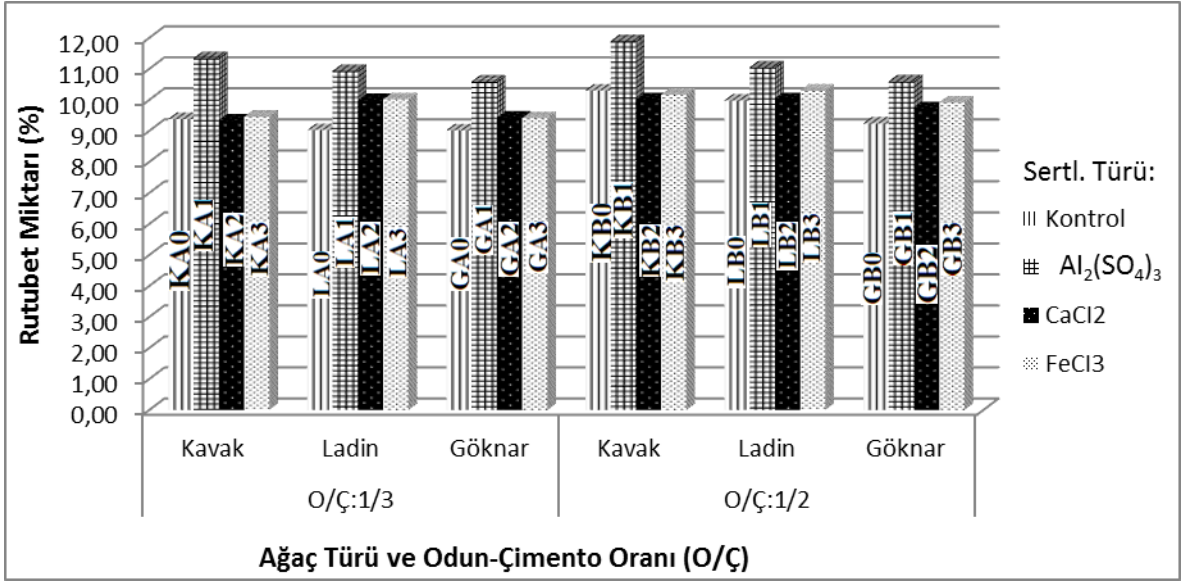


Şekil 48. Rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

Levhalarının rutubet miktarı üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 48’de verilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhaların 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek rutubet değerine sahip olduğu gözlenmiştir. Bilindiği

gibi odun higroskopik bir malzemedir. Ortamdaki havanın bağıl nem basıncı, odunun su çekme gücüne eşit oluncaya kadar odun havadan bünyesine su almakta veya havaya su vermektedir. [212]. Bu nedenle, çimentoya göre daha higroskopik bir malzeme olan odun miktarının artmasına bağlı olarak, su tutma kabiliyetinde artış olduğu düşünülmektedir.

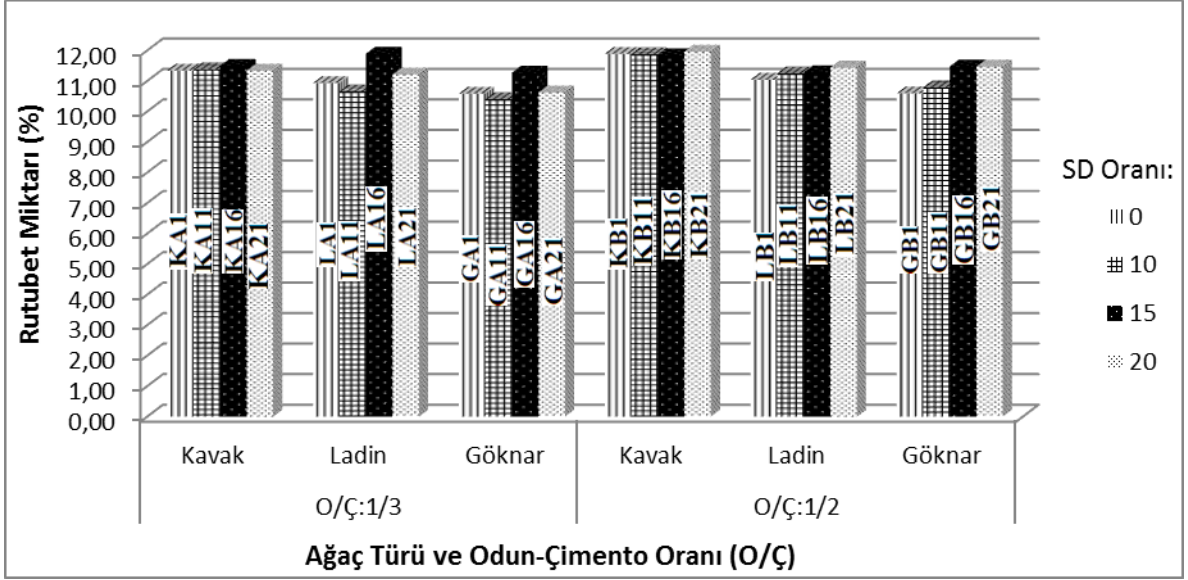
Ayrıca, silis dumanının levhanın rutubetini az da olsa artırdığı gözlenmiştir. Zira silis dumanının yüzey alanın çimentoya göre çok yüksek olması nedeniyle ortam rutubetinden daha fazla rutubet absorpladığı düşünülmektedir. Araştırmalara göre; çimentonun %5'i kadar katılan silis dumanı su absorpsiyonunu fazla değiştirmemekte, daha büyük miktarlarda ise su absorpsiyonunu artırmaktadır [15, 213]. Bu nedenle, silis dumanı levhaların rutubet miktarını artırmış olabilir. Ağaç türlerinin yoğunluklarının birbirine yakın olması nedeniyle türlerden kaynaklı rutubet farklılığının önemli olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 49. Rutubet miktarı üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi

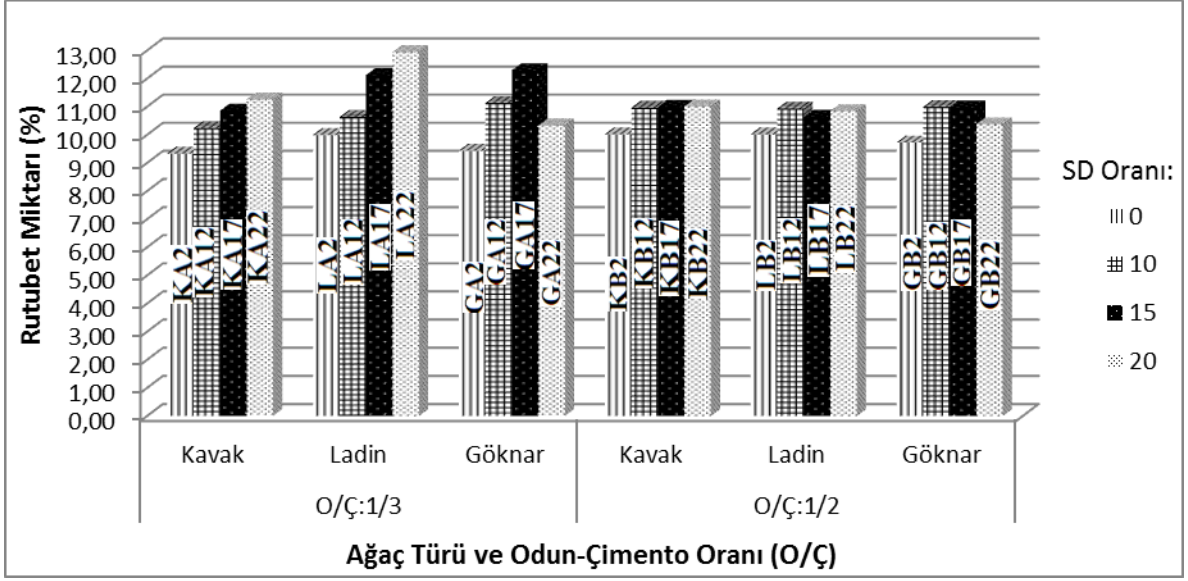
Deneme levhalarının rutubet miktarı üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi Şekil 49'da verilmiştir. Şekil 48'de olduğu gibi yüksek odun içeriğinden dolayı, 1/2 odun-çimento oranlı levhaların, 1/3 oranlı levhalara göre daha yüksek rutubet değeri verdiği gözlenmiştir. En yüksek rutubet miktarı Al₂(SO₄)₃ sertleştiricili levhalardan, en düşük değerler ise kontrol grubu levhalardan elde edilmiştir. Bu durumun, Al₂(SO₄)₃ sertleştiricisinin higroskopik yapısı ve odundaki fenol grupları ile

yeterli oranda çelat oluşturmamasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan CaCl_2 ve FeCl_3 sertleştiricilerinin kavak levhalarda rutubet miktarı üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Ladin ve göknar türlerinden üretilen levhalarda ise az da olsa bir rutubet artışı meydana getirdiği gözlenmiştir.



Şekil 50. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan levhaların rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

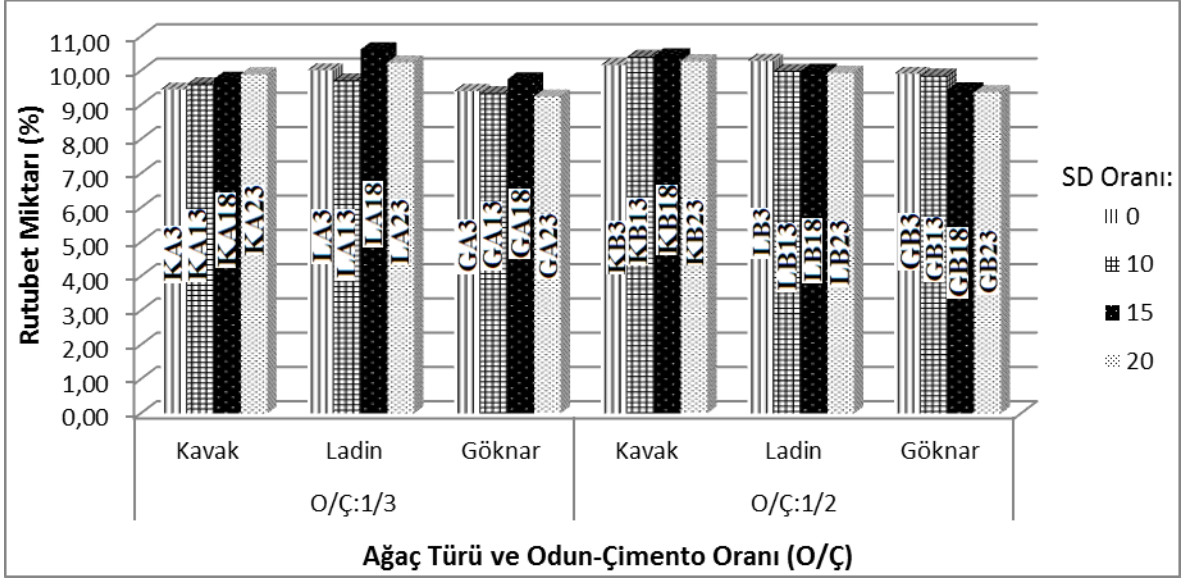
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan levhaların rutubet değerleri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 50'de verilmiştir. Odun miktarının 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda 1/3'lü levhalara göre fazla olması nedeniyle daha yüksek rutubet değeri elde edilmiştir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan kavak levhalarda silis dumanı kullanımı rutubet değerlerinde önemli bir farklılığa neden olmamıştır. Fakat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan ladin ve göknar levhalarda ise silis dumanının rutubet miktarını (özellikle %10'un üstündeki oranlarda) az da olsa etkilediği görülmüştür. Bu durum ağaç türlerinin kimyasal yapısından kaynaklanmış olabilir.



Şekil 51. CaCl_2 kullanılan levhaların rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

CaCl_2 kullanılan levhalarının rutubet değerleri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 51’de verilmiştir. CaCl_2 kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı kontrol levhaları 1/3 odun-çimento oranlı olanlara göre daha yüksek rutubet değerine sahip olmuştur. Silis dumanı kullanılan levhalarda ise 1/3 odun-çimento oranlıların 1/2 odun-çimento oranlı olanlara göre daha yüksek rutubet değerine sahip olduğu görülmüştür.

CaCl_2 kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanımı; kavak levhalarda %17, ladin levhalarda %22.7 ve göknar levhalarda ise %23’lük rutubet artışı meydana getirmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise silis dumanı kullanımıyla, kavak levhalarda %9, ladin levhalarda %8.3 ve göknar levhalarda ise %11.6’lık rutubet artış meydana geldiği gözlenmiştir. Silis dumanı ile CaCl_2 kullanılarak üretilen levhaların rutubet değerlerinin $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve FeCl_3 kullanılan levhalara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum, CaCl_2 sertleştiricisinin diğer sertleştiricilere göre çimento hidrasyonunu hızlandırdığı ve dolayısıyla daha fazla $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ürünü meydana getirdiği şeklinde açıklanabilir. Böylece, silis dumanı daha fazla $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girme fırsatı bularak, levhaların rutubet miktarında daha fazla artışa neden olmuş olabilir.



Şekil 51. FeCl₃ kullanılan levhaların rutubet miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

FeCl₃ kullanılan levhalarının rutubet değerleri üzerine odun-çimento ve silis duman oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 52’de verilmiştir. Al₂(SO₄)₃ kullanılanlarda olduğu gibi FeCl₃ kullanılan levhalarda da, 1/2 odun-çimento oranlı levhalar 1/3’lü olanlara göre daha yüksek rutubet değeri vermiştir. FeCl₃ kullanılan levhalarda silis dumanının kullanımı levhanın rutubet değerlerinde önemli bir değişime neden olmadığı gözlenmiştir. Bu durumun FeCl₃ sertleştiricili levhalarda çimento hidrasyonunun istenen düzeyde gerçekleşmemesinden dolayı silis dumanın reaksiyona girebileceği kadar Ca(OH)₂ oluşmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda ladin, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavak odunundan üretilen levhaların daha fazla rutubet değeri verdiği gözlenmiştir.

TS EN 634-1 [214]’e göre; çimentolu yonga levhaların rutubetinin %6-%12 arasında olması gerekmektedir. Buna göre, LA 22 (%12.94) ve GA17 (%12.29) grubu haricindeki tüm grupların standartta belirtilen rutubet değerlerini karşıladığı gözlenmiştir.

Okino vd. [99], 8 okalıptüs ve 2 demir ağacı türünün 50/50 oranında karışımlarından üretmiş oldukları çimentolu levhaların rutubet değerlerinin %10.26-%11 arasında olduğunu rapor etmişlerdir.

Asasutjarit vd. [57], soğuk ve sıcak su ekstraksiyonu yapılmış ve yapılmamış Hindistan cevizi liflerinden farklı odun-çimento oranı kullanılarak ürettikleri çimentolu levhaların rutubet değerlerini %8.27-%10.33 arasında tespit etmişlerdir.

Nasser vd. [215], 3 farklı Suudi Arabistan yerli ağaç türünün çimentolu levha üretiminde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, 1/3 odun-çimento oranlı ve 1200 kg/m³ hedef yoğunluklu üretmiş çimentolu levhaların rutubet değerlerinin %8.27-%10.33 arasında olduğunu rapor etmişlerdir.

İstek ve Gençer [216], çimentoya ikame olarak %10, %15 ve %20 oranında pomza kullanarak ürettikleri levhaların rutubet değerlerini %11.1-%11.7 arasında bulmuş olup, pomzanın levha rutubeti üzerinde önemli etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir.

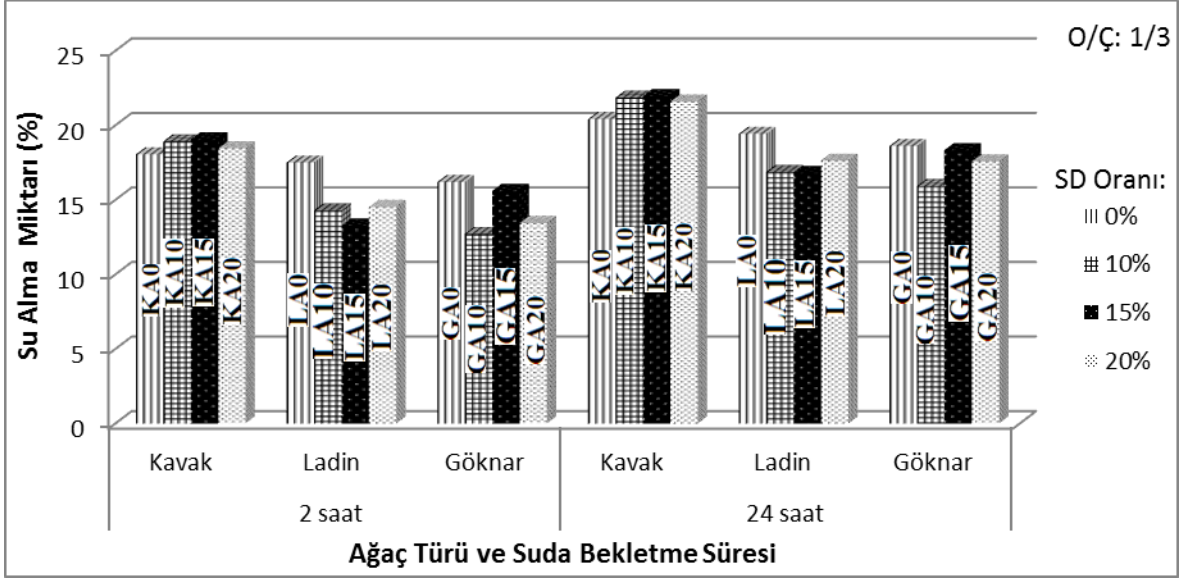
Aslan [5], çimentoya ikame olarak %5, %10 ve %15 oranında içme suyu arıtma çamurundan 1/2.75 odun-çimento oranlı ürettiği çimentolu yonga levhaların rutubet değerlerini %10.3-%11.9 arasında belirlemiştir.

Genel olarak levhalarının rutubet değerlerinin literatür ile uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir.

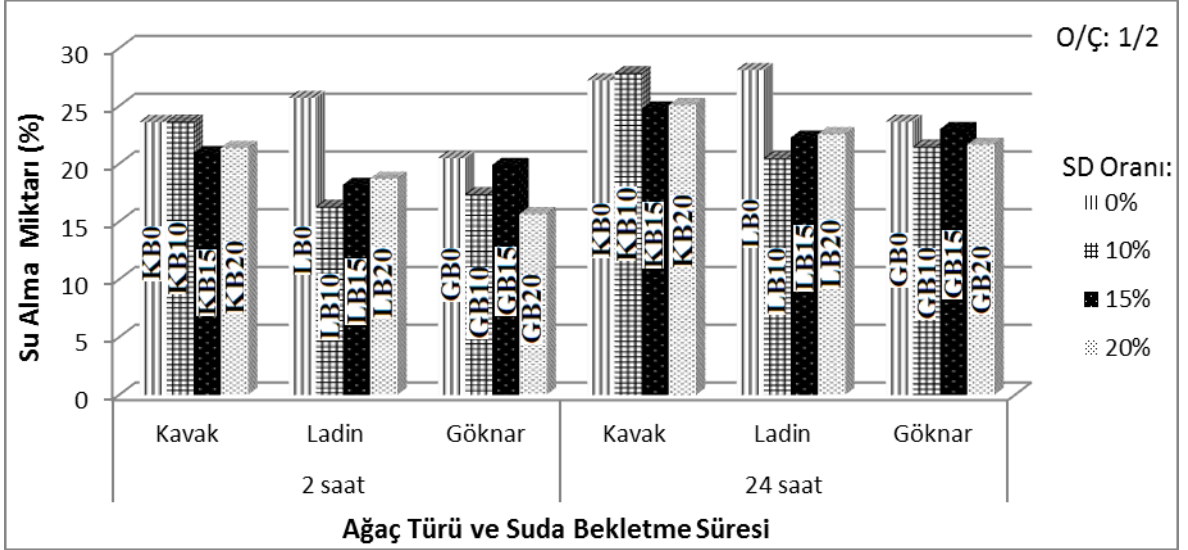
4.2.1.3. Su Alma Oranı Ait Bulguların İrdelenmesi

Levhaların su alma oranı üzerine, suda bekletme süresi, silis dumanı ve odun-çimento oranı ile odun ve sertleştirici türünün etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 53-57'de verilmiştir. Genel olarak, 1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhaların su alma oranı 1/2'ye göre çok daha düşük değerler vermiştir. Ağaç türleri arasında en düşük su alma değerleri ladin odunundan, en yüksek ise kavak odunundan üretilen levhalardan elde edilmiştir. Sertleştirici açısından bakıldığında, su alma miktarı üzerinde en iyi sonuçların CaCl₂'den, en kötü sonuçların ise Al₂(SO₄)₃'den elde edildiği görülmüştür. Silis dumanının levhanın su alma oranı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu anlaşılmıştır. En düşük su alma oranı %10 ve %15 silis dumanı kullanılan levhalardan elde edilirken, en yüksek sonuçların kontrol grubu levhalardan elde edildiği gözlenmiştir.

1/3 odun-çimento oranlı levhalarda; en az su alma oranı, GA17 (2 saat için %7.24 ve 24 saat için ise %11.84 ile) grubundan, en yüksek ise KA11 (2 saat için %24.24 ve 24 saat için %27.75 ile) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda; en az su alma oranı LB12 (2 saat için %10.25 ve 24 saat için %17.30 ile) grubundan, en yüksek ise KB1 (2 saat için %28.28 ve 24 saat için %32.59) ile grubundan elde edilmiştir.



(a)



(b)

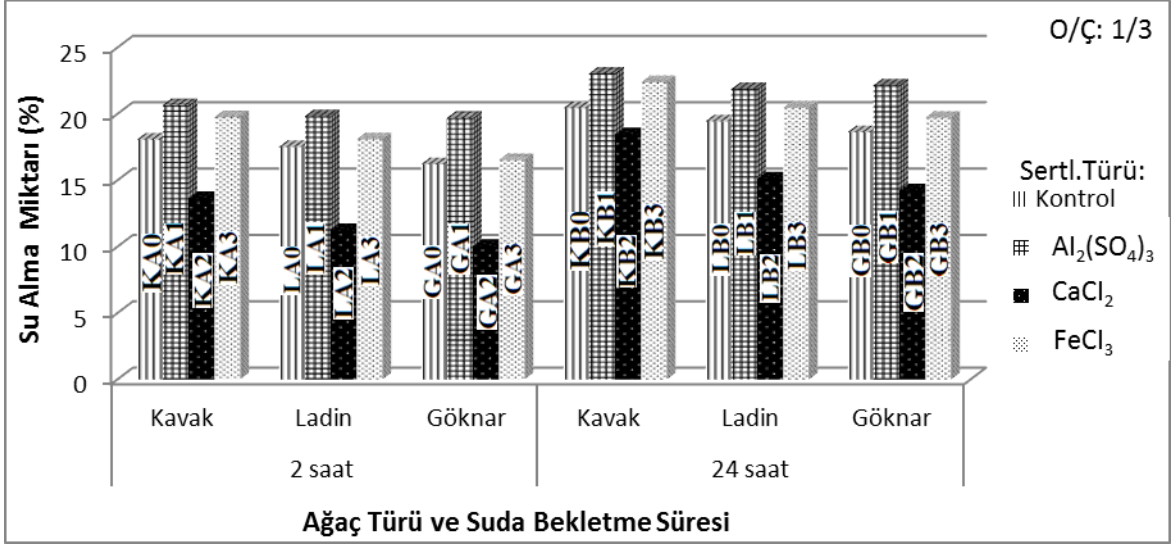
Şekil 53. 2 ve 24 saat su alma oranı üzerine silis dumani ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

Göknar ve ladin levhalarının su alma oranı kavak levhalarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Odunda bulunan selüloz ve hemiselüloz, hidrofilik bir yapı sergilerken, lignin ve ekstraktifler ise hidrofobik özellik göstermektedir [217, 218, 219]. Kavak odunu göknar ve ladin odununa göre daha fazla selüloz ve az lignin ihtiva ettiğinden daha fazla su absorplamış olabilir. Odun-çimento oranı (O/Ç) 1/2 olan levha gruplarının ihtiva ettiği odun miktarının artması ve çimento miktarının azalması nedeniyle, 1/3'lü gruplara göre daha fazla su alma miktarına sahip olduğu görülmektedir. Zhou ve Kamdem [210], Ashori

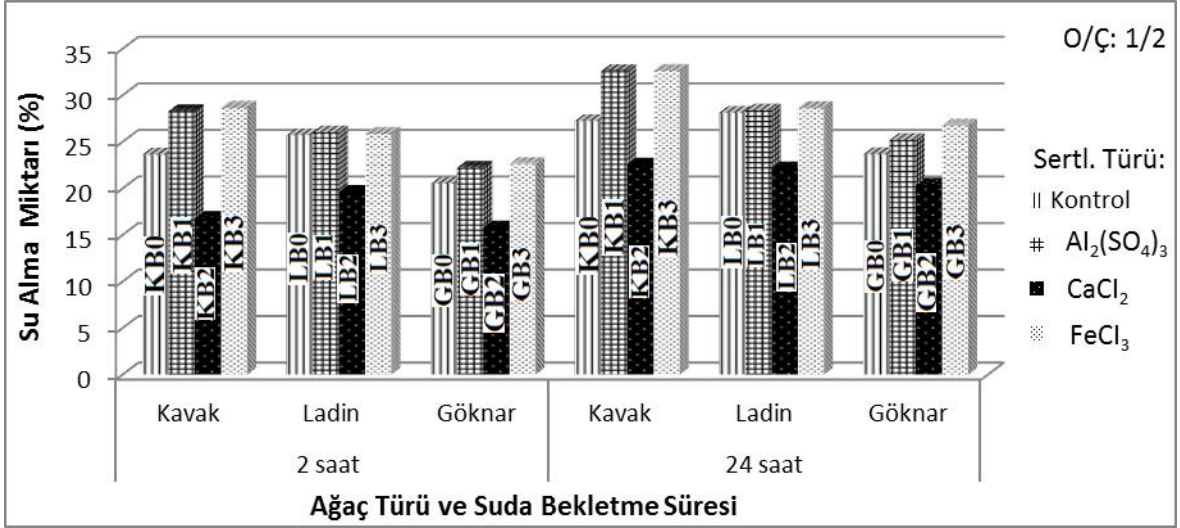
vd. [65] ve Sudin ve Swamy [148] yapmış olduğu çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 53'de çimentolu yonga levhaların su alma oranı üzerine suda bekletme süresi, ağaç türü, odun-çimento oranı ve silis dumanı miktarının etkisi görülmektedir. 1/3 odun-çimento oranı ile üretilen levhalarda, 2 ve 24 saat için en düşük su alma oranı GA10 (%13 ve %16) grubu, en yüksek ise KA15 (%19 ve %22) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranı ile üretilen levhalarda 2 saat için en düşük su alma oranı GB20 (%15.6), en yüksek ise LB0 (%25.7) grubundan elde edilirken, 24 saat için ise en düşük LB10(%10.5) en yüksek ise LB0 (%28) grubundan elde edilmiştir. Şekil 53a'da 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda 2 ve 24 saat su almada kavak levhalarda silis dumanı kullanım miktarının önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Ancak ladin ve göknar levhalarda ise silis dumanının su alma miktarını kontrole göre bir miktar azalttığı görülmektedir. Buna göre ladin levhalarda %15 ve göknar levhalarda %10 silis dumanı kullanımı 2 ve 24 saat su alma testinde en iyi sonucu (en düşük) vermiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda (Şekil 53b), kavak levhalarda hem 2 hem de 24 saat su alma miktarında silis dumanı kullanımıyla su alma oranında azalma olduğu ve en iyi sonucun %15 silis dumanı kullanımında elde edildiği belirlenmiştir. Ladin levhalarda en iyi sonuç %10, göknar levhalarda ise %20 silis dumanı kullanımı ile elde edilmiştir. Silis dumanının, çimentonun hidrasyon ürünü olan kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ ile reaksiyona girerek suya karşı dayanıklı C-S-H jeli meydana getirmesi ve silis dumanın çimentodan yaklaşık 100 kat daha küçük tanecik yapısına sahip olması nedeniyle levhaların su alma oranını azaltmış olabilir.

Levhaların su alma oranı üzerine odun-çimento oranı, suda bekletme süresi, sertleştirici ve ağaç türünün etkisi Şekil 54'te görülmektedir. Su alma oranı üzerine etkili sertleştirici kalsiyum klorür ($CaCl_2$) olmuştur. En kötü sonuçlar ise alüminyum sülfat $[Al_2(SO_4)_3]$ kullanılan levhalardan elde edilmiştir. Şekil 54a'da 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda; $CaCl_2$ sertleştiricisinin levhaların 2 ve 24 saat su alma oranları sırasıyla, kavak levhalarda %30 ve %22, ladin levhalarda %24, %21 ve göknar levhalarda ise %37 ve %22 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 54. 2 ve 24 saat su alma oranı üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

Şekil 54b’de 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise $CaCl_2$ sertleştiricisinin levhaların 2 ve 24 saat su alma oranını sırasıyla, kavak levhalarda %30 ve %19, ladin levhalarda %24 ve %21, göknar levhalarda ise %25 ve %13 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Buna göre, kavak ve ladin odunundan üretilen levhaların 2 ve 24 saat su alama oranları üzerinde kalsiyum klorürün etkisi odun-çimento oranına göre önemli bir değişiklik göstermemiştir. Fakat 1/3 odun-çimento oranlı göknar levhalarda kullanımının daha etkili olduğu görülmektedir.

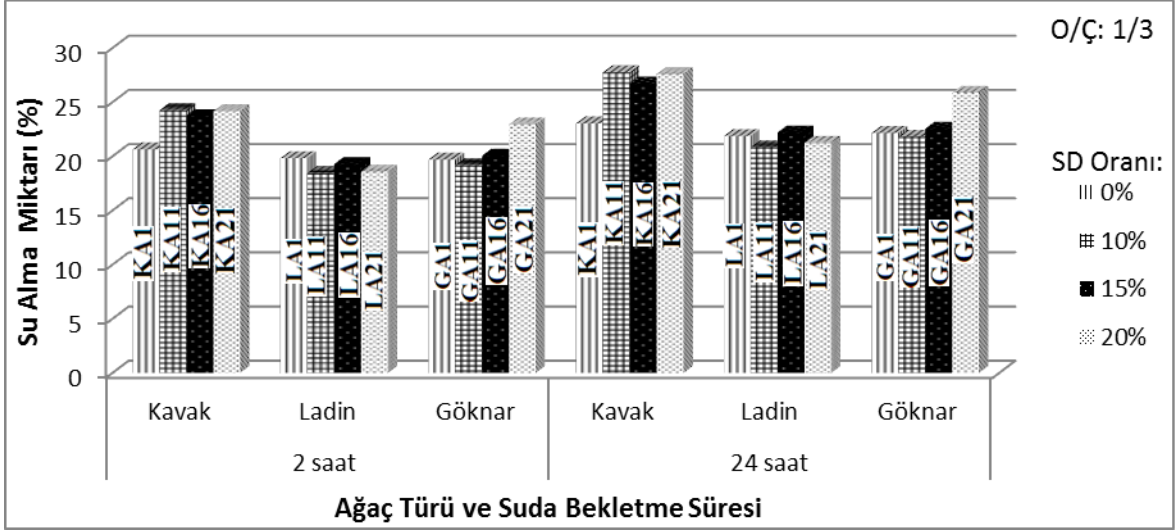
Alüminyum sülfat; levhaların su alma oranları 2 saatte %1 ile %17 arasında artışa neden olurken, 24 saatte ise %0.5 ile %16 arasında artırdığı görülmektedir. Demir klorür

ise %0 ile %18 arasında levhaların su alma oranlarında artışa neden olmuştur. Alüminyum sülfat ve demir klorür 1/2 odun-çimento oranlı levhaların su alma oranları üzerindeki etkisinin 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre çok daha az olduğu görülmektedir. Hatta ladinden üretilen 1/2 odun-çimento oranlı levhaların hem 2 hem de 24 saat su alma oranı üzerine demir klorür ve alüminyum sülfat sertleştiricilerinin hemen hemen hiç etkisinin olmadığı ve kontrol levhaları ile aynı sonucu verdiği görülmüştür.

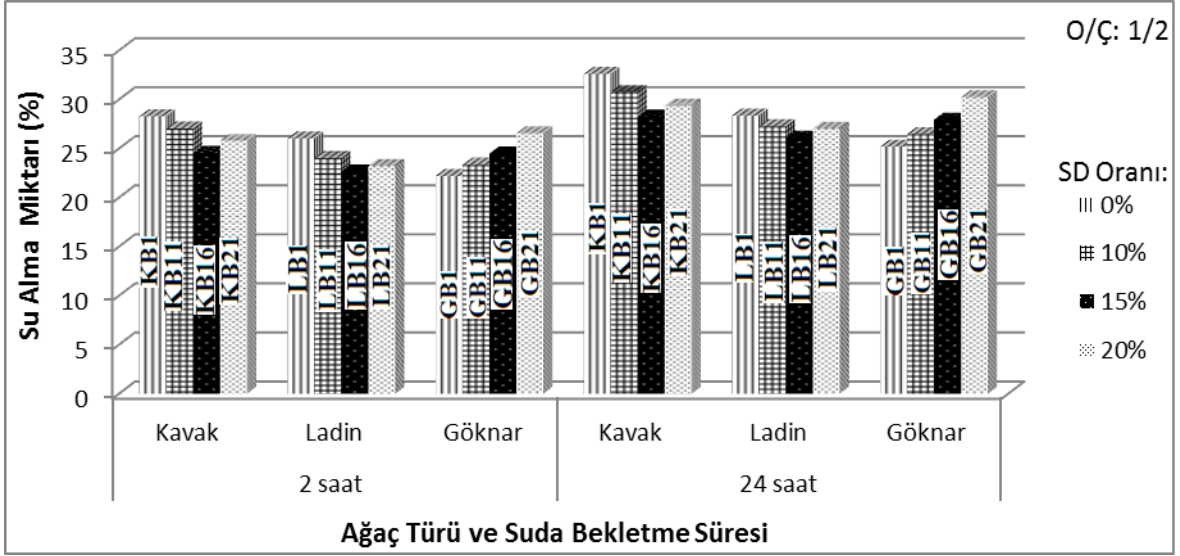
Ashori vd. [221], atık demiryolu traverslerinden ürettiği çimentolu levhalarda sertleştirici olarak CaCl_2 kullanmış ve su alma oranı %25 oranında azalttığını tespit etmiştir. Kalsiyum klorürün levhaların su alma oranı azaltmasının yüksek orandaki çimento-çimento ve odun-çimento bağının, odun yongalarını daha sert ve dayanıklı hale getirmesinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Tabarsa ve Ashori [222], yapmış oldukları çalışma sonucu, %3-5 oranında CaCl_2 kullanmanın su alma oranı ve kalınlık artımı oranında önemli derecede azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Kalsiyum klorür (CaCl_2) sertleştiricisinin aksine demir klorür (FeCl_3) ve alüminyum sülfat [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] sertleştiricilerinin Al^{+3} ve Fe^{+3} metal iyonları, öz odun tanenlerindeki fenolik hidroksil gruplar ile çelat adında çözünmeyen yapılar oluşturmaktadır. Böylece, tanenin çimento hidrasyonu üzerindeki olumsuz etkisi (%0,2'den daha fazlası çimento hidrasyonunu etkilemektedir) önlenmiş olmaktadır. Ancak, bu durum odun türüne göre farklılık göstermektedir [100, 223, 224]. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve FeCl_3 ; kavak, ladin ve göknar odunlarındaki tanen ile yeterince çelat oluşturamadığından su alma oranı artmış olabilir.

Alüminyum sülfat kullanılan çimentolu yonga levhaların su alma oranı üzerine suda bekletme süresi, silis dumanı miktarı, ağaç türü ve odun-çimento oranının etkisi Şekil 55'te verilmiştir. Kavak odunundan üretilen 1/3 odun-çimentolu levhaların saat su alma miktarı silis dumanı kullanımı ile artarken, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise silis dumanı miktarı artıkça su alma oranının azaldığı görülmüştür. Ladin odununda ise silis dumanı artıkça su alma oranı düşmüştür. Göknar odununda ise 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda %10 ve %15 oranında silis dumanı su alma oranı azaltırken, %20 kullanımı su alma oranı artırmıştır. 1/2 odun-çimento oranında ise silis dumanı artıkça su alma oranında az da olsa artış gözlenmiştir. En iyi sonuçlar ladinden, en kötü sonuçlar ise kavak odunundan üretilen levhalarda elde edilmiştir.



