

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İÇME SUYU ATIK ÇAMURUNUN ÇİMENTOLU YONGALEVHA ÜRETİMİNDE
KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orm. End. Müh. Mustafa ASLAN

**OCAK 2007
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İÇME SUYU ARITMA ÇAMURUNUN ÇİMENTOLU YONGALEVHA
ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

Orm. End. Müh. Mustafa ASLAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Orman Endüstri Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15.01.2007
Tezin Savunma Tarihi : 31.01.2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
Jüri Üyesi : Prof Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ**

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

“İçme Suyu Atık Çamurunun Çimentolu Yongalevha Üretiminde Kullanımı” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmaların planlanmasında ve yürütülmesinde bilimsel desteğini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yardımlarından faydalandığım Sayın Hocam, Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’ na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma fikrini bizlere sunan sayın hocam, Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ’ ye teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan çalışmaya görüş ve önerileriyle katkı sağlayan ve değerli zamanlarını aldığım sayın hocam, Prof. Dr. Hakkı YAVUZ’ a ayrıca teşekkür ederim.

Deneme levhalarının üretiminde büyük destekleri olan Aşkale Çimento AŞ. Kalite Mühendisi Sayın Halil SÜNGÜN’ e şükranlarımı sunarım.

Araştırma boyunca tavsiyelerinden, bilgilerinden, tecrübelerinden yararlandığım ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan dostlarım, Erhan GÖKALP, Arş. Gör. Cenk Demirkır, Halil İbrahim ŞAHİN ve Arş. Gör. Alper KIZILTAŞ’ a çok teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım esnasında yardımlarını gördüğüm Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarının değerli çalışanlarına, akademik ve idari personeline ve emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, emeklerini asla ödeyemeyeceğim sevgili anneme ve babama, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ağabeylerime minnet duygularımı ifade etmek isterim.

Mustafa ASLAN

Trabzon, 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. Çimentolu Odun Kompozitlerinin Tanımı	6
1.3. Çimentolu Yonga Levha Üretiminin Tarihi Gelişimi	6
1.4. Yonga Levha Endüstrisinde Kullanılan Hammaddeler	8
1.4.1. Ağaç Malzeme	8
1.4.2. Yıllık Bitkiler	10
1.4.3. Çimento	11
1.4.3.1. Portland Çimentosu	11
1.4.3.2. Endüstride Çimento Üretimi	12
1.4.3.3. Çimentonun Hidratasyonu	13
1.4.4. Odunun Çimento ile Uyumunu	15
1.4.4.1. Çimentolu Yongalevha Kompozitlerinin Özelliklerini Etkileyen Faktörler	17
1.4.4.1.1. Odun ve Bitkisel Atık Tipi	17
1.4.4.1.2. Odun/Çimento Oranı	18
1.4.4.1.3. Odun Yongalarının Suda veya Kimyasal Maddelerde Çözünürlüğü	20
1.4.4.1.4. Setleştirici ilavesi	20
1.4.4.1.5. Su/Çimento Oranı	22
1.4.4.1.6. Çimentoya İkame Malzemelerin Kullanımı	22
1.4.5. Katkı Maddeleri	23
1.4.5.1. Üretim Esnasında CO ₂ Kullanımının Etkisi	24

1.4.6.	Sanayi Atıklarının Çimentolu Odun Kompozitleri Üretiminde Kullanımı ..	25
1.4.6.1.	Bakır Krom Arsenat (CCA) ile Emprenye Edilmiş Yongaların Çimentolu Odun Kompozitleri Üretiminde Kullanımının Etkisi	25
1.4.6.2.	Orman Ürünleri Sanayi Atıklarının Çimentolu Levha Üretiminde Değerlendirilmesi	27
1.5.	Trabzon İçme Suyu Kaynağı ve Arıtılması	28
1.6.	Yonga Levha Üretim Tekniği	36
1.6.1.	Çimentolu Yongalevha Üretim Teknolojisi	36
1.6.1.1.	Odun Deposu	36
1.6.1.2.	Yongalama	37
1.6.1.3.	Yongaların Elenme ve Depolanması	37
1.6.1.4.	Çimento ve Katkı Maddelerinin Hazırlanması	38
1.6.1.4.1.	Çimento	38
1.6.1.4.2.	Katkı Maddeleri	38
1.6.1.5.	Karıştırma İşlemi	39
1.6.1.6.	Şekillendirme – Presleme –Sertleştirme	39
1.6.1.7.	Olgunlaştırma Deposu ve Levhaların Kurutulması	41
1.6.1.8.	Levhaların Ebatlandırılma ve Depolanması	41
1.7.	Çimentolu Yongalevhaların Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları	42
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	45
2.1.	MATERYAL	45
2.1.1.	Ağaç Malzeme	45
2.1.1.1.	Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i> L.) Odunu Hakkında Genel Bilgiler	45
2.1.1.2.	Kızılağaç (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn. subsp. <i>Barbata</i>)	46
2.1.2.	Çimento ve İçme Suyu Arıtma Tesisi Atığı	47
2.1.3.	Katkı Maddeleri	48
2.1.3.1.	Alüminyum Sülfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$)	48
2.1.3.2.	Sodyum Silikat (Na_2SiO_2)	49
2.2.	Deneme Levhalarının Üretimi	50
2.2.1.	Ön Muamele İşlemleri	50
2.2.2.	Yongalama	51
2.2.3.	Eleme	51
2.2.4.	Yongaların Kurutulması	51

2.2.5.	Levha üretimi	52
2.2.5.1.	Çimento ile Karıştırma	52
2.2.5.2.	Kimyasal Maddeler ile Muamele	52
2.2.6.	Levha Taslağının Hazırlanması	53
2.2.7.	Levha Taslağının Preslenmesi	53
2.2.8.	Presleme Sonrası İşlemler	54
2.3.	Araştırma Yöntemi	55
2.3.1.	Kimyasal Analizlere Ait Yöntemler	55
2.3.1.1.	Soğuk Su ve Sıcak Su Çözünürlüğü	55
2.3.1.2.	Alkol-Benzen Çözünürlüğü	56
2.3.1.3.	%1'lik NaOH Çözünürlüğü	56
2.3.1.4.	pH Değerleri	57
2.3.2.	Fiziksel Özellikler	58
2.3.2.1.	Birim Hacim Ağırlık (Yoğunluk)	58
2.3.2.2.	Rutubet Miktarı	58
2.3.2.3.	Su Alma Miktarı	59
2.3.2.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı	59
2.3.3.	Mekanik Özellikler	60
2.3.3.1.	Eğilme Direnci	60
2.3.3.2.	Elastikiyet Modülü	61
2.3.3.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	62
2.3.3.4.	Vida Tutma Gücü	63
2.4.	İstatistik Yöntemler	64
3.	BULGULAR	65
3.1.	Kimyasal Özellikler	65
3.2.	Fiziksel Özellikler	65
3.2.1.	Rutubet Miktarı	65
3.2.2.	Birim Hacim Ağırlık	66
3.2.3.	Su Alma Miktarı	69
3.2.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı	71
3.3.	Mekanik Özellikler	74
3.3.1.	Eğilme Direnci	74
3.3.2.	Elastikiyet Modülü	76

3.3.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	79
3.3.4.	Vida Tutma Gücü	81
4.	İRDELEME	84
4.1.	Kimyasal Özellikler	84
4.2.	Fiziksel Özellikler	86
4.2.1.	Rutubet Miktarı	86
4.2.2.	Birim Hacim Ağırlık	87
4.2.3.	Su Alma Miktarı	89
4.2.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı	91
4.3.	Mekanik Özellikler	95
4.3.1.	Eğilme Direnci	95
4.3.2.	Elastikiyet Modülü	97
4.3.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	99
4.3.4.	Vida Tutma Gücü	101
5.	SONUÇLAR	104
5.1.	Kimyasal Özellikler	104
5.2.	Fiziksel Özellikler	104
5.2.1.	Rutubet Miktarı	104
5.2.2.	Birim Hacim Ağırlık	105
5.2.3.	Su Alma Miktarı	105
5.2.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı	106
5.3.	Mekanik Özellikler	106
5.3.1.	Eğilme Direnci	106
5.3.2.	Elastikiyet Modülü	107
5.3.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	107
5.3.4.	Vida Tutma Gücü	108
6.	ÖNERİLER	109
7.	KAYNAKLAR	111
	ÖZGEÇMİŞ	121

ÖZET

Bu çalışmada, odunsu hammadde olarak Doğu Ladini (*Picea orientalis*) ve kontrplak fabrikasında atık olarak ortaya çıkan Kızılağaç türü (*Alnus glutinosa*) tomruk çekirdekleri kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak çimento ve çimento kullanım oranını azaltmak amacıyla %0-5-10-15 oranlarında içme suyu arıtma çamuru kullanılmıştır. Üretilen çimentolu yongalevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar düzeyinde gerçekleştirilen çalışmada standart Portland PÇ 32,5 ve 42,5 çimentosu kullanılmıştır.

Yongalar ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış şekilde hazırlanmıştır. Ön işlem uygulanan yongalar 24 saat süre ile soğuk suda bekletilmiş, sudan çıkarıldıktan sonra hava kurusu hale gelinceye kadar laboratuvarında ince bir tabaka halinde serilerek doğal kurutulmuştur. Bu sayede içerisindeki basit şeker oranı azaltılmaya çalışılmıştır.

Levhalarda, su alma, kalınlık artımı, rutubet ve özgül ağırlık gibi fiziksel özellikler, eğilme direnci, elastikiyet modülü, çekme direnci gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Levhalar üretilmeden önce yongaların soğuk su, sıcak su, alkol benzen çözünürlüğü, %1'lik NaOH ve pH testleri gibi kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; üretilen çimentolu yongalevhaların fiziksel özellikleri standart değerlerde iken, mekanik özellikleri standart değerleri karşılamamaktadır. Ancak uygulanan ön işlemler ile levha gruplarının bazıları standartlara uygun sonuçlar vermiştir. Ayrıca atık kullanım oranındaki artışın levha özelliklerinde azalma meydana getirdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimentolu Yongalevha, Portland Çimento, Ladin, Kızılağaç, Ön İşlem, Mekanik, Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

SUMMARY**Use of Drinking Water Sludge in Wood Cement Particleboard Production**

In this study, spruce wood (*Picea orientalis*) and alder (*Alnus glutinosa*) log seed produced in plywood plant were used as a wood raw material. Portland cement (PC 32,5 and 42,5) with 0-5-10-15 percent of drinking water sludge which purpose to decrease cement use were used as a bonding materials in the laboratory manufacture. Physical and mechanical properties of wood-cement particleboards were determined

Wood particles were used with pre-treatment or non-pre treatment methods. Wood particles left to soak for 24 h in pretreatment method and after soaking water, wood particles were air-dried spreading out in the floor. Thus the proportion of simple sugar in the wood particles were tried to decrease.

The mechanical properties of panels such as bending strength, modulus of elasticity, internal bond, and physical properties such as density, moisture, thickness swelling, and water absorption and were determined. Before producing the panels, chemical properties of wood particles such as cold water, hot water, alcohol-benzene, %1 NaOH and pH level were examined.

According to the results, physical properties of wood cement particleboards met the standard values but mechanical properties. However some panel properties met the standard values with using cold water pretreatment method. Furthermore, the panel properties were decreased with used amount of water sludge.

Key words: Wood Cement Particleboard, Portland Cement, Spruce, Alder, Pre-treatment, Physical, Mechanical and Chemical Properties.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Hafif iskelet ağına sahip konutlarda kullanılan malzemelerin oranları	2
Şekil 2. Tipik bir hidrasyon eğrisinin şematik yapısı	15
Şekil 3. Çimento sertleşmesi esnasında oluşan sıcaklık zaman eğrisi	16
Şekil 4. Çimento/odun oranının eğilme direnci üzerine etkisi	19
Şekil 5. Kırılma yüzeylerinde odun ile çimento arayüz kesitindeki element dağılımının elektron mikroskobu ile görünüşü	21
Şekil 6. Farklı oranlardaki odun atıklarıyla üretilen çimentolu izolasyon levhalarının elektron mikroskobu görünümü	28
Şekil 7. Arıtma çamuru bertaraf yöntemleri	30
Şekil 8. Trabzon kenti içme suyu arıtma tesisi akış diyagramı	32
Şekil 9. Çimentolu yongalevha üretimi	36
Şekil 10. Çimentolu kompozitlerin kullanım alanları	44
Şekil 11. Değişik tane iriliğindeki Alüminyum Sülfat örnekleri	49
Şekil 12. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği	61
Şekil 13. Yüzeğe dik çekme düzeneği ve deney örneği	63
Şekil 14. Vida tutma gücü deney düzeneği ve deney örnekleri	64
Şekil 15. Denemelerde kullanılan yongaların çözünürlük ve pH değerleri	84
Şekil 16. Levhalardaki rutubet değerleri	86
Şekil 17. Atık miktarı, çimento ve ağaç türünün birim hacim ağırlığa etkisi	87
Şekil 18. Ön yıkama işlemlerinin birim hacim ağırlığına etkisi	88
Şekil 19. Atık miktarının ladin levhalarda su alma miktarına etkisi	89
Şekil 20. Atık miktarının kızılğaç levhalarda su alma miktarlarına etkisi	90
Şekil 21. Ön yıkama işlemlerinin levha su alma miktarına etkisi	91
Şekil 22. Atık miktarının ladin levhalarda kalınlık artımı miktarlarına etkisi	92
Şekil 23. Atık miktarının kızılğaç levhalarda kalınlık artımı miktarlarına etkisi	93
Şekil 24. Ön yıkama işlemlerinin levha kalınlık artımına etkisi	94

Şekil 25. Atık miktarının eğilme direnci değerlerine etkisi	95
Şekil 26. Ön yıkama işlemlerinin eğilme direnci değerlerine etkisi	96
Şekil 27. Atık miktarının elastikiyet modülü değerlerine etkisi	97
Şekil 28. Ön yıkama işlemlerinin elastikiyet modülü değerlerine etkisi	98
Şekil 29. Atık miktarının yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisi	99
Şekil 30. Ön yıkama işlemlerinin yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisi	100
Şekil 31. Atık miktarının vida tutma direnci değerlerine etkisi	101
Şekil 32. Ön yıkama işlemlerinin vida tutma direnci değerlerine etkisi	102

TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Çimento odun kompozitlerinin kullanılan hammadde biçimine göre sınıflandırılması	6
Tablo 2. Portland çimentosu ana bileşen ve sembolleri	13
Tablo 3. Portland çimento tipleri ve kullanım alanları	13
Tablo 4. 2000-2004 yıllarına ait Türkiye imalat sanayi atıkları	25
Tablo 5. Levha kalınlıklarına göre uygulanacak pres, sertleşme ve olgunlaştırma şartları	41
Tablo 6. Çimentolu yongalevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri	42
Tablo 7. Odun ve çimentonun olumlu özellikleri	43
Tablo 8. Levha üretiminde kullanılan çimento türleri ve arıtma çamuru özellikleri	48
Tablo 9. Alüminyum Sülfat'ın Kimyasal Özellikleri	49
Tablo 10. Alüminyum Sülfat'ın Fiziksel Özellikleri	49
Tablo 11. Sodyum Silikat'ın Özellikleri	50
Tablo 12. Çimentolu yongalevha üretimi için uygulanan deney koşulları	52
Tablo 13. Levhalarının üretiminde kullanılan hammadde ve miktarları	54
Tablo 14. Levha üretiminde kullanılan yongaların kimyasal analiz sonuçları	65
Tablo 15. Levhalarının ortalama rutubet değerleri	66
Tablo 16. Levhaların ortalama birim hacim ağırlık değerleri	67
Tablo 17. Atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün levha birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	67
Tablo 18. Atık miktarının birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları.....	68
Tablo 19. Ön yıkama işleminin birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları	68
Tablo 20. Ön yıkama işleminin birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	68
Tablo 21. Levhaların ortalama su alma miktarı oranları	69
Tablo 22. Atık miktarı, ağaç türü, çimento türünün ve sürenin su alma miktarına etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları	70

Tablo 23.	Atık miktarının su alma miktarına etkisine ilişkin Duncan test sonuçları ..	70
Tablo 24.	Ön yıkama işleminin su alma değerlerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	71
Tablo 25.	Ön yıkama işleminin su alma değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	71
Tablo 26.	Levhaların ortalama kalınlık artımı oranları	72
Tablo 27.	Atık miktarı, ağaç türü, çimento türü ve sürenin kalınlık artımı değerlerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları	72
Tablo 28.	Atık miktarının kalınlık artımı değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	73
Tablo 29.	Ön yıkama işleminin kalınlık artımı değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları	73
Tablo 30.	Ön yıkama işleminin kalınlık artımı değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	74
Tablo 31.	Levhaların ortalama eğilme direnci değerleri	74
Tablo 32.	Atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün eğilme direnci değerlerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları	75
Tablo 33.	Atık miktarının eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	75
Tablo 34.	Ön yıkama işleminin eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları	76
Tablo 35.	Ön yıkama işleminin eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	76
Tablo 36.	Levhaların ortalama elastikiyet modülü değerleri	77
Tablo 37.	Atık miktarı, ağaç türü, ve çimento türünün elastikiyet modülü değerlerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları	77
Tablo 38.	Atık miktarının elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	78
Tablo 39.	Ön yıkama işleminin elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları	78
Tablo 40.	Ön yıkama işleminin elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	79
Tablo 41.	Levhalarının ortalama yüzeye dik çekme direnci değerleri	79
Tablo 42.	Atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları	80
Tablo 43.	Ön yıkama işleminin yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları	80
Tablo 44.	Ön yıkama işleminin yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	81