(a)

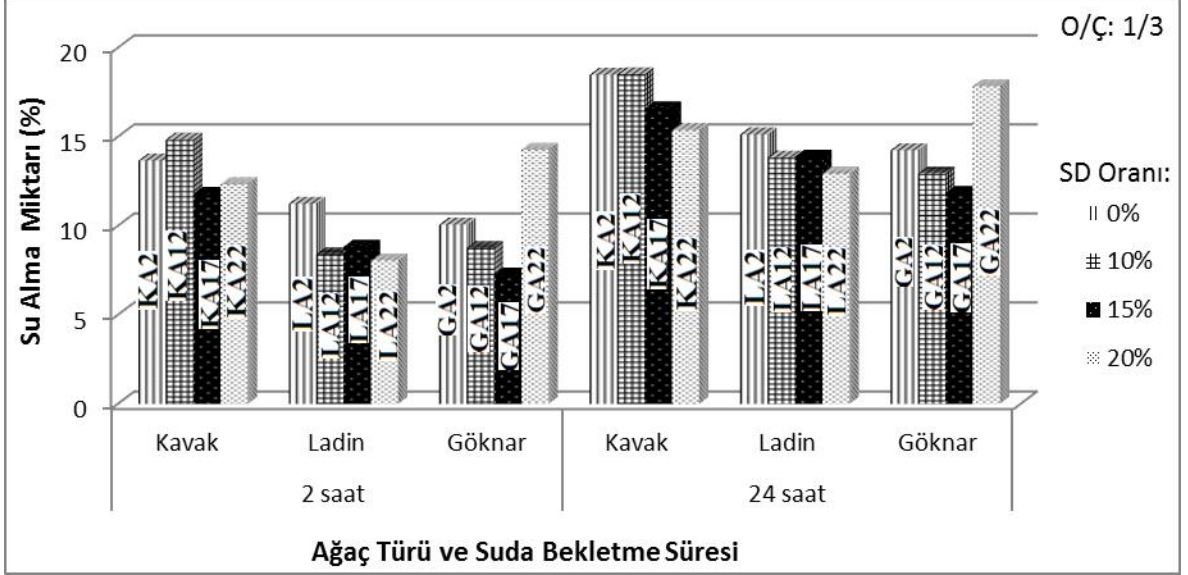


(b)

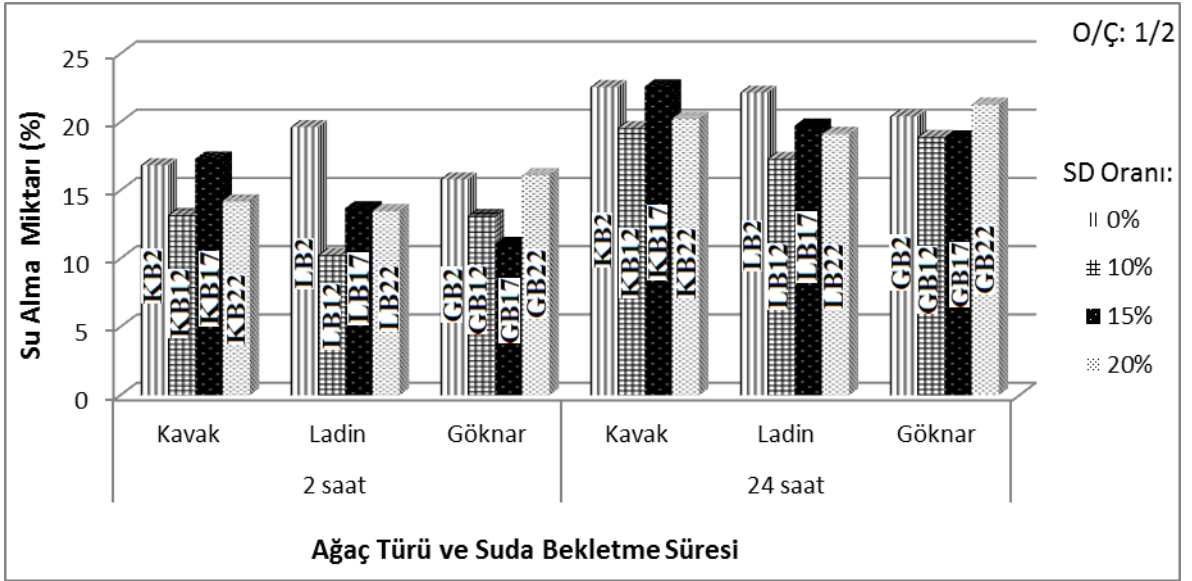
Şekil 55. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat su alma oranı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

$CaCl_2$ kullanılan levhaların su alma oranı üzerine suda bekletme süresi, ağaç türü, silis dumanı ve odun-çimento oranı etkisi Şekil 56'da gösterilmiştir. $CaCl_2$ kullanılan levhalarda genel olarak silis dumanının su alma oranı üzerinde önemli derecede etkili olduğu ve su alma miktarını azalttığı görülmektedir. 1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda 2 ve 24 saat su almada en iyi değerler (en düşük) sırasıyla %7.25 ve %11.85 su alma oranıyla GA17 grubundan, en kötü değerler ise sırasıyla 14.82 ve %18.5 su alma oranıyla KA12 grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranında ise en iyi değerler sırasıyla %10.25 ve % 17.31 su alma oranlarıyla LB12 grubundan elde edilirken, en kötü

sonuçların ise % 19.62 ve %22.15 su alma oranıyla LB0 grubundan elde edildiği görülmüştür.



(a)

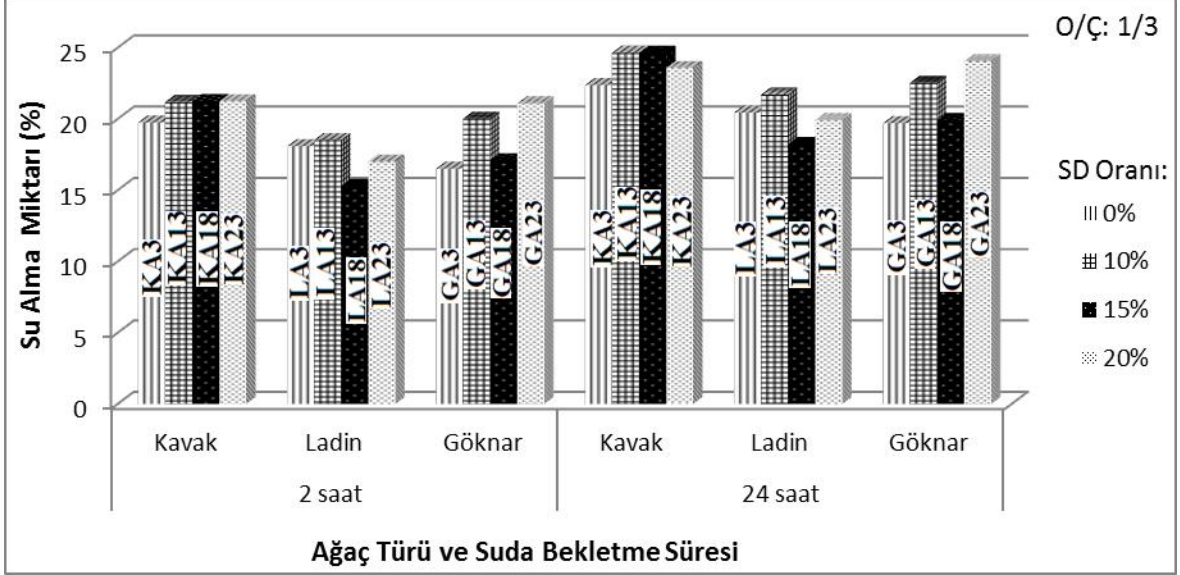


(b)

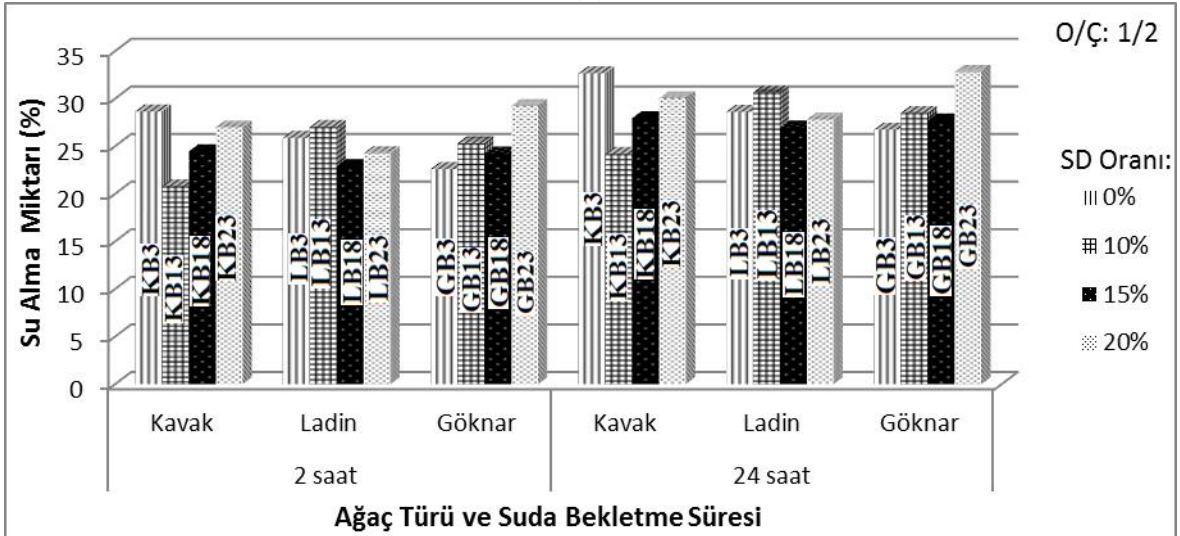
Şekil 56. CaCl₂ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat su alma miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

En kötü sonuçlar kavak odunundan üretilen levhalardan elde edilirken en iyi sonuçlar ladin odunundan üretilen levhalardan elde edilmiştir. CaCl₂ kullanıldığında; 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda kavak ve ladinde %20, göknarda ise %15 silis dumanı kullanımı

en iyi sonucu vermiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavak ve ladinde %10, göknarda ise %15 silis dumanı kullanımı en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 57. $FeCl_3$ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat su alma miktarı üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

Odun-çimento oranı, ağaç türü, silis dumanı ve suda bekletme süresinin $FeCl_3$ kullanılan levhaların su alma miktarı üzerine etkisi Şekil 57'de verilmiştir. $FeCl_3$ kullanılan 1/3 ve 1/2 oranlı göknar levhalarda silis dumanı kullanımının su alma oranını az da olsa artırdığı görülmüştür. Bu durum, çimentonun hidratasyon ürünleri ile silis dumanının yeterli reaksiyon yapamamasından kaynaklanmış olabilir.

1/3 ve 1/2 odun-çimento oranlı ladin levhalarda silis dumanın su alma oranını azaltmış ve en iyi sonuç %15 silis dumanı ile elde edilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda ise silis dumanı kullanımı levhanın su alma oranını çok az arttırırken, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise silis dumanı levhanın su alma miktarını azalttığı ve en iyi sonucun ise %10 silis dumanı kullanımıyla (%27) elde edildiği görülmektedir.

Nasser vd. [215], 1/3 odun-çimento oranı ile altı yerel ağaç türünden ürettiği çimentolu levhaların 24 saat su alma oranı %12.93 ile %23.39 arasında bulmuştur. Bu çalışmada 1/3 odun-çimento oranına sahip levhalardan elde edilen sonuçlar ile uyumluluk göstermektedir.

Tabarsa ve Ashori [222], %5 CaCl₂ kullanılan okaliptüs ve kavak odunundan çimentolu levha üretmişlerdir. 2 ve 24 saatte su alma oranı; kavak odunundan üretilen levhalarda sırasıyla %12.30 ve %17.16; okaliptüs odunundan üretilen levhaların ise %12.79 ve %17.39 olarak tespit edilmiştir. Okaliptüs odunundan üretilen levhalarda daha yüksek su alma oranının elde edilmesini; odun-çimento ve çimento-çimento bağı ile odunun kimyasal yapısına bağlamaktadır. Odun türüne göre levhanın su alma oranındaki farklılık; 2 ve 24 saatte su alma miktarı açısından literatür ile paralellik göstermiştir.

Ashori vd. [221]; demiryolu traversleri, %5 CaCl₂, 60 °C pres sıcaklığı ve 2/3 odun-çimento oranı kullanarak ürettikleri çimentolu levhaların 2 ve 24 su alma oranı sırasıyla %25.9 ve %39.4 olarak elde etmişlerdir. Denemelerde elde edilen sonuçlar literatür değerlerden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sudin ve Swamy [148], çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanarak 1/2.5, 1/2.75 ve 1/3 bambu-çimento oranlı levhalar üretmiş ve çimento oranı arttıkça su alma oranı ve kalınlık artımı değerlerinde azalma, ikame malzemelerin kullanım oranı arttıkça ise değerlerde artış gözlenmiştir.

4.2.1.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranına Ait Bulguların İrdelenmesi

Deneme levhalarının 2 ve 24 saatlik suda bekletme sonrası su alma oranları üzerine silis dumanı miktarı, odun-çimento oranı, ağaç ve sertleştirici türünün etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 58-62'de verilmiştir.

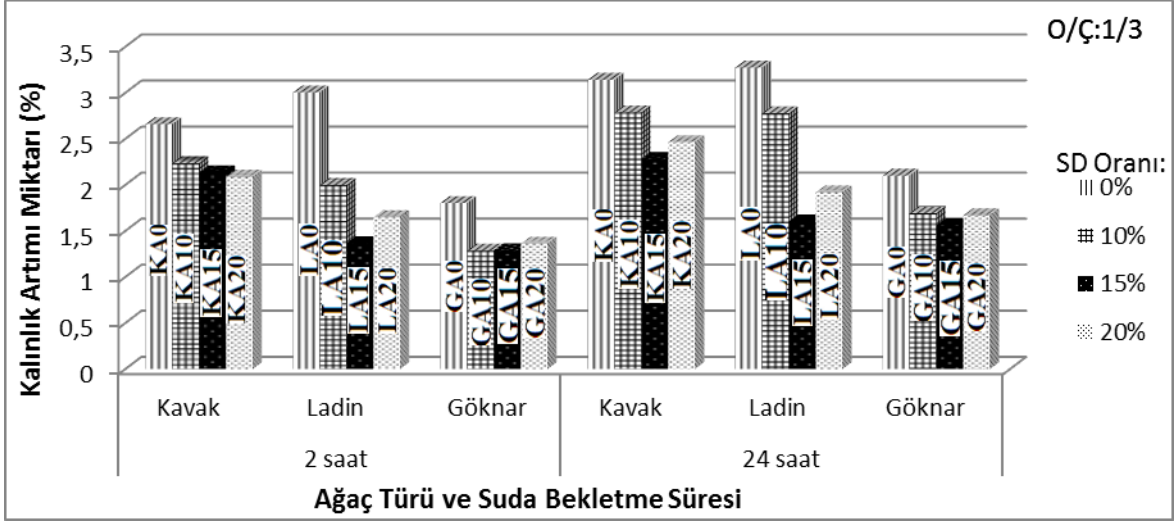
Genel olarak, 1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhaların 1/2'ye göre çok daha düşük kalınlık artımı değeri verdiği gözlenmiştir. Ağaç türleri arasında en iyi kalınlık artımı değerleri göknar odunundan elde edilirken en kötü sonuçlar kavak odunundan

üretileen levhalardan elde edilmiştir. Kalınlık artımı oranı üzerinde en iyi sonuçlar CaCl_2 kullanılan levhalardan en kötü sonuçlar ise FeCl_3 kullanılan levhalardan elde edildiği görülmüştür. Silis dumanının levhanın kalınlık artımı üzerinde çok ciddi bir etkisinin olduğu ve kullanım oranının artışının genel olarak kalınlık artımı oranını azalttığı belirlenmiştir. Suda bekleme süresi artıka kalınlık artımı oranı da artmıştır, bu artışın kavak odunundan üretilen levhalarda daha yüksek olduğu görülmüştür.

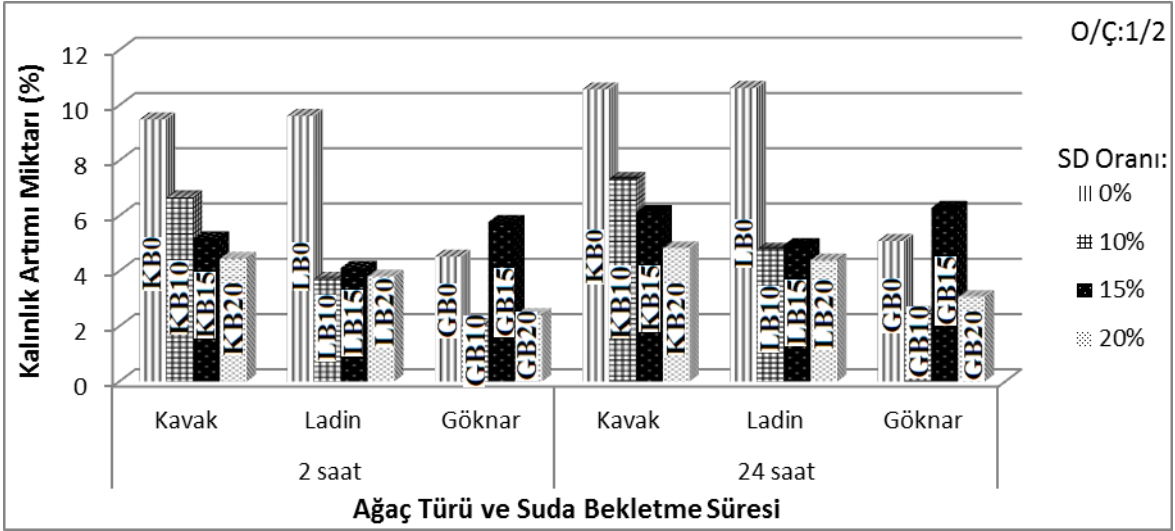
1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda en düşük kalınlık artım oranı; 2 saat için %0.72 ile 24 için ise %1.02 ile GA12 grubundan elde edilmiştir. En yüksek değerler ise 2 ve 24 saat için sırasıyla %6.90 ve %7.62 ile KA23 grubundan elde edilmiştir. 1/2 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda en düşük kalınlık artım oranı; 2 saat için %1.59 ile GB17 grubundan, 24 saat için ise %2.75 ile GB12 grubundan elde edilirken, en yüksek değerler 2 saat için %14.24 ve 24 saat için ise %15.72 ile KB3 grubundan elde edilmiştir.

Levhaların kalınlık artımı değerleri üzerine suda bekletme süresi, ağaç türü, odun-çimento ve silis dumanı oranının etkisi Şekil 58'de verilmiştir. 1/3 ve 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda en iyi sonuçlar 2 saat için %10 silis dumanı kullanılan göknar (GA10 ve GB10) levhalardan, 24 saat için ise %15 silis dumanı kullanılan göknar (GA15 ve GB15) levhalardan elde edilmiştir. En kötü sonuçlar ise ladin kontrol levhasından (LA0 ve LB0) elde edilmiştir.

1/3 odun-çimento oranına sahip silis dumanı kullanılan levhalarda, 2 ve 24 saat kalınlık artımı oranını sırasıyla kavakta % 21 ve %27, ladinde %55 ve %51, göknar ise %28 ve %26 oranında azaltmıştır. 1/2 odun-çimento oranlı silis dumanı kullanılan levhalarda 2 ve 24 saat kalınlık artımı oranının sırasıyla kavakta %53 ve %54, ladinde %61 ve %59, göknarda % 54 ve %51 oranına kadar azalttığı görülmüştür. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %20, 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için %15, göknar levhalarda ise 2 saat için %10, 24 saat için ise %15 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir (Şekil 58a). 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 ve 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 saat için %10 ve 24 saat için %20, göknar levhalarda 2 ve 24 saat için %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir (Şekil 58b).



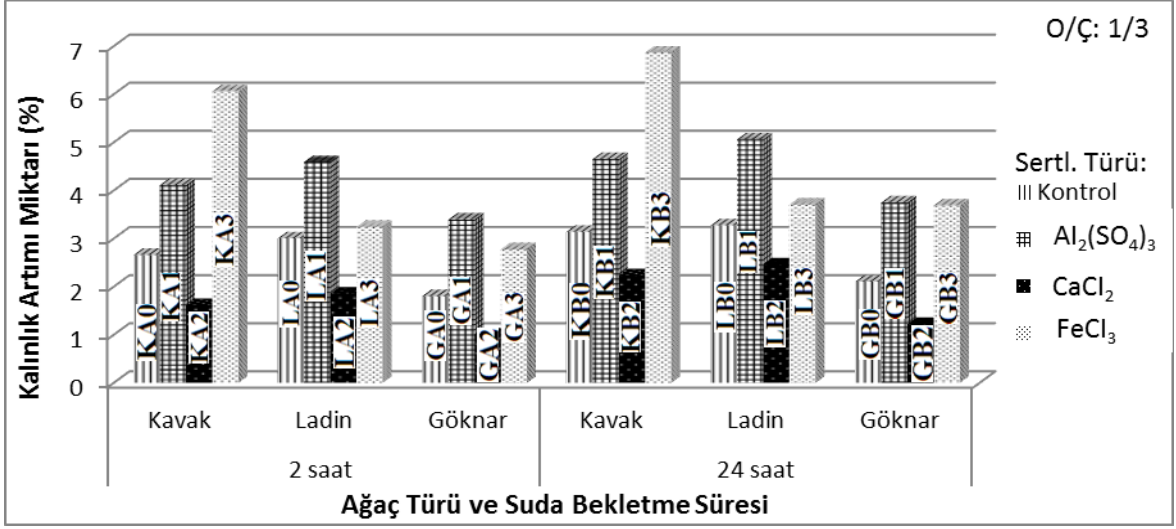
(a)



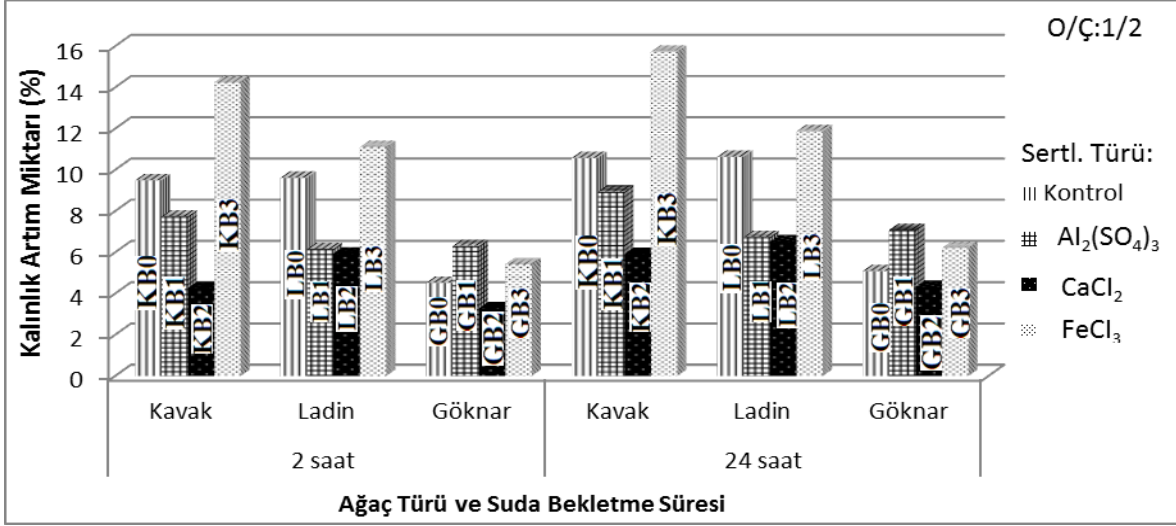
(b)

Şekil 58. 2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

Çimento hidratasyonu esnasında bir yan ürün olarak yaklaşık %20 oranında kalsiyum hidroksit meydana gelmektedir. Bu kalsiyum hidroksit; dirençsiz, çözünebilir ve nihai ürünün direncine katkı yapmayan bir materyaldir. Kalsiyum hidroksit sulu ortamda silis dumanı ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat meydana getirmektedir [225]. Böylece silis dumanı ilavesi ile levhada istenmeyen kalsiyum hidroksitin miktarı azalırken, arzu edilen ve levha direncini doğrudan etkileyen kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) miktarı artmış olmaktadır. Bu da daha sıkı ve sağlam bir yapı oluşturduğu için silis dumanı levhanın kalınlık artımı oranında iyileşme sağlamıştır.



(a)



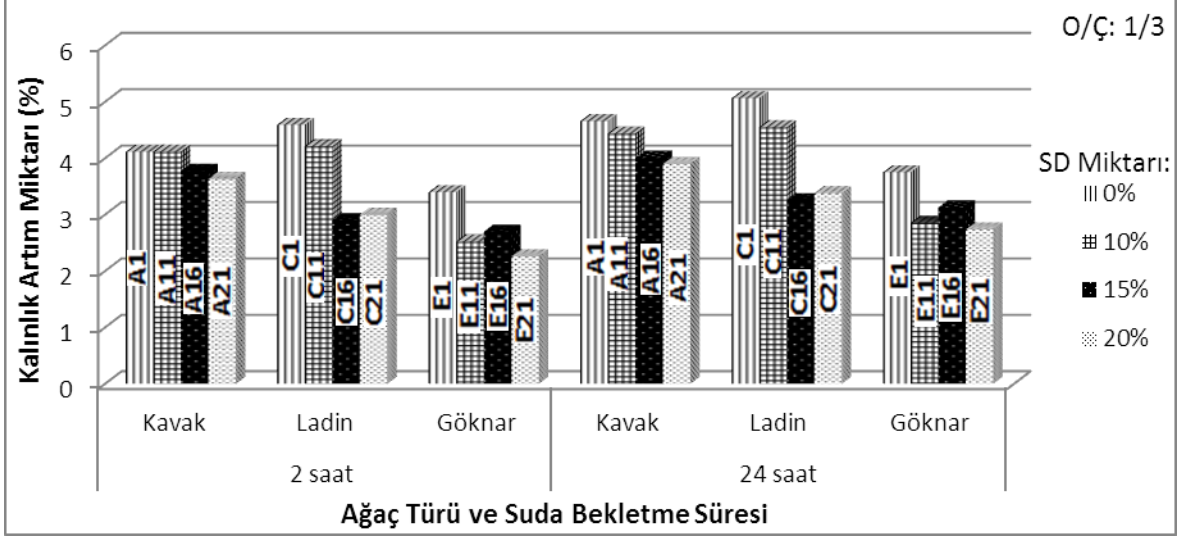
(b)

Şekil 59. 2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

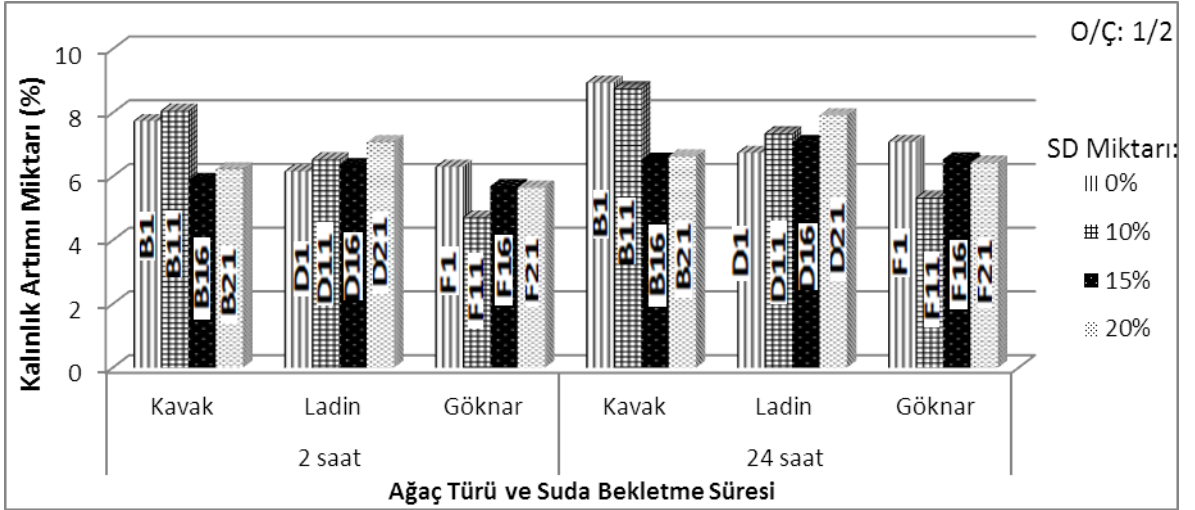
Levhanın kalınlık artımı oranı üzerine odun-çimento oranı, suda bekletme süresi, sertleştirici ve ağaç türünün etkisi Şekil 59'da verilmiştir. Levhaların kalınlık artımı değerleri üzerinde en iyi sonuçlar CaCl₂ kullanımı ile en kötü sonuçlar ise FeCl₃ kullanımı ile elde edilmiştir. Al₂(SO₄)₃ sertleştiricisi, 1/3 odun-çimento oranlı levhaların tamamında 2 ve 24 saat için kalınlık artımı oranını kontrole göre %46'ya kadar artarken, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda (Gök nardan üretilenler hariç) ise %37'ye kadar azalttığı görülmüştür.

Levhanın içeriğindeki odun miktarının artışına bağlı olarak Al₂(SO₄)₃ sertleştiricisinin kalınlık artımı değerlerinin iyileşmesi yönünde etkisinin arttığı görülmektedir. FeCl₃ de benzer sonuç vermiş fakat Al₂(SO₄)₃ kadar etkili olmadığı

görülmüştür. Bu durumun literatür ile de uyumluluk gösterdiği ve Al^{3+} katyonun Fe^{3+} katyonundan daha etkili olduğu literatürde de ifade edilmiştir [103, 104].



(a)



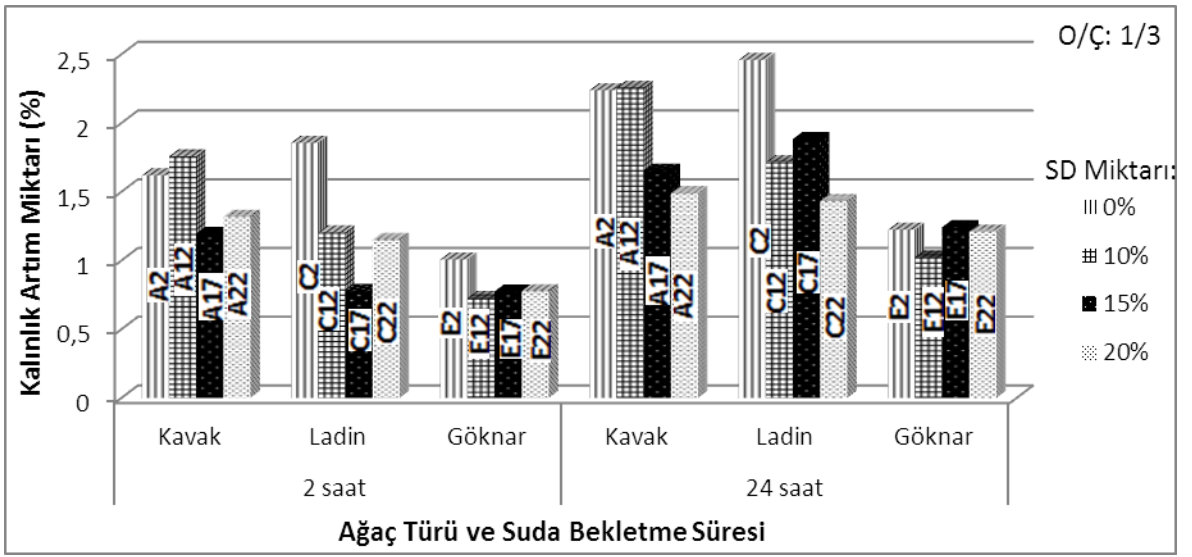
(b)

Şekil 60. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

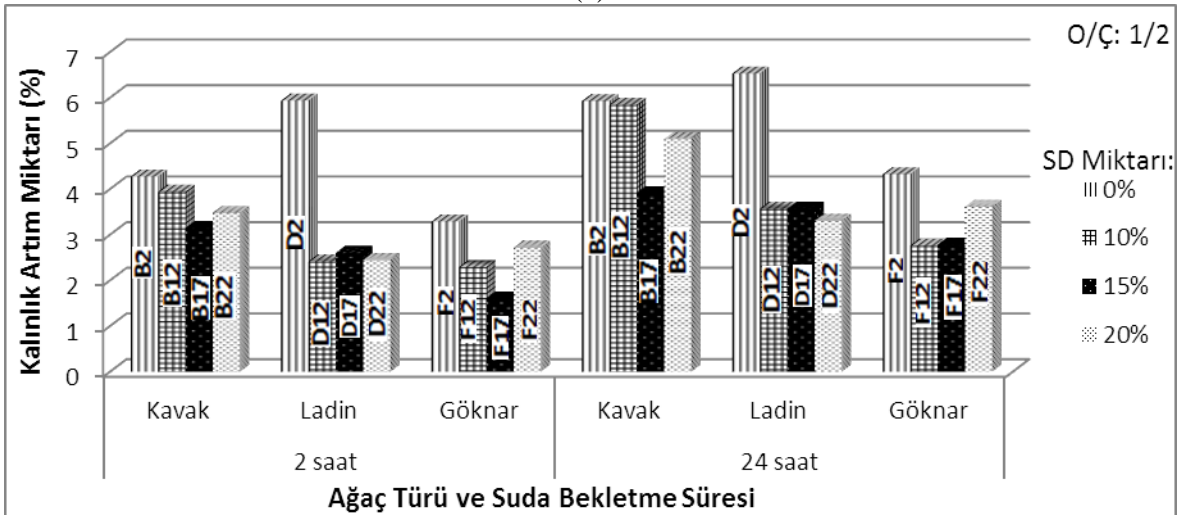
Bunun yanında metal iyonlarının tanedeki polifenol grupları ile kompleks oluşturarak polifenollerin çimento hidrasyonunu engelleyici etkisini azaltılmasına bağlı olarak levha kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Bazı metal iyonları ise çimento pastasındaki kalsiyum ile reaksiyona girerek çözünmez bir yapı oluşturmakta ve suyun çimentoya ulaşmasını engellemektedir. Bu nedenle C-S-H ve $Ca(OH)_2$ hidrasyon ürünlerinin oluşması yeterli olmamakta ve levha kalitesini olumsuz etkilemektedir [226,

227]. Buna bağı olarak alüminyum sülfat ve demir klorür, polifenol ile yeterli oranda reaksiyon gerçekleştiremediği için çimento hidrasyonu olumsuz etkilemiş ve çimento-çimento ve odun-çimento bağı zayıflatmış ve dolayısıyla levhaların kalınlık artım değerleri de yüksek çıkmış olabilir.

$Al_2(SO_3)_4$ kullanılan levhaların kalınlık artımı değerleri üzerine suda bekletme süresi, ağaç türü, odun-çimento ve silis dumanı oranının etkisi Şekil 60'da verilmiştir. $Al_2(SO_3)_4$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanım oranının artmasıyla kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede bir azalma olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

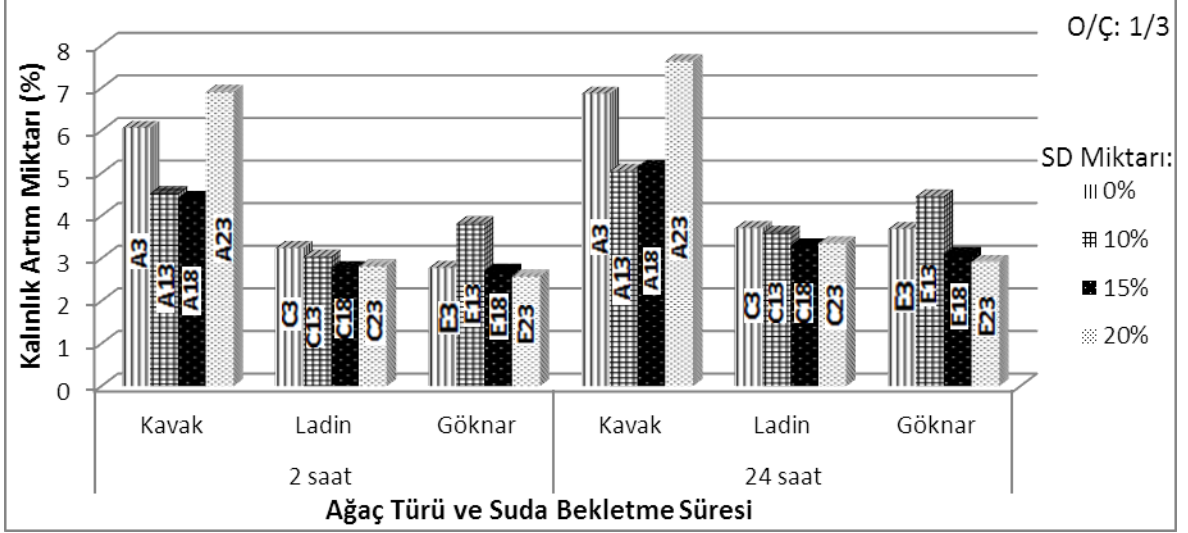
Şekil 61. $CaCl_2$ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

$Al_2(SO_3)_4$ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı ladin ve göknar levhalarda silis dumanı kullanımının önemli etkisinin olmadığı görülmektedir. Ancak kavak odunundan üretilen levhalarda ise silis dumanı kullanımıyla kalınlık artımını oranlarında %27 oranında azalma olmuştur. $Al_2(SO_3)_4$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %20, 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için %15, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir (Şekil 60a). 1/2 odun-çimento oranlı $Al_2(SO_3)_4$ kullanılan levhalarda en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalardan 2 ve 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için % 0, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir (Şekil 60b) .

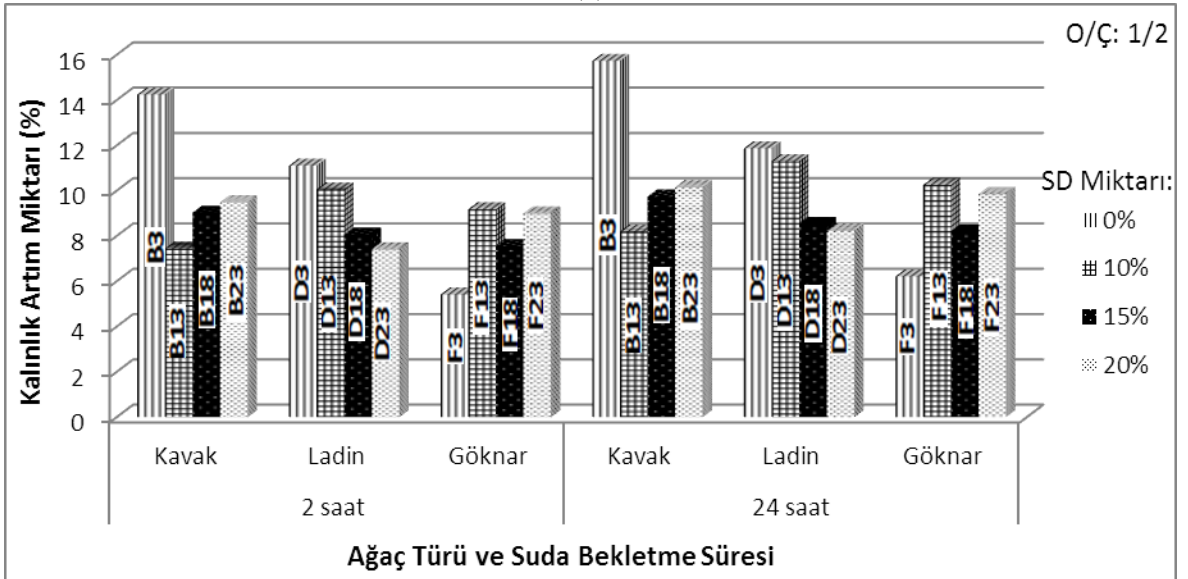
$CaCl_2$ kullanılan levhaların kalınlık artımı oranları üzerine suda bekletme süresi, ağaç türü, odun-çimento ve silis dumanı oranının etkisi Şekil 61’de verilmiştir. Hem 1/3 hem de 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanım oranının artmasıyla kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede bir azalma olduğu belirlenmiştir. $CaCl_2$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda (Şekil 61a) en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %15 ve 24 saat için %20, ladin levhalarda 2 için %15 ve 24 saat için %20, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı $CaCl_2$ kullanılan levhalarda en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalardan 2 ve 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için % 20, göknar levhalarda ise 2 için %15 ve 24 saat için %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir (Şekil 61b).

$FeCl_3$ kullanılan levhaların kalınlık artımı oranları üzerine suda bekletme süresi, ağaç türü, odun-çimento ve silis dumanı oranının etkisi Şekil 62’de verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı $FeCl_3$ kullanılan levhalarda silis dumanı kullanımının artmasıyla kalınlık artımı değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Ancak kavak levhalarda %20 silis kullanımı levhanın kalınlık artımı değerlerini olumsuz etkilemiştir. 1/2 odun-çimento oranlı $FeCl_3$ kullanılan levhalarda ise kavak hariç diğer odun türlerinden üretilen levhalarda silis dumanı kullanımıyla kalınlık artımı değerlerinde önemli iyileşmeler gözlenmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı $FeCl_3$ kullanılan levhalarda (Şekil 62a) en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %15 ve 24 saat için %10, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için %15, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı $FeCl_3$ kullanılan levhalarda (Şekil 62b) en iyi kalınlık artımı oranı; kavak levhalarda 2 ve 24 saat için %10, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için % 20,

göknar levhalarda 2 ve 24 saat için ise %0 silis dumanı kullanımıyla (kontrol levhası) elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 62. FeCl₃ kullanılan levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı oranları üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi (a: O/Ç-1/3; b: O/Ç-1/2).

FeCl₃ kullanılan levhaların kalınlık artımı oranları üzerine suda bekletme süresi, ağaç türü, odun-çimento ve silis dumanı oranının etkisi Şekil 62'de verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı FeCl₃ kullanılan levhalarda silis dumanı kullanımının artmasıyla kalınlık artımı değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Ancak kavak levhalarda %20 silis kullanımı levhanın kalınlık artımı değerlerini olumsuz etkilemiştir. 1/2 odun-çimento oranlı FeCl₃

kullanılan levhalarda ise kavak hariç diğer odun türlerinden üretilen levhalarda silis dumanı kullanımıyla kalınlık artımı değerlerinde önemli iyileşmeler gözlenmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı $FeCl_3$ kullanılan levhalarda (Şekil 62a) en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %15 ve 24 saat için %10, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için %15, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı $FeCl_3$ kullanılan levhalarda (Şekil 62b) en iyi kalınlık artımı oranı; kavak levhalarda 2 ve 24 saat için %10, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için % 20, göknar levhalarda 2 ve 24 saat için ise %0 silis dumanı kullanımıyla (kontrol levhası) elde edilmiştir.

TS EN 634-2 [228] standardına göre, maksimum kalınlık artımı 24 saat için %1.5 olarak belirtilmiştir. Buna göre, sadece GA2, GA12, GA22, LA22 ve KA22 no'lu grupların 24 saat su alma oranları standardı karşılamaktadır. Diğer levha grupları ise standart dışı kalınlık artımı değerleri verdiği görülmüştür.

Tabarsa ve Ashori [222], %5 $CaCl_2$ kullanarak okalıptüs ve kavak odunundan çimentolu levha üretmişlerdir. 2 ve 24 saat kalınlık artımı oranı; kavak sırasıyla %3.11 ve %3.61; okalıptüs levhalarında ise %4.79 ve %5.29 olarak tespit edilmiştir.

Papadopoulos [229], akça ağaçtan üretmiş olduğu 1/3 ve 1/4 odun-çimento oranlı levhaların 24 saat kalınlık artımı oranını sırasıyla %4.42 ve %2.51 olarak elde etmiştir.

Papadopoulos vd. [135], %2 oranında alüminyum klorür sertleştiricisi kullanılan, 1, 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranlarında kavak odunundan üretmiş olduğu çimentolu yönlendirilmiş levhaların 24 saat kalınlık artım oranları sırasıyla %34.14, %9.42 ve %4.28 olarak elde etmişlerdir.

Ashori vd. [221], demiryolu traversleri, %5 $CaCl_2$, 60 °C pres sıcaklığı ve 2/3 odun-çimento oranı kullanarak ürettikleri çimentolu levhaların 2 ve 24 saat su alma miktarını %5.95 ve %15.11 olarak rapor etmişlerdir.

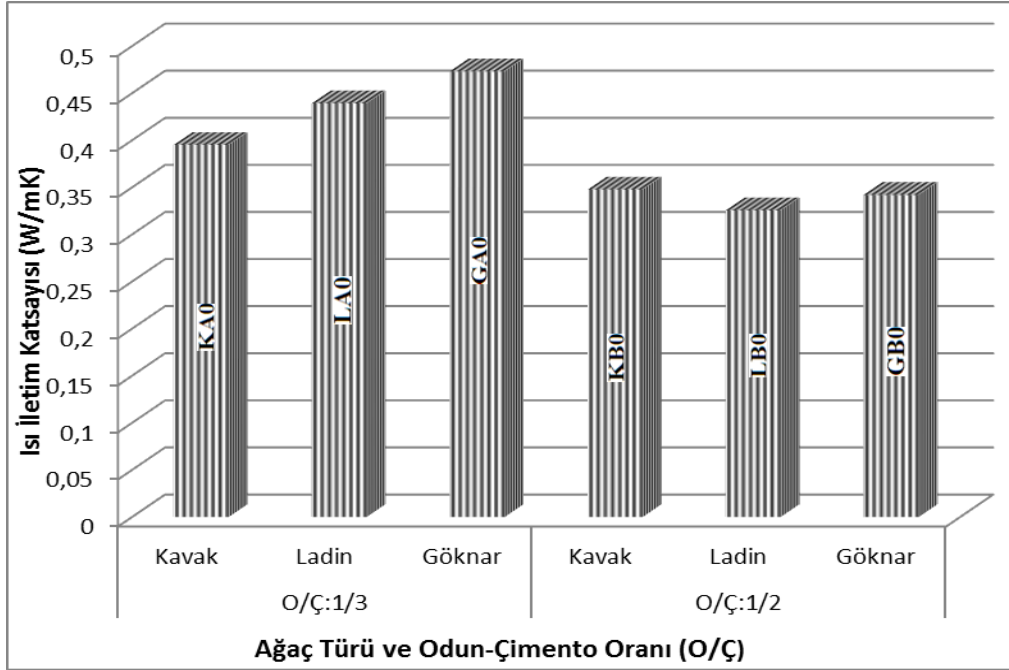
Deneme levhalarının 2 ve 24 saat kalınlık artımı oranlarının genel olarak literatür ile paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır.

4.2.1.5. Isı İletim Katsayısına Ait Bulguların İrdelenmesi

Deneme levhalarının ısı iletim katsayısı değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 63-64'te verilmiştir. Genel olarak, 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhaların 1/3 odun-

çimento oranlı levhalara göre daha düşük ısı iletim katsayısı değeri verdiği belirlenmiştir. Bu durum ağaç malzemenin çimentoya göre daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olması nedeniyle levhada odun miktarının artmasıyla ısı iletim katsayısının düşmesinden kaynaklanmıştır. Ağaç türleri arasında en yüksek ısı iletim katsayısı göknar levhalardan elde edilirken, kavak ve ladin odunlarından üretilen levhaların ısı iletim katsayıları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Bu durum, göknar odunun daha yüksek yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmış olabilir. Zira, ısı iletim katsayısı; odunun yoğunluğu, rutubet miktarı, sıcaklık ve ekstraktif madde miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [230]. Silis dumanı kullanımında en düşük ısı iletim katsayısı değerleri %10, en yüksek ise %15 ve %20 silis dumanı kullanımı ile elde edildiği gözlenmiştir.

1/3 odun-çimento kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek ısı iletim katsayısı değeri GA0 (0.473 W/mK) grubundan, en düşük ise KA10 (0.337 W/mK) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranı kullanılarak üretilen levhalarda ise en yüksek ısı iletim katsayısı değeri KB0 (0.347 W/mK) grubundan, en düşük değer ise LB0 (0.325 W/mK) grubundan elde edilmiştir.



Şekil 63. Isı iletim katsayısı üzerine ağaç türü ve odun-çimento oranının etkisi

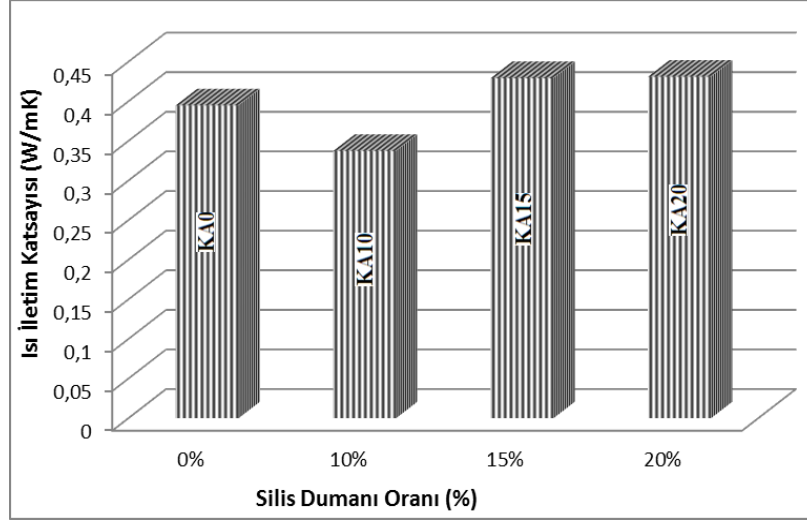
Deneme levhalarının ısı iletim katsayısı değerleri üzerine ağaç türü ve odun-çimento oranının etkisi Şekil 63'te verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranı ile üretilen levhalar 1/2 odun

çimento oranı ile üretilen levhalara göre daha yüksek ısı iletim katsayısı değeri verdiği gözlenmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda, odun miktarının artması ve çimento miktarının azalması nedeniyle levha içindeki boşluk oranının artmasından dolayı ısı iletim katsayısı da düşmüş olabilir. Odunun ısı iletkenlik katsayısı, odunun gözenekli yapısından dolayı düşük olup, 0.09-0.28 W/mK arasında değişiklik göstermektedir [231]. Kuru birim ağırlığı 2320 kg/m³ olan normal betonların ısı iletim katsayıları 1.03-1.45 W/mK arasında [232], tuğla duvarının ısı iletim katsayısı 0.81 W/mK, iç sıva kireç çimento harcının ısı iletim katsayısı (0.87 W/mK) ve dış sıva kireç çimento harcının ısı iletim katsayısının ise 1.4 W/mK olduğu belirtilmektedir [233]. Bu nedenle, levhada odun miktarının artması ile levhanın ısı iletim katsayısının çimentodan uzaklaşıp odunun ısı iletim katsayısına yaklaştığı görülmüştür.

Rim vd. [234], çimentolu odun kompozitlerinde odun miktarının artması ile levhanın mekanik ve termal iletkenlik özelliklerindeki değişimlerin araştırıldığı çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuş olup, levhada odun miktarının artması ile levhanın ısı iletim katsayısının da düştüğünü rapor etmişlerdir.

Asasutjarit vd. [57], hindistan cevizi liflerinden 250-800 kg/m³ arasında değişen yoğunluklarda üretmiş olduğu çimentolu levhaların ısı iletim katsayılarının levha yoğunluğu ile doğru orantılı olarak arttığını rapor etmişlerdir. Deneme levhalarından elde edilen sonuçlar bu literatürden daha yüksek bulunmuştur. Bu durum deneme levhalarının daha yüksek yoğunluk değerlerine sahip olmasından kaynaklanabilir.

Onesippe vd. [235], şeker kamışı liflerinden ürettiği yüksek yoğunlukta lif levhaların termal özelliklerini incelemiş ve levhaların ısı iletim katsayısını 0.46-0.63 W/mK arasında bulmuştur. Levhadaki lif oranının artması ile doğru orantılı olarak ısı iletim katsayısının düştüğü ve levha yoğunluğunun artması ile de ısı iletim katsayısının arttığını rapor edilmiştir.



Şekil 64. Kavak odunundan üretilen levhaların ısı iletim katsayısı üzerine silis dumanı oranının etkisi

Silis dumanının levhalarının ısı iletim katsayısı üzerine etkisi Şekil 64'te verilmiştir. %10 oranında kullanımı levhalarının ısı iletim katsayısını azaltırken, %15 ve %20 oranında kullanımının ısı iletim katsayısı değerlerini artırdığı gözlenmiştir. Bu durum, çimentodan daha hafif olan silis dumanın çimentoya ikame olarak %10 oranında 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalara katıldığında, az miktardaki silis dumanı sıkıştırma faktörünü artırmadığından levha yoğunluğunu ve ısı iletim katsayısını düşürmüş olabilir. %15 ve %20 kullanımında ise literatürde de belirtildiği gibi; çimentolu karışımlarda bulunan Ca(OH)_2 suda çözünebildiği için kılcal boşluklar oluşturur. Silis dumanı ise Ca(OH)_2 ile tepkimeye girerek boşluklarda kararlı C-S-H jeli oluşturur ve geçirimsizliği azaltmaktadır. Bunun da levhanın ısı iletkenlik katsayısını artırma etkisi oluşturduğu düşünülebilir [236].

Devecioğlu ve Biçer [237], betonun ısı iletim katsayısını azaltmak amacıyla betona agrega olarak geliştirilmiş kil katmışlar ve levhaların ısıl özelliklerini belirlemişlerdir. Bu amaçla, tane çapları 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm olan geliştirilmiş kil, çimentoya %20, %40, %60 ve %80 oranında ilave edilmiştir. Sonuçta, geliştirilmiş kil oranı ve tane çapı arttıkça beton yapının ısı iletim katsayısının da doğru orantılı olarak düştüğünü rapor etmişlerdir. Odunun ısı iletkenlik katsayısı, gözenekli yapısından dolayı düşük olup, 0.09-0.28 W/mK arasında değişiklik göstermektedir [231].

ISO ve CEN Standardına göre ısı iletim katsayısı 0.065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanmaktadır [238]. Bu durumda denemelerde kullanılan levhaların ısı yalıtım malzemesi olarak kullanımı mümkün

görülmemektedir. Yine de diğer yapı malzemeleri ile kıyaslandığında yapılardaki etkileri değerlendirilebilir düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

4.2.2. Mekanik Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi

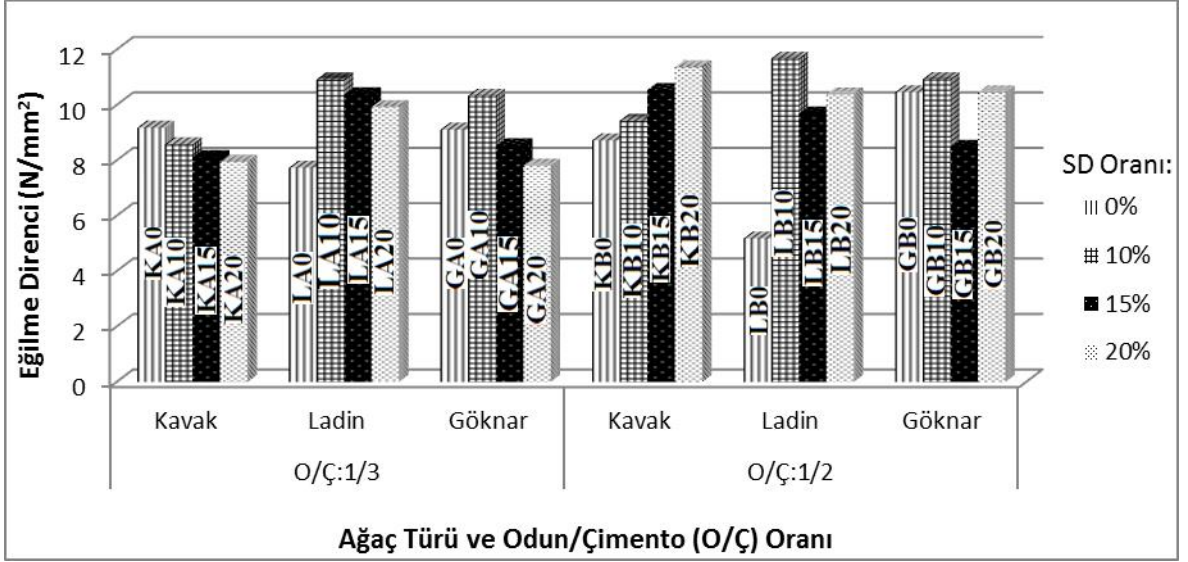
4.2.2.1. Eğilme Direncine Ait Bulguların İrdelenmesi

Levhaların eğilme direnci değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç ve sertleştirici türlerinin etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 65-69'de verilmiştir. Genel olarak, 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhaların 1/3'ye göre daha yüksek eğilme direnci değerleri verdiği gözlenmiştir. Ağaç türleri arasında en yüksek eğilme direnci değerleri kavak levhalardan elde edilirken en düşük değerler göknar levhalardan elde edilmiştir. Bunun nedenin, ladin ve göknara göre kavak odununun galaktoz, arabinoz ve mannoz şeker miktarının daha düşük olmasından dolayı çimento ile daha iyi bir uyumluluk göstermiş olduğu düşünülebilir. Ayrıca, kavak odununun pH değeri ladin ve göknar'a göre daha yüksek olduğundan dolayı, kavak odunu çimentolu levha üretiminde daha avantajlı konumdadır. Sertleştirici açısından en yüksek değerler CaCl_2 , en düşük değerler ise FeCl_3 kullanılan levhalarda görülmüştür. %10 silis dumanı kullanımıyla en yüksek değerler elde edilirken, en düşük değerler %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en yüksek eğilme direnci değeri KA2 (13.17 N/mm^2) grubundan, en düşük ise GA23 (5.73 N/mm^2) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek değer LB12 (15.12 N/mm^2) grubundan, en düşük ise GB23 (5 N/mm^2) grubundan elde edilmiştir.

Levhaların eğilme direnci üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkileri Şekil 65'te verilmiştir. Literatüre göre; yonga miktarı ve yongalar arası yüzey temas alanının artması dolayısıyla yük altında levhanın geriliminin yük uygulanan bölgeden diğer bölgelere dağıtılışı artmakta ve levhanın eğilme direncinde artış olmaktadır [146]. Yapılan birçok araştırmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir [135, 146, 147, 237]. Silis dumanı tane boyutlarının çimento ve odun yongalarından daha düşük olması dolayısıyla levha içerisindeki boşlukları doldurarak daha kapalı yüzeyler oluşturur. Ayrıca silis dumanının çimentodaki C_3S 'in hidratasyonunu hızlandırması ve Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek C-S-H jeli meydana getirmesinden dolayı levha direncinde artışa neden olmuş

olabilir. Diğer taraftan silis dumanı kullanım oranının artması ile levhaların eğilme direnci değerlerinde genel olarak bir azalma gözlenmektedir. Bu durum ise silis dumanının silisyumdan kaynaklanan gevreklik değerinin yüksek olmasından kaynaklanmış olduğu düşüncesini doğurmaktadır.

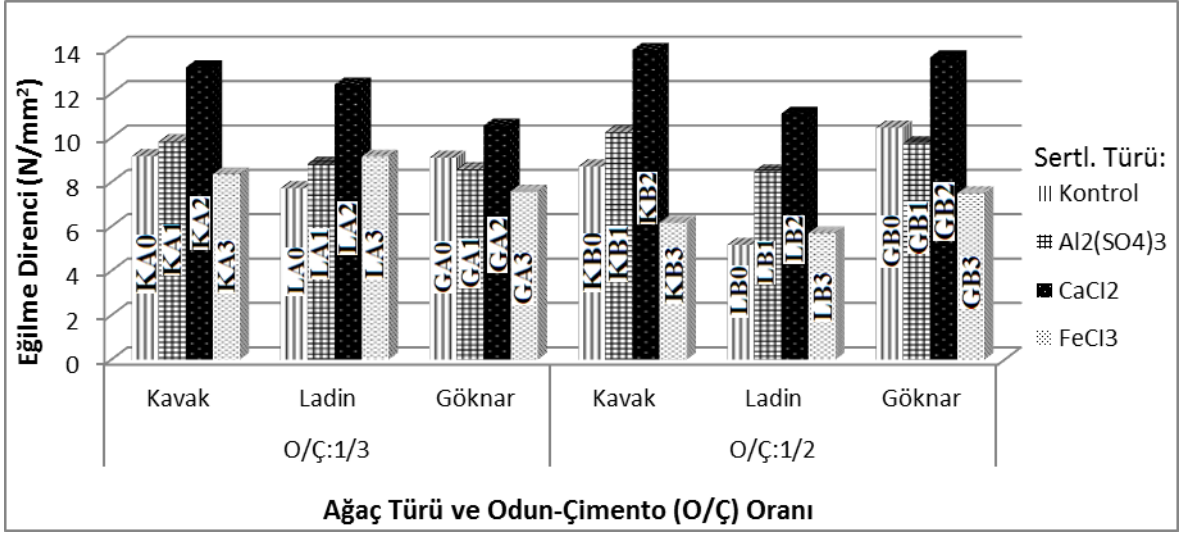


Şekil 65. Eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

Silis dumanının eğilme direnci değeri üzerine etkisinin irdelenmesinde en başarılı sonuçlara %10'luk silis dumanı kullanımında ulaşılmış olup, odun-çimento oranı 1/3 olan ladin levhalarda % 10 silis dumanı kullanımı ile %29 ve gökmar levhalarda ise %12'ye kadar artışa meydana gelmiştir. Kavak levhalarda ise %9 oranında bir azalma gözlenmiştir. Odun-çimento 1/2 olan levhalarda ise; kavaklarda %23, ladinlerde %56 ve gökmar levhalarda ise %4 oranında artırdığı gözlenmiştir.

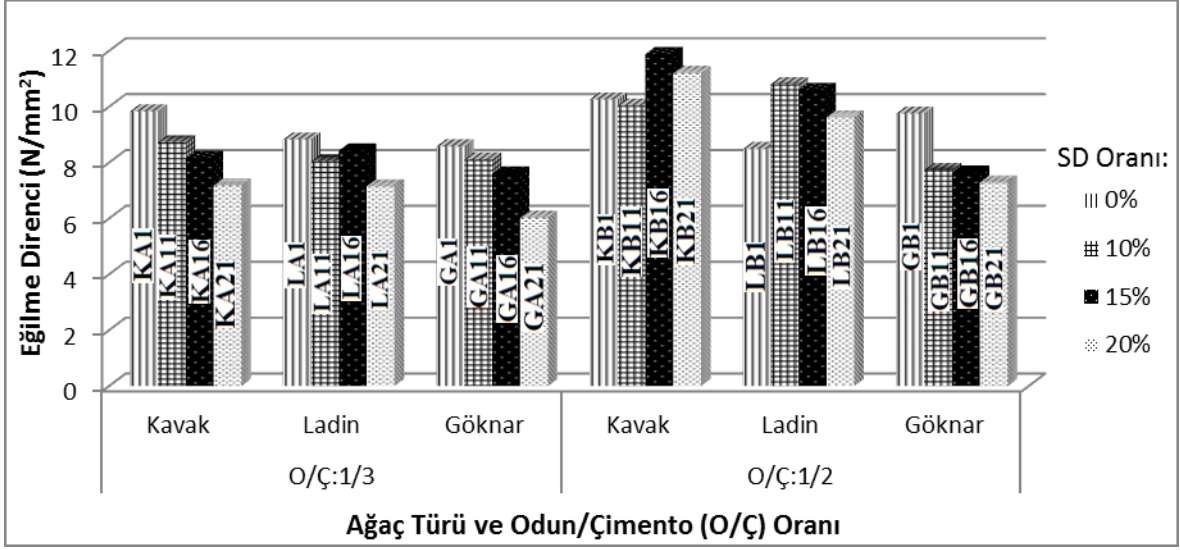
Levhaların eğilme direnci üzerine, ağaç ve sertleştirici türü ile odun-çimento oranının etkisi Şekil 66'da verilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, levha içeriğindeki odun miktarının artmasına bağlı olarak ağaç malzemelerin eğilme direnci değerlerinin beton ve dolayısı ile çimentonun eğilme değerinden oldukça fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan en yüksek eğilme direnci değerleri CaCl_2 sertleştiricisi kullanılan levhalardan elde edilmiştir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 'ün kavak ve ladin levhalarda eğilme direncinde artışa, gökmar levhalarda ise çok az bir düşüşe neden olduğu görülmektedir. FeCl_3 ise ladin levhalarda eğilme direncini artırırken, kavak ve gökmar levhalarda düşüşe neden olmuştur.

Odundaki ekstraktif maddeler, çimento çözeltisindeki metal iyonları ile kompleks oluşturarak çimentodaki Ca^{2+} iyonlarının konsantrasyonunu azaltmasına neden olmakta ve çözeltinin kararlılığını bozmaktadır. Bu; $Ca(OH)_2$ ve C-S-H jelinin çekirdeklenme başlangıcını geciktirmektedir [204]. $CaCl_2$ sertleştiricisinin ortamdaki Ca^{2+} iyonu miktarını artırarak; ekstraktiflerin olumsuz etkisini azalttığı düşünülmektedir.



Şekil 66. Eğilme direnci üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi

Ayrıca $Al_2(SO_4)_3$ ve $FeCl_3$ sertleştiricilerinin Fe^{3+} ve Al^{3+} iyonları ise tanen polifenol grupları ile kompleks oluşturarak polifenollerin çimento hidrasyonunu engelleyici etkisini azaltarak levha kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Ancak bazı metal iyonları levha taslağındaki kalsiyum ile reaksiyona girerek çözünmez bir yapı oluşturmakta ve suyun çimentoya ulaşmasını engellemekte, bu nedenle de C-S-H ve $Ca(OH)_2$ hidrasyon ürünlerinin oluşması yetersiz kalmakta ve levha kalitesini olumsuz şekilde etkilemektedir [226, 228]. Sertleştirici olarak alüminyum sülfat ve demir klorürün, polifenoller ile yeterli oranda reaksiyon gerçekleştirememesine bağlı olarak çimento hidrasyonunun olumsuz etkilendiği ve çimento-çimento ve odun-çimento bağının zayıf kalmış olduğu, bu zayıf bağlanmanın etkisiyle de levhaların eğilme direnci değerlerini $CaCl_2$ kadar iyileştirmediği düşünülebilir.

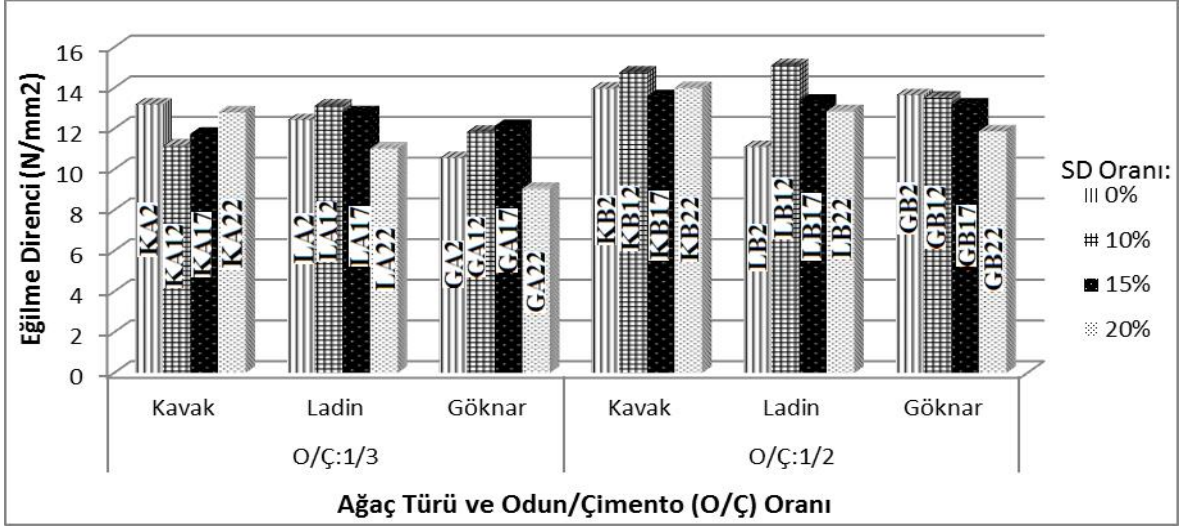


Şekil 67. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 67’de verilmiştir. Genel olarak; 1/2 odun-çimento oranlı levhalar 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek eğilme direnci değeri vermiştir. Bu durumun, levha içeriğindeki odun miktarının artmasına bağlı olarak ağaç malzemelerin eğilme direnci değerlerinin beton ve dolayısı ile çimentonun eğilme direnci değerinden oldukça fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

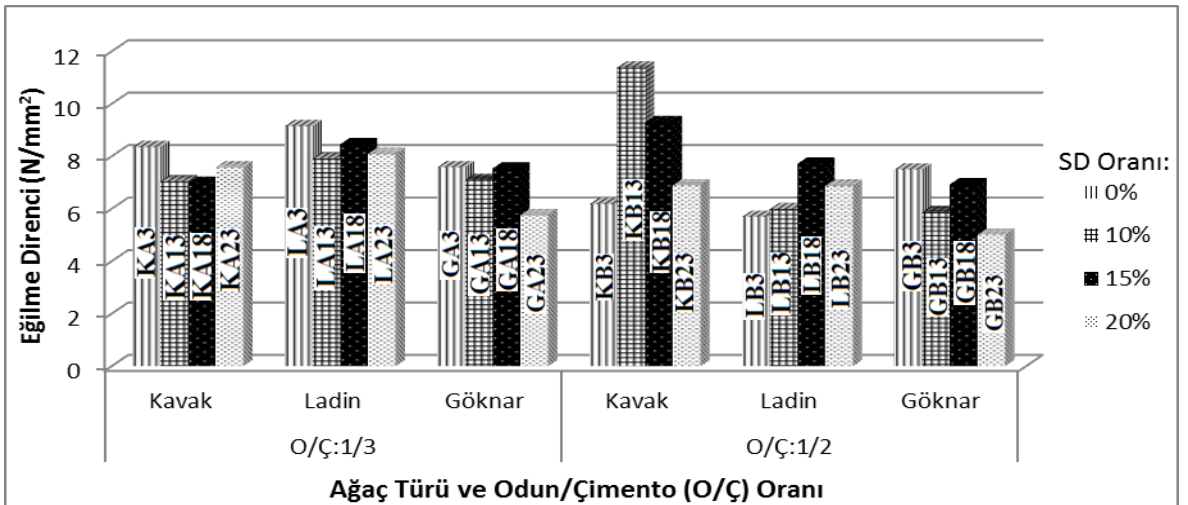
$Al_2(SO_4)_3$ kullanımında 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda % 15 (KB16), ladin levhalarda ise % 10 (LB11) silis dumanı kullanımı iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

$CaCl_2$ kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine ağaç türü ve silis dumanı ile odun-çimento oranının etkisi Şekil 68’de verilmiştir. $CaCl_2$ kullanılan levhalarda, 1/2 odun-çimento oranlı olanlar 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek eğilme direnci değeri vermiştir. 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranlı $CaCl_2$ kullanılan levhalarda tüm ağaç türlerinde belli bir orana kadar silis dumanı kullanımıyla levhaların eğilme direnci değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Fakat 1/3 odun çimento oranlı kavak levhalarda ise silis dumanı ilavesi ile doğrusal bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 68. CaCl_2 kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağac türünün etkisi

CaCl_2 kullanılan levhalarda en iyi eğilme direnci değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %15 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. Kavak levhalarda ise en iyi sonuç kontrol levhalarından elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak (KB12) ve ladin levhalarda (LB12) %10, silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. Gök nar levhalarda ise ne iyi sonuç kontrol levhalarından elde edilmiştir. Ladin levhalarda CaCl_2 'ün daha az etkili olması nedeniyle, 1/2 odun çimento oranlı levhalarda kontrol grubu daha düşük değer vermiş olabilir.



Şekil 69. FeCl_3 kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağac türünün etkisi

FeCl₃ kullanılan levhaların eğilme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 69'da verilmiştir. FeCl₃ kullanılan levhalarda, kavak levhalar hariç diğer ağaç türlerinden üretilen levhalar 1/3 odun-çimento oranlı olanlar 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek eğilme direnci değeri vermiştir. FeCl₃ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı tüm ağaç türlerinden üretilen levhalarda silis dumanı levhanın eğilme direncinde düşüşe neden olurken, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise (gökmar hariç) silis dumanının kullanımı kontrol levhalarına göre artış göstermiştir.

1/3 odun-çimento oranlı FeCl₃ ve silis dumanı kullanılan levhalarda; en iyi eğilme direnci değerleri kontrol levhalardan elde edilmiştir. FeCl₃ sertleştiricisi ile silis dumanı arasındaki etkileşim eğilme direnci üzerine olumsuz bir etki meydana getirmiştir. Bunun nedeninin karışımdaki çimento oranının fazla olmasına bağlı olarak hidrasyon özelliklerini olumsuz etkilediği düşünülebilir. 1/2 odun-çimento oranlı kavaktan üretilen levhalarda %10 (KB13), ladinden üretilen levhalarda ise %15 (LB18) silis dumanı kullanımı ile en yüksek eğilme direnci elde edilirken, gökmar levhalarda ise en yüksek eğilme direnci değeri kontrol örneklerinden elde edilmiştir.

TS EN 634-2 [228] standardında, çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken minimum eğilme direnci 9 N/mm² olarak belirtilmiş olup, kalsiyum klorür ve silis dumanı ile üretilen tüm levha grupları standardın üzerinde değerler vermiştir. Alüminyum sülfat ve silis dumanı ile üretilen levhalardan KA1, KB1, KB11, KB16, KB21, LB11, LB16, LB21 ve GB1 grupları standart değerini karşılarken, diğer gruplar standart altında kalmıştır. Demir klorür ve silis dumanının kullanımıyla üretilen levhalardan ise sadece KB13, KB18 ve LA3 grubu levhalarının standart değerleri karşıladığı belirlenmiştir. Demir klorür genel olarak levhanın direncinde azalmaya neden olurken, sadece KB13 grubu levhada direnç artışı olmuştur. Sertleştirici kullanmaksızın sadece silis dumanı ile üretilen levhalardan ise KA10, KA15, KA20, KB0, LA0, LB0, GA15, GA20 ve GB15 grupları hariç tüm gruplar standardın üzerinde değerler vermiştir.

Papadopoulos vd. [135], Akkavak odununda 1/2 ve 1/3 odun çimento oranlı üretilen yönlendirilmiş levhaların eğilme dirençlerini sırasıyla, 12.25 N/mm² ve 8.27 N/mm² olarak tespit etmişlerdir.

Okino vd. [99], okaliptüs ve demir ağacı karışımından %4 CaCl₂ kullanılan ürettikleri çimentolu levhalarda eğilme dirençlerinin; 5.8-6.4 N/mm² arasında belirlemişlerdir.

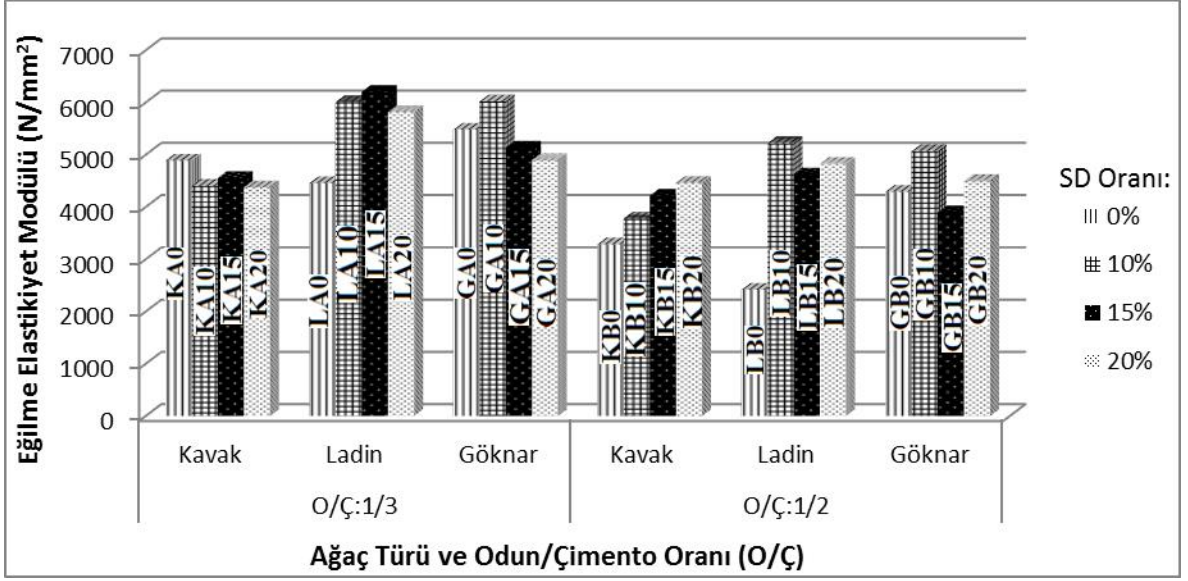
Duval ve Kadri [128], çimentoya ikame olarak farklı oranlarda silis dumanını beton harcı karışımına ilave etmiş ve betonun basınç direnci değerlerini ölçmüşler ve %20 silis dumanı kullanımına kadar direnç değerlerinin arttığı, ancak %15 silis dumanı kullanımından sonra artış oranının azaldığını belirlemişlerdir.

Sudin ve Swamy [149], çimentoya ikame olarak; %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanarak 1/2.5, 1/2.75 ve 1/3 bambu-çimento oranlı levhalarda eğilme direnci değerinin çimento miktarı artkça arttığını, ikame malzemelerin kullanım oranının artması ile düştüğünü belirlemişlerdir.

4.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulguların İrdelenmesi

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 70-74'te verilmiştir. Genel olarak, eğilme direncinin tersine odun-çimento oranı 1/3 olan gruplar 1/2'e göre daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri vermiştir. Ağaç türleri arasında en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri ladin levhalardan elde edilirken, en kötü değerler kavak levhalardan elde edilmiştir. Ladin ve göknar'a göre kavak odununun lignin içeriğinin daha düşük olması nedeni ile daha az rijit (daha esnek) bir yapı sergilediğinden dolayı elastikiyet modülü düşük çıkmış olabilir. Sertleştirici türleri arasında ise en iyi sonuçların CaCl_2 'den, en kötü sonuçların ise FeCl_3 'den elde edildiği görülmüştür. Silis dumanı kullanımında en yüksek değerler %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilirken, en kötü sonuçlar ise %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda en yüksek eğilme direnci değeri LA12 (6814 N/mm^2) grubundan, en düşük değer ise KA18 (3417 N/mm^2) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek eğilme direnci değeri LB12 (6074 N/mm^2) grubundan, en düşük değer ise GB23 (2355 N/mm^2) grubu levhalardan elde edilmiştir.