XIII

Tablo 45. Levhalarının ortalama vida tutma direnci değerleri	81
Tablo 46. Atık miktarı, ağaç türü, ve çimento türünün vida tutma direnci değerlerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları	82
Tablo 47. Atık miktarının vida tutma direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	82
Tablo 48. Ön yıkama işleminin vida tutma direnci değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları	83
Tablo 49. Ön yıkama işleminin vida tutma direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları	83

1. GENEL BİLGİLER

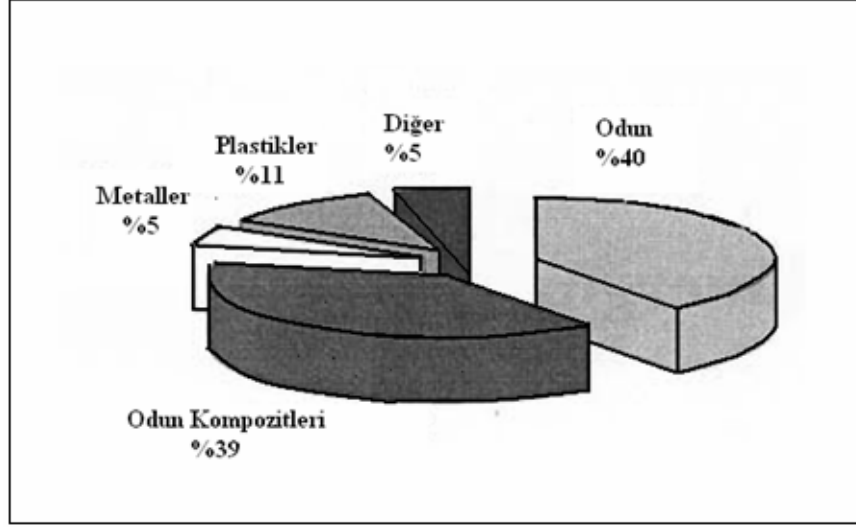
1.1. GİRİŞ

Dünya nüfus artışına bağlı olarak inşaat sektörü hızla genişlemektedir. Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yayınlanan 2006 yılı verilerine göre; inşaat sektörünün ortalama % 20,1'lik büyüme ile sektörler arasında en büyük büyümeyi gerçekleştirdiği belirlenmiştir. TÜİK tarafından ülkemizde tamamen veya kısmen biten ve yapılacak yeni bina sayısına ait bir istatistikte 2002 yılında 90,524 olan bina sayısı 2005 yılında % 85'lik bir artışla 167,755 âdete ulaşmıştır. Aynı yıl ihtiyaç duyulan konut sayısı ise 679,600 olarak belirlenmiştir [1].

Barınma ihtiyacı dünya doğal kaynaklarının azalmasından dolayı temel inşaat maliyetlerinin artması ile daha da karmaşık duruma gelmektedir. Ev fiyatları, ülkemizde olduğu gibi dünyada çoğu insanın ulaşabileceği seviyenin üzerindedir. Bu durumun nedenlerinden biri, inşaat malzemelerinin sahip olduğu yüksek maliyettir. İnşaat endüstrisi; maliyeti düşürecek, etkinliği geliştirecek, yapısal bütünlüğü garanti edecek ve mekanik özellikleri geliştirecek malzeme seçeneklerini araştırmaya yoğunlaşmıştır [2]. Araştırmalar geri dönüştürülebilir atık malzemenin elimine edilmesi ile yapı endüstrisi için alternatif malzemelerin gelişimine yönelik fikirleri ortaya çıkarmıştır.

Dünya orman kaynaklarında oluşan azalma ise yapı endüstrisi üzerindeki etkisini giderek artırmaktadır. Son 25 yılda yapılarda odun kompozit ürünlerinin kullanımı 4–5 kat artış göstererek hemen hemen kullanılan masif odun miktarına ulaşmıştır. 20 yıl önce odun kompoziti kullanım oranı masif odunun yarısı kadar iken bu oranın masif odunun gelecek 20 yıl içerisinde 2 katı kadar olabileceği tahmin edilmektedir.

Günümüzde odun hammaddesi yetersizliğinden ötürü odun plastik kompozitleri, çimentolu odun kompozitleri, bitkisel esaslı kompozitleri gibi mühendislik malzemelerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Hafif iskelet ağına sahip konutlarda kullanılan malzemelerin oranları şekil 1'de verilmiştir [3].



Şekil 1. Hafif iskelet ağna sahip konutlarda kullanılan malzemelerin oranları

Her malzeme olumlu ve olumsuz özelliklere bir arada sahiptir. Tasarımcı ve üreticiler bilinçli yâda bilinçsiz olarak amaçlarına uygun malzeme kararı verirken birbirlerine seçenek oluşturan malzemeler arasında en uygun olanı kullanmayı hedeflemektedirler.

Kompozit malzeme üretimi; mevcut temel malzemelerin olumsuz yanlarının iyileştirilmesi ve kullanım alanının genişletilmesi ile çok yönlü kullanımın sağlanması yönünde önemli bir adımı oluşturmaktadır.

Üreticiler öncelikle mekanik dayanımları daha iyi olan lifli kompozit malzemelerin üretimine yönelmişlerdir. Üretimde; özellikle çekme, eğilme ve çarpma dayanımları gibi mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi, gevreklik ve kırılma özelliğinin kısmen giderilebilmesi amacıyla lifsel nitelikteki malzemelere ek olarak teller çubuklar veya değişik yapıdaki örgü malzemeleri kullanılmaktadır.

Lif içerikli kompozit malzemelerde, en basit haliyle iki fazlı bir yapı ele alınabilir. Kompozitlerin sürekli fazını; lifleri bir arada tutan ve hacim oranının fazlalığı nedeniyle kompozitin ana bileşeni olarak da düşünülebilen bağlayıcı malzeme oluşturmaktadır. Bu bağlayıcı içinde kullanılan lifsel dolgu maddesi ise ikinci fazı oluşturur.

Kompozitin etkinliği, lifsel malzemenin elastikiyet modülünün, bağlayıcının elastikiyet modülünden çok daha yüksek olmasına bağlıdır. Bağlayıcı ve lif fazının elastikiyet modül değerlerinin birbirine yakın olması halinde lif fazı taşımaya yeterince katılamamakta ve dolayısıyla kompozit, amaçlanan özelliklere sahip olamamaktadır. Lif dolgulu kompozitlerde lifin taşımaya katılabilmesi için bağlayıcı üzerindeki mekanik etkinin liflere iletilmesi gerekir.

Kompozit direnci ve liflerin taşımaya katkısı açısından lif yönü önemli bir faktördür. İçerisindeki liflerin yönlendirilmesi ile kompozitler değişik yönlerde farklı özellik gösterirler. Liflerin bağlayıcı içerisinde gelişigüzel dağılmış olması halinde malzeme izotrop (serbest yönlü) kabul edilir. Bu durumda kompozitin özellikleri yöne bağlı olarak değişmez.

Lif dolgulu kompozitlerde bağlayıcı; lifleri sararak bir arada tutan, yükleri aktaran, lifleri dış etkilerden koruyan sürekli fazı oluşturmaktadır. Bu işlevlerinin yanı sıra, kompozit bünyesindeki gerilmelerin bir kısmını karşılayarak taşımaya yardımcı olmakta ve liflerde meydana gelen çatlama ve kopmaları tolere ederek kompozitin direncini artırmaktadır. Yük taşımaya dolgu malzemesi olarak katılma durumu, basınç halinde değişmekte ve kompozitin basınç mukavemeti büyük ölçüde bağlayıcının mukavemetine bağlı olmaktadır [4].

Odunsu malzemedan çeşitli biçimlerde kompozitler üretilmektedir. Bunlardan birisi de çimentolu odun kompozitleridir. Çimento yaklaşık 100 yıldan beri kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Bu alandaki çalışmalar; Asbest liflerinin sağlığa olan zararlarının yarattığı kaygı ile son 40 yılda daha da geliştirilmiştir [5, 6].

Çimentolu odun kompozitleri bir mühendislik materyali olarak önemli özelliklere sahiptir. Reçine esaslı kompozitlerden çok daha düşük miktarda üretilmelerine rağmen bu ürünlerden çok daha fazla avantajlara sahiptir. Çimentolu odun kompozitlerinin üretiminde reçine esaslı levhalar için uygun olmayan odun veya bitki atıklarının değerlendirilebilmesi mümkündür [7]. Bu kompozitler dış hava koşullarına yada hızlı yaşlandırmaya karşı yüksek dayanım ve boyutsal kararlılık göstermektedir. Yangın, mantar ve böcek gibi biyolojik faktörlere karşı yüksek dirence sahiptir. Ayrıca; reçine esaslı levhalardan daha ağır olmalarına rağmen betondan daha hafiftirler. Bu nedenle inşaat sanayi özellikle prefabrik yapı sektöründe yüke direk olarak maruz kalmayan kısımlarda çimentolu odun kompozitlerinden yararlanılmaktadır[8]. Bunun yanında gelişmiş ses yalıtımı nedeniyle otoyol kenarlarında, fırtına gibi güçlü sismik aktivite ve rüzgâra maruz kalan yerlerde yüksek enerji absorplama özellikleri nedeniyle kullanım imkânı bulmaktadır[9]. Çimentolu odun kompozitleri; Japonya'da 1991 yılında %41'lik pazar payına sahip, yangın ve depreme karşı yüksek dayanımlı malzeme olarak yapı kodu almış konutların kaplanmasında kullanılan önemli bir malzemedir [10, 11].

Çimentolu odun kompozitlerinin üretiminde dolgu maddesi olarak odun yünü, yonga ve lif şeklindeki odunsu maddenin yanı sıra yıllık bitki ve orman ürünleri sanayi atıklarından yararlanılabilmektedir. Bağlayıcı madde olarak portland çimentosu kullanılmaktadır. Levha üretiminde reaksiyon hızlandırıcı olarak bazı sertleştirici katkı maddeleri ve reaksiyon başlatıcı madde olarak da su kullanılmaktadır.

Her ağaç türü çimentolu odun kompozit üretimi için uygun değildir. Bu nedenle üretim konusunda yapılan çalışmalar; uygun ağaç türü belirleme ve bunların özelliklerini iyileştirmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Ayrıca çimentonun sertleşme hız ve gücünü iyileştirme ile odun çimento oranları konusunda da birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çimentolu odun kompozit üretiminde odunsu atıkların kullanımı da söz konusu olmuştur. Bu durumda kapsamlı bir atık yönetimi programının atık azalması, geri dönüşüm, atık-enerji planı ve düzenli depolama gibi çeşitli eylemler açısından sağlanacağı etki önem kazanmaktadır. En büyük etki muhtemelen geri dönüşüm alanında yapılan araştırmaların sonucunda elde edilebilecektir. Artan geri dönüştürülebilir odunsu materyal kullanımı, odun tüketiminde artış olmaksızın odun esaslı kompozit malzeme pazarının büyümesine izin verebilecektir. Daha düşük hammadde maliyeti ile yüksek kalitede levha üretimine imkân sağlayabilmesi nedeniyle endüstride önemli oranda kâr sağlanacaktır. Geri dönüştürülebilir odun; testere talaşı orman aralama artıkları ve palet, kereste biçme artıkları, odunsu inşaat atıkları gibi orman endüstri atıkları şeklinde çeşitli formlarda elde edilebilir. Sahip olduğu özellikleri ile ürün hiyerarşisinde yeni bir malzeme olarak farklı bir pozisyonu olan, geri dönüştürülebilir odunsu atıklardan üretilen ürünler; kendilerine has özellik ve kullanım alanlarıyla yenilikler ortaya koymakta olup, çimentolu odun kompozitleri içinde önemli bir hammadde kaynağı oluşturmaktadır.

Çevresel olarak suların kirliliği; yakın geçmişin olduğu gibi gelecek yüzyılda önemli bir sorunu olmaya devam edecektir. Bu sorunun çözülmesi amacıyla belediyeler ve suyu yoğun bir şekilde kullanan büyük tesisler (örneğin kâğıt fabrikaları) suyu arıtma tesislerinde arıttıktan sonra şebeke sistemine sunmaktadırlar. Bu işlem esnasında arıtma çamuru ortaya çıkmaktadır. Bu çamur geri yıkama suyu ile alıcı ortama sevk edilerek doğaya bırakılmaktadır.

Süreç ya araziye ya da derelere ve bağlantılı olarak denizlere dökülme şeklinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle atık çamurlar çevreyi kirletici bir faktör olarak rolünü devam ettirmektedir. Oysa atık çamurun içeriğindeki kimyasallar onun bağlayıcı olarak görev yapabileceğini göstermiştir.

Ülkemizde atık arıtma işleminin durumunu görmek amacıyla 2004 yılı verileri esas alınarak yapılan bir araştırmaya göre; içme suyu arıtma tesisleri nüfusun %33,6'sına, atık su arıtma tesisleri ise toplam nüfusun ancak %35'ine hizmet etmektedir. Belediyelere ait atık su arıtma tesislerinde arıtılan atık su miktarları 2001'de 1194 milyar m³/yıl iken 2004'de %37'lik artışla 1894 milyar m³/yıl seviyesine ulaşmıştır. Belediyelere arıtma tesislerinde arıtılan içme suyu miktarı ise 2001'de 1667 milyar m³/yıl iken 2004 yılında %20'lik artışla 2079 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir [12].

Geleneksel arıtma yöntemiyle çalışan Trabzon Atasu içme suyu arıtma tesisinde son süzme işleminden sonra oluşan ve filtrelerde toplanan arıtma çamuru geri yıkama yöntemiyle yıkanıp, şebeke sisteminden alıcı ortam Değirmendere'ye geri bırakılarak denize ulaştırılmaktadır. Alıcı ortama bırakılan inorganik yapılı bu atık, Değirmendere ve denizin kirlenmesine neden olmaktadır.

Bütün endüstrilerde olduğu gibi çimentolu yongalevha üreticileri açısından da hammadde maliyeti önemli bir problemdir. Çimentolu yongalevha üretiminde kullanılan hammaddenin %70 civarındaki kısmı çimentodan oluşmaktadır. Bu da 1m³'lük çimentolu yongalevha üretimi için 700–800kg çimento demektir. 50 kg'lık torba çimentonun Ocak 2007 fiyatı 5,65 YTL'dir. 1m³ levha üretimi için 85YTL'lik maliyet söz konusudur.

Literatürde; bugüne kadar yapılan çalışmalarda içme suyu arıtma tesisi çamurları inşaat sektöründe sadece çimentoya katkı olarak kullanılmıştır. Çimentolu yongalevha üretiminde atık çamur kullanımı ile ilgili bir bilgiye rastlanılmamıştır.

Gülay Trabzon Atasu içme suyu arıtma tesisi çamurlarının özelliklerini belirlemek için yaptığı çalışmasında; atık çamurlarının çimentonun kimyasal yapısına uygun özellikler gösterdiğini belirterek, maliyeti azalmak ve atıkların değerlendirilmesini sağlamak için çimentoya %10–15 oranlarında karıştırılarak kullanılabilceğini belirtmiştir [13].

Bu çalışmada; temel olarak çimento içine karıştırılarak kullanılması mümkün olan içme suyu arıtma çamurlarının çimentolu odun kompozitleri üretimi için uygun olup olmadığının belirlenmesi ve kullanılacak çimento miktarının azaltılmasına bağlı olarak daha ekonomik üretimler amaçlanmıştır. Odunsu malzeme olarak masif odun yanında orman ürünleri sanayi atıklarının da değerlendirilmesi amacıyla soyma kaplama endüstrisi atıklarının kullanımı yoluna gidilmiştir. Bu maksatla özellikle bölgemiz yerel ağaç türlerinden ladin odununun çimento kompozitleri için uygunluğu incelenmiştir. Buna ek olarak endüstriyel olarak ülkemizde geri dönüşümü yaygın olmayan ve sadece fabrikalarda yakılarak bertaraf edilen odunsu atıkların yeniden üretime kazandırılması amaçlanmıştır.

Bu nedenle kontrplak ve kaplama fabrikaları için önemli bir atık hammadde olan tomruk çekirdeklerinin çimentolu odun kompoziti üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

1.2. Çimentolu Odun Kompozitleri Tanımı

Çimentolu odun kompozitleri; ağaç yonga veya tarımsal bitkilerin, çimento, su ve sağlığa zararsız çeşitli kimyasal maddeler ile uygun oranlarda bir araya getirilmesiyle oluşturulan yüksek özgül ağırlıkta ve düzgün yüzeyli, malzemeye verilen isimdir. Çimentolu odun kompozitleri: ahşabın; hafiflik, elastikiyet ve işlenebilirlik özelliklerini, çimentonun; su, rutubet, yanma ve çürümeye karşı direnç değerlerini bünyesinde toplayarak üstün yapısal özelliklere sahiptir [14].

Çimento bağlayıcılı odun kompozitleri genel olarak kullanılan hammadde biçimine göre Tablo 1’de 3 grupta sınıflandırılır.