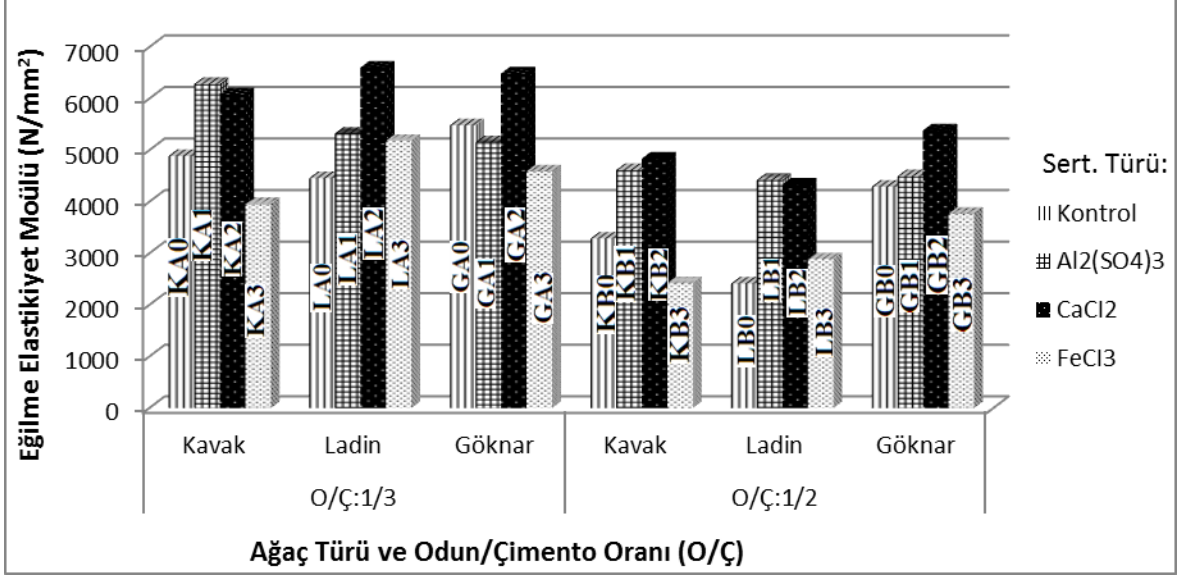
Şekil 70. Eğilmede elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 70'de verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin 1/2 oranlı levhalara göre eğilme direncinin aksine daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Birçok araştırmacı da benzer sonuçlar elde etmiş ve odun-çimento oranının azalmasıyla levhadaki çimento miktarının artmasına paralel olarak eğilmede elastikiyet modülünün arttığını ifade etmişlerdir [135, 146, 147, 239]. Bunun sebebinin çimentonun doğal olarak odundan daha rijit bir malzeme olmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir [146].

1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri kavak levhalarda kontrol (%0), ladin levhalarda %15 ve göknar levhalarda ise %10 oranında silis dumanı kullanımıyla değeri elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %20, ladin ve göknar levhalarda ise %10 silis dumanı kullanımıyla en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri elde edildiği görülmüştür.

Levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi Şekil 71'de verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak CaCl_2 sertleştiricisinin levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde en olumlu etkiyi yaptığı gözlenmiştir. Ancak; 1/3 odun-çimento oranlı

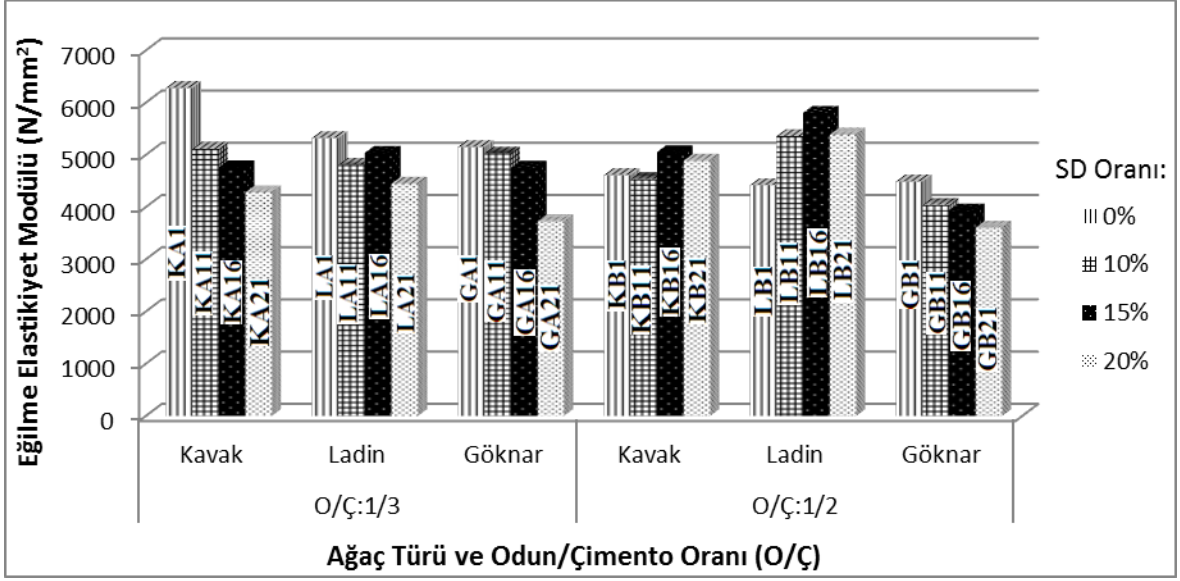
kavak levhalarda ve 1/2 odun-çimento oranlı ladin levhalarda ise $Al_2(SO_4)_3$ kullanımını $CaCl_2$ 'den daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri verdiği görülmüştür.



Şekil 71. Eğilmede elastikiyet modülü üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi

$Al_2(SO_4)_3$; 1/3 odun-çimento oranlı göknar levhalar (GA1) hariç tüm levha gruplarında eğilmede elastikiyet modülü üzerinde olumlu etkiye sahip olmuştur. $FeCl_3$; sadece ladin levhaların eğilmede elastikiyet modülünde artış sağlarken, kavak ve göknar levhalarda ise olumsuz etkilemiştir. Demir klorür; polifenoller ile yeterli oranda reaksiyon gerçekleştiremediği için çimento pastasındaki Ca^{2+} ile etkileşime girerek çimento konsantrasyonunu olumsuz etkilemiş olabilir. Bu nedenle, çimento-çimento ve odun-çimento bağı zayıflatarak kavak ve göknar levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir. $CaCl_2$ sertleştiricisi ise ortamdaki Ca^{2+} iyonun miktarını artırarak, ekstraktiflerin çimento hidrasyonu üzerindeki olumsuz etkisini azaltarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerini arttırmış olabilir [81, 226, 227].

$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 72'de verilmiştir. Genel olarak, $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda tüm ağaç türlerinde silis dumanının eğilme direncinde olduğu gibi eğilmede elastikiyet modülü değerlerini de azalttığı görülmektedir.

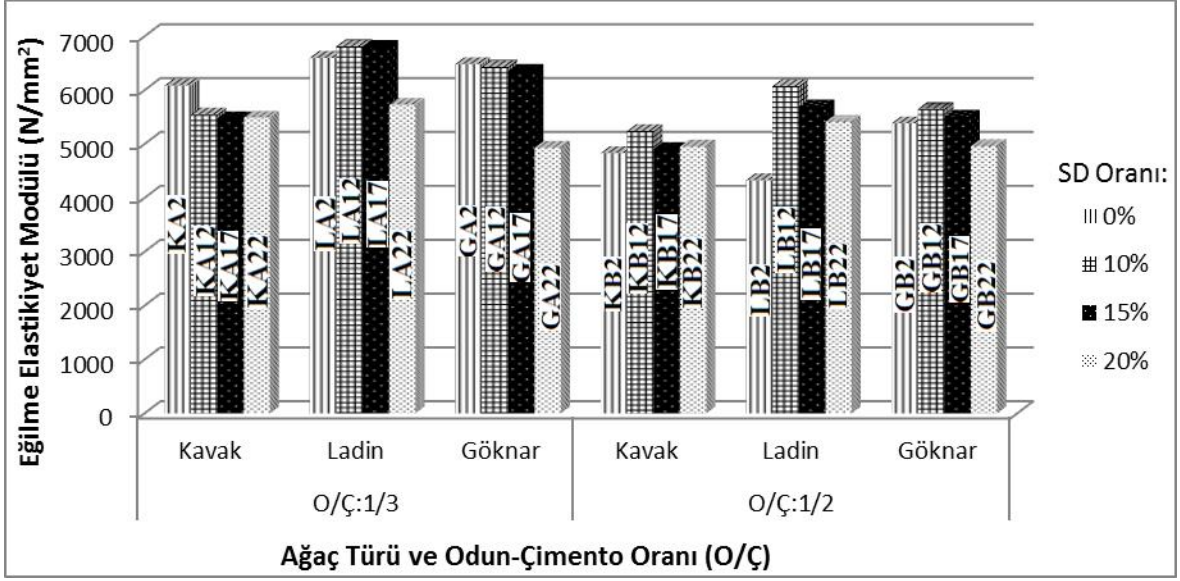


Şekil 72. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise silis dumanının kavak ve ladin levhalarda artışa, göknar levhalarda ise bir düşüşe neden olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı, kavak levhalarda % 15 (KB16), ladin levhalarda %15 (LB11) ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımının en iyi sonucu verdiği görülmüştür. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda ise en iyi sonuçlar kontrol gruplarından elde edilmiştir.

$CaCl_2$ kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 73'de verilmiştir. $CaCl_2$ kullanılan levhalarda (1/2- 1/3 oranlı levhalar) tüm ağaç türlerinde silis dumanının belli bir orana kadar kullanımıyla eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

1/3 odun-çimento oranlı göknar levhalarda silis dumanı kullanımı %15'e kadar eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde önemli bir değişim oluşturmazken, kavak levhalarda ise levha direncinde çok az bir azalmaya neden olmuştur. $CaCl_2$ kullanılan levhalarda en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %0 (KA2), ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.



Şekil 73. CaCl_2 kullanılan levhaların eğilme elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

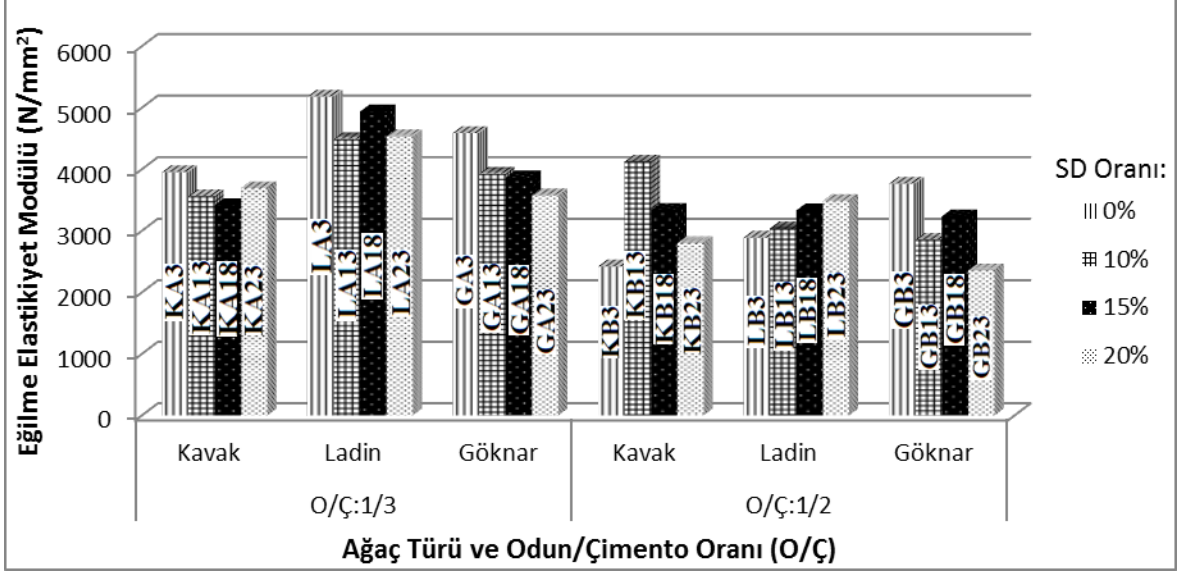
1/2 odun-çimento oranlı tüm ağaç türlerinden üretilen levhalarda %10 silis dumanı kullanımıyla en iyi eğilme elastikiyet modülü değeri elde edilmiştir. Buna göre, silis dumanın 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda daha etkili olduğu görülmektedir. Bunun çimentodan daha hafif olan odun ve levha porozitesini azaltan silis dumanı ve artan odun miktarına bağlı olarak ekstraktif maddelerinde artışı ile kontrol örneklerinin direncindeki azalmalar gösterilebilir.

FeCl_3 kullanılan levhalarının eğilme elastikiyet modülü değerleri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 74'te verilmiştir. FeCl_3 kullanılan levhalarda, 1/3 odun-çimento oranlı olanlar 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek eğilme elastikiyet modülü değerleri vermiştir.

1/3 odun-çimento oranlı tüm ağaç türlerinden üretilen levhalarda silis dumanı levhanın eğilme elastikiyet modülü değerlerinde düşüşe neden olurken, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda (gök nar hariç) ise silis dumanının belli bir orana kadar ilavesi ile eğilme elastikiyet modülü değerlerinde iyileşmenin olduğu görülmektedir.

Silis dumanı, çimentonun hidrasyon reaksiyonu sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit $[\text{Ca}(\text{HO})_2]$ ile sulu ortamda reaksiyona girerek C-S-H jeli meydana getirerek mükemmel bir hidrolik bağlayıcılık oluşturmaktadır [224, 239]. Ayrıca çimentodan daha hafif olan odun ve silis dumanı oranının artmasıyla sıkıştırma faktörünün artması da 1/2

odun-çimento oranlı levhalardaki eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki artışların kaynağı olabilir.



Şekil 74. FeCl₃ kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

FeCl₃ kullanılan levhalarda en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı tüm ağaç türlerinde kontrol gruplarından, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavak levhalarda %10 (KB13), ladin levhalarda %20 (LB23) ve göknar levhalarda %0 (GB3) silis dumanı kullanımıyla elde edildiği görülmüştür.

TS EN 634-2 [228]'de, çimentolu levhaların sahip olması gereken minimum eğilmede elastikiyet modülü değerini 3000N/mm² olarak belirtilmiştir. Yalnızca silis dumanı kullanılarak üretilen levhaların tümü standardın üzerinde değerler vermiştir. Alüminyum sülfat ve kalsiyum klorür ile silis dumanı kullanılarak üretilen levhaların tamamında eğilmede elastikiyet modülü değerleri standardın üzerinde sonuçlar vermiştir. Demir klorür ve silis dumanı ile üretilen levhalarda KB3, KB23, LB3, LB13, GB13 ve GB23 gruplarının standart değerinin altında, diğer grupların ise standarda uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Papadopoulos vd. [135], Akkavak odununda 1/2 ve 1/3 odun çimento oranlı üretilen yönlendirilmiş levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerlerini sırasıyla 4949.1 N/mm² ve 5212.5 N/mm² olarak elde etmişlerdir.

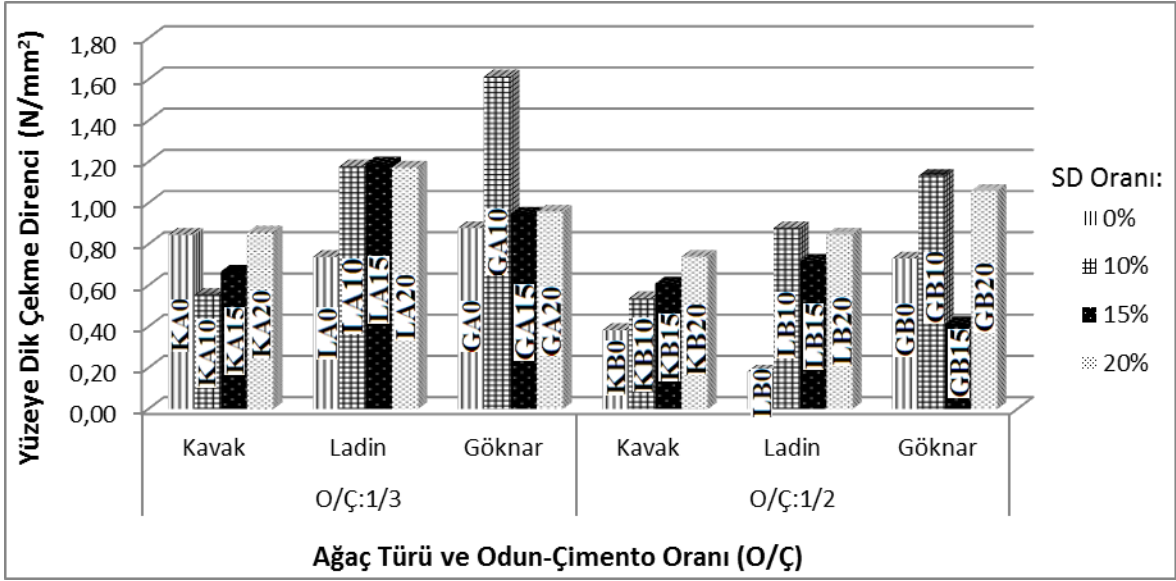
Okino vd. [99], okaliptüs ve demir ağacı karışımından %4 CaCl_2 kullanılarak ürettikleri çimentolu levhalarda 4090-4771 N/mm^2 arasında eğilmede elastikiyet modülü değerleri elde etmişlerdir.

Sudin ve Swamy [148], çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanarak 1/2.5, 1/2.75 ve 1/3 bambu-çimento oranlı levhalar üretmiş ve uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanım oranı arttıkça levhanın eğilmede elastikiyet modülü değerinin ciddi oranda azaldığını belirlemişlerdir.

4.2.2.3. Yüzey Dik Çekme Direncine Ait Bulguların İrdelenmesi

Levhalarının yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 75-79'de verilmiştir. Genel olarak, eğilmede elastikiyet modülü ile paralel olarak odun-çimento oranı 1/3 olan gruplar, 1/2'e göre daha yüksek yüzeye dik çekme direnci değeri vermiştir. Birçok çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş olup, artan odun miktarının odun-çimentonun bağlanma kapasitesini azaltmasından dolayı yüzeye dik çekme direnci değerlerinde düşme olduğunu rapor etmişlerdir [132, 145, 215]. Ağaç türleri arasında en iyi yüzeye dik çekme direnci değeri göknar levhalardan elde edilirken, en kötü sonuçlar ise kavak levhalardan elde edilmiştir. Sertleştirici türleri arasında en iyi sonuçların CaCl_2 'den, en kötü sonuçların ise FeCl_3 'den elde edildiği görülmüştür. Silis dumanı kullanımında en yüksek değerler %10, en düşük değerler ise %0 (kontrol grubundan) silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

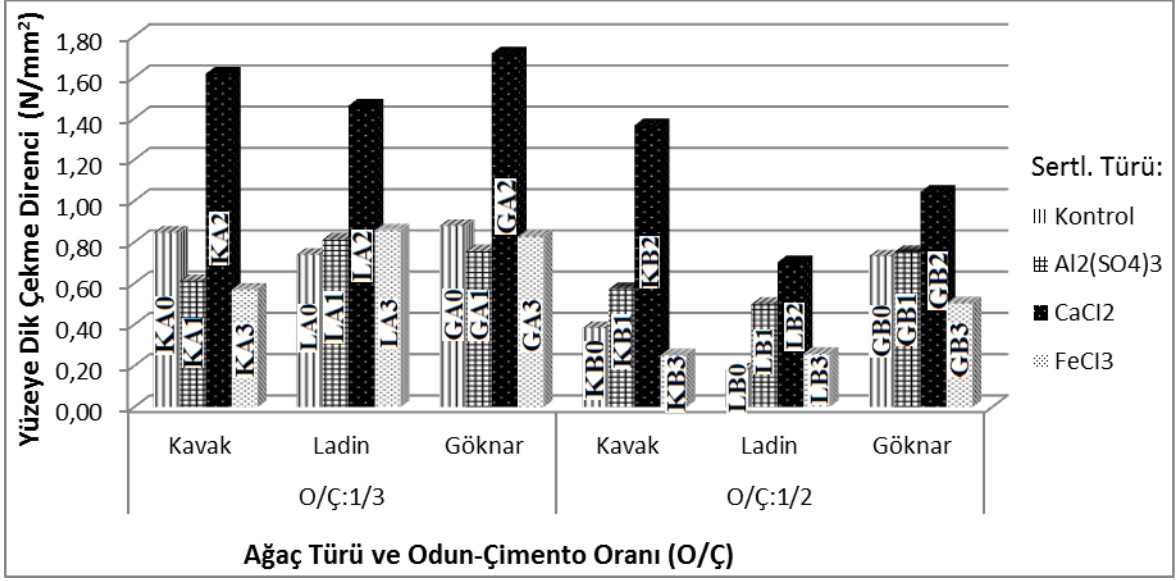
1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en yüksek yüzeye dik çekme direnci değeri GA12 (1.93 N/mm^2), en düşük değer ise GA21 (0.49 N/mm^2) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek değer KB17 (1.43 N/mm^2) grubundan, en düşük değer ise LB0 (0.18 N/mm^2) grubundan elde edilmiştir.



Şekil 75. Yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

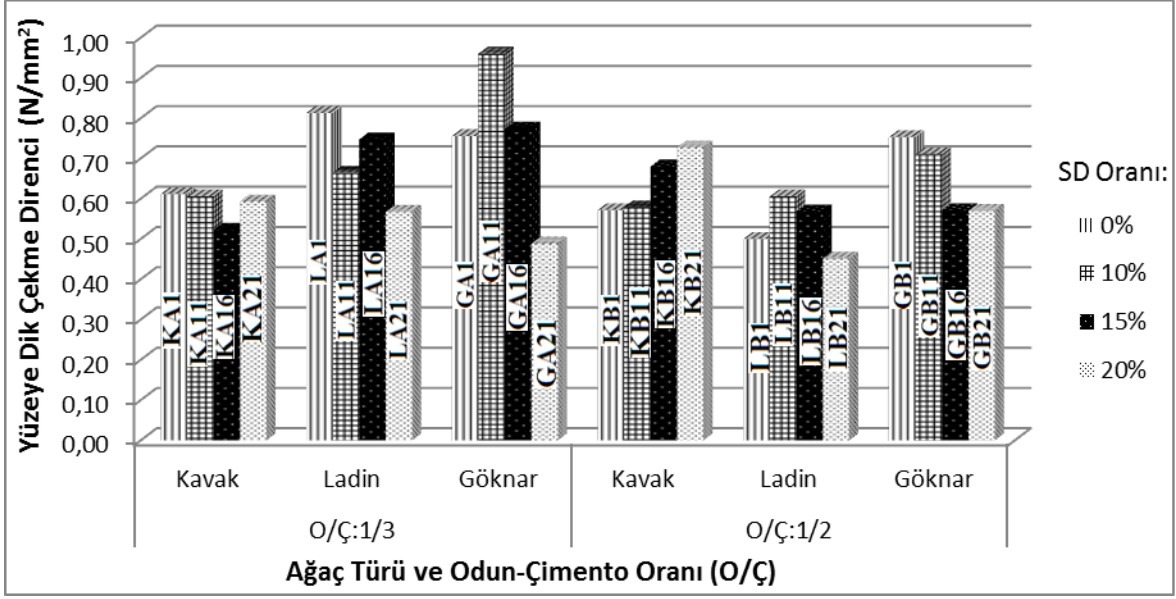
Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 75'te verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanımı yüzeye dik çekme direnci değerlerinde, ladin levhalarda %37 ve gökmar levhalarda ise %45'e kadar artış sağlamıştır. 1/3 odun çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhalarda ise %10 ve 15 silis dumanı kullanımında yüzeye dik çekme direnci değerlerinde azalma %20 kullanımında ise kontrol örneklerine yakın değerler gözlenmiştir. Bu silis dumanının kavak odunlarında iç bağlanma yeteneğini etkilediğini göstermektedir. Bu ise kavak odunun, ladin ve gökmar odununa göre yapılan kimyasal analizlerde soğuk su ve %1'lik NaOH çözünürlüğünün yüksek çıkmasından kaynaklanmış olabileceği ile değerlendirilebilir.

1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise silis dumanı kullanımı yüzeye dik çekme direnci değerlerinde, kavak levhalarda %52, ladin levhalarda %79 ve gökmar levhalarda ise %35'e kadar artışa sebep olmuştur. 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %20, ladin levhalarda %15 ve gökmar levhalarda %10 oranında silis dumanı kullanımıyla, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise; kavak levhalarda %20 (KA20), ladin (LB10) ve gökmar (GB10) levhalarda ise %10 silis dumanı kullanımı en iyi yüzeye dik çekme direnci değerlerini vermiştir.



Şekil 76. Yüze dik çekme direnci üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi

Deneme levhalarının yüze dik çekme direnci değerleri üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi Şekil 76'da verilmiştir. Silis dumanının etkisinde olduğu gibi, 1/3 odun-çimento oranlı levhaların yüze dik çekme direnci değerleri 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak CaCl₂'ün levhaların yüze dik çekme direnci değerleri üzerinde en olumlu etkiyi yaptığı gözlenmiştir. Al₂(SO₄)₃, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Fakat bu etkinin CaCl₂ ile karşılaştırıldığında çok düşük olduğu gözlenmiştir. FeCl₃ ise sadece ladin levhalarda az da olsa bir artışa neden olurken diğer levha gruplarında direnç düşüşüne neden olduğu gözlenmiştir. Alüminyum sülfat ve demir klorür, çimentonun hidratasyonu olumsuz etkilemiş ve çimento-çimento ve odun-çimento bağımlı zayıflatmış ve bazı levha grupların yüze dik çekme direnci değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir. CaCl₂ sertleştiricisi ise ortamdaki Ca²⁺ iyonun miktarını artırarak, ekstraktiflerin çimento hidratasyonu üzerindeki olumsuz etkisini azalttığından levhaların yüze dik çekme direnci değerlerini arttırmış olabilir [65; 231; 232].



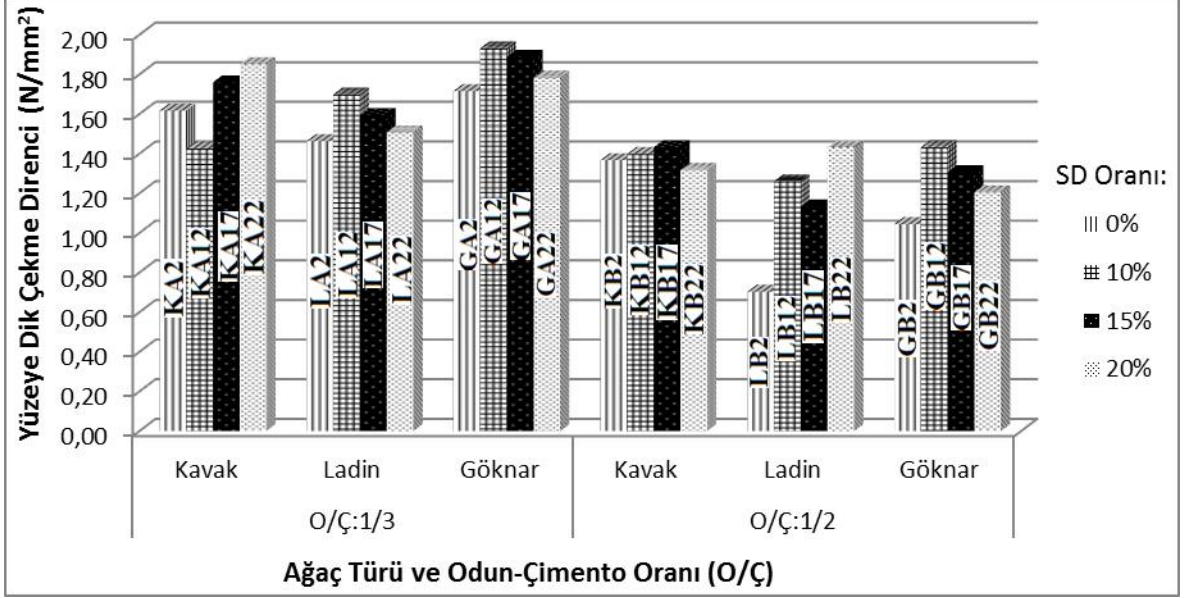
Şekil 77. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhalarının yüzeye dik çekme direnci değeri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 77’de verilmiştir. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda silis dumanı yüzeye dik çekme direnci değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmazken, gökmarlarda ise yüzeye dik çekme direnci değerini artırmıştır. Ladin levhalarda ise silis dumanı yüzeye dik çekme direnci değerini olumsuz etkilemiştir. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı tüm levhalarda (Gökmar hariç) silis dumanının levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerinde olumlu bir etki yaptığı görülmektedir.

$Al_2(SO_4)_3$ ’ın; 1/2 odun-çimento oranlı, kavak levhalarda % 20 (KB21), ladin levhalarda %10 (LB11) ve gökmar levhalarda ise %0 (GB1) silis dumanı kullanımı en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı, kavak (KA1) ve ladin (LA1) levhalarda %0 ve gökmar levhalarda (GA11) ise %10 silis dumanı kullanımı en iyi sonucu vermiştir.

$CaCl_2$ kullanılan levhalarının yüzeye dik çekme direnci üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 78’de verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda gökmar daha iyi sonuçlar verirken, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavak odunun daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. $CaCl_2$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %20 (KA22), ladinlerde %10 (LA12) ve gökmarlarda ise %10 (GA12), 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavak %15 (KB17), ladin %20 (LB22) ve

göknar levhalarda da %10 (GB12) silis dumanı kullanımıyla en yüksek yüzeye dik çekme direnci değeri elde edilmiştir.

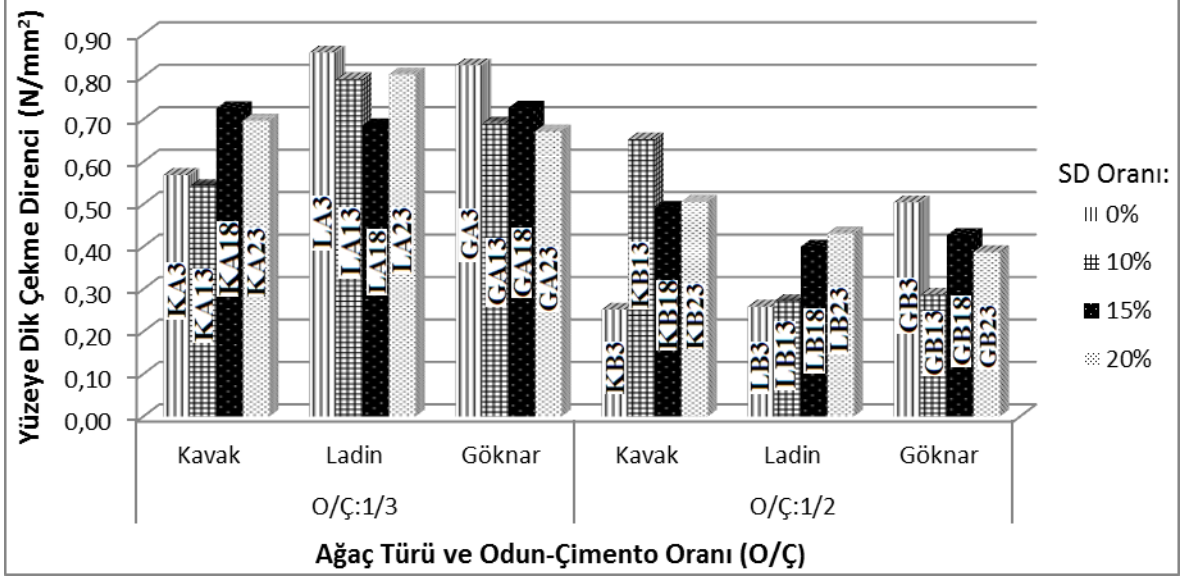


Şekil 78. CaCl₂ kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

FeCl₃ kullanılan levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 79'da verilmiştir. FeCl₃ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalar, 1/2 oranlı levhalardan çok daha yüksek yüzeye dik çekme direnci değerleri vermiştir. Bu durum; artan odun oranıyla ekstraktiflerin de artmasının çimento hidrasyonunu olumsuz etkilemiş ve ekstraktiflerin çimento hidrasyonu üzerindeki artan etkisini FeCl₃ sertleştiricisinin engelleyemediği şekilde açıklanabilir.

FeCl₃ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en iyi sonuçlar ladin odunundan; 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavak odunundan elde edilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda silis dumanı yüzeye dik çekme direnci değerini artırırken, ladin ve göknarlarda ise düşürmüştür. Diğer taraftan, 1/2 odun-çimento oranlı göknar levhalarda silis dumanı yüzeye dik çekme direnci değerini düşürürken, kavak ve ladin levhalarda ise artırmıştır. Silis dumanı, çimentonun hidrasyon reaksiyonu sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit [Ca(OH)₂] ile sulu ortamda reaksiyona girerek mükemmel bir hidrolik

bağlayıcılık oluşturduğundan [222, 237], belli bir orana kadar silis dumanı kullanımıyla yüzeye dik çekme direncini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 79. FeCl₃ kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

FeCl₃ kullanılan levhalarda en iyi yüzeye dik çekme direnci değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %15 (KA18), ladin (LA3) ve göknarda (GA3) ise %0, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavaklarda %10 (KB13), ladinlerde %20 (LB23) ve göknarlarda ise %0 (GB3) silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

Papadopoulos vd. [135], akkavak odununda 1/2 ve 1/3 odun çimento oranlı ürettikleri yönlendirilmiş çimentolu levhaların yüzeye dik çekme direncini sırasıyla 0.87 N/mm² ve 0.94 N/mm² olarak tespit etmişlerdir.

Sudin ve Swamy [148], çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranında ikame olarak uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanarak 1/2.5, 1/2.75 ve 1/3 bambu-çimento oranlı levhalar üretmiş ve uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanımı arttıkça yüzeye dik çekme direnci değerinin arttığını, çimento oranı arttıkça ise yüzeye dik çekme direnci değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Okino vd. [99], okaliptüs ve demir ağacı karışımından %4 CaCl₂ kullanılan ve 1/4 odun-çimento oranlı ürettikleri çimentolu levhaların yüzeye dik çekme direncini 0.19-0.34 N/mm² arasında değerler elde etmiştir.

Ashori vd. [220], kavak odunundan üretilen çimentolu levhaların özellikleri üzerine odun-çimento oranı ve sertleştirici miktarının etkisini belirlemek için 40/60, 60/40 ve 70/30 odun-çimento oranlı ve %3-7 oranlarında CaCl_2 sertleştiricisi kullanılarak levhalar üretilmiştir. Sertleştirici oranı %3'ten %7'ye yükseltildiğinde, levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğunu ancak levhalardaki odun oranı arttıkça yüzeye dik çekme direnci değerlerinde önemli derecede düşüşlerin olduğunu belirtilmiştir.

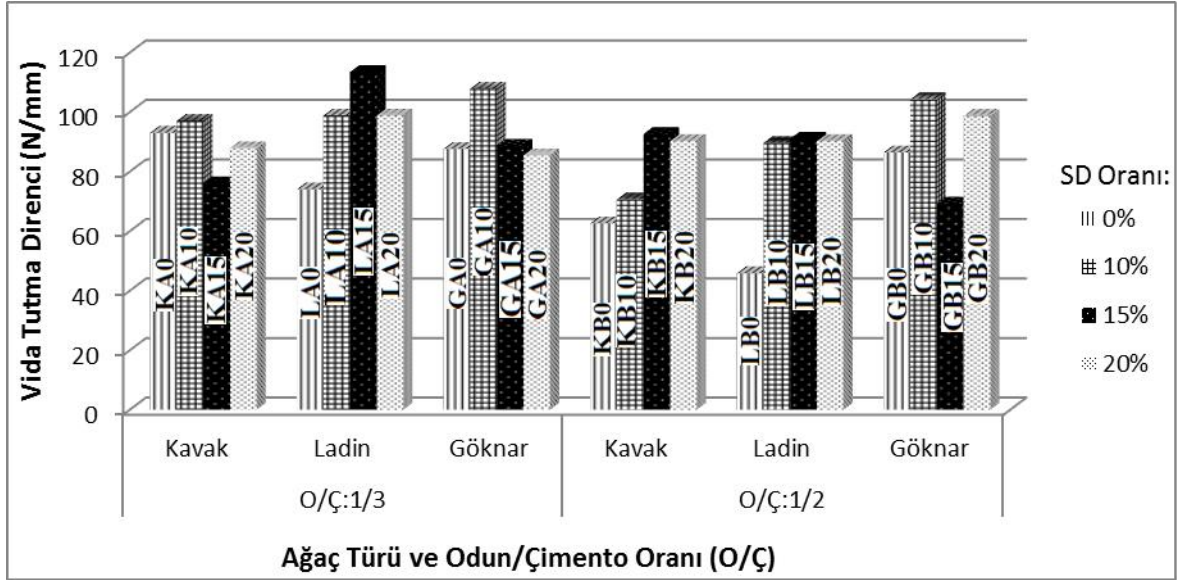
4.2.2.4. Vida Tutma Gücüne Ait Bulguların İrdelenmesi

Levhalarının vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 80-84'te verilmiştir. Genel olarak, eğilimde elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci ile paralel olarak odun-çimento oranı 1/3 olan gruplar, 1/2'e göre daha yüksek vida tutma gücü değeri vermiştir. Ağaç türleri arasında en iyi vida tutma gücü değerleri kavak odunundan elde edilmiş olup, göknar ve ladinden üretilen levhaların vida tutma gücü değerleri ise bir birine yakın bulunmuştur. Sertleştirici türleri arasında ise en iyi sonuçların CaCl_2 'den, en kötü sonuçların ise FeCl_3 'den elde edildiği gözlenmiştir. Silis dumanı kullanımında en yüksek değerler %10 ve %15, en kötü sonuçlar ise %0 (kontrol) silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en yüksek vida tutma gücü değeri; KA22 (149 N/mm) grubundan, en düşük değer ise KA11 (53.4 N/mm) grubundan, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek KB12 (141.8 N/mm) grubundan, en düşük ise LB13 (37.4 N/mm) grubundan elde edilmiştir.

Deneme levhalarının vida tutma gücü üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 80'de verilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı levhaların vida tutma gücü değerlerinin 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Saval vd. [241], yapmış olduğu çalışmasında da benzer sonuçlar bulmuş olup, deniz eriştisi bitkisinin yapraklarından ürettiği çimentolu levhaların vida tutma gücü değerlerinin çimento oranı arttıkça arttığını rapor etmiştir. Bu, odun miktarının azalmasına paralel olarak çimento hidratasyonunu engelleyen madde miktarı da azalmış olacağından, çimento daha iyi bir hidratasyon reaksiyonu gerçekleştirerek sağlam bir yapı meydana getirmiş olmasından kaynaklanmış olabilir. Başka bir ifade ile; vidanın levhadan çıkması zorlaştığı için vida tutma gücü değerleri yüksek çıkmış olabilir. Ayrıca tüm gruplarda belli bir orana

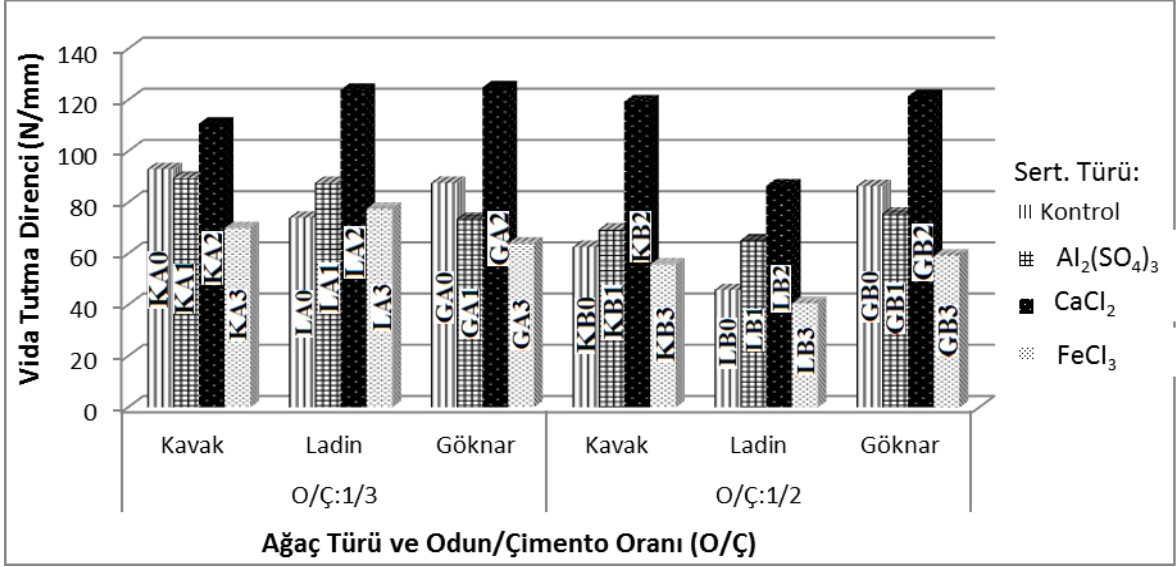
kadar silis dumanı kullanımıyla levhaların vida tutma direncinde iyileşmenin olduğu gözlenmiştir. Bu direnç artışının kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ ile silis dumanının (SiO_2) reaksiyona girerek C-S-H yapısını oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [225, 240].



Şekil 80. Vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

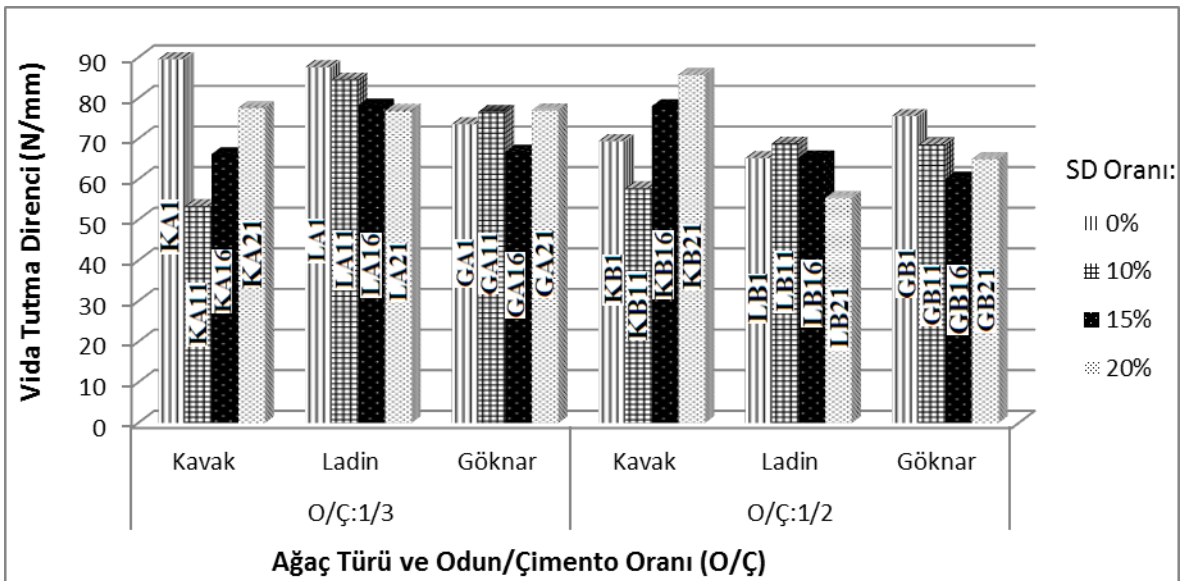
1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda (KA10) %10, ladin levhalarda (LA15) %15 ve göknar levhalarda (GA10) %10 oranında, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavaklarda %15 (KB15), ladinde (LB15) %15 ve göknarlarda ise (GB10) %10 silis dumanı kullanımıyla en iyi vida tutma gücü değerleri elde edilmiştir.

Deneme levhalarının vida tutma direnci değerleri üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi Şekil 81’de verilmiştir. Sertleştirici kullanılan, 1/3 odun-çimento oranlı levhaların vida tutma gücü değerleri 1/2 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak vida tutma gücü değerleri üzerinde sertleştiriciler arasında en olumlu etkiyi $CaCl_2$ ’ün yaptığı gözlenmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda, $Al_2(SO_4)_3$ ve $FeCl_3$ ladin levhalarda vida tutma direncini artışa, kavak ve göknar levhalarda ise düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak ve ladin odunlarından üretilen levhalarda $Al_2(SO_4)_3$ ilavesi vida tutma gücünü artırırken, göknar levhalarda ise azaltmıştır.



Şekil 81. Vida tutma gücü üzerine sertleştirici ve ağaç türü ile odun-çimento oranının etkisi

FeCl₃ ise tüm levhaların vida tutma gücünü olumsuz etkilemiştir. Alüminyum sülfat ve demir klorür, polifenol ile yeterli oranda reaksiyon gerçekleştiremediği için çimento hidratasyonu olumsuz etkileyerek, çimento-çimento ve odun-çimento bağımlı zayıflattığından levhaların vida tutma gücünde düşüşler olmuş olabilir. CaCl₂, ekstraktiflerin çimento hidratasyonu üzerindeki olumsuz etkisini önlediği için levhaların vida tutma değerlerini arttırmış olabilir [81; 226; 227].

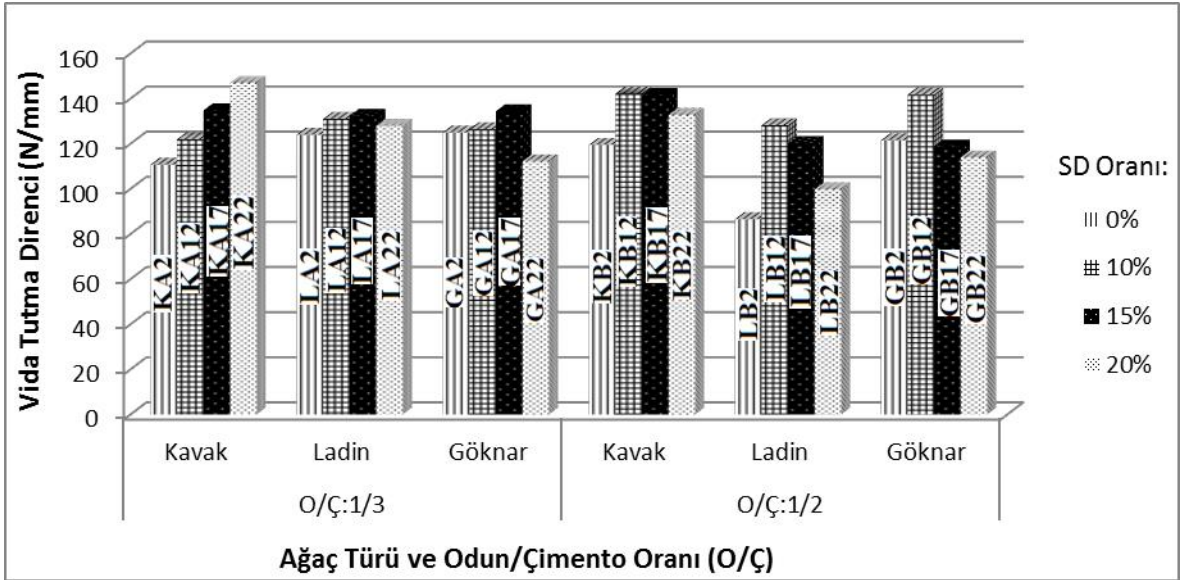


Şekil 82. Al₂(SO₄)₃ kullanılan levhaların vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

$Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhalarının vida tutma gücü üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 82’de verilmiştir. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak ve ladin levhalarda silis dumanı vida tutma gücünü olumsuz etkilerken, göknarlarda ise artışa neden olmuştur. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı tüm levhalarda (Göknar hariç) silis dumanı kullanımının vida tutma gücünü olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir.

Sertleştiriciler levhada odun oranı artıkça daha etkili olduğu bilinmektedir. Böylece, vidanın çıkması zorlaşmış ve levhanın vida tutma gücü artmış olabilir. Bu nedenle, $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak (KA1) ve ladin (LA1) levhalarda %0 ve göknar levhalarda (GA21) ise %20 silis dumanı kullanımı en iyi vida tutma gücü değeri vermektedir. $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı, kavak levhalarda % 20 (KB21), ladinlerde % 10 (LB11) ve göknarlarda ise %0 (GB1) silis dumanı kullanımı en iyi sonucu verdiği görülmektedir.

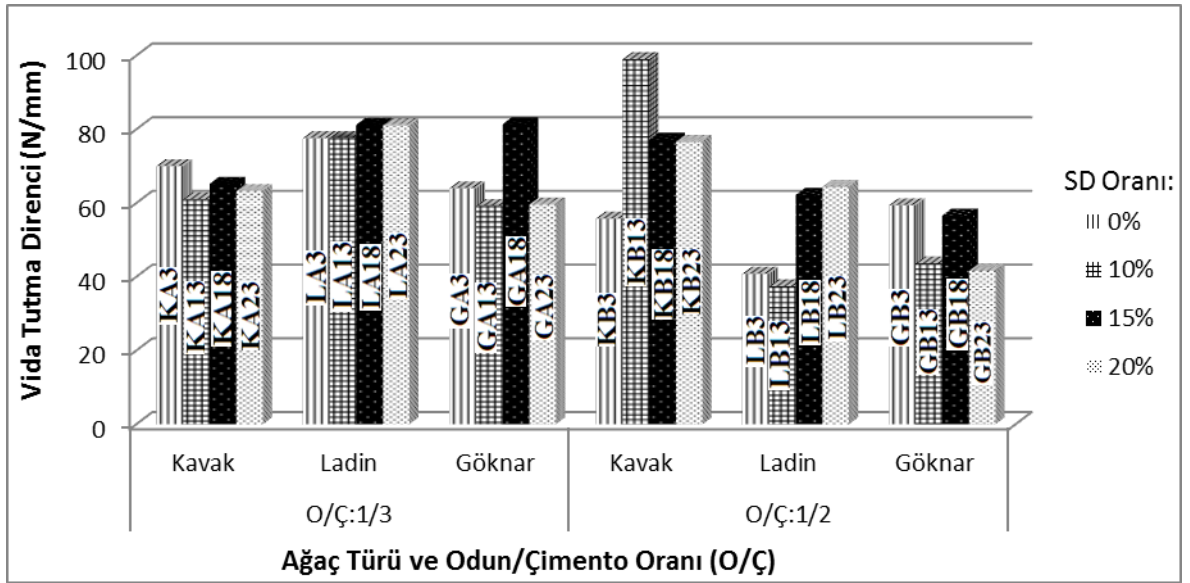
$CaCl_2$ kullanılan levhalarının vida tutma gücü üzerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 83’de verilmiştir. $CaCl_2$ kullanılan levhalarda tüm ağaç türlerinde belli bir orana kadar silis dumanı kullanımıyla vida tutma gücü değerlerinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 83. $CaCl_2$ kullanılan levhaların vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

Okino vd. [97], servi odunu-çimento karışımına hidrasyonu hızlandırıcı olarak silis dumanı ve CaCl_2 ilave ederek yapmış olduğu çalışmada, inhibitör indeksi kontrol levhasında % 39.72, CaCl_2 kullanılan levhada %-0.77 ve silis dumanı kullanılan levhada ise %8.84 olarak rapor etmiştir. Bu durum, CaCl_2 kadar olmasa da silis dumanının çimentonun hidrasyon reaksiyonunu olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. CaCl_2 kullanılan levhalarda en iyi vida tutma gücü değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı kavaklarda (KA22) %20, ladinlerde (LA17) %15 ve göknarlarda ise %15 (GA17), 1/2 odun-çimento oranlı tüm ağaç türlerinden de üretilen levhalarda %10 silis dumanı kullanımıyla en yüksek vida tutma gücü elde edilmiştir.

FeCl_3 kullanılan levhalarının vida tutma gücü değerlerine odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç türünün etkisi Şekil 84'te verilmiştir. FeCl_3 kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en iyi sonuçlar ladininden; 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavaktan elde edilmiştir. Göknar ve ladin levhaların aksine 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhaların 1/3'e göre göre (kontrol levhaları hariç) daha iyi vida tutma gücü değeri verdiği gözlenmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda silis dumanı vida tutma gücünü az da olsa azaltırken, ladin ve göknarlarda ise artırmıştır. 1/2 odun-çimento oranlı göknar levhalarda silis dumanı vida tutma gücünü düşürürken, kavak ve ladin levhalarda ise artırmıştır.



Şekil 84. FeCl_3 kullanılan levhaların vida tutma gücü üzerine silis dumanı ve odun-çimento oranı ile ağaç türünün etkisi

FeCl₃ kullanılan levhalarda en iyi vida tutma gücü değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %0 (KA3), ladinlerde %15 (LA18) ve göknarlarda ise %15 (GA18), 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kavakta %10 (KB13), ladinlerde %20 (LB23) ve göknarlarda ise %0 (GB3) silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

Okino vd [99], servi odunu kullanarak ürettikleri çimentolu levhalarda; vida tutma gücü değerlerinin yongaların sıcak suda muamele edilmesi ile arttığını rapor etmişlerdir.

Saval vd. [241], deniz eriştəsi (Posidonia oceanica) bitkisinin yapraklarını kullanarak ürettikleri çimentolu levhalarda; çimento oranının vida tutma gücü değerlerini arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca yongalanmış örneklerin yongalanmamış olanlara göre %20 daha yüksek vida tutma gücü değeri verdiğini belirtmiş ve bu değerleri 50 N ile 920 N olarak tespit etmişlerdir. Denemelerde ise bu değerler 370N-1470 N aralığında belirlenmiş olup, literatür değerlerinden çok daha yüksektir.

El-Juhany vd. [242], meşe, hurma yaprağının orta kısmı ve budama artıkları kullanarak ürettikleri çimentolu levhaların vida tutma direnci değerlerini sırasıyla, 83, 54 ve 64 N olarak rapor etmişlerdir. Bunun da, kullanılan materyallerin anatomik ve kimyasal olarak farklı yapılara sahip olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

4.2.3. Mantar Çürüklük Testine Ait Bulguların İrdelenmesi

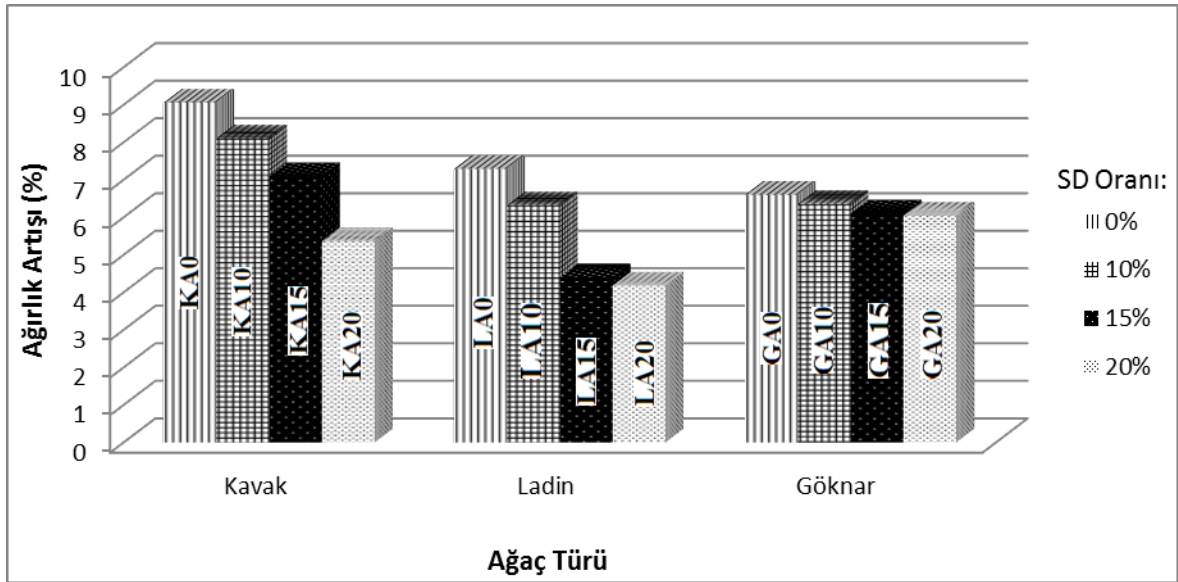
Mantar çürüklük testine tabi tutulan tüm levha gruplarında ağırlık kaybının aksine ağırlık artışı meydana gelmiştir. Ağırlık kaybının olmaması, çimentolu levhaların esmer ve beyaz çürüklük mantarlarına karşı oldukça yüksek dayanıma sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ağırlık artışının ise çimentonun karbonatlaşma reaksiyonundan ve mantar misellerinin bir kısmının örnek üzerinde kalmış olma olasılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan birçok çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Dinwoodeie ve Paxton [243] ve Pirie vd. [244] geleneksel çimentolu levhaların beyaz (*Pleurotus ostreatus*) ve esmer çürüklük mantarına (*Coniophora puteana*) karşı çok dayanıklı olduğu sonucuna varmışlardır. Çimentolu levhalara uyguladıkları mantar çürüklük testi sonrası örneklerdeki ağırlık artışını, çimentonun devam eden hidrasyon reaksiyonuna ve karbonatlaşmaya bağlamaktadırlar.

Okino vd. [100], servi yongalarından üretmiş oldukları çimentolu levhaların beyaz (*Pleurotus ostreatus*) ve esmer çürüklük mantarına (*Coniophora puteana*) karşı çok dayanıklı olduğunu ve ağırlık kaybının aksine ağırlık artışı meydana geldiğini tespit

etmişlerdir. Papadopoulos [229], ise gürgen ve akçaağaç odunlarından farklı odun-çimento (o/ç) oranlarında üretmiş olduğu levhaların beyaz (*Pleurotus ostreatus*) ve esmer çürüklük (*Coniophora puteana*) testinden sonra örneklerde ağırlık artışı meydana geldiğini tespit etmiştir. Okino vd. [99] ve Papadopoulos [229], bu ağırlık artışının; çimentonun yüksek alkali yapısından dolayı, mantarın ağırlık kaybı oluşturmak için yeteri kadar degradasyon yapamamasından, mantar misellerinin örnek üzerinde bir miktar kalmasından ve çimentonun uzun dönemli reaksiyonlarından (karbonatlaşma gibi) kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir.

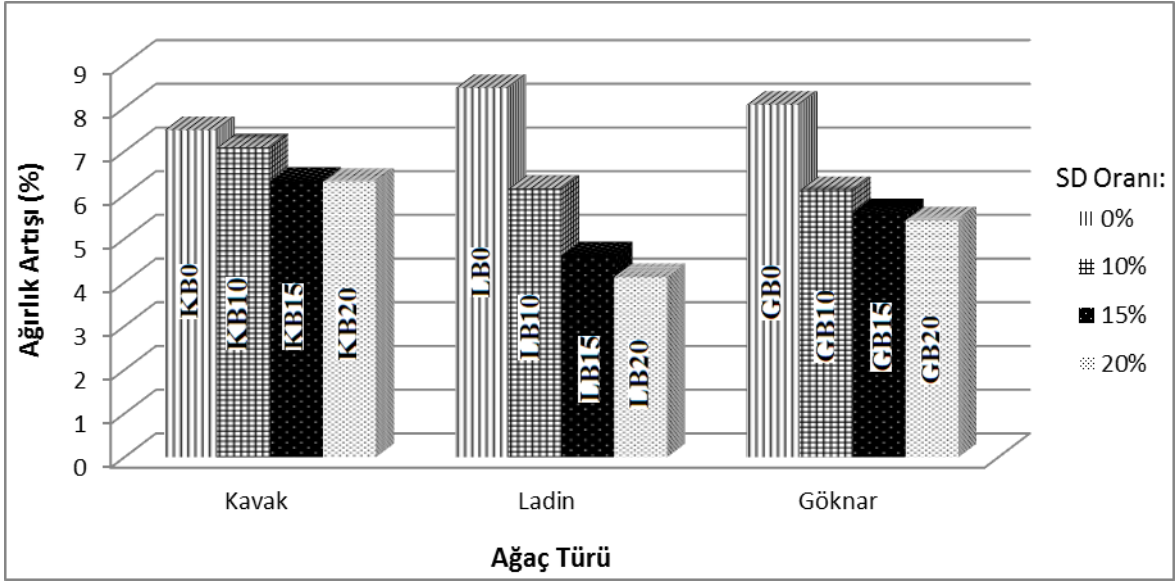
1/3 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç türü ve silis dumanı oranının etkisi Şekil 85'te verilmiştir. Deneme levhaların mantar çürüklük testi (*coniophora putena*) sonrası ağırlık artışı en fazla %9.05 ile KA0 örnek grubunda, en düşük ise %4,18 ile LA20 grubunda gerçekleşmiştir (Şekil 83). Silis dumanı miktarı arttıkça, örneklerdeki ağırlık artış oranı azalmıştır. Silis dumanının en fazla ladin levhalar üzerinde etkili olurken, en az göknar levhalar üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında, silis dumanı kullanılmadan üretilen kontrol levhalarında (KA0, LA0 ve GA0) ise en fazla ağırlık artışı kavak (KA0), en düşük ise göknar (GA0) levhalardan elde edilmiştir.



Şekil 85. 1/3 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç türü ve silis dumanı oranının etkisi

1/2 Odun-çimento oranlı levhalarının mantar çürüklüğü üzerine ağaç türü ve silis dumanı oranının etkisi Şekil 86'da verilmiştir. Genel olarak 1/2 odun-çimento oranlı

levhalarda 1/3 oranlı olanlara göre daha az ağırlık artışı meydana getirdiği gözlenmiştir. Bunun nedenlerinden birisin, artan odun miktarı çimento hidrasyonunu daha fazla engellediğinden karbonatlaşma reaksiyonu için gerekli olan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarının azalmasıdır. Ayrıca; odun miktarının daha fazla olmasından dolayı mantarın daha fazla degradasyon yapmasına neden olmuş olabilir. Bu nedenle daha az ağırlık artışı olmuş olabilir.

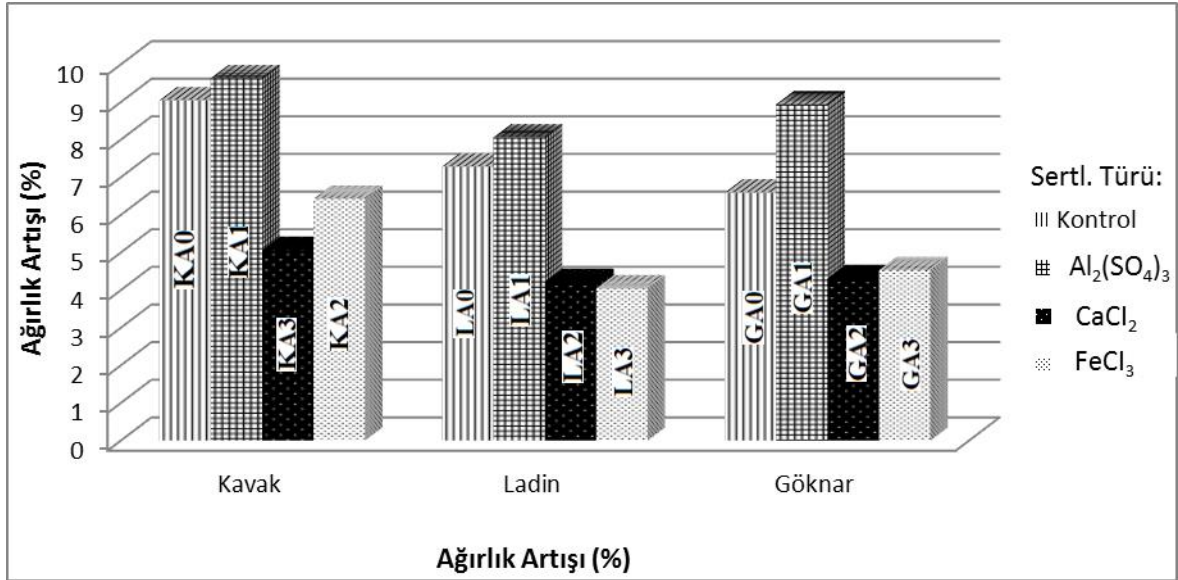


Şekil 86. 1/2 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç türü ve silis dumanı oranının etkisi

Papadopoulos [243]; 2/3, 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilmiş olduğu çimentolu levhaların mantar çürüklük testleri sonucu odun miktarının artmasıyla ağırlık kaybı oranının arttığını rapor etmiştir.

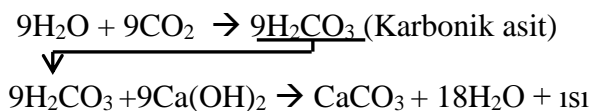
Silis dumanı, çimentonun hidrasyon reaksiyonu sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit [$\text{Ca}(\text{HO})_2$] ile sulu ortamda reaksiyona girerek C-S-H jeli meydana getirmekte olup, mükemmel bir hidrolik bağlayıcılık oluşturmaktadır [240]. Bu nedenle, silis dumanı kullanımında, çimento hidrasyonu sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit miktarında azalma meydana gelecektir. Buna bağlı olarak, silis dumanı arttıkça kalsiyum hidroksit miktarı azalacağından karbonatlaşma da azalacak ve karbonatlaşmadan dolayı levhada meydana gelen ağırlık artışında da azalma meydana gelecektir. Dolayısıyla, silis dumanı karbonatlaşma miktarını azalttığından karbonatlaşmadan kaynaklanan ağırlık artışında azalmalar meydana gelmiş olabilir.

De Souza vd. [246] CO₂ enjeksiyonu ve normal yöntemle kavak odunundan ürettikleri çimentolu levhaların mantar ve termitlere karşı dayanımlarını test etmişler ve normal yöntemle üretilen levhalarda CO₂ enjeksiyon yöntemi ile üretilenlere göre daha fazla ağırlık artışı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu ağırlık artışını mantarların CO₂ üretmesi ve çimentonun devam eden reaksiyonlarına bağlamışlardır. CO₂ enjeksiyonu ile üretimde levhada karbonatlaşma reaksiyonu oluştuğu için mantar çürüklük testi esnasında daha az karbonatlaşma reaksiyonu olmuş ve bu yüzden daha az ağırlık artışı meydana gelmiş olabilir. Deneme levhalarında da Ca(OH)₂ ile reaksiyona giren silis dumanı mantar çürüklüğü esnasında daha az karbonatlaşma reaksiyonuna neden olmuş ve bu nedenle daha az ağırlık artışı meydana gelmiş olabilir.

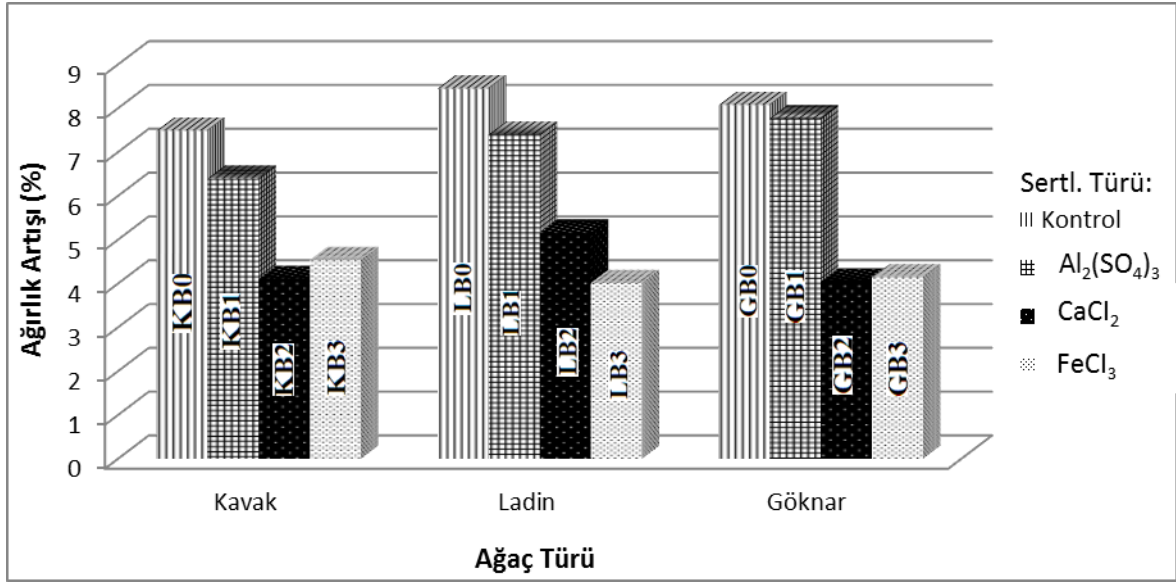


Şekil 87. 1/3 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç ve sertleştirici türünün etkisi

1/3 odun-çimento oranlı deneme levhalarının mantar çürüklüğü üzerine ağaç ve sertleştirici türünün etkisi Şekil 87’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm ağaç türünden üretilen levhalar arasında Al₂(SO₄)₃ kullanılan levhalar en yüksek ağırlık artışı değeri vermiştir. Karbonatlaşma reaksiyonu için su ve karbondioksit’e ihtiyaç duyulmakta ve reaksiyon aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir [247].



Su alma ve rutubet miktarı testlerinde en yüksek değerlerin $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhalardan elde edildiği de dikkate alındığında; $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhalarda daha fazla rutubet tutulma nedeniyle daha fazla karbonatlaşma reaksiyonu gerçekleştirmiş olup, ağırlık artışı oranı daha fazla olduğu düşünülmektedir.



Şekil 88. 1/2 odun-çimento oranlı levhaların mantar çürüklüğü üzerine ağaç ve sertleştirici türünün etkisi

1/2 Odun-çimento oranlı levhalarının mantar çürüklüğü değeri üzerine ağaç ve sertleştirici türünün etkisi Şekil 88’de verilmiştir. En yüksek ağırlık artışı sertleştirici kullanılmamış olan levhalardan elde edilmiştir. Odun oranının artmasıyla çimentonun yongaların çevresini kaplama oranı da azalmakta ve mantar tahribatına daha müsait hale gelmektedir. Beyaz çürüklük mantarı önce lignini daha sonra selüloz ve hemiselülozu tahrip etmekte iken, esmer çürüklük mantarı (*Coniophora puteana*) odunda karbonhidratları tahrip etmekte ve lignine ise dokunmamaktadır [248].

Kavak odununun ladin ve gökmar odununa göre daha fazla karbonhidrat oranına sahip olduğu bu nedenle de kavak odunu, ladin ve gökmar’a göre daha fazla esmer çürüklük mantarı tahribatına maruz kaldığı, bu nedenle daha fazla ağırlık kaybı olduğu düşünülmektedir.

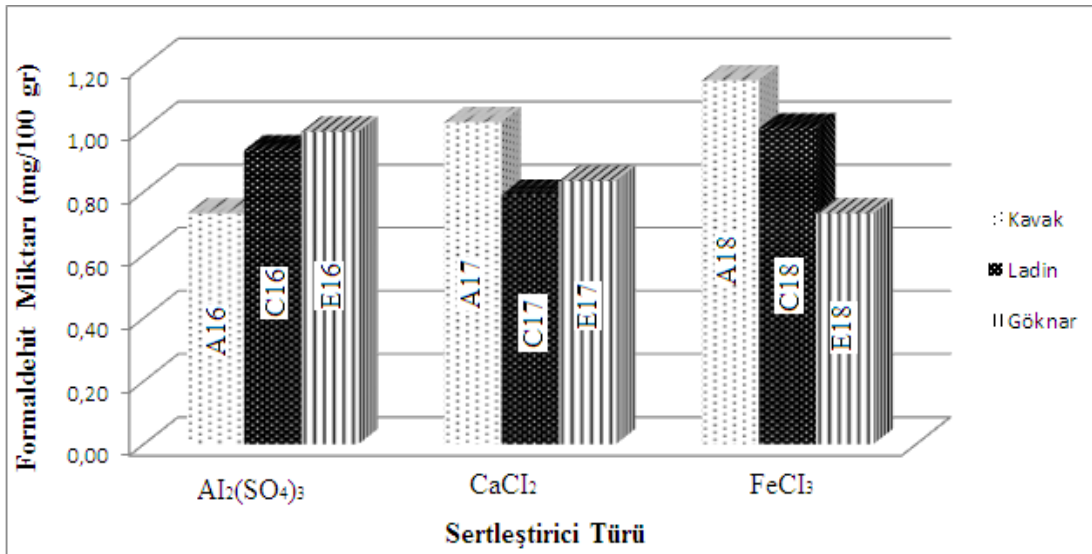
De Souza vd. [246], CO_2 enjeksiyonu ve normal yöntem ile kavak odunundan ürettikleri düşük ve yüksek yoğunluklu çimentolu levhalara mantar çürüklük testi

uygulamış ve test sonrası ölçülebilecek bir degradasyonun olmadığı ve örneklerde ağırlık kaybının aksine düşük yoğunluklu levhalarda %6 ile %18, yüksek yoğunluklu levhalarda %5 ile %8.5 arasında ağırlık artışı meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca CO₂ enjeksiyonu ile üretilen levhalar normal yöntemle üretilenlere göre çok daha yüksek ağırlık artışı olduğu belirtilmiştir.

Dinwoodie ve Paxton [243]'ün esmer çürüklük mantarıyla (*Coniophora puteana*) yapmış oldukları çalışmada, çimentolu levhalarda %5 oranında ağırlık artışı meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Denemelerde elde edilen sonuçların literatür ile uyumluluk gösterdiği görülmektedir.

4.2.4. Formaldehit Emisyonuna Ait Bulguların İrdelenmesi

Seçilen deneme levhaların formaldehit miktarı üzerine ağaç ve sertleştirici türünün etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 89'da verilmiştir. CaCl₂ ve Al₂(SO₄)₃ sertleştirici türlerinin FeCl₃'e göre, levhaların formaldehit değerleri üzerinde daha olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. En kötü sonuçlar kavak levhalardan elde edilirken, en iyi sonuçlar ise göknar levhalardan elde edildiği gözlenmiştir. Şekil 89 incelendiğinde, Al₂(SO₄)₃ kavak levhalarda, CaCl₂ ladin levhalarda ve FeCl₃ ise göknar levhalarda kullanımıyla en düşük formaldehit miktarının elde edildiği görülmektedir.



Şekil 89. Sertleştirici ve ağaç türünün levhaların formaldehit içeriği üzerine etkisi

Formaldehit miktarı ölçülen tüm levhaların formaldehit değerleri doğal ağacın formaldehit miktarından (1-2 mg/100gr) daha düşük bulunmuştur. Bu nedenle levhalar formaldehit emisyonu değeri açısından E0 sınıfına girmektedir. Bu durum, çimentolu levhaları hem iç hem de dış ortam kullanımında diğer malzemelerle kıyaslandığında çok daha avantajlı bir konuma getirmektedir [248]. Özellikle iç hava kalitesinin önemsendiği günümüzde, bu durum levhanın inşaata sektöründe kullanılabilmesini güçlendirmektedir.

4.2.4. Termogravimetrik Analiz (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analiz (DTG) Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

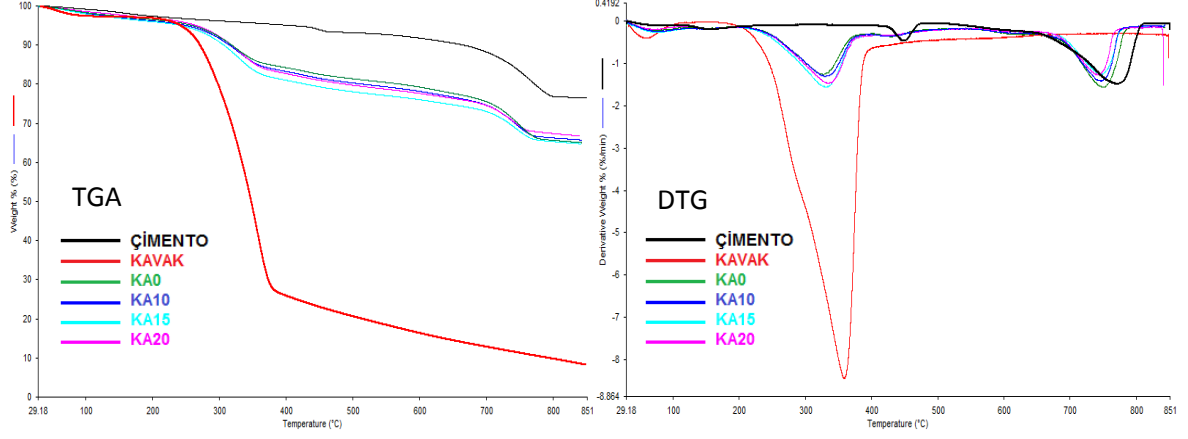
Silis dumanı ve odun-çimento oranı ile sertleştirici ve ağaç türünün levhalarının TGA ve DTG değerleri üzerine olan etkisi Şekil 90-95'te verilmiştir. Lignoselülozik materyallerin bileşenlerinden hemiselülozlar 150-350 °C, selülozlar 248-350 °C ve lignin ise 200-700 °C sıcaklık aralığında bozunmaktadır [250].

Çimentoda ise; 420-550 °C arasında bir hidratasyon ürünü olan kalsiyum hidroksitten su ayrılmasından dolayı $[Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O]$ ağırlık kaybı oluşmaktadır. 600-780 °C arasındaki sıcaklıklardaki ağırlık kaybı ise kalsiyum karbonattan karbondioksitin ayrılmasından $[CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2]$ kaynaklanmaktadır. Burada kimyasal bir bozunma söz konusudur. Kalsiyum karbonat bir hidratasyon ürünü değildir ve karbondioksit ile kalsiyum hidroksitin reaksiyonu sonucu $[Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O]$ oluşmaktadır. Bu her zaman mümkün olan bir durumdur [251, 252].

Genel olarak, odun-çimento oranının artmasıyla levhalardaki ağırlık kaybı oranı da artmıştır. I. Pik'te (350 °C) 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı artıkça ağırlık kaybının azaldığını göstermektedir. Bu levhaların mekanik özellikleri silis dumanı artıkça artmıştır. Bu durum, silis dumanı ile $Ca(OH)_2$ arasındaki reaksiyonun derecesiyle alakalı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle silis dumanı kullanılan levhaların mekanik özellikleri ile termal özellikleri arasında ters orantılı kuvvetli bir ilişki olduğu söylenebilir.

1/3 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhaların TGA/DTG değerleri üzerine silis dumanı oranının etkisi Şekil 90'da verilmiştir. Isı etkisinde kalan organik ve inorganik ürünlerde 100 °C'ye kadar olan ısıya maruz kalma durumunda ağırlık kayıpları örneklerde bulunun rutubetin ayrılmasından yani buharlaşmadan kaynaklanmaktadır. Maddenin rutubet oranı ne kadar az ise ağırlık kaybı o kadar azalmaktadır. 400 °C'ye kadar

kavak odununda oluşan ağırlık kaybı %74 iken, çimentoda sadece %5 ağırlık kaybı meydana geldiği görülmüştür.