Tablo 1. Çimentolu odun kompozitlerinin hammadde biçimine göre sınıflandırılması

Levha türü	Yoğunluk (kg/m ³)
Çimentolu yongalevha	1250–1450
Çimentolu liflevha	1100–1800
Çimentolu odun yünü levhalar	350–500

1.3. Çimentolu Yonga Levha Üretim Tarihi Gelişimi

Çimento en çok kullanılan ve çok yönlü bir kompozit bağlayıcı malzemesidir. En yaygın şekliyle çimento sağlamlık ve basınç direnç gelişimi için, kum ve taş dolgu malzemeleriyle birleştirilir. Ayrıca çelik güçlendirici demirler de kullanılabilir. Çelik güçlendirici demirler kırılma ve eğilme direncini artırır. Lifsel güçlendiriciler ise kırılma dayanımını güçlendirmek amacıyla kullanılırlar. Çimento asbest levhalar bu tipin en iyi ve en belirgin örneğidir [15]. Çimento bağlayıcılı odun kompozitleri uzun yıllardan beri üretilmekle birlikte bu malzemelerin kökenini oluşturan çimento bağlayıcılı asbest kompozitler 20. yy başından beri üretilmektedir.

Magnezyum silikat esaslı lifli yapıdaki doğal mineral madde olan asbestin uzun süreli solunması nedeniyle kanser yapıcı etkisinin var olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle

özellikle 20. yy. son çeyreğinde kullanımı yasaklanmıştır. Bunun ardından asbest liflerine ikame olarak kullanılacak dolgu malzemeleri araştırılmış, sahip olduğu özellikleri itibariyle bitkisel esaslı lifler ve odun lifleri kullanımı yoluna gidilmiştir.

1920'lerin başlarına kadar inşaatlarda ayrı ayrı kullanılan odun ve çimentonun, bu tarihlerde, bir karışım halinde kullanılması çalışmalarına başlanılmış ve araştırmaların büyük bir bölümünü, bu iki malzemenin fiziko-kimyasal ilişkilerinin belirlenmesi oluşturmuştur.

Çimentolu odun kompozitleri ilk defa Heraklith adı altında üretilmişlerdir. Başlangıçta bu levhalarda ambalaj talaşı şeklinde odunsu materyal ve magnezit çimentosu kullanılmıştır. Ancak sonraları portland çimentosundan yararlanılmıştır. Bunlara hafif levhalar (350–500 kg/m³) adı verilmiş olup, binalarda ses ve ısı izolasyonunda kullanılmıştır [16].

1966 yılından sonra üretimine başlanılan levhalarda uzun talaşlar yerine yonga kullanımına geçilerek yüksek özgül ağırlıktaki çimentolu levhalar(1000–1300 kg/m³) üretilmiştir. Bu tür levhaların üretiminde yaygın olarak portland çimentosundan yararlanılmıştır. 1969 ve 1970 yılında Durisol A.G. firması Duripanel adı altında kompozit üretimi için pilot tesis kurmuştur. 1970 başlarında Bison-Werke ve Durisol A.G. firmaları çimentolu yongalevha üretimine başlanılmıştır. Endüstriyel anlamda levha üretimi ise; 1974 yılında İsviçre de Dietekund tarafından gerçekleştirilmiş ve ürünleri “Duripanel” adı altında satılmıştır. 1976 yılında Vietnam da sert ağaç keresteleri kullanılarak çimentolu yongalevha üretilmiştir. Bunu takiben 1977 ve 1978 yıllarında Almanya'da 50m³/gün, Macaristan' da 160m³/gün kapasiteli tesisler kurmuştur.

Diğer bir odun çimento kompoziti olan çimentolu lif levhaya olan ilgi ikinci dünya savaşı sonrası asbest liflerin kısıtlanmasından sonra gündeme gelmiştir. Bu olay bazı özel şirketlerin lif ile güçlendirilmiş çimentolarda asbest liflere ikame olarak selüloz liflerin kullanılabilceğinin düşünülmesini sağlamıştır. 25 yıldan daha uzun süreden beri Amerika beton endüstrisi; selüloz, sentetik, polimer, cam, çelik gibi malzemelerden elde edilen liflerin kullanımıyla yüksek performansa sahip çimento kompozitlerini geliştirmek için araştırmalar yapmaktadır. Bu malzemelerde ağırlıkça %5–15 oranında selüloz lifi kullanılmakta ve yoğunlukları 1100- 1800 kg/m³ arasında değişmektedir. Bu kompozitler 30 N/mm² gibi yüksek eğilme direnç değerlerine sahip olmalarına bağlı olarak kullanım alanları oldukça genişlemiştir [9].

Çimentolu liflevha üretimi nispeten daha yeni bir ürün olup özellikle son 25–30 yıldan beri gelişim gösteren öncelikli olarak asbest lifli çimento kompozitlerine ikame olarak üretilen bir malzemedir. 1982’de Malezya da 120m³/gün kapasiteli iki tesis faaliyete geçmiştir. Daha sonra Japonya, Meksika ve Rusya da çimentolu liflevha üretimi amacıyla tesisler açılmıştır. Türkiye de ilk tesis çimentolu yongalevha üretimi amacıyla Arhavi de kurulmuş olup 1987 yılında faaliyete geçmiştir [17].

Çimentolu yonga levha olarak ülkemizde bir fabrika mevcuttur. Artvin Arhavi çimentolu Yonga Levha fabrikası Tepe grubu tarafından 2001 yılında satın alınmış olup, günümüzde üretim yapılmamaktadır. Tepe gurubu Ankara’daki diğer fabrikasında Betopan markasıyla yaklaşık 70 bin m³’lük üretim kapasitesi ile ülkemizdeki tek üretici konumundadır. Diğer bir çimentolu odun kompoziti olan çimentolu lif levha üretimi ise Hekim grubu tarafından fiber-cement markasıyla üretilerek inşaat endüstrisinde duvar panelleri alanında hizmet vermektedir.

1.4. Yonga Levha Endüstrisinde Kullanılan Hammaddeler

1.4.1. Ağaç Malzeme

TS 1351’e göre, boyu 0.5-2m, ince uç çapı en az 4cm, kalın uç çapı en fazla 20cm olan yuvarlak ve yarma odunlar, kalınlığı 20cm’den küçük artık parçalar, tane büyüklüğü en az 2mm olan testere talaşları lif ve yonga odunu olarak kullanılabilir. Yongalevha üretiminde kullanılacak odunlarda kabuk ve çürüklük bulunmamalı, öz çürüklüğü ise enine kesitin yarısına kadar olabilir [18].

Çimentolu yongalevha üretiminde yakacak odunlar da dahil, kapak tahtaları, çıtalara, tahta ve tomrukların uç kısımlarından elde edilen artıklar, testere talaşları, kaplama levha üretim artıkları, lif ve yonga odunları, kereste fabrikası artıkları gibi odun hammaddesinin hepsi değerlendirilmektedir. Ayrıca, aralama ve bakım kesimleri ve budama ile elde edilen ince odunlar, dal ve tepe uçları ile endüstriyel artıklar da kullanılmaktadır [19].

Çimentolu yongalevha üretiminde odun materyalinden daha iyi yararlanabilmek için çimento ile odun arasındaki uyumluluğu tam olarak anlamak gerekmektedir. Zira çimento hidratasyonu; su, ısı ve alkali çevre koşulları gerektiren oldukça karmaşık bir reaksiyon

sürecidir. Odunsu materyal içeriğindeki şeker ve ekstraktif içeriği çimento hidrasyon sürecini olumsuz yönde etkilemektedir [20].

Yapılan birçok çalışmada; çimento üzerinde odunun etkisi çeşitli faktörlere göre incelenmiştir. Ayrıca; coğrafi bölge, ağaç türleri, kesim zamanı, depolama koşulları, kabuk içeriği ve hatta hammaddenin ağaçtan alındığı yer gibi çeşitli faktörlerin çimentoya etki edebileceği belirlenmiştir [21, 22].

Clare ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; odundaki şeker içeriğinin çimento hidrasyonunu (priz ve sertleşme) önemli ölçüde azalttığını ve ligninin çimento prizlenmesi üzerine çok az etkisinin söz konusu olduğunu belirlemişlerdir [23].

Odundaki ekstraktif madde ve şeker içeriğinin azaltılması bir dizi ön işlem ile mümkün olabilmektedir. Bu amaçla odunsu materyal; soğuk su veya sıcak su yada %1'lik NaOH çözeltisinde çözündürme gibi kimyasal bir ön işleme tabi tutularak levha üretimi için daha uygun hale getirilebilir [24].

Yapılan bir araştırmaya göre odunlar; hidrasyon dereceleri bakımından 2 gruba ayrılmaktadır. Birinci gruptakiler çimento ile iyi bir bağlanma gösteren uyumlu türlerdir. İkinci gruptakiler ise çimento ile iyi bir fiziksel bağlanma göstermeyen uyumsuz türlerdir. Çimento ile hemen hemen hiç reaksiyona girmeyip fiziksel bir bağlanma göstermeyen odun türleri uyumsuz, çimento ile sertleşme göstererek fiziksel bir bağlanma oluşturan türler ise uyumlu olarak sınıflandırılır.

Çimento ile uyumluluk derecesi; odun içerisindeki ekstraktif madde miktar ve türüne bağlı olarak oluşan sertleşme süresi ile açıklanmaktadır. Sample ve Evans yaptıkları çalışmalarında; pinus radiatanın çimento hidrasyonunu ciddi oranda olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Radiata çamının öz odun kısmı ile çimento arasında hiçbir fiziksel bağlanma sağlanamamış iken, diri odun kısmından elde edilen yongalar ile üretilen levhalar standart değerlerin üzerinde sonuçlar vermiştir [25].

Miller ve Moslemi (1991) Kuzey Amerika'dan 4 yapraklı ve 5 iğne yapraklı odun türü ile yaptıkları çalışmalarında; yapraklı ağaç türlerinin iğne yapraklı türlere oranla çimentonun ekzotermik davranışını daha olumsuz etkileyerek daha düşük direnç değerleri verdiklerini belirlemişlerdir. Ayrıca iğne yapraklı özodunlarının diri oduna göre bazı parametreleri daha olumsuz etkilediği belirlenmiştir [22].

1.4.2. Yıllık Bitkiler

Çimentolu levha üretiminde kullanılan hammaddelerin başında odun gelmektedir. Öte yandan Dünyada hammadde sorununun gün geçtikçe arttığıda bir gerçektir. Çevre kirliliğinin nedenlerinin başında (özellikle hava kirliliği); ormanların hammadde kaynağı olarak hızla tüketilmesi sonucu azalması gelmektedir. Hammadde olarak orman ürünlerini kullanan endüstrilerin çok çeşitli olması yanında, kaynakların kullanımında ekonomik davranılmaması ormanları yok ederken, kaynaklarının kıt ve yetersiz olması üretim maliyetinin de artmasına neden olmaktadır. Nüfusa paralel olarak artan tüketimi de göz önünde tutarak kaynakları; ekonomik ve rasyonel bir şekilde değerlendirmek gerekir. Özellikle ürün ya da kaynağın % 100 kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenlerle birçok ülkede farklı hammadde kaynaklarını araştırma yoluna gidilmiştir. Oduna bağlı levha endüstrilerinde; tüm ağaç kullanımı ve hızlı yetişen türler yanında yıllık bitki atıklarının değerlendirilmesi önerilmektedir. Özellikle yeteri kadar odun hammaddesine sahip olmayan ülkelerin bu yöndeki gayretleri çok fazladır [26].

Yıllık bitkilerin levha üretimine uygun olması yeterli değildir. Miktarının yeterli olması, toplama, taşıma, depolama ve hazırlanmalarının kolay, ucuz olması ve materyalin zararlılar tarafından herhangi bir bozulmaya maruz kalmamış olması gerekmektedir.

Yıllık bitkilerden; keten, şeker kamışı, bambu (bambu kamışı, hint kamışı), göl kamışı, pamuk vb. bitkilerin odunsu kısımlarının levha üretiminde kullanılmasında teknolojik zorluk yoktur. Tek sorun bunların uzun süre bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı korunabilmesidir. Özellikle sıcak ve rutubetli iklim bölgelerinden bunların korunması oldukça zordur [14].

Yapılan bir çalışmada; japon kadife çamı (*Cryptomeria japonica*) ve japon servi (*Chamaecyparis optusa*) odunu, bambu, pirinç sapı ve kabuğu gibi bitkisel atıklar kullanılarak üretilen çimentolu kompozitlerin mekanik özellikleri standart değerler üzerinde çıkmıştır. Hidratasyon testleriyle mekanik test sonuçları arasındaki ilişkinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir [27].

Warden ve arkadaşları (2000); pinus radiata odunu yanında kenevir ve muz gövde liflerinin çimentolu liflevha üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu hammaddelerden elde edilen yarı kimyasal termomekanik hamurlar %4–8–12 oranlarında karışıma ilave edilmiştir. Bitkisel atıklar kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci ve

elastikiyet modülü değerleri odundan üretilen levhalara benzer seviyede sonuçlar vermiştir [28].

Pirinç sapları kullanılarak yapılan başka bir çalışmada ise; üretilen çimentolu lif levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin Alman (DIN 1101) ve Japon (JIS 1504, 5417) standart değerlerinin üzerinde sonuçlar verdiği belirlenmiştir [29].

1.4.3. Çimento

Çimento kelimesi yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince “caementum” kelimesinden türemiştir. Daha sonraları bu kelime “bağlayıcı” anlamında kullanılmaya başlanılmıştır [30]. Çimento, su, agrega (çakıl, kum) ve gerektiğinde katkı maddelerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulan betonun, yapısı içinde su ile birleşerek bağlayıcı görevini yapmaktadır.

Çimento; kalkerli ve killi hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp öğüttükten sonra en az sinterleşmeye (1350–1450°C) kadar pişirilmesi ile oluşan klinkerin, az miktarda (%3-%6) alçıtaşıyla ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) birlikte çok ince öğütülmesi sonucu elde edilen ve su ile birleştiğinde "hidrolik bağlayıcı" özellik kazanan bir üründür. Çimento ile ilgili ilk patent İngiltere'de, 1824'de Joseph Aspdin tarafından alınmıştır [31].

Günümüz teknolojisinin gelişmesine paralel olarak çimento teknolojisi de gelişmektedir. Çalışmalar; özellikle, yeni çimento karışımları geliştirme ve bunların standardizasyonu alanında olmaktadır. Bir taraftan, basınç dayanımı yüksek, korozyona dayanıklı, plastisitesi yüksek, kimyasal etkilere dayanıklı, yoğunluğu düşük pahalı çimentolar üretilmeye çalışılırken; diğer taraftan, çevre kirliliğine neden olan sanayi atıklarının katkı maddesi olarak kullanılmasını amaçlayan, fakat daha ucuza mal olan çimentoların üretilmesi üzerinde durulmaktadır [32].

1.4.3.1. Portland Çimentosu

Çimento türleri arasında en çok bilineni, Portland çimentosudur. Bir duvarcı ustası olan Aspdin hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirip daha sonra da öğüterek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum katıldığında zamanla sertleşme olduğunu ve ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland Adasından elde edilen yapı

taşlarını andırdığını gören Joseph Aspdin elde ettiği bu bağlayıcı için “portland çimentosu” adı altında patent almıştır [30].

1.4.3.2. Endüstride Çimento Üretimi

Çimento sanayinde çimento üretimi, üç ana kısımdan oluşmaktadır.

1. Hammadde öğütümü,
2. Klinker üretimi,
3. Klinker öğütümü, mineral katkı ve alçıtaşı ilavesi.

Çimentonun üretiminde kullanılan iki ana hammadde vardır. Bunlar;

1. Kalkerli malzemeler, kireçtaşı, marn gibi malzemelerdir. Kalker, kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve aragonik şekilsiz taşlaşmış türlerdir. Saf kalker %56 kalsiyum oksit (CaO) ve % 44 karbondioksitten (CO_2) ibarettir. Kalker genellikle saf bir yapı arz etmeyip yapısında az miktarda silisyum (Si), magnezyum (Mg), Alüminyum (Al) ve Mangan (Mn) ihtiva eder. Marn, kil ve kalkerin çeşitli oranlarda karışımında meydana gelmiş kütlelerdir.

2. Killi malzemeler; içerisinde önemli miktarda silis bulunan kil, şeyl, şist ve kum gibi maddelerdir.

Çimento üretimi için kullanılacak olan kalker ve killi karışım, döner silindir fırınlarda, 1350–1450°C sıcaklıklarda pişirilir. Hammaddeler; sıcaklığın etkisiyle meydana gelen kimyasal olaylar sonucunda klinker adı verilen ürüne dönüşmektedir. Fırın çıkışı klinker soğutulup ve toz halinde öğütülür. Öğütme esnasında karışıma küçük bir miktar (%3–6 oranında) alçıtaşı eklenir.

Çimento kimyasında komponent elementlerin (Si, Ca, Al ve Fe) oksitleri komponent oksitler olarak ifade edilirler ve klinkerin kimyasal bileşimi dörtlü sistemde ($\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$) gösterilmektedir.