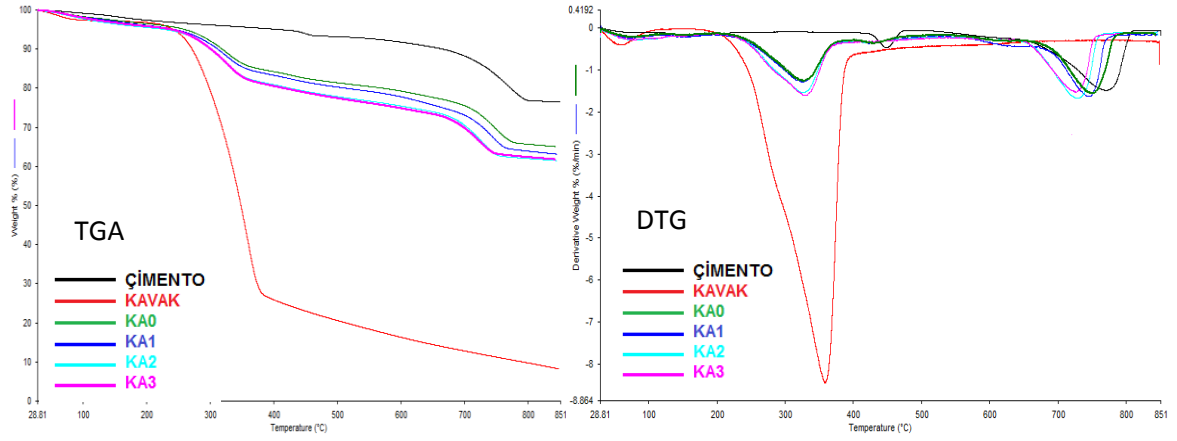


Şekil 90. 1/3 Odun-çimento oranlı kavak levhalarında silis dumanının TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik

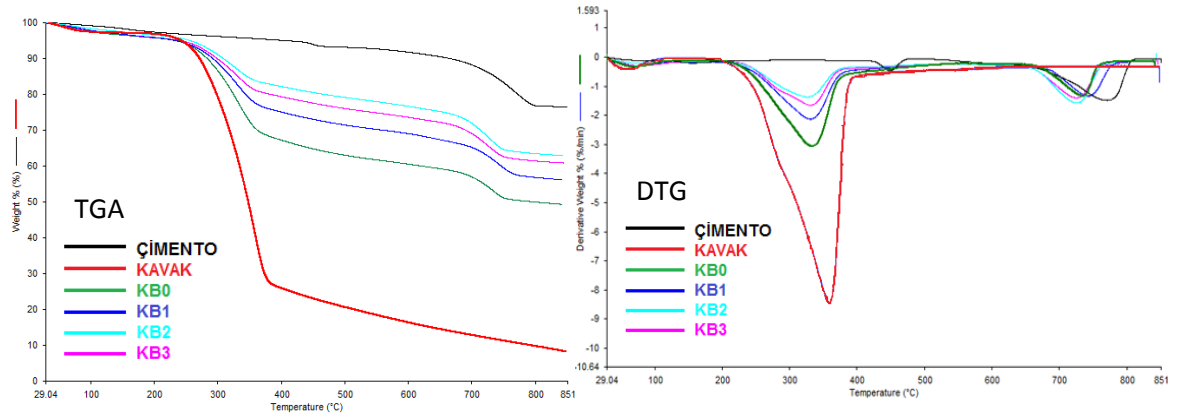
100 °C'deki sıcaklıklardan sonra genel olarak çimento ve levhalarda iki, odunda sadece bir tane pik meydana geldiği gözlenmiştir. Levhalardan normalde üç pik meydana gelmesi beklenirken 2 pik meydana gelmesi; odunun çimento hidratasyonunu engellemesi dolayısıyla belirgin bir pik oluşturacak kadar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşmaması veya odunun su tutma özelliğinden dolayı su ile $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reaksiyona girerek kalsiyum karbonat oluşumuna katkı yapmasından kaynaklanmış olabilir. Çünkü levhalarda kalsiyum karbonat bozunmasından kaynaklanan ağırlık kaybı çimentoya göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Bu da deneme levhalarında daha fazla kalsiyum karbonat olduğunu göstermektedir. Silis dumanı oranı arttıkça levhaların 350 °C civarındaki (I. Pik) ağırlık kaybında az da olsa artış olduğu gözlenmiştir. Bu grupta silis dumanı arttıkça mekanik özelliklerde de belli bir miktar azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle ağırlık kaybı miktarı ile levha mekanik direnci arasında ters orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir. III. Pik'te ise silis dumanı arttıkça hem ağırlık kaybı miktarı azalmış hem de bozunma daha düşük sıcaklıkta gerçekleşmiştir.

1/3 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhaların TGA/DTG değerleri üzerine sertleştirici türünün etkisi Şekil 91'de verilmiştir. 300 °C'ye kadar sıcaklıklarda örnekler arasında önemli bir farklılık olmazken, 300 °C'den sonraki sıcaklıklarda ağırlık kayıpları arasındaki farkın hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Kalsiyum klorür ve demir klorür kullanılan levhaların ağırlık kayıpları arasında çok önemli bir farklılığın olmadığı

gözlenmiştir. Deneme levhaları arasında en az ağırlık kaybı KA0 kontrol grubundan elde edilmiştir. En fazla ağırlık kaybı ise kalsiyum klorür ve demir klorür kullanılan levhalardan (KA2 ve KA3) elde edilmiştir. III. Pik'te (son pik) demir klorür ve kalsiyum klorür kullanılan levhalar 730 °C'de maksimum bozunma sıcaklığına ulaşırken, kontrol ve alüminyum sülfat kullanılan levhalar ise 750 °C'de ulaşmıştır. Çimentonun maksimum bozunma sıcaklığına 780 °C'de ulaştığı gözlenmiştir.



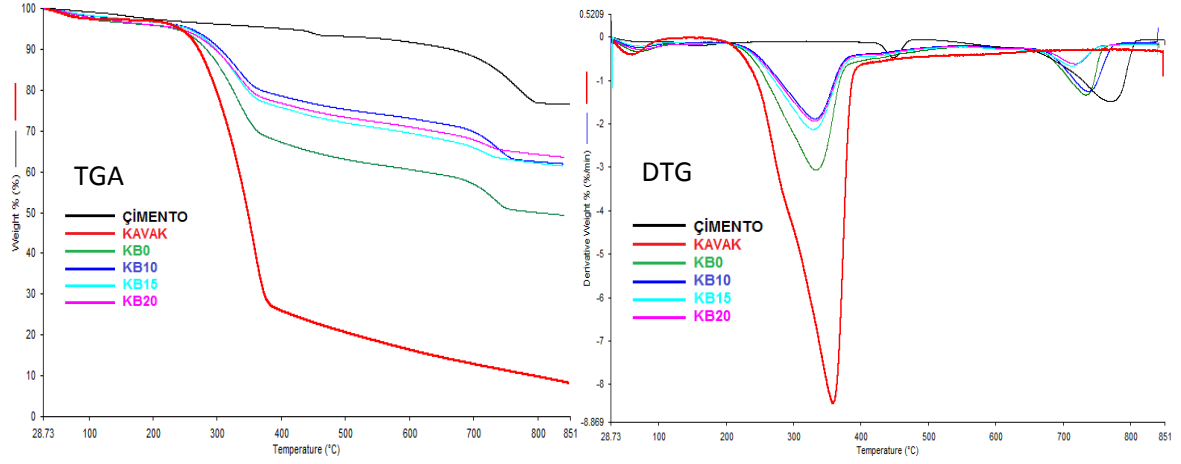
Şekil 91. 1/3 Odun-çimento oranlı kavak levhalarında sertleştirici türünün TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik



Şekil 92. 1/2 Odun-çimento oranlı kavak levhalarında sertleştirici türünün TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik

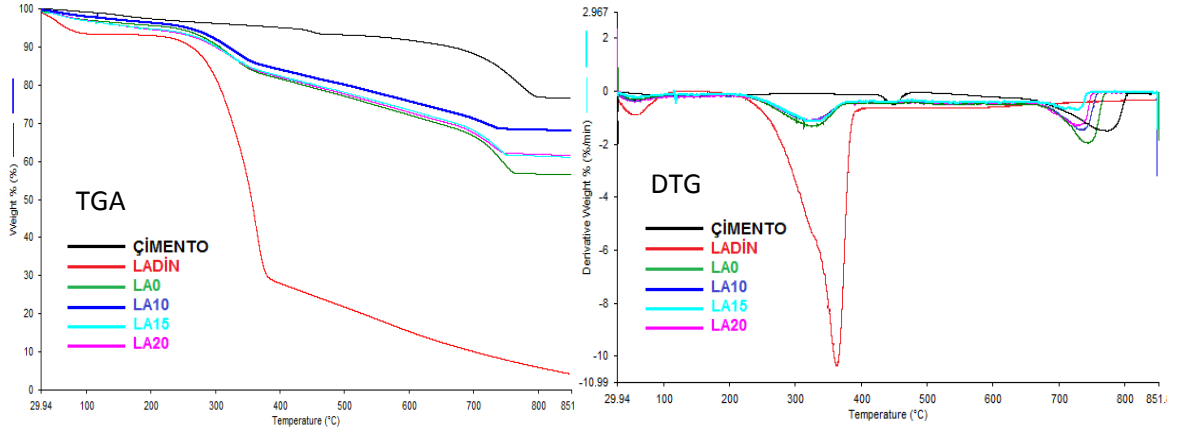
1/2 Odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhaların TGA/DTG değerleri üzerine sertleştirici türünün etkisi Şekil 92'de verilmiştir. Deneme levhaları arasında en fazla ağırlık kaybı kontrol grubu levhalardan elde edilirken en az ağırlık kaybı kalsiyum

klorür kullanılan levhalardan elde edilmiştir. III. Pik'te KB0, KB2 ve KB3 grupları benzer özellik gösterirken, alüminyum sülfat kullanılan levhaların (KB1) daha yüksek bir sıcaklıkta maksimum bozunmaya ulaştığı gözlenmiştir.



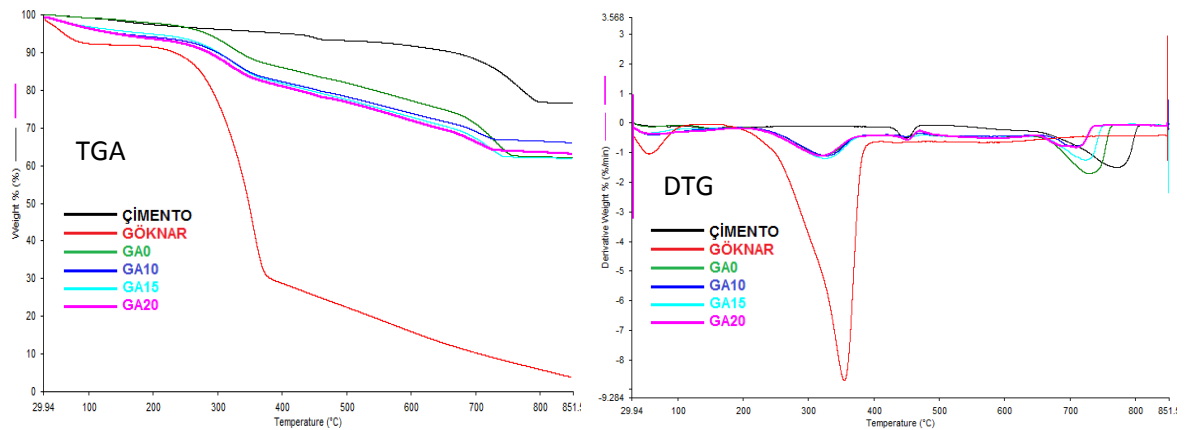
Şekil 93. 1/2 Odun-çimento oranlı kavak levhaları üzerinde silis dumanının TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik

1/2 Odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhaların TGA/DTG değerleri üzerine silis dumanının etkisi Şekil 93'te verilmiştir. I. Pik'te, levhalar arasında en fazla ağırlık kaybı kontrol grubundan elde edilirken, diğer gruplardaki ağırlık kaybı birbirine yakın bulunmuştur. II. Pik'te sadece çimentoda bir ağırlık kaybı görünmektedir. III. Pik'te en fazla ağırlık kaybı çimento örneğinden, en az ise KB15 ve KB20 gruplarından elde edilirken, kavakta ise bir değişiklik olmamıştır. Genel olarak, 1/2 odun-çimento oranlı levhalar 1/3 odun-çimentolu levhalara göre daha fazla odun içermeleri nedeniyle ağırlık kayıp oranları çimentodan uzaklaşıp odun özelliklerine daha fazla yaklaşmıştır. En az ağırlık kaybı çimentodan, en fazla ağırlık kaybı ise odun hammaddesinden elde edilmiştir.



Şekil 94. 1/3 Odun-çimento oranlı ladin levhaları üzerinde silis dumanının TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik

1/3 Odun-çimento oranlı ladin odunundan üretilen levhaların TGA/DTG değerleri üzerine silis dumanının etkisi Şekil 94’te verilmiştir. Levhalar arasında en az ağırlık kaybı %10 silis dumanı kullanılan levhadan (LA10), en fazla ağırlık kaybı ise kontrol (LA0) levhasından elde edilmiştir. III. Pik’te (680-780 °C) silis dumanı kullanılan levhaların daha düşük sıcaklıkta ve daha az miktarda bozunduğu gözlenmiştir. Silis dumanının $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girmesi nedeniyle daha az kalsiyum karbonat meydana gelmiş ve bu nedenle III. Pik’te silis dumanı kullanılan levhalarda daha az ağırlık kaybı olmuş olabilir.



Şekil 95. 1/3 Odun-çimento oranlı göknar levhaları üzerinde silis dumanının TGA/DTG üzerine etkisine ait grafik

1/3 Odun-çimento oranlı göknar odunundan üretilen levhaların TGA/DTG değerleri üzerine silis dumanının etkisi Şekil 95’te verilmiştir. En az ağırlık kaybı kontrol levhasında

elde dilmiş olup, diğer gruplar birbirine yakın ağırlık değeri vermiştir. Kavak levhaların aksine, ladinlerde olduğu gibi göknar levhalarda da I. Pik'teki ağırlık kaybı oranları birbirine yakın sonuçlar vermiştir. III. Pik'te levhalar arasında en düşük bozunma sıcaklığı GA20 grubundan elde edilirken, en yüksek bozunma sıcaklığı ise kontrol (GA0) grubundan elde edilmiştir.

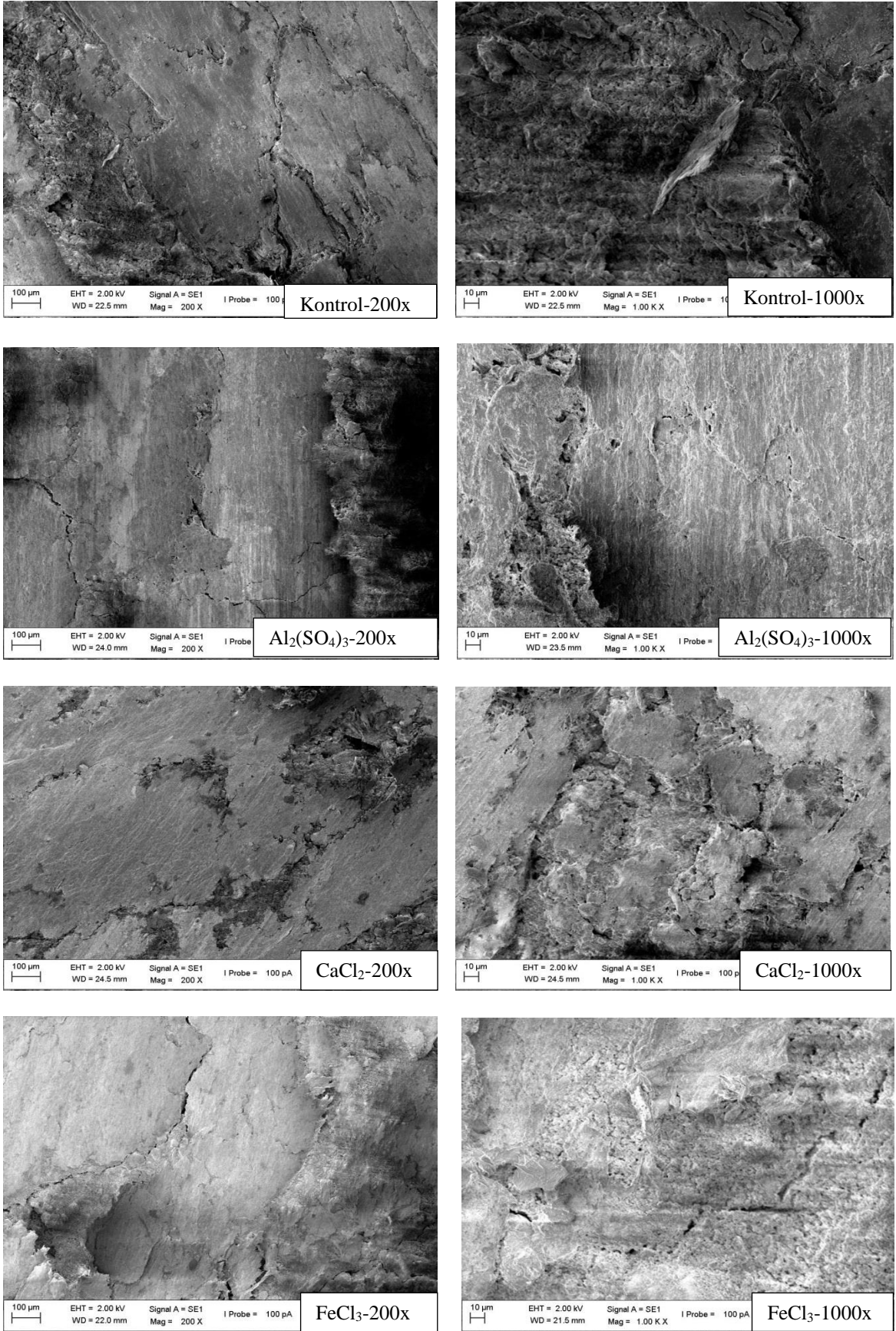
Musa [253]'nın, yalancı tespih ağacı tohumu küllerini %5, %10, %15, %20 ve %20 oranında çimentoya ikame olarak kullandığı çalışmasında; kül oranının levhaların termal analizleri (TGA/DTG) üzerindeki etkisini araştırmış ve kül oranı artıkça 400-500 °C arasında $[\text{CaOH}]_2$ bozunması] ağırlık kaybının azaldığını belirlemiştir. 700-800 °C arasında (CaCO_3 bozunması) ise kül oranı artıkça levha ağırlığında önemli bir kayıp olmadığını rapor etmiştir.

Almeida ve Sichieri [254], çimentoya %5 ve %10 oranında lateks ve silis dumanı ilave edilerek ürettikleri betonlarda TGA/DTG analizi yapılmış ve en düşük $\text{Ca}(\text{OH})_2$ değerinin %10 silis dumanı kullanılan betonlardan elde edildiğini ve dolayısıyla silis dumanının betondaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oranını azalttığını rapor etmişlerdir.

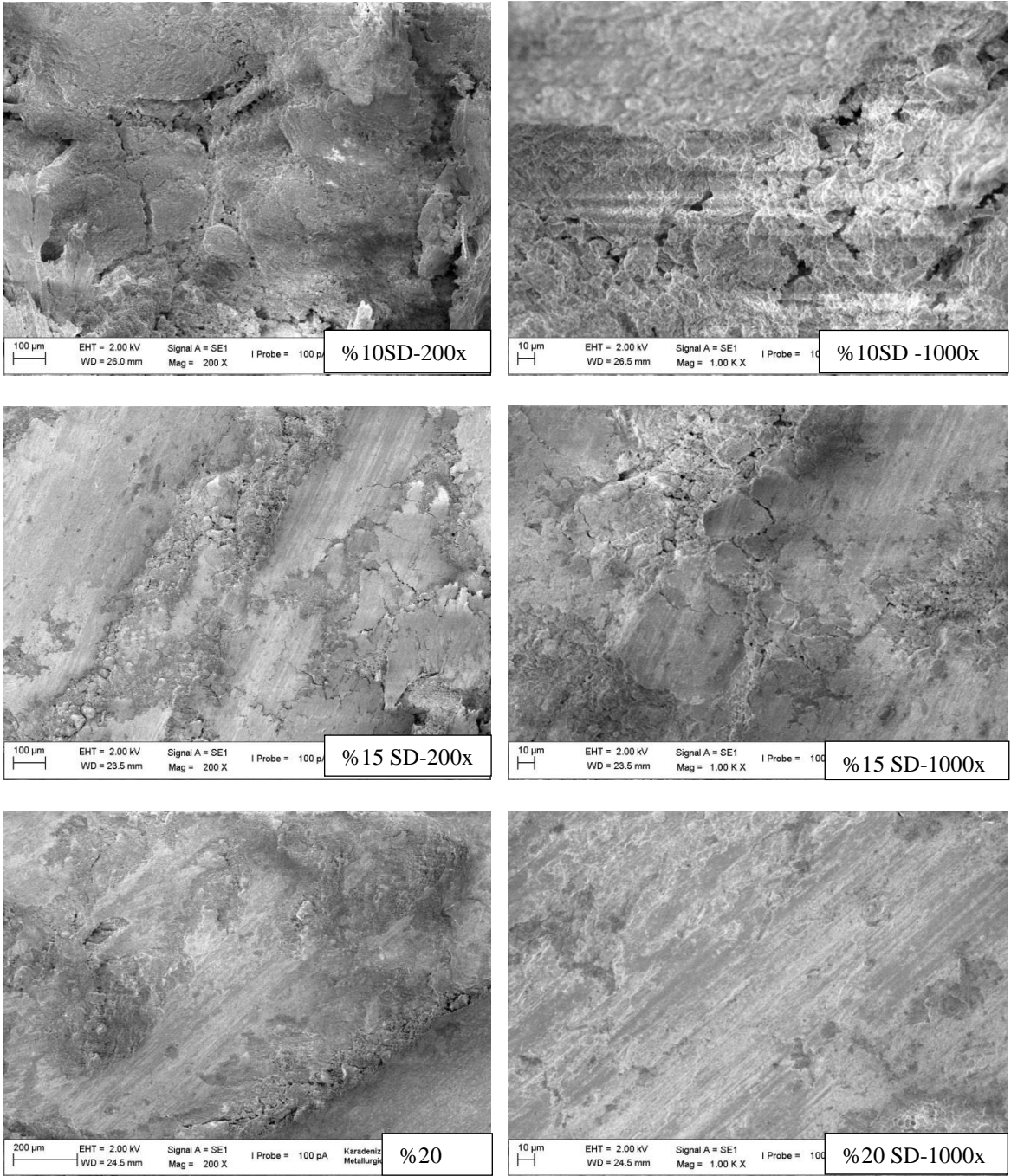
Deneme levhalarının termal analizlerine ait veriler genel olarak literatür verileri ile uyumluluk göstermiştir.

4.2.5. Morfolojik Özelliklere (SEM) Ait Bulguların İrdelenmesi

Kavak odunundan; Alüminyum sülfat $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$, kalsiyum klorür (CaCl_2) ve demir klorür (FeCl_3) sertleştirici kullanılarak üretilen 1/3 odun-çimento oranlı levhaların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 96'da verilmiştir. %10, %15 ve %20 silis dumanı kullanılan kavak odunundan üretilen 1/3 odun-çimento oranlı levhaların SEM görüntüleri Şekil 97'de verilmiştir.



Şekil 96. Farklı sertleştirici kullanılan kavak levhaların SEM görüntüleri



Şekil 97. Farklı oranlarda silis dumanlı kullanılan kavak levhaların SEM görüntüleri

200x ve 1000x büyütme görüntüleri incelendiğinde, kontrol örneklerinde etrenjit ve klinkerin daha fazla olduğu görülmektedir. Silis dumanı kullanım oranının artmasıyla levha içerisindeki boşlukların azaldığı ve levhanın daha sıkı bir yapıya ulaştığı fakat aynı zamanda da $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin azaldığı ve C-S-H miktarının arttığı görülmektedir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve

CaCl₂ sertleştiricili levhalarının kontrole göre daha iyi bir hidratasyon reaksiyonu verirken, FeCl₃ sertleştiricisinin çimentonun hidratasyonunu bozduğu gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR

5.1. Odun Hammaddesinin Kimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Soğuk su çözünürlüğünde en yüksek değerler kavak (%3.80), en düşük değerler ise göknar (%3.40) odunundan elde edilmiştir. Sıcak su çözünürlüğünde en yüksek ladin (%4.55), en düşük değer ise kavak (%4.21) odunundan elde edilmiştir. Ladin ve Göknar odunun sıcak su ve soğuk su çözünürlük değerleri bir birine çok yakın bulunmuştur.

2. Alkol-benzen ve %1'lik NaOH çözünürlük değerleri birbiriyle paralellik göstermiştir. Alkol-benzen ve %1'lik NaOH çözünürlük değerlerinde en yüksek kavak (%3.69 ve %19.82), en düşük değerler ise ladin (%2.70 ve %14.31) odunundan elde edilmiştir.

3. Lignin tayininde ladin ve göknar odunundan benzer sonuçlar, kavak odununda ise çok daha düşük değerler elde edilmiştir. Holoselüloz ve α -selüloz tayininde en yüksek değerler kavak odunundan, en düşük değer ise göknar odunundan elde edilmiştir. Kül tayininde en yüksek değer göknar odunundan elde edilmiştir. Her üç ağaç türünde de holoselüloz ve lignin oranlarının toplamı %100'ün üzerinde bulunmuştur. Bunun nedeni, holoselülozda bulunan önemli miktardaki asitte çözünür ligninin holoselüloz verimine katkıda bulunması olabilir. Ligninin holoselülozda kalması selüloz, hemiselüloz ve lignin arasındaki olası kimyasal bağlarla açıklanmaktadır (Özdemir, 2004).

4. pH değerleri ladin ve göknar odununda birbirine yakın sonuçlar elde edilirken, kavakta daha yüksek değer elde edilmiştir.

5. Kavak odununa ait kimyasal analiz sonuçları Atik (1995), Öner ve Aslan (2002) ile Güçüş ve Eroğlu (2013)'nin titrek kavak odunun kimyasal özellikleri üzerine yaptıkları çalışma sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. Ladin odunun kimyasal özellikleri Bostancı (1979), Yıldız (2002) ve Aslan (2007)'in bulduğu değerler ile uyumluluk göstermiştir. Göknar odununa ait kimyasal analiz sonuçları ise Özdemir [2004]'in çalışmasıyla uyumluluk göstermiştir. Fakat çözünürlük değerleri biraz daha yüksek çıkmıştır.

6. Glikoz ve ksiloz şekerlerinde en yüksek değerler kavak odunundan elde edilmiş olup, göknar ve ladin odunlarında ise birbirine yakın değerler bulunmuştur. Galaktoz ve

mannoz+arabinoz şekerlerinde ise en yüksek değerler göknar odunundan, en düşük değerler kavak odunundan elde edilmiştir.

7. Odunların kimyasal özellikleri ile çimentolu levhaların teknolojik özellikleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu anlaşılmıştır.

5.2. Deneme Levhalarına Uygulanan Testlere Ait Sonuçlar

5.2.1. Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar

5.2.1.1. Yoğunluk Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. 1/3 Odun-çimento oranıyla üretilen levhaların 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhalara göre daha yüksek yoğunluk değerleri verdiği gözlenmiştir. Bu durum, odun ($400-500 \text{ kg/m}^3$) ile karşılaştırıldığında, çimento yoğunluğunun (2910 kg/m^3) çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Hedeflenen levha kalınlığının 10 mm olmasına rağmen, üretilen levhaların kalınlıkları 9.27-11.49 mm arasında bulunmuştur. Levha karışımında odun miktarının artması odun yoğunluğunun çimento yoğunluğundan oldukça düşük olmasına da bağlı olarak levhalarda yoğunluk değerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle 1/2 odun-çimento oranlı levhalar daha düşük yoğunluk değeri vermiştir.

2. Ağaç türleri arasında en yüksek yoğunluk değerleri ladin odunundan üretilen levhalardan elde edilirken en düşük sonuçlar göknar odunundan üretilen levhalardan elde edilmiştir. Odun türlerinin farklı kimyasal içeriğe sahip olmasından dolayı çimento hidratasyonu üzerindeki etkisi de farklı olmaktadır. Çimento ile suyun reaksiyona girmesini engelleyen ekstraktif madde miktarına bağlı olarak levha yoğunluğunda da farklılık olabilmektedir. Zira çimento ile reaksiyona giremeyen su, basınç altında levhayı terk ederken beraberinde bir miktar çimentoyu da götürmektedir. Bu nedenle, levhanın yoğunluk değeri düşmektedir. Aynı durum, sertleştirici türlerinde de karşılaşılmıştır. Sertleştirici açısından en yüksek yoğunluk değeri CaCl_2 , en düşük sonuçlar ise FeCl_3 kullanılan levhalarda görülmüştür.

3. Silis dumanı kullanımında, kontrol (%) ve %10 silis dumanı kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek değerler elde edilirken, en düşük değerler %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. Silis dumanı, 1/3 odun-çimento oranlı levhaların yoğunluk değerlerinde azalmaya neden olurken, 1/2 odun-çimento oranlı levhaların yoğunluk

değerlerinde artışa neden olduğu gözlenmiştir. Bu durum, silis dumanının (2200 kg/m^3); çimentoya (2910 kg/m^3) göre daha hafif ve tanecik çapı yaklaşık 100 kat daha küçük olmasından kaynaklanmış olabilir.

4. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan levhalarda genel olarak silis dumanı kullanımının levhaların yoğunluk değerini az da olsa düşürdüğü gözlenmiştir.

5. CaCl_2 kullanılan levhalarda; silis dumanı, 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda yoğunluk azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanımı ise kavak levhaların yoğunluğunda önemli bir değişikliğe neden olmazken, ladinde artışa ve göknarda ise azalışa neden olduğu belirlenmiştir.

6. FeCl_3 kullanılan levhalarda; silis dumanı 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda yoğunluk düşüşüne neden olurken, 1/2 odun-çimento oranlı kavak ve ladin levhalarda artışa, göknar levhalarda ise yoğunluk düşüşüne neden olduğu belirlenmiştir.

7. 1/3 odun-çimento kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek yoğunluk değeri KA2 (1.33 g/cm^3), en düşük ise KA21 (1.06 g/cm^3) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranı kullanılarak üretilen levhalarda ise en yüksek yoğunluk değeri LB22 (1.23 g/cm^3), en düşük ise GB23 (1.01 g/cm^3) grubundan elde edilmiştir.

5.2.1.2. Rutubet Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Yoğunluk değerlerinin aksine, 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhaların 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek rutubet değeri verdiği gözlenmiştir. Bunun, odun miktarının artmasına bağlı olarak, çimentoya göre daha higroskopik bir malzeme olan odun materyalinin daha fazla su tutma kabiliyetinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

2. Ağaç türleri arasında en yüksek rutubet miktarı göknar levhalardan elde edilirken en düşük değerler ladin levhalardan elde edilmiştir. Bu durum; göknar odunun çimento hidrasyonu üzerindeki olumsuz etkisinin daha yüksek olması nedeniyle (düşük pH ve yüksek alkol-benzen ve %1 NaOH çözünürlüğü ile birlikte yüksek galaktoz, mannoz ve arabinoz şeker oranı nedeniyle) daha zayıf odun-çimento ve çimento-çimento bağlanmasından kaynaklanmış olabilir.

3. Sertleştirici açısından en yüksek rutubet miktarı değeri $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, en düşük ise CaCl_2 kullanılan levhalarda görülmüştür. Bu 2. maddedeki durumu desteklemektedir.

Ayrıca, $Al_2(SO_4)_3$ sertleştiricisinin higroskopik yapısı ve odundaki fenol grupları ile yeterli oranda çelat oluşturamamasından dolayı yüksek rutubete neden olmuş olabilir.

4. En yüksek rutubet miktarı %20 silis dumanı kullanılan levhalardan elde edilirken, en düşük değerler ise kontrol (%0) ve %10 silis dumanı kullanılarak üretilen levhalardan elde edilmiştir. Çimentoya göre, silis dumanın yüzey alanın çok yüksek olması, içinde bulunduğu yapının su ihtiyacını artırmaktadır. Araştırmalara göre çimentonun %5'i kadar katılan silis dumanı su ihtiyacını fazla değiştirmedigi, daha büyük miktarlarda ise su ihtiyacı artırdığı rapor edilmiştir.

5. Silis dumanının, $CaCl_2$ sertleştiricili levhalarda $Al_2(SO_4)_3$ ve $FeCl_3$ sertleştiricili levhalara göre daha fazla rutubet artışına neden olduğu görülmektedir. Bu durum, $CaCl_2$ sertleştiricisinin diğer sertleştiricilere göre çimento hidrasyonunu daha çok hızlandırdığı ve dolayısıyla daha fazla $Ca(OH)_2$ ürünü meydana gelmesine neden olmuştur. Böylece, silis dumanı daha fazla $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girme fırsatı bulmuştur. Bu nedenle, levhaların rutubet miktarında daha fazla artışa neden olmuş olabilir.

6. 1/3 odun-çimento kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek rutubet değeri LA22 (%12.94), en düşük ise KA10 (%8.94) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranı kullanılarak üretilen levhalarda ise en yüksek rutubet değeri KB21 (%11.96), en düşük değer ise GB0 (%9.24) grubundan elde edilmiştir.

7. LA 22 (%12.94) ve GA17 (%12.29) grubu levhalar haricindeki tüm levha gruplarının TS EN 634-1 [1999] standardında belirtilen rutubet değerlerini (%6-%12) karşıladığı gözlenmiştir.

5.2.1.3. Su Alma Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Odun-çimento oranı (O/Ç) 1/2 olan levha gruplarının ihtiva ettiği odun miktarının artması, çimento miktarının azalması nedeniyle, 1/3 odun-çimento oranlı gruplara göre daha fazla su alma oranına sahip olduğu gözlenmiştir.

2. Ağaç türleri arasında en düşük su alma değerleri ladin levhalardan, en yüksek ise kavak levhalardan elde edilmiştir. Odunda bulunan selüloz ve hemiselüloz, hidrofilik bir yapı sergilerken, lignin ve ekstraktifler ise hidrofobik özellik göstermektedir. Bu nedenle, kavak odunu göknar ve ladin'e göre daha fazla selüloz ve az lignin ihtiva ettiği için daha fazla su absorplamış olabilir.

3. Sertleştirici açısından bakıldığında, su alma miktarı üzerinde en iyi sonuçların CaCl_2 'den, en kötü sonuçların ise $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 'den elde edildiği görülmüştür. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda, CaCl_2 kullanımında kontrol levhalarına oranla 2 ve 24 saatte su alma miktarında sırasıyla, kavak levhalarda %30 ve %22, ladin levhalarda %24 ve %21 ve göknar levhalarda %37 ve %22 oranlarında iyileşme sağlamıştır. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise; 2 ve 24 saat su alma miktarındaki azalma sırasıyla, kavak levhalarda %30 ve %19, ladin levhalarda %24 ve %21 ve göknar levhalarda ise %25 ve %13 olarak belirlenmiştir. Araştırmalar; kalsiyum klorürün levhalarındaki su alma miktarını azaltmasının nedenlerini; yüksek orandaki çimento-çimento ve odun-çimento bağının odun yongalarını daha sert ve dayanıklı hale getirmesinden kaynaklandığını belirtmektedirler.

4. Silis dumanının levhanın su alma miktarı üzerinde çok ciddi bir etkisinin olduğu anlaşılmıştır. En düşük su alma miktarı %10 ve %15 silis dumanı kullanılan levhalardan elde edilirken, en yüksek sonuçların kontrol grubu levhalardan elde edildiği gözlenmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhaların su alma miktarı üzerinde silis dumanının önemli bir etkisi olmazken, ladin levhalarda %15 ve göknar levhalarda %10 silis dumanı kullanımı 2 ve 24 saat su alma testinde en düşük değeri vermiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %15, ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %20 silis dumanı kullanımı en iyi (en düşük) sonucu verdiği gözlenmiştir.

5. Silis dumanı; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan kavak ve ladin levhaların su alma miktarını azaltırken, göknar levhalarda ise su alma miktarını artırmıştır. Silis dumanı; CaCl_2 kullanılan levhalarda ise tüm levha gruplarının su alma miktarı azaltmıştır.

6. 1/3 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda; en az su alma miktarı, 2 saat için %7.24 ve 24 saat için ise %11.84 ile GA17 grubundan, en yüksek değerler ise 2 saat için %24.24 ve 24 saat için %27.75 ile KA23 grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda; en az su alma miktarı 2 saat için %10.25 ve 24 saat için %17.30 ile LB12 grubundan, en yüksek değerler ise 2 saat için %28.28 ve 24 saat için %32.59 ile KB1 grubundan elde edilmiştir. Deneme levhalarının su alma oranları genel olarak literatür ile uyumluluk göstermiştir.

5.2.1.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Daha çok çimento ve daha az odun içeriğinden dolayı, 1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhaların 1/2'ye göre çok daha düşük kalınlık artımı değeri verdiği gözlenmiştir.

2. Ağaç türleri arasında en iyi kalınlık artımı değerleri göknar levhalarda en kötü sonuçlar kavak levhalardan elde edilmiştir. Bu durumun, göknar ve ladine göre kavak odunun daha fazla holoselüloz ve daha az lignine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3. Sertleştirici kullanımında en iyi kalınlık artımı sonuçları CaCl_2 kullanılan levhalardan, en kötü sonuçlar ise FeCl_3 kullanılan levhalardan elde edilmiştir. Bu durum, CaCl_2 sertleştiricisi diğer sertleştiricilere göre çok daha güçlü odun-çimento ve çimento-çimento bağı meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır. Levhada odun miktarının artmasına bağlı olarak $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve FeCl_3 sertleştiricilerin kalınlık artımı değerleri üzerindeki olumlu etkisinde artış görülmektedir. Ancak; Al^{3+} katyonun Fe^{3+} katyonundan daha etkili olduğu için FeCl_3 sertleştiricisi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sertleştiricisi kadar etkili olmadığı görülmüştür.

4. Silis dumanının levhaların kalınlık artımı üzerinde çok ciddi bir etkisinin olduğu ve silis dumanı kullanım oranı artıkça genel olarak kalınlık artımı oranının düştüğü gözlenmiştir. Suda bekleme süresi artıkça kalınlık artımı oranı da artmış, fakat bu artışın kavak levhalarda daha yüksek olduğu görülmüştür.

5. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CaCl_2 ve FeCl_3 sertleştiricili levhalarda silis dumanı kullanımı levhaların kalınlık artımı değerlerinde düşüşe neden olmuştur. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en düşük kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %20 ve 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için %15, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en iyi kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 ve 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için % 0, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

6. CaCl_2 kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en düşük kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %15 ve 24 saat için %20, ladin levhalarda 2 için %15 ve 24 saat için %20, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise; kavak levhalarda 2 ve 24 saat için %15, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için % 20, göknar levhalarda 2 için %15 ve

24 saat için %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. FeCl₃ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda en düşük kalınlık artımı değerleri; kavak levhalarda 2 saat için %15 ve 24 saat için %10, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için %15, göknar levhalarda ise 2 ve 24 saat için %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise; kavak levhalarda 2 ve 24 saat için %10, ladin levhalarda 2 ve 24 saat için %20, göknar levhalarda 2 ve 24 saat için ise %0 silis dumanı kullanımıyla (kontrol levhası) elde edilmiştir.

7. 1/3 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda; 2 saat için en düşük kalınlık artımı değeri %0.72 ile GA12 grubundan, 24 için ise en düşük değer %1.02 ile yine GA12 grubundan elde edilmiştir. En yüksek değerler ise 2 ve 24 saat için sırasıyla %6.90 ve %7.62 ile KA23 grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda kalınlık artım oranı; 2 saat için en düşük %1,59 ile GB17 grubundan, 24 saat için ise %2.75 ile GB12 grubundan elde edilirken, en yüksek değerler 2 saat için %14.24 ve 24 saat için ise %15.72 ile KB3 grubundan elde edilmiştir. Deneme levhalarının kalınlık artımı değerleri literatür ile uyumluluk göstermiştir.

5.2.1.5. Isı İletim Katsayısı Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. 1/2 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalar 1/3'ye göre daha düşük ısı iletim katsayısı değeri verdiği gözlenmiştir. Literatürde odunun ısı iletim katsayısı 0.09-0.28 W/mK, betonun ise 1.03-1.45 W/mK olarak rapor edilmiştir. Denemeler literatür ile uyumludur. Odun miktarının artması ve çimento miktarının azalması nedeniyle levha içindeki boşluk oranının artmasından dolayı ısı iletim katsayısı da düşmüş olabilir.

2. Ağaç türleri arasında en yüksek ısı iletim katsayısı göknar levhalardan elde edilirken, kavak ve ladin levhaların ısı iletim katsayıları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Bu durum, göknar odunun daha yüksek yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmış olabilir. Çünkü odunun ısı iletim katsayısı, odunun yoğunluğu, rutubet miktarı, sıcaklık ve ekstraktif madde miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

3. Silis dumanı kullanımında ise en düşük ısı iletim katsayısı değerlerinin %10, en yüksek ise %20 silis dumanı kullanımı ile elde edildiği gözlenmiştir. Çimentodan daha hafif olan silis dumanın %10 oranında çimentoya ikame olarak levhaya katıldığında, az miktardaki silis dumanı levhanın sıkıştırma faktörünü artırmadığından levha yoğunluğunun

düşmesine neden olmuş ve bu nedenle ısı iletim katsayısını düşürmüş olabilir. %15 ve %20 silis dumanı kullanımında ise levhanın artan hacmi nedeniyle levhanın sıkıştırma faktörü artmış ve daha sıkı bir malzeme meydana gelmiştir. Bu nedenle levhanın ısı iletkenlik katsayısı artmış olabilir.

4. 1/3 Odun-çimento kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek ısı iletim katsayısı değeri GA0 (0.473 W/mK) grubundan, en düşük ise KA10 (0.337 W/mK) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranı kullanılarak üretilen levhalarda ise en yüksek ısı iletim katsayısı değeri KB0 (0.347 W/mK) grubundan, en düşük değer ise LB0 (0.325 W/mK) grubundan elde edilmiştir.

5. ISO ve CEN Standardına göre ısı iletim katsayısı 0.065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlandığından dolayı, deneme levhaları ısı yalıtım malzemesi olarak değil, yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır. Ancak diğer yapı malzemeleri ile kıyaslandığında yapılarıdaki etkileri değerlendirilebilir düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

5.2.2. Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar

5.2.2.1. Eğilme Direncine Ait Sonuçlar

1. 1/2 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalar 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha yüksek eğilme direnci değerleri verdiği gözlenmiştir. Odunun çimentodan çok daha düşük özgül ağırlığa sahip olmasından dolayı 1/2 oranlı levhaların hacmi 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha fazla olmakta ve levha pres altında daha fazla sıkışmaktadır. Yüksek sıkıştırma faktöründen dolayı levhadaki yongaların temas yüzeyi artmakta ve daha sıkı bir yapı meydana gelmektedir. Bu durum ise direnç artışını sağlamıştır.

2. Ağaç türleri arasında en iyi eğilme direnci değerleri kavak levhalarda elde edilirken en kötü sonuçlar göknar levhalardan elde edilmiştir.

3. Sertleştirici açısından en iyi eğilme direnci değerleri CaCl₂, en kötü değerler ise FeCl₃ kullanılan levhalardan elde edilmiştir. Alüminyum sülfat ve demir klorürün, polifenoller ile yeterli oranda reaksiyon gerçekleştirememesine bağlı olarak çimento hidratasyonunun olumsuz etkilendiği ve çimento-çimento ve odun-çimento bağının zayıf

kalmış olduğu söylenebilir. Zayıf bağlanmanın etkisiyle levhaların eğilme direnci değerleri CaCl_2 kullanılan levhaların dirençlerinden daha düşük çıkmış olabilir.

4. Sertleştiriciler, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda 1/3 odun-çimento oranlı levhalara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, odun miktarının artmasına paralel olarak çimento hidratasyonunu engelleyen madde miktarının da artmış olması nedeniyle sertleştiricilerin daha etkili olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. Genel olarak, %10 silis dumanı kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek eğilme direnci değerleri elde edilirken, en kötü sonuçlar %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %0, ladin ve göknar levhalarda %10 oranında silis dumanı kullanımıyla en iyi eğilme direnci değeri elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda ise %20, ladin ve göknar levhalarda ise %10 oranında silis dumanı kullanımıyla en iyi eğilme direnci değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir.

6. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda tüm ağaç türlerinde en yüksek eğilme direnci kontrol grubu levhalardan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda % 15, ladin levhalarda ise %10 silis dumanı kullanımının en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. CaCl_2 kullanılan levhalarda en iyi eğilme direnci değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %0, ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %15 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %10, ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. FeCl_3 kullanılan levhalarda en iyi eğilme direnci değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı levhaların hepsinde kontrol grubu levhalardan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %10, ladin levhalarda %15 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

7. 1/3 odun-çimento kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek eğilme direnci değeri KA2 (13.17 N/mm²) grubundan, en düşük ise GA23 (5.73 N/mm²) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento kullanılarak üretilen levhalarda ise en yüksek değer LB12 (15.12 N/mm²) grubundan, en düşük değer GB23 (5 N/mm²) grubu levhalardan elde edilmiştir.

8. TS EN 634-2 standardında belirtilen minimum eğilme direnci değerini, kalsiyum klorür ve silis dumanı ile üretilen tüm levha grupları karşılamaktadır. Alüminyum sülfat ve silis dumanı ile üretilen levhalardan ise KA1, KB1, KB11, KB16, KB21, LB11, LB16, LB21 ve GB1 grupları standart değerini karşılarken, diğer gruplar standart altında kalmıştır. Demir klorür ve silis dumanının kullanımıyla üretilen levhalardan ise sadece

KB13, KB18 ve LA3 grubu levhaların standart değeri karşıladığı görülmüştür. Sertleştirici kullanmaksızın sadece silis dumanı ile üretilen levhalardan ise KA10, KA15, KA20, KB0, LA0, LB0, GA15, GA20 ve GB15 grupları hariç tüm gruplar standardı karşılamıştır.

5.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Eğilme direncinin aksine, 1/3 odun-çimento oranlı gruplar 1/2 odun-çimento oranlı gruplara göre daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri vermiştir. Oduna göre çok daha rijit bir malzeme olan çimentonun, levhadaki oranın artmasına paralel olarak levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır.

2. Ağaç türleri arasında en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri ladin levhalardan elde edilirken, en kötü sonuçlar kavak levhalardan elde edilmiştir.

3. Sertleştirici türleri arasında ise en iyi sonuçlar CaCl_2 'den, en kötü sonuçlar ise FeCl_3 'den elde edilmiştir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; 1/3 odun-çimento oranlı göknar levhalar (GA1) hariç tüm levha gruplarında eğilmede elastikiyet modülü üzerinde olumlu etkiye sahip olmuştur. FeCl_3 ; ladin odunundan üretilen 1/2 ve 1/3 odun-çimen oranlı levhaların eğilmede elastikiyet modülünde artışa neden olurken, kavak ve göknar levhalarda ise eğilmede elastikiyet modülü değerini olumsuz etkilemiştir. Alüminyum sülfat ve demir klorür, polifenol ile yeterli oranda reaksiyon gerçekleştirmediği için çimento hidratasyonu olumsuz etkilemiş ve çimento-çimento ve odun-çimento bağını zayıflattığından dolayı bazı levha gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir. CaCl_2 sertleştiricisi ise ortamdaki Ca^{2+} iyonun miktarını artırarak, ekstraktiflerin çimento hidratasyonu üzerindeki olumsuz etkisini azalttığından levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerini arttırmış olabilir.

4. Eğilme direncinde olduğu gibi, genel olarak en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri; %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilirken, en kötü sonuçlar ise %20 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

5. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanımı kavak levhalarda önemli bir etkiye sahip olmazken, ladin levhalarda %28 ve göknar levhalarda ise %9'a kadar artışa sebep olmuştur. Bu durum, kavak odunun, soğuk su ve %1'lik NaOH çözünürlüğünün yüksek çıkmasından kaynaklanmış olabilir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanımı kavak levhalarda %26, ladin

levhalarda %54 ve göknar levhalarda ise %15 oranında levhanın eğilmede elastikiyet modülü değerini artırdığı gözlenmiştir.

6. Sertleştirici ve silis dumanının birlikte kullanımında; $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan 1/2 odun-çimento oranlı, kavak levhalarda %15, ladin levhalarda %15 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımı en iyi sonucu verdiği görülmüştür. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda ise en iyi sonuçlar kontrol gruplarından elde edilmiştir. $CaCl_2$ kullanılan levhalarda en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %0, ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

7. 1/2 Odun-çimento oranlı tüm ağaç türlerinden üretilen levhalarda %10 silis dumanı kullanımıyla en iyi eğilmede elastikiyet modülü değeri elde edilmiştir. $FeCl_3$ kullanılan levhalarda en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı levhaların hepsinde kontrol grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %10, ladin levhalarda %20 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımıyla elde edildiği görülmüştür.

8. 1/3 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri LA12 (6814 N/mm^2) grubundan, en düşük değer ise KA18 (3417 N/mm^2) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek eğilme direnci değeri LB12 (6074 N/mm^2) grubundan, en düşük değer ise GB23 (2355 N/mm^2) grubu levhalardan elde edilmiştir.

9. TS EN 634-2'de belirtilen, çimentolu levhalar için minimum eğilmede elastikiyet modülü değerini; KB3, KB23, LB3, LB13, GB13 ve GB23 haricindeki tüm levha gruplarının karşıladığı gözlenmiştir.

5.2.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Eğilme direncinin aksine eğilmede elastikiyet modülü ile paralel olarak odun-çimento oranı 1/3 olan gruplar, 1/2'e göre daha yüksek yüzeye dik çekme direnci değeri vermiştir.

2. Ağaç türleri arasında en iyi yüzeye dik çekme direnci değerleri göknar odunundan elde edilirken, en kötü sonuçlar ise kavak levhalardan elde edilmiştir.

3. Genel olarak; eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde olduğu gibi yüzeye dik çekme direnci değerlerinde de, sertleştirici türleri arasında en iyi

sonuçların CaCl_2 'den, en kötü sonuçların ise FeCl_3 'den elde edildiği görülmüştür. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 1/3 odun-çimento oranlı kavak ve göknar levhalar (KA1 ve GA1) hariç diğer tüm levha gruplarında levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerinde olumlu etkiye sahip olmuştur. FeCl_3 ladin odunundan üretilen 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranlı levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinde artışa neden olurken, kavak ve göknar levhalarda ise yüzeye dik çekme direnci değerini olumsuz etkilediği görülmüştür.

4. Silis dumanı, çimentonun hidrasyon reaksiyonu sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit [$\text{Ca}(\text{HO})_2$] ile sulu ortamda reaksiyona girerek mükemmel bir hidrolik bağlayıcılık oluşturduğundan belli bir orana kadar silis dumanı kullanımıyla levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Silis dumanı kullanımında en yüksek değerler %10 kullanımıyla elde edilirken, en kötü sonuçlar ise kontrol grubu levhalardan elde edilmiştir. Silis dumanı kullanımıyla levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri; 1/3 odun-çimento oranlı ladin levhalarda %37 ve göknar levhalarda ise %45 artarken, kavak levhalarda ise az da olsa direnç düşüşü meydana gelmiştir. Silis dumanının; 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %52, ladin levhalarda %79 ve göknar levhalarda ise %35 oranında levhaların yüzeye dik çekme direnci değerini artırdığı gözlenmiştir.

5. Sertleştirici ve silis dumanının birlikte kullanıldığı levhalarda; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhalarda % 0, ladin levhalarda %0 ve göknar levhalarda ise %10 silis dumanı kullanımı en iyi sonucu vermektedir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhalarda % 20, ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %0 oranında silis dumanı kullanımı en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir. CaCl_2 kullanılan levhalarda en yüksek değerler; 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %20, ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %10 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %15, ladin levhalarda %20 ve göknar levhalarda ise %10 oranında silis dumanı kullanımıyla en yüksek değerler elde edilmiştir. FeCl_3 kullanılan levhalarda ise en yüksek değerler; 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %15, ladin levhalarda %0 ve göknar levhalarda ise %0 oranında silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir. 1/2 Odun-çimento oranlı kavak levhalarda %10, ladin üretilen levhalarda %20 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımıyla en yüksek değerler elde edilmiştir.

6. 1/3 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda en yüksek eğilme direnci değeri GA12 (1.93 N/mm²) grubundan, en düşük değer ise GA21 (0.49 N/mm²) grubundan elde

edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek eğilme direnci değeri KB17 (1.43 N/mm^2) grubundan, en düşük değer ise LB0 (0.18 N/mm^2) grubu levhalardan elde edilmiştir.

5.2.2.4. Vida Tutma Gücü Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci ile paralel olarak odun-çimento oranı 1/3 olan gruplar, 1/2'e göre daha yüksek vida tutma gücü değeri vermiştir.

2. Ağaç türleri arasında en iyi vida tutma gücü değerleri kavak levhalarda elde edilmiş olup, göknar ve ladin levhaların vida tutma gücü değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

3. Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci değerlerinde olduğu gibi vida tutma gücü değerlerinde de, sertleştirici türleri arasında en iyi sonuçlar CaCl_2 'den, en kötü sonuçlar ise FeCl_3 'den elde edilmiştir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve FeCl_3 1/3 odun-çimento oranlı ladin levhalarda vida tutma direncini artırırken, kavak ve göknar levhalarda ise düşüşe neden olmuştur. 1/2 odun-çimento oranlı kavak ve ladin levhalarda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanımı levhanın vida tutma gücünü artırırken, göknar levhalarda ise azaltmıştır. FeCl_3 ise tüm ağaç türünden üretilen levhaların vida tutma gücünü olumsuz etkilemiştir.

4. Silis dumanı kullanımında en yüksek değerler %10 ve %15 silis dumanı kullanımıyla elde edilirken, en kötü sonuçlar ise kontrol grubundan elde edilmiştir. 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanı kullanımı, kavak levhalarda %4, ladin levhalarda %34.7 ve göknar levhalarda ise %18.7'ye kadar vida tutma gücü değerlerinde artışa sebep olmuştur. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise kontrole göre kavaktan üretilenlerde %32, ladinden üretilenlerde %49 ve göknardan üretilenlerde ise %17 oranında silis dumanının vida tutma gücü değerini artırdığı gözlenmiştir.

5. Sertleştirici ve silis dumanının birlikte kullanımında en iyi vida tutma gücü değerleri; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda % 0, ladin levhalarda %0 ve göknar levhalarda ise %20 silis dumanı kullanımı ile elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhalarda % 20, ladin levhalarda %10 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımı en iyi sonucu vermiştir. CaCl_2 kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %20, ladin levhalarda %15 ve göknar levhalarda ise %15 silis dumanı kullanımı en yüksek değerleri vermiştir. 1/2 odun-çimento

oranlı tüm ağaç türlerinden üretilen levhalarda %10 silis dumanı kullanımıyla en yüksek değerler elde edilmiştir. FeCl₃ kullanılan 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %, ladin levhalarda %15 ve göknar levhalarda ise %15 silis dumanı kullanımıyla en yüksek değerler elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı kavak levhalarda %10, ladin levhalarda %20 ve göknar levhalarda ise %0 silis dumanı kullanımıyla elde edilmiştir.

6. 1/3 Odun-çimento oranıyla üretilen levhalarda en yüksek vida tutma gücü değeri KA22 (147 N/mm) grubundan, en düşük değer ise KA11 (53.4 N/mm) grubundan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek vida tutma gücü değeri KB12 (141.8 N/mm) grubundan, en düşük değer ise LB13 (37.4 N/mm) grubu levhalardan elde edilmiştir.

5.2.3. Mantar Çürüklük Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Genel kanının aksine, mantar çürüklük testine tabi tutulan tüm levha gruplarında belli oranlarda ağırlık artışı olduğu tespit edilmiştir. Ağırlık kaybının olmaması deneme levhalarının mantar çürüklüğüne karşı oldukça yüksek dayanıma sahip olduğunu veya mantarın ağırlık kaybı oluşturacak kadar degradasyon yapamadığını göstermektedir. Ağırlık artışının ise çimentoda meydana gelen karbonatlaşma reaksiyonu ve örnek üzerinde bir miktar mantar misellerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

2. 1/2 Odun-çimento oranlı levhalarda 1/3 oranlı olanlara göre daha az ağırlık artışı gözlenmiştir. Bu durum, artan odun miktarı çimento hidrasyonunu daha fazla engellediği için karbonatlaşma reaksiyonu için gerekli olan Ca(OH)₂ miktarının da azalmasından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca; odun miktarının daha fazla olmasından dolayı mantarın daha fazla degradasyon yapmasına neden olmuş olabilir. Buda daha az ağırlık artışına neden olmuş olabilir.

3. 1/3 Odun-çimento oranlı levhaların aksine, 1/2 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen levhalar göknar ve ladin odunundan üretilen levhalardan daha az ağırlık artışı verdiği gözlenmiştir. Esmer çürüklük mantarının (*Coniophora puteana*) odunda karbonhidratları tahrip etmesi ve kavağın göknar ve ladin odununa göre daha fazla karbonhidrata sahip olması nedeniyle kavak odununun daha fazla esmer çürüklük mantarı tahribatına maruz kaldığı, bu nedenle daha fazla ağırlık kaybı olduğu düşünülebilir.

4. Sertleştiriciler arasında en yüksek ağırlık artışı Al₂(SO₄)₃ kullanılan levhalardan elde edilmiştir. Karbonatlaşma reaksiyonu için Ca(OH)₂ yanında su ve karbondioksit

ihtiyaç duyulmaktadır. $Al_2(SO_4)_3$ daha fazla rutubet tutması nedeniyle daha fazla karbonatlaşma reaksiyonun gerçekleşmesine neden olmuş olabilir.

5. Silis dumanı miktarının artmasıyla tüm levha gruplarının ağırlık artışında ciddi bir azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durum silis dumanın $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girmesinden kaynaklanmış olabilir. Silis dumanı en fazla ladin levhalar üzerinde etkili olurken, en az göknar levhalar üzerinde etkili olmuştur. Bunun yanında, silis dumanı kullanılmadan üretilen kontrol levhalarında (KA0, LA0 ve GA0) ise en fazla ağırlık artışı kavak (KA0), en düşük ise göknar (GA0) levhalardan elde edilmiştir. Silis dumanı kullanımıyla, kavak levhalarda %9.05'ten %5.36'ya; ladin levhalarda %7.29'dan % 4.18'e; göknar levhalarda ise %6.5'ten % 6.04'e ağırlık artışında düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir.

6. 1/3 Odun-çimento oranlı levhalarda en yüksek ağırlık artışı KA1(%9.64) grubundan, en düşük ağırlık artışı ise LA3 (%4.05) grubundan elde edilirken, 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en yüksek ağırlık artışı LB0 (%8.45) grubundan, en düşük ağırlık artışı ise LB3 (%4.01) grubundan elde edilmiştir.

5.2.4. Formaldehit Emisyonu Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Sertleştirici türleri arasında en düşük formaldehit miktarı $CaCl_2$ ve $Al_2(SO_4)_3$ kullanılan levhalardan elde edilmiştir.

2. Ağaç türleri arasında kavaktan üretilen levhalar en yüksek formaldehit değerleri verirken, göknardan üretilen levhalar ise en düşük formaldehit değeri vermiştir.

3. $Al_2(SO_4)_3$ kavak levhalarda, $CaCl_2$ ladin levhalarda ve $FeCl_3$ ise göknar levhalarda kullanımıyla en düşük formaldehit miktarının elde edildiği gözlenmiştir.

4. Formaldehit miktarı ölçülen tüm levhaların formaldehit değerleri doğal ağacın formaldehit miktarından (1-2 mg/100gr) daha düşük belirlenmiştir. Buna bağlı olarak levhalar formaldehit emisyonu değeri açısından E0 sınıfına girdiğinden dolayı çevre dostu bir yapı malzemesi olarak tanımlanabilir.

5.2.5. TGA/DTG Özelliklerine Ait Sonuçlar

1. Genel olarak, 1/2 odun-çimento oranlı levhalar 1/3 odun-çimentolu levhalara göre daha fazla odun içermeleri nedeniyle ağırlık kaybı oranları çimentodan uzaklaşp kavak odununa daha fazla yaklaşmıştır. En az ağırlık kaybı çimentodan, en fazla ağırlık kaybı ise odun hammaddesinden elde edilmiştir.

2. Silis dumanı kullanılan levhalarda 280-380 °C arasındaki ağırlık kaybı oranı ile levhaların mekanik direnci değerleri arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

3. 680-800 °C (III.Pik) arasındaki sıcaklıkta levhalarda silis dumanı artıka kalsiyum karbonatın maksimum bozunma sıcaklığı ve bozunma miktarında önemli bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, silis dumanın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girmesi nedeniyle daha az kalsiyum karbonat meydana gelmiş ve bu nedenle III. Pik'te silis dumanı kullanılan levhalarda daha az ağırlık kaybı oluşmasına neden olmuş olabilir.

4. Sertleştirici kullanılan levhalarda; kalsiyum klorür ve demir klorür kullanılan levhaların ağırlık kayıpları arasında çok önemli bir farklılığın olmadığı gözlenmiştir. 1/3 odun çimento oranlı levhalarda, en fazla ağırlık kaybı kontrol grubu levhalardan elde edilirken en az ağırlık kaybı kalsiyum klorür kullanılan levhalardan elde edilmiştir. 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda ise en fazla ağırlık kaybı kontrol grubundan elde edilirken, diğer gruptaki ağırlık kayıpları birbirine yakın bulunmuştur. III. Pik'te (680-800 °C) demir klorür ve kalsiyum klorür kullanılan levhalar 730 °C'de maksimum bozunma sıcaklığına ulaşırken, kontrol ve alüminyum sülfat kullanılan levhalar ise 750 °C'de ulaşmıştır. Çimento ise maksimum bozunma sıcaklığına 780 °C'de ulaştığı gözlenmiştir.

5.2.6. Morfolojik Özelliklere Ait Sonuçlar

1. Silis dumanı kullanım oranının artmasıyla levha içerisindeki boşlukların azaldığı ve levhanın daha sıkı bir yapıya ulaştığı fakat aynı zamanda da $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin azaldığı ve C-S-H miktarının arttığı görülmektedir.

2. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve CaCl_2 kullanılan levhaları kontrole göre daha iyi bir hidrasyon reaksiyonu verirken, FeCl_3 sertleştiricisinin çimentonun hidrasyonunu bozduğu gözlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada; ferrokrom fabrikası atığı olan silis dumanın çimentolu yonga levha üretiminde çimentoya ikame olarak kullanılması, odun-çimento oranı, sertleştirici ve ağaç türlerinin çimentolu yonga levhanın fiziksel, mekanik, biyolojik, termal ve morfolojik özelliklerine olan etkisinin belirlenerek sanayide kullanılacak optimum üretim reçetesinin belirmesi amaçlanmıştır.

Kavak, ladin ve göknar odunlarından üretilen levhalarda CaCl_2 sertleştiricisi FeCl_3 ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 'den daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, en iyi sonuçlar CaCl_2 'ün silis dumanı ile birlikte kullanımı ile elde edilmiştir. Silis dumanı ile sertleştiricilerin belli oranlara kadar birlikte kullanımı levha özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlamaktadır.

Sertleştiricilerin etkinlik derecesi ağaç türü ve odun-çimento oranına göre farklılık gösterdiğinden üretimde dikkate alınmalıdır. Ayrıca sertleştiricilerin kullanım miktarının ağaç türü ve odun çimento oranına göre farklılık gösterebileceği için optimum değerlerin belirlenmesi için yeni araştırmalar yapılmalıdır. Bunun yanında, CaCl_2 ile FeCl_3 veya $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sertleştiricilerinin birlikte kullanımının levha kalitesi üzerindeki etkisi araştırılabilir.

%15 oranına kadar çimentoya ikame olarak silis dumanının kullanımı genel olarak levha özelliklerinde önemli iyileşmelere neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle çimentolu yongalevha üretiminde silis dumanının %15 oranına kadar kullanılması tavsiye edilebilir. Ancak, silis dumanı 1/3 odun-çimento oranlı kavak levhaların direncini düşürdüğünden bu levhalarda kullanılması önerilmemektedir. 1/3 Odun-çimento oranlı levhalara göre 1/2 odun-çimento oranlı levhalarda silis dumanın daha fazla etkili olduğu gözlenmiştir. Silis dumanı kullanım oranının etkisi; ağaç ve sertleştirici türü ile odun-çimento oranına göre değişiklik gösterdiği için silis dumanı kullanım oranı belirlenirken bu faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Deneme levhalarının preslenme işlemi esnasında, bazı levha gruplarından levha dışına su çıkışı olduğu ve su ile birlikte bir miktar çimentonun da çıktığı gözlenmiştir. Bu durum; levhada direnç ve yoğunluk kayıplarına neden olup, istenmeyen bir durumdur. Odun-çimento ve silis dumanı oranı ile ağaç ve sertleştirici türünün levhadan çıkan su miktarını etkilediği gözlenmiştir. Bu nedenle, su miktarı hesaplanırken bu faktörlerin de

göz önünde bulundurulması üretilecek levha kalitesi açısından önem arz etmektedir. Bunun yanında; levhada odun miktarın artmasıyla levha kalınlığının da arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, pres basıncı miktarının belirlenmesinde odun-çimento oranı da dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

Silis dumanın çimentolu levhaların özelliklerini iyileştirmesi yanında, sera gazı salınımının ve çevre kirliliğine neden olan atık ürün miktarının azalması, atıkların saklanması kullanılan enerjinin tasarrufu gibi önemli katkılar da söz konusudur. Ayrıca, silis dumanın çimento yerine kullanılması ile levhada çimento kullanımı azalacağı için çimentonun öğütülmesinde harcanan enerji ve zamandan tasarruf sağlanacaktır.

Kuru birim ağırlığı 2320 kg/m^3 olan normal betonların ısı iletim katsayıları 1.03-1.45 W/mK arasında, tuğla duvarının ısı iletim katsayısı 0.81 W/mK, iç sıva kireç çimento harcının ısı iletim katsayısı 0.87 W/mK ve dış sıva kireç çimento harcının ısı iletim katsayısının ise 1.4 W/mK olarak belirtilmektedir. Deneme levhalarının inşaat elemanlarına göre yüksek izolasyon (0.31-0.46 W/mK) ve düşük yoğunluk (1200 kg/m^3), mantar çürüklüğüne karşı yüksek dayanım, yoğunluğuna göre daha iyi mekanik ve yüksek boyutsal kararlılık özellikleri yanında formaldehit gibi insan sağlığını ve çevreyi tehdit eden zararlı bileşikler içermediğinden dolayı inşaat sektöründe kullanım oranının artması beklenmektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemin fabrikaya uyarlanmasında ekstra bir yatırım maliyeti gerektirmemesi, hatta maliyetlerin aşağıya çekilebilmesi ve daha yüksek levha özellikleri elde edilebilmesi bu çalışmanın uygulanabilirliğini artıracakları düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Anonim-1, Türkiye’de İnşaat Sektörü Üzerine bir Değerlendirme, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü, Ankara, 2008.
2. Candemir, B., Beyhan, B. ve Karaata, S., İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nano Teknoloji Stratejileri, İMSAD ve TÜSİAD ortak yayını, İstanbul. 2012.
3. Anonim-2, İnşaat Sektörü Analizi; Küresel Güvenlik Tehditler-Ekonomilerde Yavaşlama-Piyasalarda Tedirginlik, Türkiye Mütahhitler Birliği, Ankara, 2014.
4. Shulman, S., Recycled Architecture, *Technology Review*, 98 (1995) 18-19.
5. Aslan, M., İçme Suyu Arıtma Çamurunun Çimentolu Yongalevha Üretiminde Kullanımı, K.T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2007.
6. Van Elten, E.J., Cement Bonded Particleboard (CBPB) and Wood Strand Cement Board (eltoboard): Production, Properties and Applications, 10th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), 15-18 Ekim 2006, São Paulo, Brezilya, 1-10.
7. Ahn, W. Y. ve Moslemi, A. A., SEM Examination of Wood-Portland Cement Boards, *Journal of Wood Science* 13,2 (1980) 77-82.
8. Simatupang, M.H. ve Geimer, R.L. Inorganic Binder for Wood Composites: Feasibility and Limitations. In: Proceeding of the Wood Adhesive Symposium. Madison, WI. (1990)169-176.
9. Simatupang, M.H., Kasim,A., Seddig, N. ve Smid, M., Improving the Bond between Wood and Gypsum. In: Proc. of the 2nd International Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference, University of Idaho, (1991) 61-69.
10. Oyagade, A.O., Compatibility of Some Tropical Hardwood Species with Portland Cement, *Journal of Tropical Forest Science*, 6,4 (1994) 387-396.
11. Badejo, S.O.O., Influence of Process Variables on Properties of Cement-bonded Particleboards from Mixed Tropical Hardwoods. Ph.D. Thesis, Federal University of Technology, Akure, Ondo State, Nijerya, 1999.
12. Ajayi, B., Strength and Dimensional Stability of Cement-bonded Flakeboard Produced from Gmelina arborea and Leucaena leucocephala. Ph.D. thesis, Federal University of Technology, Akure, Ondo State, Nijerya, 2000.

13. Akbulut, H. ve Gürer, C., Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, Sayı 261 (2006) 3943-3960.
14. Koca, C., Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı, 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Bildiri Kitabı 1996, İstanbul, 381-394.
15. Yeğinobalı, A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar-Ge Enstitüsü, ISBN 975-8136-14-3, Bilkent/Ankara, 2009.
16. Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, 2003.
17. Akçaözoğlu, K., Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı ve Birim Kısalma Üzerindeki Etkisi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 2007.
18. Tonak, T., Sipahi, F., ve Y. Atay, “Elektrometalurji Sanayii Atık Ürünü Silis Dumanı'nın Çimento Üretiminde Kullanılması”, TMMOB İnşaat Müh. Odası, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, , Ankara, Bildiriler Kitabı, (1997) 169-183.
19. Malhotra, V.M., Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Handbook, Nawy Edward G. CRC Press, New York, (1997) 27-36.
20. Duval, R., ve Kadri, E.H., “Influence Of Silica Fume on The Workability and Compressive Strength of High Performance Concretes”, Cement and Concrete Research, (1998) 533-547.
21. Toutanji, H., Delatte, N., Aggoun, S., Duval, R., ve Danson, A., Effect of Supplementary Cementitious Materials on the Compressive Strength and Durability of Short-Term Cured Concrete”, Cement and Concrete Research (2004) 311-319.
22. TS EN 633, Çimentolu Yongalevhalar- Tarif ve Sınıflandırmalar, TSE, Ank, 1999.
23. Kalaycıoğlu H. ve Özen, R., , Yongalevha Endüstrisi Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları Yayın No 89 Trabzon, 2012.
24. Wolfe, R.W. ve Gjinolli, A., Cement Bonded Wood Composites as an Engineering Materials, in the Use of Recycled Wood and Paper in Buildings Applications, USD A Forest Service and Forest Product Society Proceedings No: 7286, (1997), 84-91.
25. Aro, M., Wood Strand Cement Board, 11th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference, November 5-7 2008, Madrid, İspanya.
26. <http://www.betopan.com.tr/> 14.02.2015
27. <http://www.hekimyapi.com/> 14.02.2015

28. <http://www.acarla.com.tr/> 14.02.2015
29. Kuroki, Y., Nagadomi, W., Sasaki, H., Kawai, S. ve Eusebio, D., Cement Bonded Board Industry and Market in Japan and New Technology Developments, in Proceedings 4th International Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials, Medison, Ed A.A Moslemi, Forest Products Research Society, (1995) 105- 112.
30. Van Elten, G.J., Innovation in the Production of Cement-Bonded Particleboard and Wood-Wool Cement Board, 5th International Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference, 23-25 Eylül 1996, Washington, USA, 1-10.
31. Moslemi, A., 2008. Technology and Market Considerations for Fiber Cement Composites, 11th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), Madrid, İspanya, 05-07 Ekim 2008, 113-129.
32. <http://www.certainteed.com/products/vinyl-siding/vinyl-carpentry-trim> 10.02.2015
33. <https://www.jameshardie.com/Why-Hardie/Performance-and-Durability>. 10.02.2015.
34. Ståhl, A, 2011. Cement-bonded wood composite as structural element in internal walls, Luleå University of Technology Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Master of Science Architecture, Viyana, Avusturya.
35. Van Elten, E.J., Production of Wood Wool Cement Board and Wood Strand Cement Board (eltoboard) on One Plant and Applications of the Products, 10th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), 15-18 Ekim 2006, São Paulo, Brezilya, 206-217.
36. <http://www.kadantcarmanah.com/productinformation/equipment/> 12.10.2014
37. Van Elten, G.J., New Developments in the Field of Wood Cement Products, Applications and Production Technologies, 10th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), 21-24 Eylül 2010, Aalborg, Danimarka, 260-270.
38. Van Elten, G.J., Wood Wool Cement Boards Used for Low Cost Houses and Other Applications, World Consultation on Wood based Panels, Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Evening Lecture, New Delhi, Hindistan, 6-16/2/1975.
39. Anonim-3, Wood Wool Cement Boards (Properties, Applications and Production Technology), www.eltomation.com, Ekim 2014.
40. Ruckert, M., Träullit Large Wall Elements, 11th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), Madrid, İspanya, Ekim 2008, 163-168.
41. TS 1351, Lif, Yonga ve Talaş İmalinde Kullanılan Odun, TSE, Ankara, 1973.

42. Kalaycıoğlu H., Sahil Çamı (PinusPinaster) Odunlarının Yongalevha Üretiminde Kullanılması İmkanları, Doktora Tezi, KTÜ FBE, Trabzon, 1991.
43. Sanderman, W., Preusser, H.J., ve Schwiens, W., The Effect of Wood Ekstractives on the Setting of Cement-bonded Wood Materials, Holzforschung, 14,3 (1960) 70-77.
44. Miller, D.P. ve Moslemi, A.A., Wood-Cement Composites: Species and Heartwood Sapwood Effects on Hydration and Tensile Strength, Forest Products Journal 41,3 (1991) 9-14.
45. Weatherwax, R.C. ve Tarkow, H., Effect of Wood on the Setting of Portland Cement,Forest Products Journal 14, 12 (1964) 567-570.
46. Papadopoulos, N.A., An Investigation of the Suitability of Some Greek Wood Species in Wood-Cement Composites Manufacture, Holz Roh Werkst, 65 (2007) 245–246.
47. Fan, M.Z., Ndikontar, M.K., Zhou, X.M., ve Ngamveng, G.N., Cement-bonded Composites made from Tropical Woods: Compatibility of Wood and Cement. Construction and Building Materials 36,1 (2012) 135-140.
48. Semple, K.E. ve Evans, P.D., Adverse Effects of Heartwood on the Mechanical Properties of Wood-Wool Cement Boards Manufactured from Radiata Pine Wood, Wood Fibre Science, 32,1 (2000) 37-43.
49. Cabangon, R.J., Eusebio, D.A., Soriano, F.P., Cunningham, R.B., Donnelly, C., ve Evans, P.D., Effect of Post-Harvest Storage on the Suitability of Acacia mangium for the Manufacture of Wood-Wool Cement Boards, Pacific Rim Bio-based Composites Symposium, Australian National University, (2000) 47-56.
50. Schwarz, H.G. ve Simatupang, M.H., , Suitability of Beech for Use in the Manufacture of Wood Cement, Holz als Roh- und Werkstoff, 42,7 (1984) 265-270.
51. Sundi, R., Chew, L.T. ve Ong, C.L., 1989. Storage Effects of Rubberwood on Cement Bonded Particleboard, Journal of Tropical Forest Science, 1,4, 365-370.
52. Joyce, T., W. ve Aravamuthan, R., Center for Nonwood Fibers, Non-Wood Fibers Center at WMU, 2005, www.wmich.edu.
53. Ling, F.M., Yamauchi, H., Pulido, R.O., Tamura, Y., Sasaki, H. ve Kawai, S., Manufacture of Cement-bonded Boards from Wood and Other Lignocelluloses Materials: Relationships between Cement Hydration and Mechanical Properties of Cement-bonded Boards Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region Proceedings, Canberra, Avustralya, 2000.