Killi ve kalkerli hammadde öğütülerek yaklaşık 800–900°C de ön ısıtıcılarda işlem gördükten sonra tekrar döner fırına yönlendirilmektedir. Sıcaklığın etkisiyle, hammadde oksitlere ayrışır. Oksitler arasındaki çeşitli kompleks reaksiyonlar sonucunda klinkerin ve portland çimentonun ana bileşenleri oluşmaktadır. Tablo 2’de Portland çimentosunun ana bileşenleri ve sembolleri verilmiştir [33].

Tablo 2. Portland çimentosu ana bileşen ve sembolleri [34].

Ana Bileşenler	Sembolleri
Tri.kalsiyum.silikat (3 CaO.SiO ₂)	C ₃ S
Di.kalsiyum.silikat (2 CaO.SiO ₂)	C ₂ S
Tri.kalsiyum.alüminat (3 CaO.Al ₂ O ₃)	C ₃ A
Tetra.kalsiyum.alüminoferrit (4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)	C ₄ AF

Çimento içindeki ana bileşenleri farklı oranlarda bulundurmak suretiyle çeşitli amaçlara yönelik farklı çimentolar elde edilebilmektedir. Tablo 3’de beş tip portland çimentosu ve kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 3. Portland çimento tipleri ve kullanım alanları

	Portland çimentosu ve Türü	Kullanım Alanları
Tip I	Standart veya normal	Genel inşaat alanlarında
Tip II	Orta ısıda sertleşen	Sülfat reaksiyonlarına dayanıklı olup baraj, köprü, v.s. yapımında
Tip III	Çabuk sertleşip dayanıklılık kazanan	Özelliği ile ilgili inşaat alanları ve barajlarda su perdesi v.s. yapımında
Tip IV	Düşük ısıda sertleşen	Su alan ve nemli bölgelerdeki yapı temelleri ve baraj yapımında
Tip V	Sülfat reaksiyonlarına dayanıklı	Sülfat reaksiyonlarının bulunduğu inşaatlarda

1.4.3.3.Çimentonun Hidratasyonu

Çimento ile suyun birleşerek kimyasal reaksiyonun meydana gelmesi olayına çimentonun hidratasyonu denilmektedir. Çimento ile sudan oluşan çimento hamuru başlangıçta plastik bir yapıya sahip olup, iki malzemenin birleştiği andan itibaren hidratasyon başlamaktadır. Hidratasyonun devam etmesiyle plastik yapıya sahip olan hamur giderek plastisitesini kaybetmekte, zamanla katılaşarak sert bir malzeme haline almaktadır [35].

Çimento hamurunun bağlayıcılık kazanma hız ve miktarı hidrasyonun derecesine bağlıdır. Hidrasyonun ne hızda ve mükemmellikte oluşacağı hususu ise ortamdaki sıcaklık ve rutubet değişkenlerine ilave olarak büyük oranda çimento içeriği, çimento inceliği ve kullanılan çimento miktarına bağlıdır [32].

Çimento sertleşme teorisine göre; sertleşme sıvı halden katı hale geçiş olarak ifade edilir. Neville (1995)'ye göre sertleşme işlemi çimento içerisindeki belirli hidrasyon bileşikleri tarafından gerçekleştirilir. Bunlardan ilk iki reaktör bileşik tri kalsiyum alüminat (C_3A) ve tri kalsiyum silikattır (C_3S).

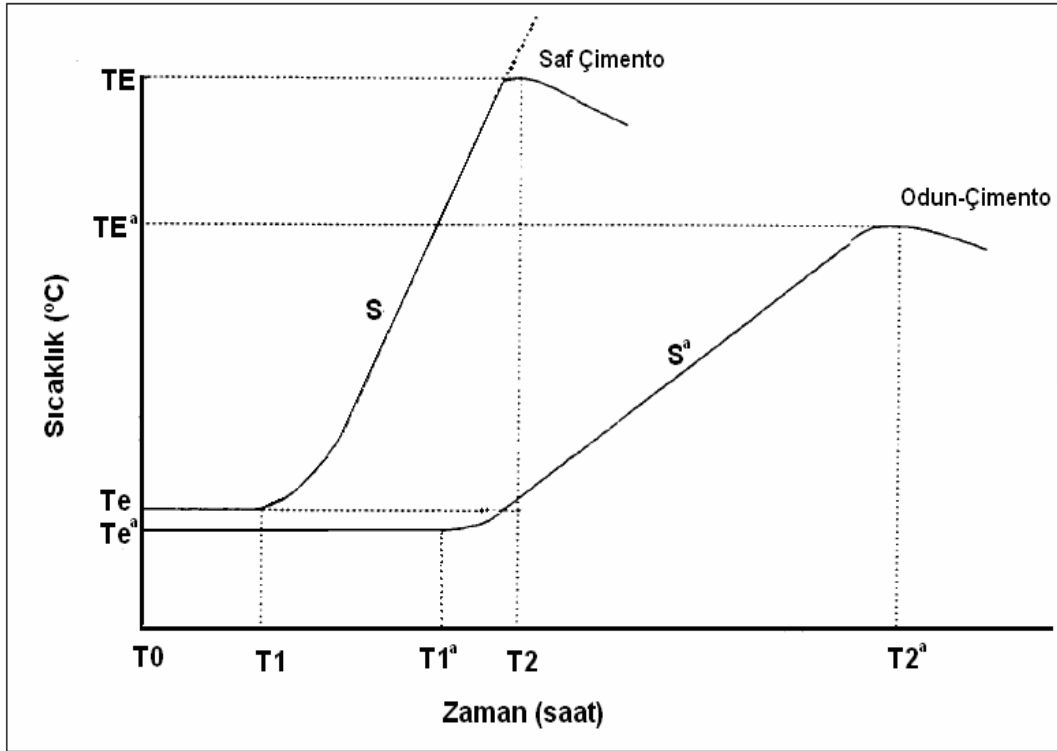
Tri kalsiyum silikat hidrasyonu tam olarak çimentonun su ile temasa gelmesiyle başlar ve reaksiyon sonucunda kalsiyum hidroksit (CaO) oluşur. Bu hidrasyon işlemi devam ettikçe kalsiyum hidroksit kristallerinin serbest kalması söz konusu olur. Dikalsiyum silikatın hidrasyonu (C_2S) reaksiyon esnasında bir miktar kirecin serbest kalmasıyla yavaş yavaş gelişir.

Trikalsiyum alüminat (C_3A) reaksiyonu hızlı olup, kristal şeklinde ibre ve plaka tarzında hegzagonal yapıların oluşumu söz konusudur. Kristal yapıların boyut ve miktarında hidrasyon süreci ile artış olmaktadır. Nispeten yüksek ısıda gerçekleşen hidrasyon süreci malzemenin hemen hemen kuru hale gelmesine olanak sağlar.

Tetra kalsiyum aluminoferrit (C_4AF) hidratların suyla temasa geçmesiyle reaksiyon hızı tri kalsiyum alüminat reaksiyonundaki kadar hızlı değildir. Tetra kalsiyum alüminoferrit bileşikler ise suyla karıştıktan ancak bir gün sonra iyi kristal yapı oluştururlar. Böylece portland çimento ile bağ oluşumu; karışık kristallerin bağlanması ile oluşan kütlelerin kristalizasyon işlemidir [36].

Çimento hidrasyonu ekzotermik olduğu için oluşan reaksiyonun sıcaklık artışı göstermesi muhtemeldir. Kısıtlanmış reaksiyonlar daha düşük hidrasyon sıcaklığı ve daha uzun hidrasyon süresi göstermektedirler. Çimentolu odun kompozitlerinde istenilen direnç değerlerine ulaşmakta birtakım problemler söz konusudur. Çünkü odun içerisindeki ekstraktif maddeler ve şeker yapıları çimento hidrasyonunu geciktirerek kristalin yapıların değişmesine neden olurlar [37].

Hofstrand ve arkadaşları (1984); Weatherwax ve Tarkow' un (1964) modelini geliştirerek odun-çimento sistemleri üzerinde Şekil 2'de gösterilen kısıtlayıcı etkiyi aşağıdaki şekilde formüle etmişlerdir [38].



Şekil 2. Tipik bir hidrasyon eğrisinin şematik yapısı

$$I = 100 \times \left(\frac{T2^a - T2}{T2} \right) \times \left(\frac{TE^a - TE}{TE} \right) \times \left(\frac{S - S^a}{S} \right)$$

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 : Odun çimento karışımı için maksimum eğim

1.4.4. Odunun Çimento ile Uyumu

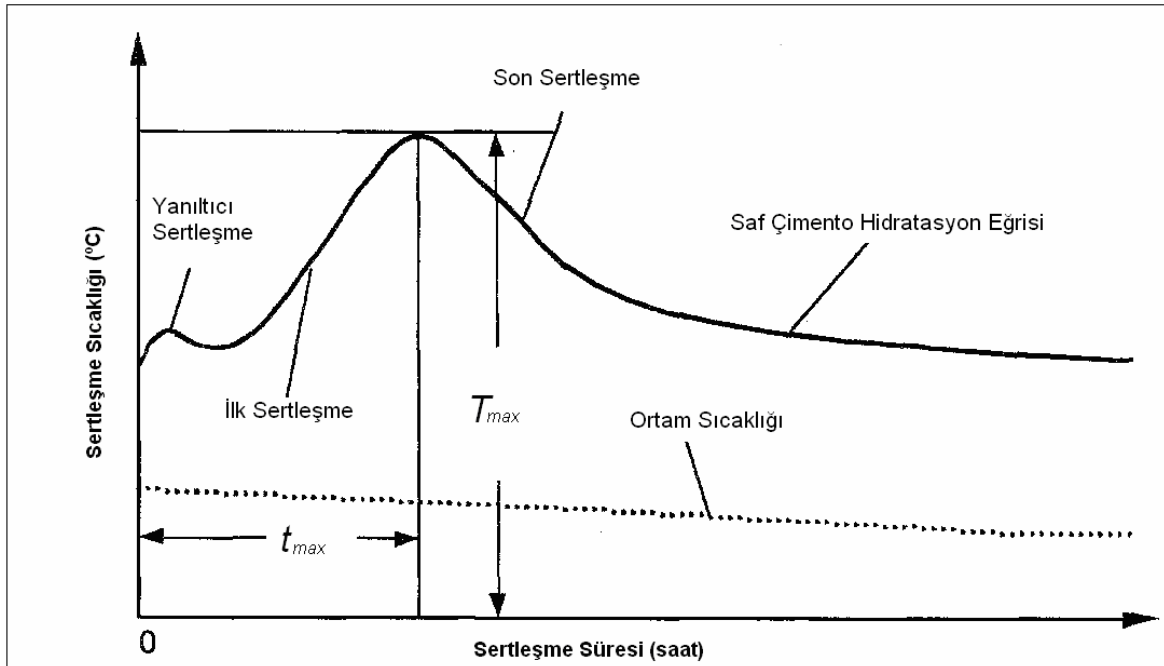
Uyumluluk kelimesi; odun çimento kompozit üretimi için kullanıldığında çimentonun suyla karıştırıldıktan sonra yongalanmış odun ile birleşmesi sonucu gösterdiği sertleşme oranını ifade etmektedir. Genellikle çimento odun yongalarıyla karıştırıldığında sertleşme reaksiyonu; kimyasal süreci bozulmamış ya da düşük oranda kısmen bozulmuş

olarak ifade edilir. Çimento sertleşmesinin bozulmadığı durumlarda, kullanılan odun türleri ile çimentonun uyumlu olduğu ifade edilir. Ancak; çimento odun yongalarıyla karıştırıldığında çimento sertleşmesi gerçekleşmiyor ise uyumlu olmadıkları belirlenmiş olur. Bu ilişki odun çimento kompozitlerinde hiçbir bağlanma olmaksızın fiziksel özelliklerin azalmasıyla açıklanabilir.

Yaygın bir analitik metoda göre kısıtlayıcı etki derecesi çimentonun sertleşmesi esnasında oluşan ekzotermik reaksiyonda açığa çıkan ısı miktarındaki azalma C_A Faktörü olarak ifade edilir. Bu faktör odun çimento karışımında açığa çıkan ısı miktarının saf çimentodan çıkan ısı miktarına oranındaki azalmanın ölçülmesiyle yada maksimum sıcaklığa (T_{max}) ulaşmak için gerekli olan zaman aralığı (t_{max}) ile belirlenir.

Çimento sertleşmesi esnasında; hammaddeler karıştırılmaya başlandıktan maksimum sıcaklığa ulaşmaya kadar geçen sürede Şekil 3’de verilmiş olan sıcaklık zaman eğrisi elde edilir. Bu eğri 3 fazlı olarak gerçekleşir. Bunlar,

1. İlk sıcaklık artış süreci; kısa bir süre içerisinde düşük düzeyde sıcaklık artışı oluşur
2. Hareketsiz süreç; sıcaklık artışı olmaz yada küçük düzeyde bir azalma olabilir.
3. Sertleşme Süreci; hızlı bir sıcaklık artışı ile çimento sertleşmesi gerçekleşir [39].



Şekil 3. Çimento sertleşmesi esnasında oluşan sıcaklık zaman eğrisi

1.4.4.1. Çimentolu Yongalevha Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Çimentolu yongalevha özellikleri kullanılan hammadde tür ve özelliklerine bağlıdır[40,41]. Kullanılan hammaddenin yaklaşık %30'u odunsu materyaldir. Çimentonun sertleşmesi açısından iğne yapraklı ağaç odunları yapraklı ağaç odunlarına göre daha uyumludur. Ayrıca odunsu malzemenin kesim zamanı yada odundan elde edilen yongaların alındığı yer dahi levhaların özelliklerini etkilemektedirler. Örneğin ilkbaharda kesilen odun sertleşme zamanını uzatılır. Öz odun diri oduna göre çimento hidrasyonuna daha çok olumsuz etki etmektedir [20, 38].

Ancak çimento tipi ve odun hammaddesinin durumu kontrol edildiğinde odun çimento kompozitlerinin özellikleri aşağıdaki faktörler yardımıyla ayarlanabilir.

1.4.4.1.1. Odun ve Bitkisel Atık Tipi

Çimentolu odun kompoziti üretiminde çalışmalar, yaygın olarak kullanılan hammaddeler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yerel odun türleri, zirai ve hatta endüstriyel atıklar kullanılabilir. Her ağaç türü çimentolu odun kompoziti üretimi için uygun olmadığı için çalışmalar; uygun ağaç türü belirleme ve bunların özelliklerini iyileştirme konusunda yoğunlaşmıştır. İçeriğindeki şeker miktarı çimentonun sertleşmesine olumsuz etki ettiği için levha üretiminde, şeker oranı düşük olan türler tercih edilmektedir [42].

Genel olarak iğne yapraklı ağaç türleri; yapraklı ağaç türlerine oranla hem daha düşük özgül ağırlığa sahip olmaları, hemde düşük oranda şeker, fenolik madde ve hemiselüloz gibi ekstraktifler içermeleri nedeniyle daha uygundur. Bu maksatla çam, göknar ve ladin gibi İYA türleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca okaliptüs, akasya ve birçok yapraklı ağaç türleri içerdikleri ekstraktif maddelerin olumsuz etkilerinin belirli yöntemlerle etkisiz hale getirilmesiyle kullanılabilirler. Bünyesinde tanen bulunan ağaç türlerinin kullanılması durumunda tanenin etkisiyle çimentonun sertleşmesi gecikmektedir [38]. Odunsu malzemede glikoz, sakaroz ve ksiloz miktarı karışımın oranı % 0,25'nin üzerine çıktığında, malzeme çimentolu odun kompoziti üretiminde direk olarak kullanılamaz. Bunun sebebi odun liflerinin yüzeyinde çimentonun su ile reaksiyona girmesini önleyen bir tabakanın oluşmasıdır [43].

Bitkisel lignoselülozik atıkların çimento bağlayıcılı levha üretimleri için alternatif hammadde kaynağı olarak kullanımı özellikle lifsel bitki atıkları bakımından yüksek potansiyele sahip ülkeler açısından giderek daha çok önem kazanmaktadır. Bitkisel liflerin sağlamlık ve düşük maliyetine rağmen sadece yılın belli dönemlerinde elde edilebilmeleri, çimento ile karıştırma ve bağlanma zorluğu da önemli problemlerdendir. Ayrıca bitkisel liflerdeki hemiselüloz ve lignin'in, normal portland çimentonun sahip olduğu yüksek alkali koşullarda kolayca çözünmesi, endüstriyel uygulamalar açısından bu maddelerin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle mevcut bitkisel lif kaynaklarının birtakım ön işlemlerden geçirildikten sonra kullanılması (soğuk su, sıcak su, %1 NaOH) veya mekanik veya kimyasal hamur işleminden sonra çimentolu liflevha üretiminde kullanımı söz konusudur [44].

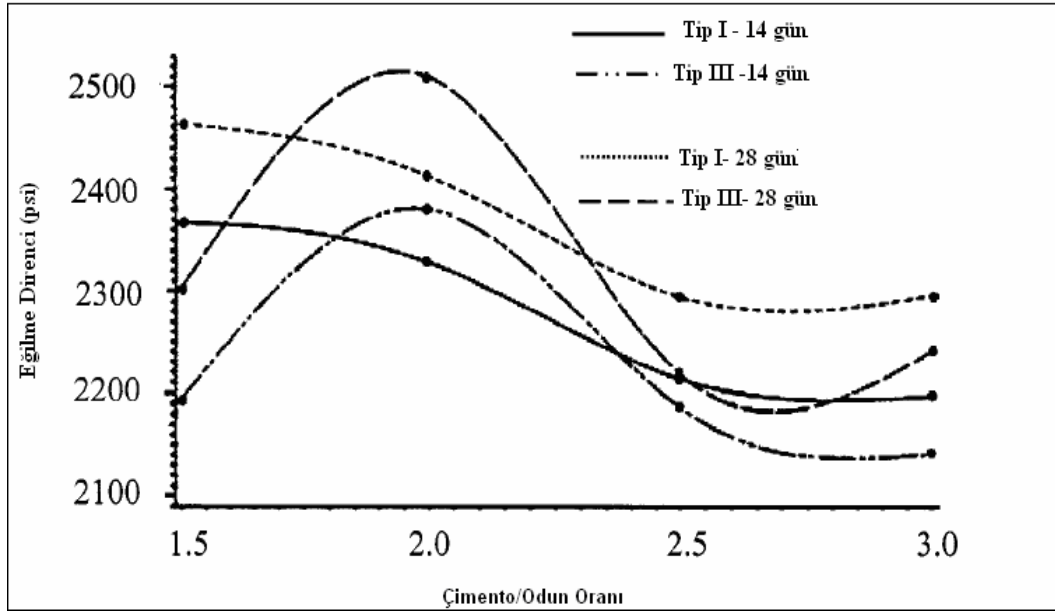
1.4.4.1.2. Odun/Çimento Oranı

Reçine esaslı odun kompozitleri üretiminde tutkalın; yonga veya lifler üzerine noktasal olarak homojen bir şekilde püskürtülmesi ile bağlanma sağlanırken çimentolu odun kompozitlerinde kabul edilebilir, özelliklerde bağlanma sağlamak için odun yonga veya liflerini tamamen saracak düzeyde çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır [45].

Çimentolu odun kompozitleri üretiminde; çimento/odun oranı son ürün özelliklerine etki eden önemli bir parametredir. Zira maliyeti ve özgül ağırlığı oranını etkiler. Günümüzde ticari olarak üretilen levhalar 2,75 ile 3,0 seviyesindeki çimento/odun oranı ile üretilmektedir [46].

Prestemon (1976), çimentolu yongalevhelerde çimento/odun oranını 0,75'ten 1,5 seviyesine artırdığında daha yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerine ulaşmıştır [47].

Moslemi ve Pfister (1987); çimentolu yongalevhelerde çimento /odun oranını 3 den 1,5'e düşürdüklerinde eğilme direncinde artış belirlemişlerdir. Kullandıkları yonga boyutları 0,56mm kalınlığında 12–25mm arasındaki uzunluk ve genişliğindedir. Portland çimentosu olarak ise tip I ve tip III çimento kullanmışlardır. Şekil 4'de çimento/odun oranının eğilme direncine etkisi görülmektedir [40].



Şekil 4. Çimento/odun oranının eğilme direnci üzerine etkisi

Lee ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada; 2.0 seviyesindeki çimento/odun oranının üzerinde gerçekleşen artışlarda çimentolu odun yünü levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü ve dayanım özelliklerinde azalma olduğunu belirlemiştir [48].

Oyage (1990), 1.55, 2.33, 3.10 seviyesindeki çimento/odun oranlarında eğilme direnci ve elastikiyet modülü özelliklerini incelemiştir. Sonuçta sabit bir yoğunlukta çimento/odun oranı azaldıkça eğilme özelliklerinde genel bir gelişme olduğu belirlenmiştir [49].

Düşük düzeydeki çimento/odun oranı, bağlanmanın zayıf olmasına neden olur. Ancak çimento miktarının çok yüksek olması durumunda çimentonun özgül ağırlığının yüksek olması nedeniyle gevrek bir malzeme oluşur.

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 da karmaşıktır. Çalışmada azalan odun/çimento oranıyla levha eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin doğrusal olarak azaldığı belirlenmiştir [50].

1.4.4.1.3. Odun Yongalarının Su veya Kimyasal Maddelerde Çözünürlüğü

Odun yongalarının sıcak su yada kimyasal maddelerde çözünürlüğü, odunun çimento hidratasyonu üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak amacıyla sık kullanılan bir yöntemdir. Özellikle odun içerisindeki suyla çözünen ekstraktif maddeler en önemli olumsuz etkiye sahiptir [51].

Basit odun şekerleri kuruma ve depolama esnasında odun yüzeyine taşınabilir ve bazı ekstraktifler çimento reaksiyonunu geciktirerek fiziksel ve mekanik bağın zayıflamasına neden olur. Asetik asit ve tanen asitleri gibi bazı organik asitler sadece çimento sertleşmesini yavaşlatmakla aynı zamanda çimento ile odun lifleri arasındaki bağa zarar vererek, sonuçta kompozit direncinin de azalmasına neden olurlar [22, 51, 52].

Şekerlerin, şeker asitleri ve hemiselülozun çimento sertleşmesine önemli oranda olumsuz etki ettiği belirlenmiştir. Odun komponentlerinin çimento sertleşmesi üzerine yaptığı etkileri belirlemek için yapılan bir çalışmada; çimento ağırlığına oranla sadece %0,1 glikoz ilavesiyle çekme direncinde %50 civarında bir azalma söz konusu olmuştur. Kuersetin, asetik asit, alfa pinen, oleik asit, abiyetik asit ve beta sitosterol gibi ekstraktiflerin çekme direncini daha düşük seviyede düşürdüğü tespit edilmiştir.

Miller ve moslemi tarafından yapılan deneylerde öz odun tanenlerinin çimento hidratasyonunu olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Çalışmalarda %0,2 den fazla oranda bu maddelerin mevcudiyeti çimento hidratasyonunu önemli düzeyde engellediğini göstermiştir. Bununla birlikte çimento sertleştirici maddeleri içerisindeki belirli katyonların tanenlerdeki fenolik gruplarla metal kompleksleri oluşturarak çimento hidratasyon reaksiyonlarında oluşan olumsuz etkiyi nötralize edebilirler. Bunun sonucunda çözünmez komplekslerin oluşumu söz konusu olur [53].

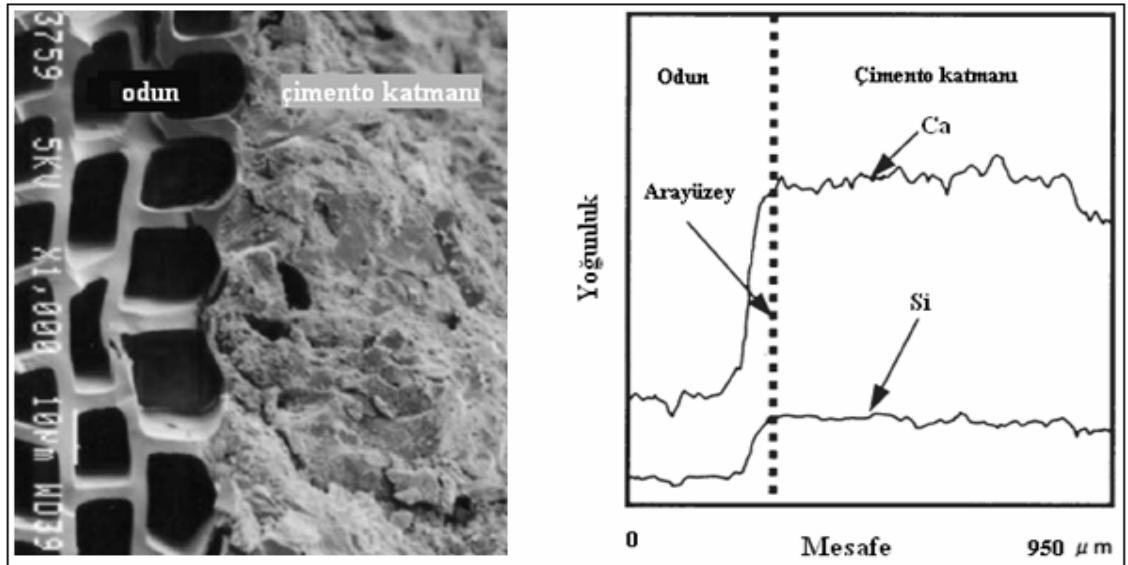
1.4.4.1.4. Sertleştirici İlavesi

Çimentolu levhalarda sertleştiricilerin kullanımı; 1880'lerin başlarında çimento hidrasyonunu hızlandırmak amacıyla CaCl_2 'nin kullanımıyla gündeme gelmiştir. Sertleştiriciler arasında CaCl_2 ; etkinliği ve kolay bulunabilirliği nedeniyle hala yaygın olarak kullanılanlarından biridir [54]. Güçlendirilmiş beton üretimlerinde CaCl_2 kullanımı metal yüzeylerde korozyon oluşturabilen kloridin açığa çıkması neden olmaktadır. Bu da

uygulamalarda birtakım problemler yaratmaktadır. Buna rağmen çimentolu odun kompozit üretiminde gelecekte de kullanımı devam edebilecek bir sertleştiricidir.

Yapılan bir çalışmada; odun ile karıştırılan çimentonun hidrasyon süresini kısaltarak odun çimento kompozitlerinin özelliklerini iyileştirmek için gerekli uygun sertleştirici tip ve miktarı üzerinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Sertleştiricilerin odun içerisindeki serbest ekstraktif maddelerin difüzyon aktivitesini tamamen engellediği veya sınırlandırdığı belirlenmiştir. Bu sertleştiricilere örnek olarak CaCl_2 birinci sırada yer alır. Ayrıca FeCl_3 , MgCl_2 , Na_2SiO_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Na_2CO_3 ve NaHCO_3 bileşikleri de sertleştirici olarak kullanılan önemli kimyasal maddelerdir [55, 56].

Yapılan bir çalışmada; çimentolu odun kompozitlerin kırılma yüzeylerinden alınan mikro düzeydeki ara yüz kesitlerinden elde edilen element dağılımı incelenmiştir (Şekil 5). Çalışmada; odun yüzeylerinde belirlenen Ca ve Si elementlerinin bulunduğu yüzeye yakın bölgelerde temel hidrasyon ürünlerinde (kalsiyum hidroksit (CH), kalsiyum silikat hidratları (CSH), diğer hidrasyon ürünleri) artış olduğu belirlenmiştir [57, 58].



Şekil 5. Kırılma yüzeylerinde odun ile çimento ara yüz kesitindeki element dağılımının elektron mikroskobu ile görünüşü

1.4.4.1.5. Su/Çimento Oranı

Su miktarı; çimento esaslı ürünlerin kalitesi için önemli faktörlerin başında gelir. Miktarın çok fazla olması su hidrasyon süreci ve öncesinde çimento partikülleri arasındaki temas yüzeyini artırdığı için kılcal boşluk hacminin (porozite) artmasına neden olur. Aşırı su hidratlanmış ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine olumsuz etki edebilir [36, 59].

Su /çimento oranının odun çimento kompozitleri üzerine etkisi üzerine yapılan birçok çalışmada farklı sonuçlar elde edilmiştir. Optimal su/çimento oranının etkisi hammadde kullanım çeşidi ve ihtiyaç duydukları su gereksiniminin farklı olmasından dolayı açık bir şekilde belirlenmemektedir [60]. Pablo ve arkadaşları, su/çimento oranının artışıyla çimentolu odun kompozitlerinin direnç değerlerinde azalmanın olduğunu belirlemişlerdir. Su/çimento oranının artışı ile optimal su gereksiniminin altında direnç değerleriyle pozitif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir [61]. Simatupang (1979) ise; maksimum eğilme direnci elde etmek için daha fazla miktarda suya ihtiyaç olduğunu rapor etmiştir [62].

1.4.4.1.6. Çimentoya İkame Malzemelerin Kullanımı

Beton endüstrisinde çimento yerine ikame olarak baca külü, granül haldeki fırın cürufu ve silis külü yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Çimentonun hidrasyon süresi baca külü ya da demir cürufu ilavesiyle uzama gösterirken silis külü uygulaması ile bu süre kısalmaktadır

Bu nedenle odun çimento kompoziti üretimi esnasında yüksek hızda direnç kazanımının önemi dikkate alınarak silis külü kullanımının daha pratik olduğu görülmektedir [36, 59, 63].

Çimentolu lif levhalarda çimentoya ikame olarak %3 oranında hem baca külü hem de granül haldeki fırın cürufu kullanımı ile levhanın mekanik özelliklerinde iyileşmelerin olduğu belirlenmiştir [64].

1.4.5. Katkı Maddeleri

Neville (1995); betonda karışımı oluşturan maddelerde portland çimentosu, su ve dolgu maddeleri ile birlikte karıştırma esnasında ya da hemen önce karışıma ilave edilen maddelerin tümünü katkı maddeleri şeklinde tanımlanmaktadır. Özelliklerine göre çok çeşitli katkı maddeleri mevcuttur. Sertleştirici katkı maddeleri ilk zamanlarda betonun direnç gelişimini hızlandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Kalsiyum klorid (Ca Cl_2) yaygın olarak kullanılan sertleştirici katkı maddesidir. Katkı maddelerinin genellikle su ile karıştırılarak sulu çözelti halinde betona ilave edilmeleri daha uygundur. Şayet kuru halde betona ilave edilirse, karışım esnasında sertleştirici tanecikleri tamamen çözünmeyebilir. Aşırı oranda kullanımları ile hızlı dayanım kazanma ve dolayısıyla daha sonraki zamanlarda direnç kaybına sebep olabilecek kuruma daralmasında büyük artışlar oluşturarak betonu olumsuz etkileyebilirler [36].

Moslemi ve Zhengtian tarafından yapılan bir çalışmada; çimentoyla en az uyumlu ağaç türü olan Melez (*Larix occidentalis*) öz odunu ve portland çimentosu kullanılarak üretilen kompozitlerde hidrasyona çoğunlukla klorid ve sülfat içerikli 30 farklı katkı maddesinin etkisi araştırılmıştır [38]. Maksimum hidrasyon sıcaklığının toplam zamana oranıyla elde edilen hidrasyon oranına göre bileşiklerin etkinliği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; katkı maddelerinden SnCl_2 , FeCl_3 , AlCl_3 ve CaCl_2 gibi klorid bileşiklerinin, melez odununun çimentoyla olan olumsuz etkinin en etkin şekilde azaltıldığı belirlenmiştir [55].

Yapılan bir başka çalışmada; klorid içerikli bileşiklere ek olarak nitrat içerikli bileşiklerin etkinliği incelenmiş; $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{NO}_3)_6$, ZrNO_3 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, gibi nitrat içerikli bileşiklerin yüksek hidrasyon oranı verdiği belirlenmiştir. Sn^{+4} , Al^{+3} ve Fe^{+3} katyonları içeren bileşiklerin Akasya (*Acacia mangium*) öz odunu ile üretilen levhalarda çimento hidrasyonunu hızlandırdığı ve öz odun tanenleriyle çelat denilen çözünmez yapılar oluşturdukları belirlenmiştir. Bu katyonları içeren bileşikler yaygın kullanıma sahip çelat oluşturmayan CaCl_2 bileşiğinden daha yüksek hidrasyon değerleri verdiği tespit edilmiştir [65].

Su arıtımında yaygın olarak koagülant maddesi olarak kullanmakta olan Alüminyum sülfat düşük maliyeti, kolay bulunabilirliği ve çimentolu odun kompozitlerinde gösterdiği etkinliği nedeniyle tercih edilmektedir. Soriano ve arkadaşları (1997); Akasya (*Acacia mangium*) odunu ile üretilen çimentolu odun kompozitlerinde Alüminyum sülfatın

(Al_2SO_3) kalsiyum klorür (CaCl_2) ya da sodyum silikat (Na_2SiO_2) göre daha etkili olduğunu belirlemişlerdir [66].

1.4.5.1. Üretim Esnasında CO_2 Kullanımının Etkisi

Standart üretim tekniğinde çimentolu yongalevhaların pres sonrası mengeneler vasıtasıyla 8 saat ile 24 saat arasında değişen sürelerde sıkıştırılması gerekmektedir. Reçine esaslı levha üretiminde sıcak presleme süresinin çok kısa olmasına (levha kalınlığına bağlı olarak 6–9 dakika) rağmen çimentolu yongalevha üretiminde pres süresi çimentonun sahip olduğu uzun sertleşme süresi nedeniyle çok uzun olmakta ve endüstriyel uygulamaların verimliliği açısından önemli bir dezavantaj olarak görülmektedir. Genellikle üretim sürecindeki dezavantajdan kurtulmak için kullanılan yöntemlerden birisi CO_2 enjeksiyonudur [67].

CO_2 muamelesiyle Portland çimentosunun ilk sertleşme evresi 5 dakikadan daha kısa bir süreye düşürülebilir. Karbondioksit ile kalsiyum hidroksit arasında oluşan kimyasal reaksiyon kalsiyum karbonat ve su oluşması ile sonuçlanır. Çimentolu kompozitlerde ilk sertleşme evresinin kısalması karbondioksit enjeksiyonu kullanım avantajlarından sadece biridir. Araştırmacılar hidrasyon sürecini engelleyen şeker türü bileşiklerin CO_2 enjeksiyonu uygulaması ile azaldığını belirlemişlerdir. Böylece çimentolu odun kompozitlerinde daha geniş düzeyde odun türü kullanımına imkân sağlanabilmektedir. Ayrıca CO_2 kullanımı ile levhaların CO_2 uygulanmamış levhalara oranla bir kat daha fazla dayanıklı olduğu belirlenmiştir. CO_2 uygulanan çimentolu levhalarda efloresans olarak adlandırılan ve zamanla yapıdaki kalsiyum hidroksitin yüzeye sızarak beyazlamaya neden olması söz konusu değildir. Bu da önemli bir yüzey kalite özelliğidir [68].