54. Warden, P.E.G., Savastano, H., ve Coutts, R. S. P., Fibre-Cement Composites from Brazilian Agricultural and Industrial Waste Materials, Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region, Canberra Avusturalya, (2000) 55-61.
55. Fernandez E.C. ve Taja-on, V.P., The Use and Processing of Rice Straw in the Manufacture of Cement-bonded Fibreboard. In: Evans, PD, editor. Proceedings of the Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region, Canberra, Avusturalya, (2000) 49-54.
56. Soroushian, P., Aouadi, F., Chowdhury, H., Nossoni, A. ve Sarwar, G., Cement-bonded Straw Board Subjected to Accelerated Processing. Cement and Concrete Composites, 26 (2004) 797-802.
57. Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B. ve Cheul Shin, U., Development of Coconut Coir-based Lightweight Cement Board, Construction and Building Materials; 21,2, (2007) 277-288.
58. Demirbaş, A. ve Aslan, A., Effects of ground hazelnut shell, wood and tea waste on the mechanical properties of cement, Cement and Concrete Research, 28,8 (1998) 1101-1104.
59. Bilba, K, Arsène, M.A. ve Ouensanga, A., Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composite, Cement and Concrete Composites, 25, (2003) 91-96.
60. Jaraboa, R., Montea, M.C., Fuentea, E., Santosb, S.F. ve Negro, C., Corn Stalk from Agricultural Residue used as Reinforcement Fiber in Fiber-Cement Production, Industrial Crops and Products, 43, (2013) 832- 839.
61. Qi, H., Cooper, P.A. ve Wan H., Effect of Carbon Dioxide Injection on Production of Wood Cement Composites from Waste Medium Density Fiberboard (MDF), Waste Management, 26 (2006) 509-515.
62. Olorunnisola, A.O. ve Adefisan, O.O., Trial Production and Testing of Cement-bonded Particleboard from Rattan Furniture Waste, Wood Fibre Science, 34,1 (2002) 116-124.
63. Kasai, Y., Kawamura, M. ve Zhou, J.D., Study on Wood Chip Concrete with Used Timber. In: Malhotra VM, editor. Recent Advances in Concrete Technology: Proceedings: Fourth CANMET/ACI/JCI International Conference, SP 179, Tokushima, Japonya, (1998) 905-928.
64. Huang, C. ve Cooper, P.A., Cement-bonded Particleboard using CCA-treated Wood Removed from Service, Forest Products Journal, 50,6 (2000) 49-56.
65. Ashori, A ., Tabarsa, T. ve Amos, F., Evaluation of Using Waste Timber Railway Sleepers in Wood-Cement Composite Materials, Construction and Building Materials 27, (2012) 126-129.

66. Oyagade, A.O., Effects of Extractive Removal from Gmelina arborea Wood on The Reaction of Ordinary Portland Cement-Wood Water System, Africa Journal of Science, 2,1 (1998), 54-63.
67. Özgür, S., Türkiye Çimento Sanayii ve Üretilen Çimento Türleri, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD, Balıkesir, 1996.
68. www.cembureau.eu “Activity Report 2013”, The European Cement Association, 16.11.2014
69. Troxell, G.E., Davis, H.E. ve Kelly, J.W., Composition and Properties of Concrete, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, ABD, 1968.
70. Uğurlu, A., Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Puzolanik Malzemeler İle Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kimya Mühendisliği ABD, Eskişehir, 2009.
71. Erdoğan, T.Y., Çimentolar: Beton Oluşturan Malzemeler, THBB yayını, Ankara, 1995.
72. Şafak, A., Çimento Minerolojisinin ve Petrografisinin Çimento Teknolojisine Katkısı, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Niğde, 2014.
73. Uğurlu, A., Farklı Çimentoların Basınç ve Çekme Dayanımı Yönünden Betondaki Davranışı, Devlet Su İşleri (DSİ), Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1997.
74. Mindess, S. ve Young, J.F., Concrete, Prentice - Hall Inc., New Jersey, ABD, 1986.
75. Erdoğan, T.Y., Beton Malzemeleri, Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB), İstanbul, 2004.
76. Taşkın, C., Türkiye’de Çimento ve Hammadde Kaynakları, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 1994.
77. Postacıoğlu, B., Beton: Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1986.
78. Kosmatka, S.H., Voigt, G.F. ve Taylor, P., Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, ABD (2006) 69-104.
79. Zhengtian, L. ve Moslemi, A.A., Effect of Western Larch Extractives on Cement Setting, Forest Products Journal 36,1 (1986) 53-54.

80. Thomas, N.L. ve Birchall, J.D., The Retarding Action of Sugars on Cement Hydration, Cement and Concrete Research 13,6 (1983) 830-842.
81. Miller, D.P. ve Moslemi, A.A., Wood-Cement Composites: Effect of Model Compounds on Hydration Characteristics and Tensile Strength, Wood and Fiber Science 23, 4 (1991) 472-482.
82. Gartner, E.M., Young, J.F., Damidot, D.A. ve Jawed, I., Hydration of Portland Cement, Structure and Performance of Cements, Spon Press, Londra, İngiltere, (2002) 57-113.
83. Juenger, M.C.G. ve Jennings, H.M., New Insights on the Effects of Sugar on the Hydration and Microstructure of Cement Pastes, Cement and Concrete Research 32,3 (2002) 393-396.
84. Bruere, G., Set-Retarding Effects of Sugars in Portland Cement Pastes. Nature 212 (5061): (1966) 502-503.
85. Yasuda, S., Ima, K. ve Matsushita, Y., Manufacture of Wood-Cement Boards. VII: Cement-Hardening Inhibitory Compounds of Hannoki (Japanese alder, *Alnus japonica* Steud.) Journal of Wood Science, 48,3 (2002) 242-244.
86. Baoguo, M., Yonghe, X., Rongzhen, D., Influence of Glucide and its Ramification on Cement Hydration Process, Bulletin of the Chinese Ceramic Society 4 (2005) 45-48.
87. Sandermann, W. ve Brendel, M., Die 'Zementvergiftende' Wirkung von Holzinhaltsstoffen und ihre Abhängigkeit von der Chemischen Konstitution, Holz als Rohund Werkstoff 14,8 (1956) 307-313.
88. Govin, A., Peschard, A., Fredon, E. ve Guyonnet, R., New Insights into Cement Interaction, Holzforschung 59,3 (2005) 330-335.
89. Boustingorry, P., Grosseau, P., Guyonnet, R. ve Bernard, G., The Influence of Wood Aqueous Extractives on the Hydration Kinetics of Plaster, Cement and Concrete Research 35,11 (2005) 2081-2086.
90. Weber, H., International Construction System. In: Handbook of Element Construction with Cement Boards and Other Types of Board. Bison-Werke: Springer; (1985) 93-104.
91. Bever, M.B., Wood-Cement Boards in Encyclopedia of Materials Science and Engineering. 1st Edition, Pergamon Press Limited, İngiltere, (1986) 5399-5402.
92. Jorge, F.C., Pereira, C. ve Ferreira, J.M.F., Wood-Cement Composites: a Review, Holz als Roh-und Werkstoff, 62 (2004) 370-377.

93. Simatubang, M.H., Geimer, A. ve Robert, L., Inorganic Binder for Wood Composites: Feasibility and Limitation, Wood Adhesives, Forest Product Societies, Madison, Wisconsin, (1990) 167-176.
94. Wei, Y.M., Zhou, Y.G. ve Tomita, B., Hydration behavior of Wood Cement-based Composite I: Evaluation of Wood Species Effects on Compatibility and Strength with Ordinary Portland Cement, Journal of Wood Science, 46, (2000) 296-302.
95. Sanderman, W., Preusser, H.J., ve Schwiens, W., The effect of Wood Ekstraktives on the Setting of Cement-bonded Wood Materials, Holzforschung, 14, 3 (1960) 70-77.
96. Moslemi, AA, Garcia, J.F., Hofstrand, A.D.,. Effect of Various Treatments and Additives on Wood-Portland Cement-Water Systems, Wood Fiber Science, 15(2), (1983) 164-176.
97. Hofstrand, AD., Moslemi, A.A. ve Garcia, J.F., Curing Characteristics of Wood Particles From Nine Northern Rocky Mountain Species Mixed with Portland Cement, Forest Products Journal, 34, 2 (1984), 57-61.
98. Garcia J.F., An Evaluation of the Rate of Heat Evolution of Portland Cement, Northern Rocky Mountain Species, MS Thesis, University of Idaho, Moskova, Rusya, 1981.
99. Okino, E.Y.A., de Souza, M.R., Santana, M.A.E., Alves, M.V.S., de Sousa, M.E. ve Teixeira, D.E., Cement-bonded Wood Particleboard with a Mixture of Eucalypt and Rubberwood, Cement & Concrete Composites 26, (2004) 729–734.
100. Okino, E.Y.A., De Souza, M.R., Santana, M.A.E., Alves, M.V.A, De Sousa, M. E., Teixeira, D.E, Physico-Mechanical Properties and Decay Resistance of Cupressus Spp. Cement-Bonded Particleboards, Cement & Concrete Composites 27 (2005) 333–338.
101. Lee., A. ve Hong, Z., Compressive Strenght of Cylindrical Samples as an Indicator of Wood-Cement Compatibility, Forest Products Journal, 36,11-12 (1994), 59-62.
102. Zhengtian, L. ve Moslemi A.A., Influence of Chemical Addivites on the Hydration Characteristics of Wastern Larch Wood-Cement-Water Mixtures, Forest Products Journal, 35(7/8), (1985) 37-43.
103. Semple, K.E. ve Evans, P.D., Screening Inorganic Additives for Ameliorating the Inhibition of Hydration of Portland Cement by the Heartwood of Acacia mangium, Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region Proceedings of a workshop held at Rydges Hotel, (2000), Canberra, Avusturalya.
104. Soriano, F.P., Eusebio, D.A., Cabangon, R.J., Alcachupas, P.L. ve Evans, P.D., The Effect of Wood-cement Ratio and Cement Setting Accelerators on The Properties of Wood Wool Cement Board Made from Acacia Magnium, Forest Products Research and Development Institute Journal, 25, (1997) 67–74.

105. Eusebio, D., Cabangon, R., Soriano, F. ve Evans, P.D., Manufacture of Low-Cost Wood-Cement Composites in the Philippines Using Plantation Grown Australian species I. Eucalypts. Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region Proceedings of a Workshop held at Rydges Hotel, (2000), Canberra, Avusturalya.
106. Sulastiningsih, I.M., Nurwati, Murdjoko, S. ve Kawai, S., The Effects of Bamboo:Cement Ratio and Magnesium Chloride (MgCl₂) Content on the Properties of Bamboo–Cement Boards, Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region Proceedings of a workshop held at Rydges Hotel, (2000), Canberra, Avusturalya.
107. Berger, L. Young, J.F. ve Leung, K., Acceleration of Hydration of Calcium Silicates by Carbon Dioxide Treatment, Nature Physical Science, 240, (1972) 16-18.
108. Hermawan, D., Hata, T., Kaiwa, S., Nagadomi, W., Kuroki, Y., Manufacturing Oil Palm Fronds Cement-bonded Board Cured by Gaseous or Supercritical Carbon Dioxide. Journal of Wood Science, 48,1 (2002) 20-24.
109. Qi, H., Cooper, P.A. ve Hooton, D., The Investigation of Basic Processes of Rapidly Hardening Wood-Cement-Water Mixture with CO₂, European Journal of Wood and Wood Products, 68, (2010) 35–41.
110. Asokan, P., Saxena, M. ve Asolekar, S.R., Solid Wastes Generation in India and Their Recycling Potential for Developing Building Materials, Building and Environment, 42, (2007) 2311-2320.
111. Lertsutthiwong, P., Khunthon, S., Siralermukul, K., Noomun, K. ve Chandkrachang S., New Insulating Particleboards Prepared from Mixture of Solid Wastes from Tissue Paper Manufacturing and Corn Peel, Bioresource Technology, 99 (2008) 4841–4845.
112. <http://sksv.org/tr/turkkagit.php>, Türk Kâğıt Sanayi, 10 Nisan 2015.
113. Girones, J., Pardini, G., Vilaseca, F., Pelach, M.A. ve Mutje, P., Recycling of Paper Mill Sludge as Filler/Reinforcement in Polypropylene Composites, Journal of Polymers and the Environment, 18,3 (2010) 407–412.
114. Fernandez, E. C., Lamason, C.R.G. ve Delgado, T.S., Cement-bonded Boards from Waste Water Treatment Sludge of a Recycled Paper Mill., Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region Proceedings of a workshop held at Rydges Hotel, 2000, Canberra, Avusturalya.
115. Fava, G., Ruello, M. L. ve Corinaldesi, V., Paper Mill Sludge Ash as Supplementary Cementitious Material, Journal of Materials in Civil Engineering, 23,6 (2011) 772-776.
116. Dönmez Çavdar, A., Yel, H., Kalaycıoğlu, H., ve Aras, U., Kâğıt Fabrikası Arıtma Suyu Çamuru ile Üretilen Çimentolu Yongalevhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, (2012) 69-73.

117. Mielenz, R.C., Mineral Admixtures-History and Background, Concrete International, ACI, (1983) 34-42.
118. Christy, C.F. ve Tensing, D., Effect of Class-F Fly Ash as Partial Replacement with Cement and Fine Aggregate in Mortar, Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 17, (2010) 140-144.
119. Subaşı, S., İşbilir, B. ve Ercan, İ., Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, Politeknik Dergisi, 14,2 (2011) 141-148.
120. Liu, J., Ma, X. ve Li, Y., Impact of Admixture on Physical and Mechanical Properties of Straw-cement-based Composite Material, Journal of Liaoning Technical University 29,2 (2010) 293-295.
121. Beycioğlu, A., Doğan, D., Çakır, C., Subaşı, S. ve Başyigit, C., Silis Dumanın Beton Teknolojisinde Kullanımı, MYO-OS 2010- Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, 21-22 Ekim 2010, Düzce.
122. Ekinci, C.E. ve Yeğınobalı, M.A., Silis Dumanı Katkılı Betonların Çarpma Dayanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Bildiri Kitabı, İstanbul, (1996) 279-289.
123. Taylor, H.F.W., Composite Cement, Cement Chemistry, Academic Press, p.459, 1990.
124. Yeğınobalı, A. ve Erdoğan, K., Çimento ve Betonda Mineral Katkılar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı Çimento ve Beton Araştırma- Geliştirme Enstitüsü Seminer Notları-4, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı, Ankara, 1999.
125. Yazıcı, Ş., The Mechanical Properties and Durability of High Strength Concrete with Silica Fume and Fly Ash, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 1996.
126. Yeğınobalı A, Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, Ankara, (1993) 149-167.
127. Rixom, M. ve Mailwaganam, N., Chemical Admixtures for Concrete, E&FnSpon, İngiltere, 1999.
128. Duval, R. ve Kadri, E.H., Influence of Silica Fume on The Workability and The Compressive Strength of High-Performance Concretes, Cement and Concrete Research, 28,4 (1998) 533-547.
129. Biblis, E.J. ve Lo, C., Sugars and Other Wood Extractives: Effect on the Setting of Southern Pine-Cement Mixtures, Forest Products Journal, 18,8 (1968) 28-34.

130. Semple, K.E. ve Evans, P.D., Wood-Cement Composites: Suitability of Western Australian Mallee Eucalypt, Blue Gum and Melaleucas, RIRDC, Avustralya, 2004.
131. Bejo, L., Takats, P., ve Vass, N., Development of Cement Bonded Composite Beams, ActaSilvatica & Lingaria Hungarica, 1 (2005) 111-119.
132. Ma, L.F., Yamauchi, H., Pulido, O.R., Sasaki, H. ve Kawai, S., Production and Properties of Oriented Cement-bonded Boards from Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region, Canberra, Australia, (2000) 140-147.
133. Cabangon, R.J., Cunningham, R.B. ve Evans, P.D., Manual Strand Orientation as a Means of Improving the Flexural Properties of Wood-Wool Cement Boards in the Philippines, Forest Products Journal, 52,4 (2002) 53-59.
134. Meneeis, C.H.S., Castro, V.G. ve Souza, M.R., Production and Properties of a Medium Density Wood-Cement Boards Produced with Oriented Strands and Silica Fume, Maderas: Ciencia y Tecnologia, 9,2 (2007) 115-116.
135. Papadopoulos, A.N., Ntalos, G.A. ve Kakaras, I., Mechanical and Physical Properties of Cement-Bonded OSB, European Journal of Wood and Wood Products, 64 (2006) 517-518.
136. Lee, A.W.C., Effect of Cement-Wood Ratio on Bending Properties of Cement-Bonded Southern Pine Excelsior Board, Wood Fibre Science, 17, (1985) 361-364.
137. Lee, A.W.C ve Hong, Z., Compressive Strength of Cylindrical Samples as an Indicator of Cement Wood Compatibility, Forest Products Journal, 36,11-12 (1986) 87-90.
138. Marzuki, A. R., Rahim, S., Hamidah, M. ve Ruslan, R.A., Effects of Wood-Cement Ratio on Mechanical and Physical Properties of Three-Layered Cement-Bonded Particleboards from *Leucaena Leucocephala*, Journal of Tropical Forest Science, 23,1 (2011) 67-72.
139. Papadopoulos, A. N., Natural Durability and Performance of Hornbeam Cement Bonded Particleboard, Maderas Ciencia y tecnología, 10,2 (2008) 93-98.
140. Oyage, A.O., Effect of Wood Cement Ratio on the Relationship between Cement bonded Particleboard Density and Bending Properties, Journal of Tropical Forestry Science, 2,2 (1990) 211-219.
141. Neville, A.M., A Study of Deterioration of Structural Concrete Made with High-alumina Cement, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, 25,3 (1963), 287-324.
142. Miyatake, A., Fiujii, T., Hiramatsu, Y., Abe, H. ve Tonosaki, M., Manufacture of Wood Strand-Cement Composite for Structural use, Wood-Cement Composites in the Asia Pacific Region, Canberra, Australia, (2000) 148-152.

143. Pablo, A., Geimer, R.L. ve Wood, J.E., Proceedings, Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials, Forest Products Society, Madison, Wis., 5(1997) 98-102.
144. Simatupang, M.H., Water Requirement for the Production of Cement-Bonded Particleboard, Holz Roh-und Werkstoff, 37 (1979) 379-382.
145. Johns, W.E., Rammon, R. M. ve Younquist, J., Chemical Effect of Mixed Hardwood Furnish on Panel Properties, Proceedings of the 19th Washington State Symposium on Particleboard, (1985) 363-377.
146. Moslemi, A.A. ve Pfister, S.C., The influence of Cement-Wood Ratio and Cement Type on Bending Strength and Dimensional Stability of Wood- Cement Composite Panels, Wood Fiber Science, 19, (1987) 165-175.
147. Fuwape, J.A., The effect of Cement-Wood Ratio on The Strength Properties of Cement- Bonded Particleboard from Spruce, Journal of Tropical Forest Products, 1, (1995) 49-58.
148. Sudin, R. ve Swamy N., Bamboo and Wood Fibre Cement Composites for Sustainable Infrastructure Regeneration, Journal of Materials Science, 41(2006) 6917-6924.
149. Karade, S.R., Irle, M.A. ve Maher, K., Assessment of Wood-Cement Compatibility: A New Approach. Holzforschung., 57,6 (2003) 672-680.
150. Karade, S.R., Optimisation of Water-Cement Ratio for Determination of Wood-Cement Compatibility, Proc. 9th NCB International Seminar on Cement and Building Materials, New Delhi, 2, (2005) 353-360.
151. Öner, N., ve Aslan, S, Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) Odunun Teknolojik Özellikleri ve Kullanım Yerleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, ISSN: 1302-7085, Seri: A, Sayı: 1, (2002) 135-146.
152. Anşin, R. ve Özkan, Z.C., Tohumlu Bitkiler Odunsu Taksonlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No:167, Fakülte Yayın No: 19, Trabzon, 2006.
153. Yaltrık, F., Dendroloji Ders Kitabı II Angiospermae (Kapalı Tohumlular), Bölüm I, 2. Baskı, İstanbul, 1993.
154. Yaltrık, F. ve Efe, A., Dendroloji Ders Kitabı: Gymnospermae-Angiosperma, 2.Baskı II, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 465, İstanbul, 2000.
155. Atik, C., Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) ve Kağıt Sanayii, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1995.

156. Erten, P., Önal, S., ve Özer, S., Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri Üzerine Araştırmalar, İç Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Yayınları, Dergi serisi No: 79, Ankara, (1995) 51-74.
157. Öner, M.N., Kütahya-Gediz-Yağmurlar Yöresinde Doğal Olarak Yetisen Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Araştırmalar, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 1996.
158. Erkuloğlu, Ö.S., Doğu Ladini, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, El Kitabı Dizisi: 5, Muhtelif Yayınlar Serisi:58, Ankara, 1989.
159. Saatçioğlu, F., Silvikültür I, Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, Yayın No: 2187, Orman fakültesi Yayın No: 222, 2. Baskı, İstanbul, 1976.
160. Merve, N., Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, Fakülte Yayın No: 32, Trabzon, 2003.
161. Ay, N. ve Şahin, H., Doğu Ladini [*Picea orientalis (L.) Link.*] Öz Odun ve Diri Odununun İç Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22 (1998) 203-207.
162. Akyüz, M., Doğu Ladini [*Picea Orientalis (L.) Link.*] Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Orman Bakanlığı Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü (DKOA), İnkılâp matbaacılık, Yayın No: 3/3, Trabzon, 1997.
163. Anşin, R., Tohumlu Bitkiler, Gymnospermae (Açık Tohumlular), Cilt 1, KTÜ, Orman Fakültesi, Yayın No: 112/15, Trabzon, 1998.
164. Özdemir, H., Anadolu Gökmar Türleri (*Abies spp.*) Odunlarının Kimyasal Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
165. Aytuğ, B., Türkiye Gökmar Türleri Üzerinde Morfolojik Esaslar ve Anatomik Araştırmalar, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Cilt IX, Sayı II, (1959) 165-200.
166. Kayacık, H., Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği I. Cilt Gymnospermae (Açık Tohumlular), İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:2642/281, İstanbul, 1980.
167. Tan, H., Farklı Bölgelerde Yetişen Ladin ve Gökmar Tomruklardan Üretilmiş LVL ve Kontrplakların Bazı Teknolojik Özellikleri, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 2011.
168. TS EN 197-1, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Ankara, 2012.
169. <http://askalecemento.com.tr/>, 13.06.2013

170. <http://www.etimet.com/>, 13.06.2013
171. <http://www.dostelas.com.tr/urun.html> Alüminyum Sülfat Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri, 10.01.2014.
172. www.tekkim.com.tr/lib_g_sertifika/54.PDF Kalsiyum Klorür Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri, 10.01.2014.
173. http://www.tekkim.com.tr/lib_g_sertifika/51.PDF Demir (III) Klorür Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri, 10.01.2014.
174. TAPPI Test Methods, 1992-1993 TAPPI Pres, Atlanta, Georgia, USA, 1992.
175. Jayme, G., "Über die Herstellung von Holocellulosen und Zellstoffen mittels Natriumchlorit," Cellulose Chemistry and Technology, 20, (1942) 43-49.
176. Wise, L. E., Murphy, M. ve D'Addieco, A.A., Chlorite Holocellulose, Its Fractionation and Beating on Summative Wood Analysis and Studies on the Hemicellulose, Paper Trade Journal, 122,2 (1946) 35-43.
177. Çolak, S., Kontrplaklarda Emprenye İşlemlerinin Formaldehit ve Asit Emisyonu ile Teknolojik Özelliklere Etkileri, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
178. Sluiter A., Hames B., Ruiz R., Scarlata C., Sluiter J. ve Templeton D., Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass, Laboratory Analytical Procedures (LAP), National Renewable Energy Laboratory (NREL) Technical Report, Colorado-USA, 2011.
179. TS EN 322, Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının Tayini, TSE, Ankara, 1999.
180. TS EN 323, Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini, TSE, Ankara, 1999.
181. ASTM D1037, Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Based Fibres and Particle Panel Materials, ASTM, USA, 2006.
182. TS EN 317, Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, TSE, Ankara, 1999.
183. ASTM C 1113-09, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique), Annual Book of ASTM Standards; Vol. 15.01, American Society for Testing Materials, West Conshohocken: ASTM International, 2004.
184. TS EN 310, Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, TSE, Ankara, 1999.

185. TS EN 319, Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 1999.
186. TS EN 320, Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Vida Tutma Mukavemetinin Tayini, TSE, Ankara, 2011.
187. TS 432-1 (EN ISO 1478), Cıvatalar- Sac Cıvataları- Bölüm-1: Genel, TSE, Ankara, 2000.
188. EN 113, European Standard, Wood Preservatives – Test Method for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Destroying Basidiomycetes–Determination of Toxic Values, European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium, 1996.
189. TSE EN 120, Ahşap Esaslı Levhalar- Formaldehit Tayini- Ekstraksiyon Metodu ile Ayırma, TSE, Ankara, 1999.
190. Huş, S., Kavak Odununu Kimyevi Yönden Değerlendirme İmkanları, İÜ. Orman Fak. Dergisi, 9,2 (1959) 38-46.
191. Atik, C., Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) ve Kağıt Sanayi, İÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Müh. ABD, YL Tezi, İstanbul, 1995.
192. Öner, N.ve Aslan, S., Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) Odununun Teknolojik Özellikleri ve Kullanım Yerleri, SDÜ Orman Fak. Dergisi, Seri:A, Sayı: 1, (2002) 135-146.
193. Gücüş, M.O. ve Eroğlu, H., Türkiye’de Doğal Olarak Yetişen Titrek kavak Odunun (*Populus tremula L.*) Lif Morfolojisi ve Kimyasal Yapısının İncelenmesi, Düzce Üniv. Orman Fak. Dergisi, 9,1 (2013) 55-61.
194. Bostancı, Ş., Türkiye Doğu Ladini (*Picea orientalis (L.) Carr.*) Odununun Kimyasal Bileşimi ve Doğu Ladini ile Doğu Karadeniz Göknan (*Abies nordmanniana (Spach.)*) Yongalarından Elde Edilen Mekanik Kağıt Hamurunun Endüstride Kullanılma Olanakları. KTÜ Yay. No112, O.F. Yay. No:6, Trabzon, 1979.
195. Yıldız, S., Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik, Teknolojik, ve Kimyasal Özellikleri, KTÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, Trabzon, 2002.
196. Tank, T. Türkiye Kayın ve Gürgen Türlerinin Nötral Sülfite Yan Kimyasal (NSSC) Metodu ile Değerlendirme İmkanları, İÜ. Orman Fak. Ya. No:231, İstanbul, 1978.
197. Badger, P.C., Ethanol from cellulose: A General Review, Trends in New Crops and New Uses, Eds: J. Janick, A. Whipkey, V.A. Alexandria, ASHS Press, (2002) 17-21.
198. Tozluoğlu, A., Bioethanol Production via Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass: Wheat Straw, Corn Stalks And Hazelnut Husks, DÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Düzce, 2012.

199. Pettersen, R.C., The Chemical Composition of Wood, In: Rowell, Roger M., Ed. The Chemistry of Solid Wood. Advances in Chemistry Series 207, Chapter 2, Washington DC, American Chemical Society, 1984.
200. Uçar, G. ve Balaban, M., Hydrolysis of Polysaccharides with 77% Sulfuric Acid for Quantitative Saccharification, Turkish Journal Agriculture and Forestry, 27 (2003) 361- 365.
201. Hachmi, M.H. ve Moslemi, A.A., Effect of Wood pH and Buffering Capacity on Wood-Cement Compatibility, Holzforschung, 44,6 (1990) 425-430.
202. Roffel,E. ve Sattler, H., Studies on the Interaction between Lignoselülosics and Cement, Holzforschung, 45,6 (1991) 445-454.
203. Patil, S.G., Study on the Utilaziton of Some Waste Materials of Forests for Wood Cement Composites and Pulping, MSc Thesis, Dr. Yashwant Singh Parmar University of Horticulture Forestry, Hindistan, 1992.
204. Janusa, M.A., Champagne, C.A., Fanguy, J.C., Heard, G.E., Laine, P.L. ve Landry, A.A., Solidification/Stabilization of Lead with the Aid of Bagasse as an Additive to Portland Cement, Microchemical Journal, 65,3 (2000) 255-259.
205. Fischer, V.F., Wienhaus, O., Ryssel, M. ve Oldbrecht, J., The Water –Soluable Carbonhydrates of Wood and Their Influence on the Production of Lightweight Wood-Wools Boards, Holztechnologie, 15,1 (1974) 12-19.
206. Simatupang, M.H., Abbaureaktionen von Glukose, Cellobiose und Holz unter dem Einfluss von Portlandzementmörtel, Holzforschung, 40 (1986) 149-155.
207. Pehanich, J.L., Blankenhorn, P.R., Silsbee, M.R., Wood Fiber Surface Treatment Level Effects on Selected Mechanical Properties of Wood Fiber-Cement Composites. Cement and Concrete Research, 34, (2004) 59-65.
208. Miller, D.P., Wood-Cement Composites; Interactions of Wood Components with Portland Cement, PhD Thesis, University of Idaho, ABD, 1988.
209. Miller, D.P. ve Moslemi, A.A., Wood-Cement Composites: Effect of Model Compounds on Hydration Characteristics and Tensile Strength, Wood Fiber Science, 23,4 (1991) 472-482.
210. Zhou, Y. ve Kamdem, D.P., Effect of Cement/Wood Ratio on the Properties of Cement-bonded Particleboard using CCA-Treated Wood Removed From Service, Forest Products Journal, 52,3 (2002) 77-81.
211. Maminski, M.L., Krol, M.E., Jaskolowski, W. ve Borysiuk, P., Wood-Mineral Wool Hybrid Particleboards, European Journal of Wood and Wood Products, 69 (2011) 337–339.

212. Kantay, R., Kereste Kurutmada Bazı Temel Koşullar, Kurutma Kusurları ve Önleme Çareleri, Seri B, 27,2 (1977) 85-125.
213. Khayat, K.H. ve Aitcin, P.C., Silica Fume in Concrete: an Overview, American Concrete Institute, Detroit, ACI SP-132 (1992) 835-865.
214. TS EN 634-1, Çimentolu yonga levhalar- Özellikler- Bölüm 1: Genel özellikler, TSE, Ankara,1999.
215. Nasser, R.A, Al-Mefarrej, H.A., Abdel-Aal, M.A. ve Alshahrani, T.S., Effects of Tree Species and Wood Particle Size on the Properties of Cement-bonded Particleboard Manufacturing from Tree Prunings, Journal of Environmental Biology, 35, (2014) 961-971.
216. İstek, A. ve Gençer, A., Çimentolu Yonga Levha Özelliklerine Pomza Kullanımının Etkisi, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, SDÜ Orman Fakültesi, Ekim 2014, Isparta.
217. Das, S., Sara, A.K., Choudhury, P.K., Basak, R.K., Mitra, B.C., Todd, T. ve Lang, S.J., Effect of Steam Pretreatment of Jute Fiber on Dimensional Stability of Jute Composite, Applied Polymer Science, 76,11 (2000) 1652-1661.
218. Kim, J.W., Harper, D. P. ve Taylor, A.M., Effect of Extractives on Water Sorption and Durability of Wood–Plastic Composites, Wood and Fiber Science, 41,3 (2009) 279–290.
219. Sheshmani, S., Ashori, A. ve Farhani, F., Effect of Extractives on the Performance Properties of Wood Flour-Polypropylene Composites, Journal of Applied Polymer Science, 123, (2012) 1563–1567.
220. Ashori, A., Tabarsa, T. ve Sepahvand, S., Cement-bonded Composite Boards made from Poplar Strands, Construction and Building Materials, 26, (2011) 131–134.
221. Ashori, A., Tabarsa, T., ve Amosi, F., Evaluation of Using Waste Timber Railway Sleepers in Wood–Cement Composite Materials, Construction and Building Materials, 27 (2012) 126–129.
222. Tabarsa T. ve Ashori, A., Dimensional Stability and Water Uptake of Cement-bonded Wood Composite, Journal of Polymers and the Environment, 19,2 (2011) 518–521.
223. Yoneda, M. ve Nakatsubo, F., Effects of the Hydroxylation Patterns and Degrees of Polymerisation of Condensed Tannins on their Metal-Chelating Capacity, Journal of Wood Chemistry and Technology, 18, (1998) 193-205.
224. Ni, Y., Ng, A. ve Mosher, M., A Model Compound Study: The Formation of Coloured Metallic Extractive Complexes and Their Effect on the Brightness of TMP Pulp, Journal of Wood Chemistry and Technology, 19, (1999) 213-223.

225. Metha, P. K., Natural Pozzolans. In: Malhotra, V.M. Supplementary Cementing Materials for Concrete, Minister of Supply and Services Canada, (1987) 3-31.
226. Taylor, M.A. ve Fuessle, R.W., Effects of Accelerators on Stabilisation of K061 Hazardous Waste, Hazardous Waste and Hazardous Materials, 11, (1994) 529–539.
227. Yousof, M., Mollah, A., Vempati, R.K., Lin, T.C. and Cocke, D.L., The Interfacial Chemistry of Solidification/Stabilisation of Metals in Cement and Pozzolanic Material Systems. Waste Management, 15, (1995) 137–148.
228. TS EN 634-2, Çimentolu Yonga Levhalar - Özellikler - Bölüm 2: Kuru, Nemli ve Açık Hava Şartlarında Kullanılan Normal Portland Çimentosu (NPÇ) ile Yapıştırılmış Yonga Levhaların Özellikleri, TSE, Ankara, 2009.
229. Papadopoulos, A.N., Performance of Cement Bonded Boards Made From Maple Particles, Holz Roh Werkst 66, (2008) 385–387.
230. Özdemir, F., Tutuş, A. ve Bal, B.C., Yüksek Yoğunluklu Lif Levhanın Isı İletkenliği ve Limit Oksijen İndeksi Üzerine Yanmayı Geciktiricilerin Etkisi, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi 14 (2013) 121-126.
231. Örs, Y. ve Keskin, H., Ağaç Malzeme Bilgisi Ders Kitabı, KOSGEP Yayınları, Ankara, 2001.
232. Turgutalp, E.Ü. ve Örüng, İ., Çimento ve Kirecin Farklı Oranlarda Katılmalarıyla Üretilen Hafif Agregalı Betonların Özellikleri, Atatürk Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 23,1 (1992) 52-66.
233. Açık, C. ve Tutuş, A., Çeşitli Sentetik Yüzey Kaplamalarının Lif levhanın Isı İletkenliği Üzerine Etkisi, Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, ISSN: 1306-2182, 8,2 (2012) 1-8.
234. Rim, K. A., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilily, R.M. ve Queneudec, M., Influence of The Proportion of Wood on Thermal and Mechanical Performances of Clay-Cement-Wood Composites, Cement and Concrete Composite, 21,4 (1999) 269-276.
235. Onesippe, C., Passe-Counrin, N., Toro, F., Delvastro, S., Bila, K. ve Arsene, M.A., Sugar Cane Bagasse Fibres Reinforced Cement Composites: Thermal Considerations, Composites: Part A, 41, (2010) 549-556.
236. http://www.akcansa.com.tr/docs/20120216160047_teknik-notlar-3.pdf, Çimentonun Hidratasyonu, 15.02.2015.
237. Devecioğlu, A.G. ve Biçer, Y., Genleştirilmiş Kil Agregalı Betonların Isıl Özelliklerinin İncelenmesi, Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi 3,2 (2012) 75-82.
238. Karaağaçlıoğlu, İ.E., Karakaş, F., Boylu, F. ve Çelik, M. S., Development of Cellulosic Insulators with Various Mineral Additives, Separation Technologies for

Minerals, Coal and Earth Resources, edited by Young, C. A. ve Luttrell, G.H., ISBN 978-0-87335-357-1, the Society for Mining, Metallurgy and Exploration, (2012) 299-306.

239. Sudin, R., Shaari, K. ve Selamat, S., Cement Bonded Particleboard from Pre-soaked Oil Palm Trunk: Effects of Particle Size and Chemical Additive, Journal of Tropical Forest Products, 1, (1995) 71-77.
240. Sari, M., Prat, E. ve Labastire, J.F., High Strength Self-Compacting Concrete – Original Solutions Associating Organic and Inorganic Admixtures, Cement and Concrete Research, 29, (1999) 813-818.
241. Saval, J.M., Lapuente, R., Navarro, V. ve Tenza-Abril, A.J., Fire-Resistance, Physical, and Mechanical Characterization of Particleboard Containing Oceanic Posidonia Waste. Materiales de Construcción 64,314 (2014) 1-12.
242. El-Juhany, L. I., Aref, I. M. ve Wakeel, A.O., Evaluation of Using Some Available Lignocellulosic Agricultural Residues in Manufacturing Wood-Cement Boards in Saudi Arabia, In: the Proceedings of the International Conference on Date Palm, held at College of Agriculture and Veterinary Medicine, King Saud University (Qaseem Branch), 16-19 Eylül 2003, Buraidah, Suudi Arabistan, 281-291.
243. Dinwoodie, J.M. ve Paxton, B.H., The Long-Term Performance of Cement-Bonded Wood Particleboard, In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials—Second International Conference, Moskova, Rusya, 1991.
244. Pirie, B.J., Glasser, F.P., Schmitt-Henco, C. ve Akers, S.A.S., Durability Studies And Characterization of The Matrix and Fibre–Cement Interface of Asbestos-Free Fibre-Cement Products, Cement & Concrete Composites, (1990) 233–44.
245. Papadopoulos, A.N., Decay Resistance of Cement Bonded Oriented Strand Board, Bioresources, 1,1 (2006) 62-66.
246. De Souza, M.R., Geimer, R.L. ve Moslemi, A.A., Degradation of Conventional and CO₂-Injected Cement-Bonded Particleboard by Exposure to Fungi and Termites, Journal of Tropical Forest Products, 3,1 (1997) 63–69.
247. Atlee, J.L., Complications in Anesthesia, Elsevier Health Sciences, 2nd Edition, Bölüm 129, Sayfa 534, 2007.
248. Şahin, H.T., Filiz, M., Kaya, A.İ., Sütçü, A., Usta, P., Çiçekler, M., Bozkurt, C. 'Ahşap esaslı malzemelerden formaldehitemisyonu ve etkileri', Laminart, ISSN: 1303-037X, Nisan-Mayıs 2011, Sayı 73, 116-119.
249. Sümer, S., Başlangıç Halindeki Odun Çürümesinin Tespiti için Bir Yöntem, İÜ. Orman Fakültesi Dergisi, İstanbul, Seri B, 35,3 (1985) 37-41.

250. Uzun, B.B., Apaydin Varol, E., Ateş, F., Ozbay, N. ve Putun, A.E., Synthetic Fuel Production from Tea Waste: Characterization of Bio-oil and Bio-char, *Fuel*, 89, (2010) 176–184.
251. Cabrera, J.G. ve Lynsdale, C. J., The Effect of Superplasticisers on the Hydration of Normal Portland Cement, *Industria Italiana del Cemento*, 7-8 (1996) 532-541.
252. Shafiq, N. ve Nuruddin, M.F., Degree of Hydration of OPC and OPC/FA Pastes Dried in Different Relative Humidity, *Concrete Research Letters*, 1,3 (2010) 81-89.
253. Musa, N. M., Thermal Analysis of Cement Pasta Partially Replaced with Neem Seed Husk Ash, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, ISSN 2229-5518, 5,1 (2014) 1101-1105.
254. Almeida, A.E.F. ve Sichieri, E.P., Thermogravimetric Analyses and Mineralogical Study of Polymer Modified Mortar with Silica Fume, *Materials Research*, 9,3, (2006) 321-326.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Mersin'in Silifke ilçesinde doğdu. 2001 yılında Silifke Lisesi'nde eğitimini tamamladıktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2005 yılında bölüm üçüncüsü olarak lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2005-2006 eğitim-öğretim yılında KTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda İngilizce hazırlık okudu. Eylül 2007 ve Ekim 2008 tarihleri arasında Sokrates-Erasmus programıyla Avusturya/Viyana Bodenkultur Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Proses Mühendisliği Bölümü'ne görevlendirildi. Yüksek lisans eğitimini Haziran 2009 tarihinde tamamladıktan sonra doktora eğitimine başladı.

Ocak 2009 tarihinde Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmekte olup, İngilizce ve düşük seviyede de Almanca bilmektedir.