CO_2 'nin süper kritik sıvı şeklinde uygulamasıyla çimentolu yongalevha üretiminde geleneksel üretime oranla levhaların fiziksel ve boyutsal kararlılıklarının daha fazla olduğu belirlenmiştir [69].

1.4.6. Sanayi Atıklarının Çimentolu Odun Kompozitleri Üretiminde Kullanımı

Tablo 4’de ülkemizde 2000–2004 yılları arasında imalat sanayinde oluşan atıklar ile tehlikeli atık ve atık su çamur miktarları verilmiştir [1].

Tablo 4. 2000–2004 yıllarına ait Türkiye imalat sanayi atık miktarı (1000 Ton)

	Üretilen	Geri kazanılan	Bertaraf edilen	Belediye çöplüğüne giden	Yakılan atıklar	Tarımda kullanılan	Diğer
İmalat Sanayi Atıkları	17300	8300	9000	1500	110	-	7390
Tehlikeli Atık	1250	400	850	40	100	-	710
Atık Su Çamurları	2400	0	2400	345	385	185	1815

1.4.6.1. Bakır Krom Arsenat (CCA) ile Emprenye Edilmiş Atık Materyalin Çimentolu Odun Kompozitleri Üretiminde Kullanımının Etkisi

Bakır krom arsenat (CCA) 50 yıldan daha uzun bir süredir ticari bir odun emprenye maddesi olarak kullanılmaktadır. Ancak son 20 yıldan beri kullanımı giderek azalmaktadır. Kanserojen madde içermesi nedeniyle CCA emprenye maddesinin de Avrupa ülkelerinde kullanımı yasaklanmıştır.

Günümüzde çok kısıtlı oranda hala kullanımı söz konusudur. Ancak yakın gelecekte tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yasaklanacaktır. Böylece önemli oranda CCA ile emprenye edilmiş ahşap direk yakın gelecekte servis dışı konuma gelecektir. CCA’lı atık odunların özellikle arazide dolgu olarak, yakarak değerlendirme gibi kısıtlı değerlendirme imkânlarına göre çimentolu levha üretiminde ön işlemlerden geçirildikten sonra kullanımı söz konusudur.

Amerika Birleşik Devletlerinde kullanım ömrünü tamamlayıp servisten alınan tel direklerinin miktarı 1994 yılında yaklaşık 8 milyon m³ iken bu rakam 2000 yılında 10 milyon m³’e ulaşmıştır. Değerin 2010 yılında ise 15 milyon m³ olacağı tahmin edilmektedir. Bu durum Avrupa ülkelerinde de benzer şekildedir. Her yıl ortalama 2,1–2,4 milyon m³ emprenyeli ağaç malzeme kullanım ömrünü tamamlayıp atıl hale gelmektedir

[70,71]. Bundan sonra yeni emprenyeli tel direği üretilmese dahi atıl haldeki emprenyeli ağaç malzemelerin değerlendirilmesi problemi 50 yıl daha devam edecektir [72].

Ülkemizde ağaç malzeme emprenyesinde ilgili standartlara uyma mecburiyetinin olmaması ve Bayındırlık Bakanlığı şartnamelerinde emprenye işlemlerinin yer almaması nedeniyle yılda 400,000m³ iğne yapraklı türlerden üretilen tel direkleri ve 30,000m³ yapraklı ve iğne yapraklı türlerden üretilen traversler emprenye edilmektedir. Özellikle Karadeniz bölgesi gibi sahil kesimlerinde emprenyeli ağaç malzemelerin kullanım ömrü 15–20 yıl kadardır. Atıl haldeki emprenyeli malzemelerin yeniden kullanılması veya bertaraf edilmesi konusunda ülkemizde yasal düzenlemeler bulunmadığı için bu tel direkler açık alan depolarında bekletilmektedir [73].

Odun-çimento kompozitleri, kullanılmış bakır krom arsenik (CCA) bileşiği ile emprenye edilen odunların geri dönüşümü açısından uygun bir değerlendirme alanıdır.

Cooper ve arkadaşları atık odunların çimentolu odun kompozitlerinde kullanımını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; gelecekte büyük bir problem olarak ortaya çıkacak CCA ile emprenye edilmiş tel direklerinin değerlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışmada; CCA ile emprenye edilen odunlar normal oduna kıyaslandığında portland çimento ile daha uyumlu olup, CCA emprenyeli atık yongalarla üretilen levhaların direnç değerleri, suya karşı dayanım ve boyutsal kararlılık gibi özelliklerinin normal levhalardan üstün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca CCA'lı odun yongalarının portland çimentosu ile karıştırılarak üretilen levhalarda bakır ve arsenik sızması büyük oranda azaltılırken krom sızmasında azalma olmamıştır. CCA'lı yongalar ile üretilen levhalar çürüklük testlerinde aynı şekilde işlem görmemiş yongalara nazaran daha yüksek dayanım özellikleri göstermiştir [61].

CCA ve kromik asit ile emprenye edilen çam yongalarının emprenye edilmemiş çam yongalarına oranla çimento ile daha uyumlu olduğu belirlenmiş ve levhaların çekme ve eğilme dirençlerinde artış belirlenmiştir. Çimentonun inorganik atık malzemelerle kaplanması üzerine yapılan bir çalışmada; kromun portland çimentonun direncini artırdığı ve inorganik esaslı toksit içerikli atık malzemelerin sızmasının azalttığı belirlenmiştir. Odun çimento kompozitlerinde CCA ile emprenye edilen odunların geri dönüşümü açısından uygun bir kullanım alanı olabilir [74].

1.4.6.2. Orman Ürünleri Sanayi Atıklarının Çimentolu Levha Üretiminde Değerlendirilmesi

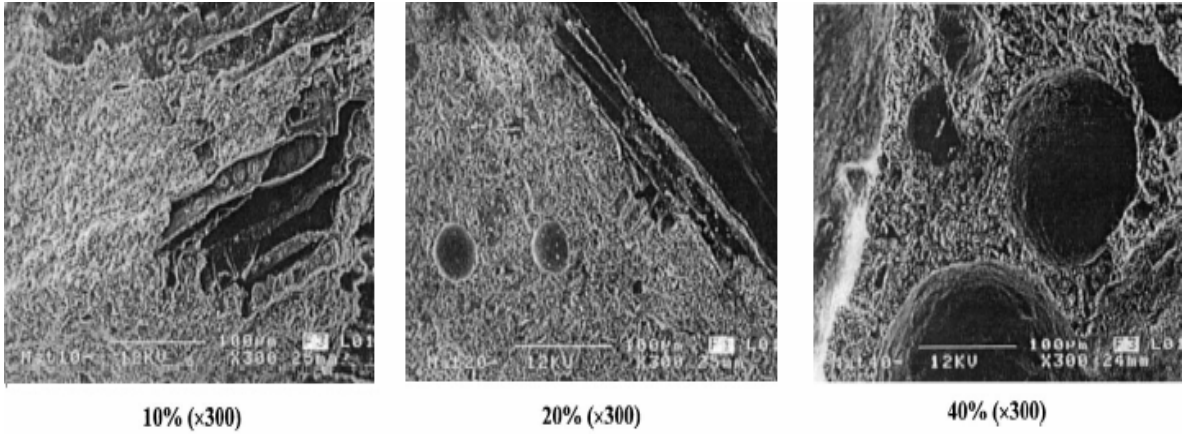
Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de MDF üretiminde önemli bir artış söz konusudur. Bu artışla birlikte üretimde oluşan lifsel atıklarında yeniden değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Odun esaslı levha fabrikalarında atıkların bertarafı; yakma veya arazi doldurma şeklindeki geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır. Ancak bu durum bir takım teknik ve çevresel problemler oluşturmaktadır. Bu nedenle MDF ve kâğıt fabrikalarında oluşan lifsel atıkların yeniden değerlendirilmesinin önemini artırmaktadır.

Çimentolu odun kompozitleri; sahip olduğu özellikler yanında portland çimentosunun yüksek pH'ı ile lifsel atıklardaki reçinenin alkalinitesinin çimentonun sertleşmesini engellememesi nedeniyle atık lifler için iyi bir değerlendirme alanıdır [75].

Kâğıt fabrikası atık su arıtma atıklarının çimentolu liflevha üretiminde değerlendirilmesinin incelendiği çalışmada; özellikle yüksek biyolojik aktivitesi ve içerisindeki atık lif ve kum nedeniyle kâğıt üretimde değerlendirilemeyen ikincil atıklardan çimentolu liflevha üretimi incelenmiştir. Genellikle suyu uzaklaştırıldıktan sonra hacmi ve ağırlığı azaltılan ikincil lifsel atığın arazi doldurma şeklinde bertarafı söz konusu olmaktadır. Ancak yüksek hacimdeki atık miktarı dolgu işlemini zorlaştırmaktadır. Çimento/atık oranı 60/40, 50/50 ve 40/60 olacak şekilde yapılan denemelerle lifsel atık kullanımının artışı ile levha özelliklerinde gelişmelerin olduğu belirlenmiştir [76].

Orman ürünleri endüstri atıkları (%10–40), çamur atığı (%40–70)ve PÇ 52,5 portland çimentosu (%20) kullanılarak yapılan bir çalışmada; odun kullanım oranının etkisi incelenmiştir. Şekil 6'da farklı oranlardaki odun atıklarıyla üretilen çimentolu izolasyon levhalarının elektronik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi odun miktarının artışıyla levhalar daha porozif bir hal almaktadır. Çalışma sonucunda endüstriyel odun atığı kullanımındaki artış ile levha mekanik özelliklerinde azalma olurken odun ilavesiyle malzemenin izolasyon özellikleri gelişmiştir [77].



Şekil 6. Farklı oranlardaki odun atıklarıyla üretilen çimentolu izolasyon levhalarının elektron mikroskobu görünümü

Başka bir çalışmada; MDF fabrikasında elde edilen lifsel atıkların çimentolu levhalarda değerlendirilmesi incelenmiştir. Normal ve buharlanmış lifsel atıkların; sahip olduğu suda çözünabilir maddelerin çimento sertleşmesini engellediği için çimento ile zayıf uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir. Bu ancak problem hızlı sertleşme amacıyla uygulanan CO₂ enjeksiyon yöntemiyle aşılabılmıştır. CO₂ enjeksiyonu ile 3–5 dakikaya düşürülen presleme süreci sonrası levhaların 28 günlük direnç değerlerinde %50–70 oranında gelişme olmuştur. Ayrıca atık liflerle üretilen levhaların su alma değerlerinde de azalma belirlenmiştir [78].

1.5. Trabzon İçme Suyu Kaynağı ve Arıtılması

Avrupa Kentsel Atık Su Direktifinin (UWWTD - 91/271/EEC) ülkemizde 2015 yılına kadar tam olarak uygulanması ile nüfusu 2 binden fazla olan yerleşim ve sanayi alanlarında atık su arıtma tesisi, nüfusu 10 binden fazla olan ve deniz alanlarına yakın yerleşim yerlerinde ise ileri arıtma yöntemleri uygulama zorunluluğu getirilmektedir. Ayrıca bu direktif ile arıtma tesisleri ve etkilenen suların performanslarının izlenmesi (Madde 15 + Ek I); atık su arıtma tesisi çamurunun bertaraf edilmesinin ve tekrar kullanımının kontrolü yapılmaktadır [79].

AB ülkelerinde bu direktif nedeniyle kurulan yeni arıtma tesisleri ile 2005 yılında 10.7 milyon ton (kuru ağırlık bazında) atık su arıtma çamuru seviyesine ulaşılmıştır. .

Atık su arıtma çamurunun son bertarafı için değişik üye ülkelerin uyguladıkları (uygulayacakları) metotlar ve yaklaşımlarla ilgili bilgiler halen kesinlik kazanmış değildir.

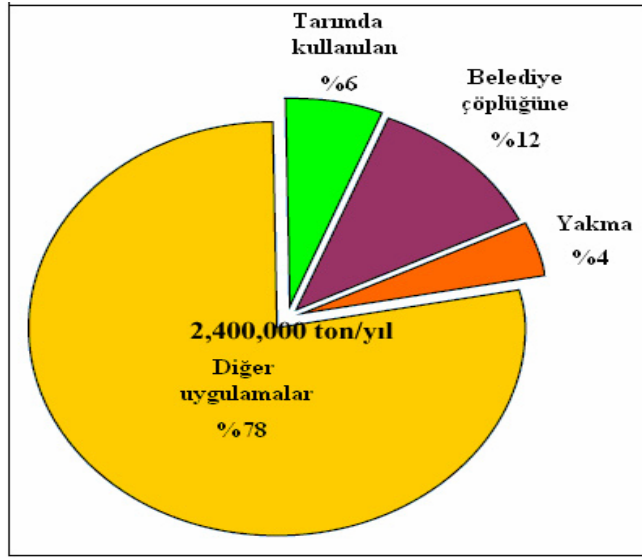
Bazı Avrupa ülkelerinde atık çamurlarının bertarafındaki ana uygulama bunların düzenli depolama sahalarında gömülmeleridir. Uygulamanın %50 – 75 kadarı arasındaki bu yöndedir. Geri kalan (%25 ile 35 arası) miktarı zirai tarım bölgelerinde toprak iyileştiricisi / gübre amaçlı kullanılmakta veya diğer geri dönüşüm sistemleri içinde (örneğin, parklar, saha ıslah işlemleri ve peyzaj gibi amaçlarla) değerlendirilmektedir.

Ulusal otoriteler (yönetimler) ham arıtma çamurunun, zirai kullanım veya kompostlaştırma gibi diğer uygulamalarla geri kazanımını en uygun yöntem olarak görmekte, ancak bu çamurun yakılmasını en kötü yöntem olarak değerlendirmektedirler. Buna rağmen “Tarımda Arıtma Çamurunun Kullanılması Yönetmeliği”ne (No: 86/278/EEC) göre arıtma çamurunun tarım alanlarında birkaç kez kullanımından oluşabilecek toksik maddelerin, özellikle ağır metallerin, birikmesi engellenmektedir.

Arıtma çamurlarının denize gönderilerek bertarafı günümüzde yasaklanmış, bunların depolama alanlarında bertarafı ise yeni yayınlanmış olan "Düzenli Depolama Sahası Yönetmeliği" sayesinde kontrol altına alınmıştır. Düzenli Depolama Sahası Yönetmeliği atıkların depolama sahasında depolanmalarından önce, bunların bütün organik içeriklerinden arındırılması zorunluluğunu getirmiştir.

Arıtma Çamurunun nihai bertarafı ile ilgili sorun, bu atıkların miktarlarının devamlı olarak artması ve yine bu atıkların tarım arazilerinde sınırlı olarak kullanılabilmeleri nedeni ile hala çözüme kavuşmamıştır. Bu sorunun çözümü, her yıl yaklaşık olarak 4 milyon ton mertebesinde arıtma çamuru ortaya çıkaracak olan ve atık sularını henüz arıtmayan ancak arıtmak üzere yeni tesisleri devreye almak zorunda bulunan geçiş durumundaki ülkemiz gibi ülkeler için daha da zordur [80].

Ülkemizde TÜİK, verilerine göre çeşitli bertaraf yöntemleriyle yıllık 2,400,000 ton arıtma çamuru Şekil 7’de gösterilen oranlarda bertaraf edilmektedir [81].



Şekil 7. Arıtma çamuru bertaraf yöntemleri (1994, 1995, 1996,1997 ve 2004)

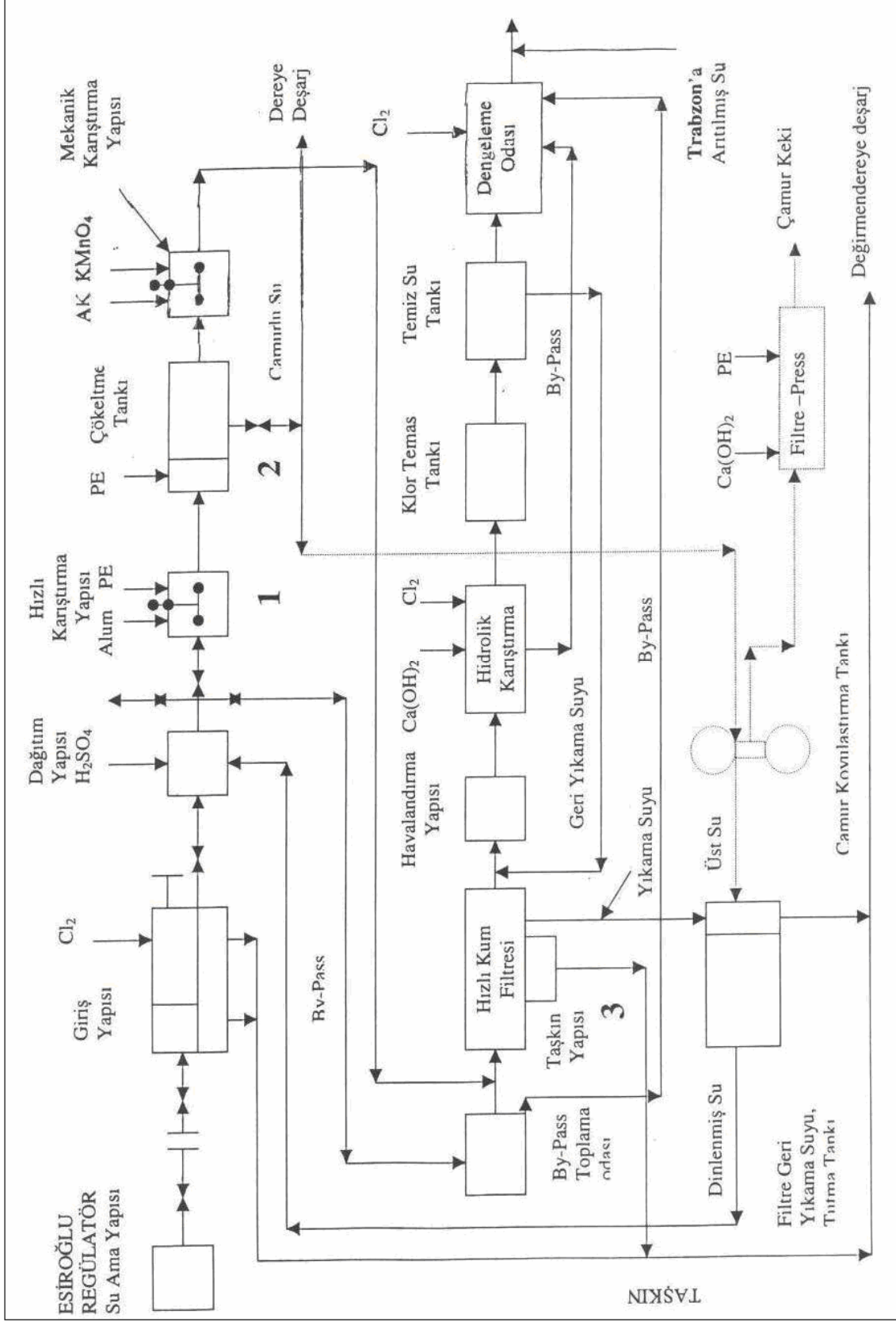
Trabzon içme suyu; başlıca yer üstü su kaynağı olan Değirmendere deresi üzerinde denizden 15km içeride Esiroğlu ve Galyan derelerinde mevcut olan regülatörlerden; fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özellikleri bakımından İçme Suyu Standardına (TSE 266) uygun nitelikte olacak şekilde sağlanır [82].

Değirmendere; dağlık alanlar, yayla ve tepelerden inen küçük dere ve ırmak sularıyla beslenerek ortalama 300.000m³/gün su kapasitesine ulaşır. Dereyi besleyen ırmaklar genelde yeşil alanlar ve küçük yerleşim bölgelerinden (köy) geçtiğinden aşırı bir kirlenmeye maruz kalmaz. Ancak, bu ırmakların birleşim noktası yaklaşık 11.000 kişilik nüfusa sahip Maçka ilçe merkezine rastlar ve Trabzon-Erzurum karayolunu takip ederek Karadeniz'e dökülür. Yerleşim alanları ve yol boyunca bulunan bazı iş yerlerinin (petrol istasyonları, yıkama-yağlama, kömür depolan, taş ocakları, tamir atölyeleri ve küçük tip atölyeler) atıkları, kanalizasyon suları direkt olarak dereye deşarj edildiğinden az da olsa ham su için bir kirlilik teşkil eder. Yöredeki tarım alanlarında kullanılan zirai gübre ve ilaçlardan dolayı kirlenme söz konusu olabilir. Ancak dere akış debisinin fazla ve akış sahasının girintili çıkıntılı taş ve kayaçlarla kaplı oluşu suyun havalanmasını ve su içindeki çözülmüş oksijen miktarının artmasını sağlayarak doğal olarak suyun temizlenmesine ve var olan kirliliklerin seyrelerek miktarının azalmasına sebep olmaktadır.

Trabzon şehir içme suyu Maçka-Esiroğlu mevkiindeki Trabzon Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde arıtıldıktan sonra fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik analizleri yapılarak, içilebilir nitelik ve kalitede olduğu tespit ve rapor edilerek tüketime sunulur.

Arıtma Tesisi ana hatlarıyla aşağıdaki kısımlardan oluşur. Şekil 8’de Trabzon kenti içme suyu arıtma tesisi akış diyagramı verilmiştir.

1. Tesis girişi ve geri dönüşüm sistemi
2. Kimyasal dozlama ($AlSO_4$ İlavesi)
3. Sülfürik asit dozlama (H_2SO_4 İlavesi)
4. Pıhtılaştırmayı hızlandırıcı dozlama
5. Durultma
6. Filtrasyon
7. Kireç dozlama
8. Klor ilavesi
9. Örnek alma ünitesi
10. Servis suyu ünitesi
11. Bakım ünitesi



Su Alma Yapısı ve Izgaralar (Regülatör Ünitesi): Ham su, regülatörden alındıktan sonra kaba ve iri malzemenin tutulması ve sonraki arıtma işlemlerine kolaylık sağlanması için tesis girişinde ızgaralar, kum tutucu kanallar ve döner elek sisteminde süzülür.

Tesis Giriş (By-Pass) ve Harmanlama Ünitesi: Ham su kontrol vanasından dağıtım odasına geçmekte, buradan geri dönüşüm hatlarına dağıtılmaktadır. Geri dönüşüm sistemi ile bütün tesisin, durultucular ve filtrelerin kontrolü sağlanmış olur.

Havalandırma: Genel olarak havalandırma işlemi; yüzeysel sulardaki çözünmüş oksijen miktarını artırmak için yapılan önemli bir gaz transferi olayıdır. Ayrıca su içindeki uçucu maddeler, koku ve hidrojen sülfürün giderilmesi, suyun içindeki oksijen muhtevasının düşük olması halinde, demir ve magnezyumun oksitlenmesi, amonyağın giderilmesi ve sudaki oksijen miktarının yükselterek korozyon sorununun azaltılması amacıyla kullanılır.

Ön Klorlama: Havalandırmayı takriben demir ve amonyağın oksitlenerek giderilmesi, organik maddelerin parçalanması, rengin düzeltilmesi, bakteri ve alg gibi mikroorganik maddelerin yok edilmesi için gereklidir.

Ham Suda pH Düzenlemesi: Koagülant madde olarak $Al_2(SO_4)_3$ 'ün kullanıldığı durultma işleminin gerçekleştirilebilmesi için gerektiğinde ham suyun pH'ının düzeltilmesi amacıyla sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılır. Optimum değerinin altına düştüğünde, pH'ının düzeltilmesi için suya kireç ilavesi yapılır.

Çökeltme/Durultma: Ham su durultucu havuzlarına gelmeden önce M1 ve M2 nolu karıştırıcı hücrelerinden geçirilerek su ile kimyasal maddelerin karışımı sağlanmaktadır. Şekil 4'den de görüleceği gibi, 6 hücreye bölünmüş M1 karıştırıcı hücresi suya bir hareket ve türbülans kazandırmaktadır. Bu noktada Alüminyum sülfat dozlaması da yapılmaktadır. Sülfürik asit dozlaması ise bunu takip eden noktalarda gerçekleştirilir. M2 hücresi; durultucu bloğunun tam ortasında yer almaktadır. Polielektrolit dozajlaması bu hücrede gerçekleştirilir. Ardından su durultucu ham su kanallarına gönderilir.

Genellikle, evsel ve endüstriyel suların bulanıklılığının istenilen değerlere indirgenmesi için filtrasyon yapılır. Filtrasyonun etkili olabilmesi için bu üniteden geçirilecek olan ham suyun, içerebileceği katı maddelerin belirli sınırların altında olması gerekmektedir. Bu sınır, arıtma sisteminin son kademelerinde kullanılan yavaş ve hızlı kum filtreler için $(2-5) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ 'ü aşmamalıdır.

Çökeltme, suyun arıtılması için belli bir süre bir hacimde bekletilmesi şeklinde yapılan durulaştırma işlemidir. Bu amaçla tanklar kullanılır. Yer çekimi kuvvetinin

etkisiyle, tanecikler aşağıya durultucu tabanına doğru hareket ederler, buna "çökeltme" denir. Su; durultucuyu askıdaki maddelerden arındırılmış olarak terk eder.

Suyun bulanıklığını oluşturan maddeler kolloid bünyede olup, çoğunun elektrik yükü negatiftir. Bunun için teşekkül eden çözelti taneleri pozitif olmalıdır. Böylece kolloid taneleri ile çökelti taneleri birleşip gittikçe büyüyen çökelti parçalarını meydana getirirler. Bu maksatla başlıca; $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ ve CaO gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Günümüzde çökelti oluşturmak için yaygın olarak alüminyum sülfat tuzları kullanılmaktadır.

Çamur konileri: Her durultucu havuzunda 10 adet çamur konisi bulunmaktadır. Bu koniler çamur miktarını istenilen seviyede tutulmaktadır. Bunlar paslanmaz çelikten yapılmış olup, biriken çamurlar periyodik aralıklarla deşarj edilir.

Çamurun atılması: Çamurun atılması, konilerden kontrol ünitesinin devreye girmesi ile sağlanmaktadır. Havuz tabanında zaman içerisinde çöken katı maddelerden oluşan arıtma çamuru, şilt, havuzların uç kısımlarında bulunan çukurlarda biriken arıtma çamuru basınçlı hava kumandalı bir vana ile uzaklaştırılır. Arıtma çamur Değirmendere'ye deşarj edilmektedir.

Filtrasyon: Durulmuş suda askı halinde bulunan maddeler çakıl tabakası ile desteklenen granülometrik kumun kullanıldığı hızlı filtrelerde tutulmaktadır. Sistem 7 adet $34.400 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'lük akıma sahip filtre havuzundan oluşmaktadır. Filtre; hava ile yıkamayı takiben, sistemin aşağıdan yukarıya doğru basınçlı su ile yıkanması şeklinde uygulanan bir yöntem ile temizlenir. Geri yıkama için 250 m^3 su ve 3–5 dakika arasında süre gereklidir.

Filtre tabanı, bir ucundan merkezi bir boruya bağlı olup, diğer ucu kapatılmış 100mm çapındaki plastik lateral borulardan meydana gelmektedir. Bu lateral borular muntazam aralıklı süzgeç ile teçhiz edilmiştir. Filtre işlemi sırasında filtre yatağında biriken katı maddeler süzülmeyle zorlaştırır. Bu sorunu çözmek için filtreler; yıkama hızı 6.5mm/saniye olan basınçlı hava ile geri yıkama yapılır.

Hızlı karıştırma ve yumaklaştırma: Yüzey suları bilhassa 10^{-7} –0,1mm büyüklükteki tanecikleri ihtiva ederler. Bu tanecikler çözünmüş maddeler, kolloidler ve askıdaki katı maddeler (süspansiyon) olarak sınıflandırılır. Çözünmüş maddelere Na^+ , Cl^- , N_2 örnek olarak verilebilir. Kolloidlerin çapları $0.001 \mu\text{m}$ arasındadır. Bakteri, kum, bitki, ve hayvan artıkları örnek verilebilir.

Bir taneciğin çökeltme hızı, tanelerin yoğunluk ve çapı ile sıvının viskozitesine bağlıdır. Bu tür tanecikleri sudan ayırma işlemi flokleştirilerek (yumaklaştırarak) çökeltme

hızlarını artırmak sureti ile olur. Yumaklaştırma işlemi küçük partiküllerin yumaklar haline getirilerek çökertilmesidir. Bu işlem pıhtılaştırma ve yumaklaştırma olmak üzere iki kademedir meydana gelmektedir. Ham suya, sudaki kolloidal maddeler ile reaksiyona girerek alüminyum hidroksit yumağı oluşturacak bir koagülan madde olan alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) katılmaktadır. Bu amaçla kullanılan diğer maddeler ise $Fe_2(SO_4)_3$, CaO 'dir.

Jar-Testi yapılarak yumaklaştırıcının cins ve dozaj miktarı belirlenmektedir. Koagülan maddeler asidik özellik taşırlar. Oluşan topaklar, çökeltim tanklarında birikerek çamur örtüsü (battaniyesi) oluşturmaktadır. Pıhtılaştırıcı dozunun ayarlanabilmesi için ham su pH değeri ölçülmelidir. Uygun alüminyum sülfat dozu, filtrelene işleminden sonra berrak ve renksiz bir su üretilmesi için suya karıştırılması gereken minimum pıhtılaştırıcı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Floklaştırma, yani topak teşekkülünü kolaylaştırmak için ilave pıhtılaştırıcı (polielektrolit) kullanılabilme imkânı da vardır.

Koagülan Yardımcı Dozlama (Polielektrolit): Ham suda, koagülan (alüminyum sülfat) tarafından oluşturulan flok (topak) kalitesini iyileştirmek, yumaklaştırma işlemi hızlandırmak, daha büyük yumak elde etmek ve suda organik maddelerden ileri gelen rengi gidermek için; yardımcı yumaklaştırıcı maddeler kullanılmaktadır. Ayrıca su sıcaklığının düşük olması halinde, vizkozite yüksek olur. Dolayısıyla yumakların çökme hızları düşer. Bu durumda yardımcı madde ilave edilerek yumakların çökme hızları iyileştirilir.

Kireç Dozlaması: Filtre edilmiş suyun pH değeri kireç karıştırılarak düzenlenir. TSE'ye göre içme suyunda pH6–8 arasında olması gerekir. Ayrıca iyi bir çökme olması için pH 6,5–7,8 arasında olmalıdır.

Dezenfeksiyon: Sağlığa zararlı mikroorganizmaların giderilmesi işlemine "suyun dezenfeksiyonu" denilmektedir. İçme sularının dezenfekte edilmesinin gayesi sudan geçen hastalıkların insanlara bulaşmasının önlenmesidir. Dezenfekte edilme çökme, yumaklaştırma ve filtrasyon gibi işlemlerle gerçekleştirilir.

Giderilecek organizmaların cinsleri mikroorganizma giderme verimini etkiler. Ayrıca dezenfektan maddenin cinsi önemlidir. Çünkü her dezenfektan ayrı bir güce sahiptir. Temas müddeti arttıkça mikroorganizmanın giderme verimi artmaktadır. Suyun bulanıklılığı fazla ise dezenfektan maddenin imha etkisini azaltır. Suyun sıcaklığı arttıkça dezenfeksiyonun hızı da artmaktadır.

Su içinde en az 0,1–0,5 ppm arasında klor bulunması gerekir. Bunu dengelemek içinde son aşamada Klor enjekte edilir. Arıtma tesisinde ham suya 2-5mg/lt dozunda (ön

klorlama), filtre edilmiş suya 1-2mg/lit dozunda (son klorlama) klor enjeksiyonu yapılır.

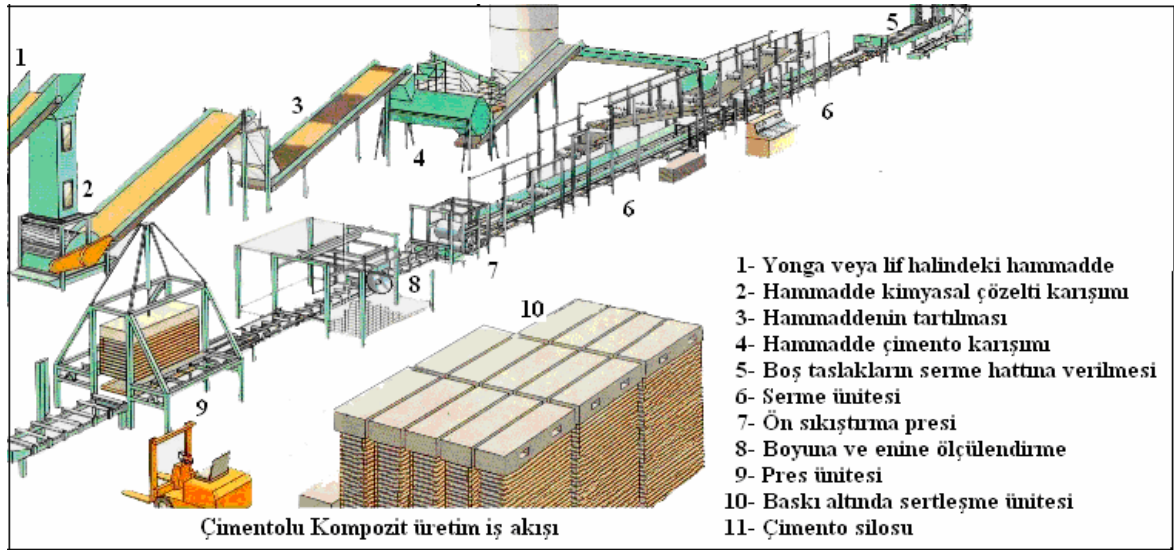
Sülfürik Asit Dozajlaması: Ham su pH'sının düzenlenmesi için her durultucu ünitesinin girişinde sülfürik asit (H_2SO_4) ilave edilir. Ham su debisine maksimum 25mg/lit (M1 nolu karıştırıcı) oranında dozlama yapılır.

Sonuçta İçme Suyu Standardına (TSE 266) uygun nitelikte olan su şehir şebekesine aktarılır. Arıtmadan çıkan çamur ise doğrudan Değirmendere'ye akıtılarak derenin ve bağlantılı olarak denizin kirlenmesine neden olur [83].

1.6. Yonga Levha Üretim Tekniği

1.6.1. Çimentolu Yongalevha Üretim Teknolojisi

Şekil 9'da çimentolu yongalevha üretiminin akış şeması görülmektedir [84].



Şekil 9. Çimentolu yongalevha üretimi

1.6.1.1. Odun Deposu

Çimento yanında en önemli girdi olan odunsu materyalin levha özelliklerine etkisi ve üretime sevk edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Uygun odunsu materyalin mantar ve benzeri zararlılarına karşı korunmuş olması gerekir.

Bu nedenle depolama esnasında önlemler alınmalıdır Ayrıca dış tabakada kullanılacak odunsu materyal için kabukların soyulması zorunludur. Kabukları soyulmuş yuvarlak odunlar, kereste ve tomruk atıkları, çıta ve benzeri odunsu materyal uygun bir şekilde en az 2–3 aylık dönem boyunca depoda bekletilir. Depolamada; çürüklük ve mantar tahribatına karşı iyi bir hava sirkülasyonunun sağlanmasının yanında, kabukları iyice soyulmuş büyük çaplı odunların toprak zemininden takriben 50cm'lik yükseklikte bulundurulması gerekmektedir [46].

1.6.1.2. Yongalama

Çimentolu yongalevhaların özellikleri kullanılan yongaların geometrisine bağlıdır. Levhaların dış ve orta tabakalarında kullanılan yongalar farklı fiziksel yapıdadırlar. Dış tabaka yongaları bıçaklı makinelerde elde edilen ince yongalardır. Orta tabaka yongaları ise kalın olup çekiçli değirmenlerde elde edilir. Yongalama işlemi iki farklı yöntemle yapılır. Birinci yöntemde kaba yonga üretildikten sonra değirmen ya da yongalama makinelerinde üretime uygun hale getirilir. Bu yongalar genellikle orta tabakada kullanılır. İkinci yöntemde ise yuvarlak odundan levha üretimine uygun incelik ve uzunlukta fakat geniş yonga üretilir. Bunlar transportlarda kendiliğinden parçalanacağı gibi ince yongalama makinesinde de küçültülebilir. Kaliteli levha üretimi için yonganın iki yüzeyinin birbirine paralel, kalınlığının homojen ve ince olması gerekir. Çimentolu yongalevha üretimi için uygun yonga uzunluğu takriben 22–25 mm, kalınlığın ise dış tabaka için 0,15–0,25 orta tabaka da ise 0,3–0,5 olması tercih edilir.

1.6.1.3. Yongaların Elenme ve Depolanması

Levha kalitesi bakımından yonga boyutlarının homojen ve kullanılacak tabakaya uygun olması gerekir. Örneğin dış tabakada kaba yonga kullanılırsa levha porozitesi artar. Yüzey kapalılığı oluşmaz. Bu nedenle yongalar bir eleme işleminden geçirilmek zorundadırlar. Yongalar genellikle kademeli bir elekte elenir. Birinci elekte 10mm² den büyük kaba yongalar ayrılarak ince malzeme değirmenine sevk edilirler. İnce yonga haline gelecek şekilde öğütülürler. 3,5mm'den küçük olan ince malzeme alt eleğin altında kalır ve pnömatik transport vasıtasıyla ince malzeme silosuna taşınır. İkinci eleğin üzerinde

3,5mm'den büyük yongalar ayrılmıştır. Bunlar üretimde kullanılmak üzere yonga silosuna taşınırlar. Yonga siloları kendilerinden sonra gelen makinelerin aralıksız çalışmalarını ve yongaların dozajlanarak makinelere gönderilmesini sağlarlar [19].

1.6.1.4. Çimento ve Katkı Maddelerinin Hazırlanması

1.6.1.4.1. Çimento

Çimento; bağlayıcı malzeme olarak çimentolu odun kompozitleri üretiminde %50–70 oranlarında kullanılmaktadır. Bu anlamda Türk standardı TS 19 da belirtilen PÇ 42,5 tipi portland çimentosu kullanılmaktadır. Çimentonun teslim alınması esnasında daima aynı tip ve kalitede olmasına dikkat edilmelidir. Çimentoyu sertleşmeye karşı korumak için depolama mutlak surette rutubete karşı korumalı silolarda yapılmalıdır. Açıkta duran çimento havadan kendisini toprak oluşumu ve sertleşmesini azaltmaya götüren rutubet ve karbon asitlerini absorbe eder. Bu durumda, erken mukavemeti nedeniyle levha kalitesinde olumsuz etki oluşturur [46]. Literatürde yer alan bilgilere göre; ortalama bağıl nemin %70 olduğu kapalı hacimlerde depolanmış çimentolar depoda kalma sürelerine bağlı olarak dayanım kaybına uğrayabilmektedirler. Bu koşullarda depolanan çimentolar ilk üç aydan sonra 28 günlük dayanımlarından her ilave ay için yaklaşık %4'lük dayanım kaybına uğrayabilmektedir [30].

1.6.1.4.2. Katkı Maddeleri

Çimentolu yongalevha üretiminde sertleştirici olarak yaygın düzeyde Alüminyum Sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) ve Sodyum silikat (Na_2SiO_2) kullanımı söz konusudur. Alüminyum sülfat çimentonun bağlanmayı hızlandırıcı olarak kullanılır. Katı halde temin edilen alüminyum sülfat %10'luk çözelti halinde karışıma ilave edilir. Sodyum silikat (su camı) ise bağlanmaya ve levhaların erken mukavemetinin yükselmesine etki eder. Sıvı halde temin edilen su camı direk kullanılır. Çimentonun reaksiyona girmesi için gerekli olan su; yonga ve karışım rutubetini dengelemek ve odun yongalarını karışıma sabit rutubette ilave edilebilmesi için kullanılır. Kullanılan suyun pH değeri yaklaşık 6–7, içme kalitesine yakın, sıcaklığı ise 8–20 °C arasında olmalıdır [46].

1.6.1.5. Karıştırma İşlemi

Karıştırma işlemi birçok uygulamada farklı sıralama esas alınarak uygulanmaktadır. Endüstriyel üretimde karışım; yonga, katkı suyu, sertleştirici ve çimento şeklinde bir sıralama ile sağlanmaktadır [46]. Karışıma çimento en son olarak verilir. Bunun nedeni karışım çözeltisi içinde çimentonun reaksiyona girme süresini uzatmaktır. Böylece levha taslağı serilmesi sırasında reaksiyon ancak yeni başlamış olacaktır.

Yi Min Wei ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada; çimento ve odun öncelikle karıştırıldıktan sonra su ve sertleştiriciler katılmış ve istenilen özelliklerde levha elde edildiği gözlenmiştir [85].

Levha üretimi esnasında karıştırma süresi 6 dakikadır. İşlemin bitmesinden sonra karışım dozaj vidaları ve transport vidaları üzerinden serme makinesinin her iki dış ve orta tabaka dozaj silolarına iletir. Esas itibarıyla hemen kurumaya başlayacağı veya çimento priz fazına geçeceğinden karışım bir saatten fazla bekletilmemelidir. Daha uzun süre bekletilen karışım atılmalıdır.

Karışım rutubeti yaklaşık %40–43 civarındadır. Rutubet çok yüksek ise (>%43) serme kalitesi bozulabilir ve tesisin kirlenme derecesi hızlı bir şekilde artar. Çok düşük olur ise; (<%40) bağlanma oranları kötüleşir ve levhanın teknolojik değerleri düşer.

1.6.1.6. Şekillendirme – Presleme –Sertleştirme

Dış tabaka silosundaki karışım, vidalı transportlar üzerinden serme makinesi dağıtma başlığına taşınır. Malzeme sevki; daima dozaj silosunu homojen ölçüde doldurulacak şekilde yapılır

Normal karıştırıcısından gelen karışım malzemesi transportlar ile serme makinesinin orta tabaka dozaj silosuna ulaşır. Dozaj silosunun doldurulması ve dozajlaşması dış tabaka dozaj silosundan olduğu gibidir.

Serme mekanik, pnömatik, savurma veya sınıflandırma sistemlerinden birisi ile gerçekleştirilebilir. Dozaj bandının hızı; savurma miktarı, levha kalınlığı, dökme oranı ve yoğunluğa göre belirlenir.

Böylece sonsuz levha keçesi kesintisiz olarak birbiri üzerine bindirilmiş transport saclarının üzerine serilmiş olur. Şekillendirme bandı aracılığıyla taşınır. Bu bandın hızı levha kalınlıklarına bağımlı olarak değiştirilir.

Birbirinin üzerine binmiş şekilde sıralanmış transport saçları levha keçesi ile birlikte şekillendirme makinesinin arkasındaki banda verilir. Saçlar keçeler ile birlikte şekillendirme bandının çıkışında birbirinden ayrılır. Transport hattına entegre edilmiş terazi vasıtası ile keçenin ağırlığı belirlenir. Ebatlandırma testeresi ham levha uzunluklarını göze alarak keçenin arka alın kısmından transport sacı üzerinden kesilmesini sağlar. Artık malzeme kesme bandı üzerinden transporta iletilir. Buradan da serme makinesinin orta tabaka dozaj silosuna taşınır.

Elde edilmiş keçe, ebatlandırma istasyonunda, yükleme istasyonunun transport hatlarına taşınır. Yükleme istasyonu saçları, keçeler ile birlikte, röleli hat üzerinde hazır duran germe çerçeveleri üzerine istif eder. İlk taslağın istife konulması ile sonuncunun istife konulması arasında en fazla bir saatlik bir süre olmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde karışımda rutubet daha fazla azalır ve presleme öncesi çimentonun bağlanma süreci başlamış olur. Bu da levhanın kalitesini bozar.

Pres basınç veya sıkıştırma oranı doğrudan talep edilen özgül ağırlık ile ilişkilidir. 1,2–1,3gr/cm³ lük bir levha için kalınlığa bağlı olarak 1,8–2,0N/mm² lik bir spesifik basınç gereklidir. Preste iken kilitlenmiş germe çerçevesi pres açılınca sürme platformu üzerinden presi terk eder ve sertleştirme kanalına getirilir.

Sertleştirme kanalında çimentonun bağlanması esnasında ortaya çıkan hidrotasyon sıcaklığı ısıtma süresi ile dengelenir. Bu ısı hidrasyon ısısına uygun olarak takriben 60–80°C olmalıdır. Rutubet kaybı ve kenarların kurumasından sakınılması için sisteme hiçbir şekilde taze hava sevk edilmez.

Sertleştirme süresi maksimum 8 saattir. Sertleştirme sonrası germe çerçeveleri sertleştirme kanalını terk ederler ve açılmak için prese götürürler. Preslenmiş paketlerin açılması için normal olarak 2,0–2,2N/mm² lik bir spesifik basınç kullanılır.

Pres açıldığında boş saçlar saç temizleme istasyonuna götürülür. Temizlenen saçlar ve yıldız soğutucuya sevk edilir. Yıldız soğutucunun görevi; saçların çevrilmesi ile her iki tarafta eşit ölçülü bir aşınmanın garanti edilmesi ve sıcak olan saçların soğutulmasıdır.

1.6.1.7. Olgunlaştırma Deposu ve Levhaların Kurutulması

Levhaların olgunlaşma süresi doğrudan çimentonun sertleşme süresi ile ilgilidir. Odun-çimento levhalarının olgunlaşma süresi 14 gün olarak tespit edilmiştir. Ancak istenilen mukavemet değerlerine ulaşılması garanti edilemez.

Olgunlaşma süresi sonrasında levhaların maksimum %40 rutubet içermesi gerekir. Yapılmış denemelere göre rutubet 14 günlük olgunlaştırma ve uygun depolamadan sonra oldukça sabit olarak %25–30 arasındadır. Levhalar piyasaya sunulmadan ve işlem görmeye gelmeden önce %9±4 rutubete kadar kurutulmalıdır.

Kurutma işlemi; levhaların kurutma kanalı içinden geçirilmesi ile sağlanır. Kurutma zamanını sıcaklık ve kurutma kanalının hava hızı belirler. Sıcaklık; levha kalınlığı ve başlangıç rutubetine göre 55–90°C civarında olmalıdır. Tablo 5’de levha kalınlıklarına göre uygulanacak pres, sertleşme ve olgunlaştırma şartları gösterilmektedir.

Tablo 5. Levha kurutulmasında uygulanacak pres, sertleşme ve olgunlaştırma şartları

Spesifik Pres Basıncı (N/mm ²)	Sertleştirme Kanal Isısı (°C)	Sertleştirme Süresi (saat)	Olgunlaştırma Zamanı (gün)	Kurutma Sıcaklığı (°C)
1,8–2,0	60-80	8	7-14	55-90
1,8–2,0	60-80	8	7-14	55-90

1.6.1.8. Levhaların Ebatlandırılma ve Depolanması

Kurutma işleminden sonra levhalar ebatlandırılır. Ebatlandırma makinesi arzu edilen boyutlara göre ayarlanır.

Ebatlandırma sonrası levhalar depolanmak üzere depoya taşınırlar. Depolamada eşit kalınlıktaki levhalar aynı istife alınır. Depolama kuru ortamda üzeri sundurmalı sahalarda yapılmamalıdır. Depolama sonrası levhalar kontrol edildikten sonra satışa sunulur [46].

1.7. Çimentolu Yongalevhaların Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Çimentolu yongalevhaların fiziksel, mekanik, biyolojik ve akustik özellikleri tablo 5’de verilmiştir. Bu özellikleri yanında üretimi basit ve düşük maliyette olduğu için ürün fiyatı ucuzdur. Çimentolu kompozit levhaların çalışma oranı; ortam bağıl nemine bağlı olarak yok denecek kadar düşük olup, masif ve diğer levhalara göre çok daha düşüktür. Bünyesinde formaldehit asbest vb sağlığa zararlı maddeler bulundurmaz. İşlenme, boyanma ve montajı kolay olduğu için özellikle prefabrik yapılarda tercih edilir. Kokusuz ve çevre kirliliği etkisi azdır. Üretimi için yüksek teknoloji ve kalifiye iş gücüne ihtiyaç duyulmamaktadır. Tablo 6’da çimentolu yongalevha fiziksel ve mekanik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 6. Çimentolu yongalevha fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Standart Değerler	
Yoğunluk (kg/m ³)	1250±50	
Kalınlık Artımı (%)	2 saat	0,9
	24 saat	1,8
Rutubet (%)	9±3	
Eğilme Mukavemeti (N/mm ²)	9	
Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	3000	
Dik Çekme Direnci (N/mm ²)	4	
Paralel Basınç Direnci (N/mm ²)	15	
Paralel Çekme Direnci (N/mm ²)	0,5	
Isı İletim Katsayısı (kcal/mh°C)	0,15–0,22	
Gürültü İzolasyonu (dB) (12 mm kalınlıkta levha için)	32	

Çimentolu yongalevhaların yapısında önemli oranda yer alan odun ve çimento; sahip oldukları özellikleri ile malzemeye olumlu özellikler kazandırmaktadırlar. Tablo 7’de çimentolu yongalevhanın yapısını oluşturan odun ve çimentonun olumlu özellikleri verilmiştir.

Tablo 7. Odun ve çimentonun olumlu özellikleri

Özellikler	Odun	Çimento
Ürün maliyeti	+	+
Isı Yalıtımı	+	
Makine ile kolay İşlenebilirlik	+	
Yoğunluk	+	
Elastikiyet	+	
Mekanik direnç	+	+
Rutubet direnci ve boyutsal kararlılık		+
Biyolojik zararlılara karşı dayanım		+
Yangına karşı direnç		+
Gürültü İzolasyonu	+	
Üretim esnasında enerji kullanımı	+	
Geri dönüşüm	+	

Çimentolu kompozitler; kullanım alanlarının koşullarına göre farklı kalınlık, yoğunluk ve özelliklere sahip olarak üretilirler. Aşağıda bazı kullanım alanları verilmiştir.

1. Ateşe karşı dayanıklı oluşu, kaplanabilmesi, ses ve ısı yalıtım özellikleri, bakım maliyetinin düşük oluşu, montajın kolay ve demontajının hızlı olabilmesi nedeniyle; İç Mimari’de iç bölme ve kaplama malzemesi olarak.

2. Bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı dayanıklı olması, değişik tasarımlara uygun oluşu, hafif ve işlenebilirliğinin kolay olmasına karşın fiyat uygunluğu nedeniyle dış mekân uygulamalarında; cam, granit masif, laminat gibi mekanik montajlı dış cephe giydirme malzemelerine alternatif bir malzeme olarak.

3. Dış mekânlardaki uygulama kolaylığı nedeniyle özellikle düşük maliyette prefabrik yapı uygulamalarda.

4. Polyester ve poliüretan gibi izolasyon malzemeleriyle birleştirilebilen Çimentolu kompozit levhaları akustik ve termal özellikleri nedeniyle tiyatro ve soğuk hava depolarında.

5. Çok iyi ses yalıtımı sağladığı için otoyol cephe kaplamaları olarak,

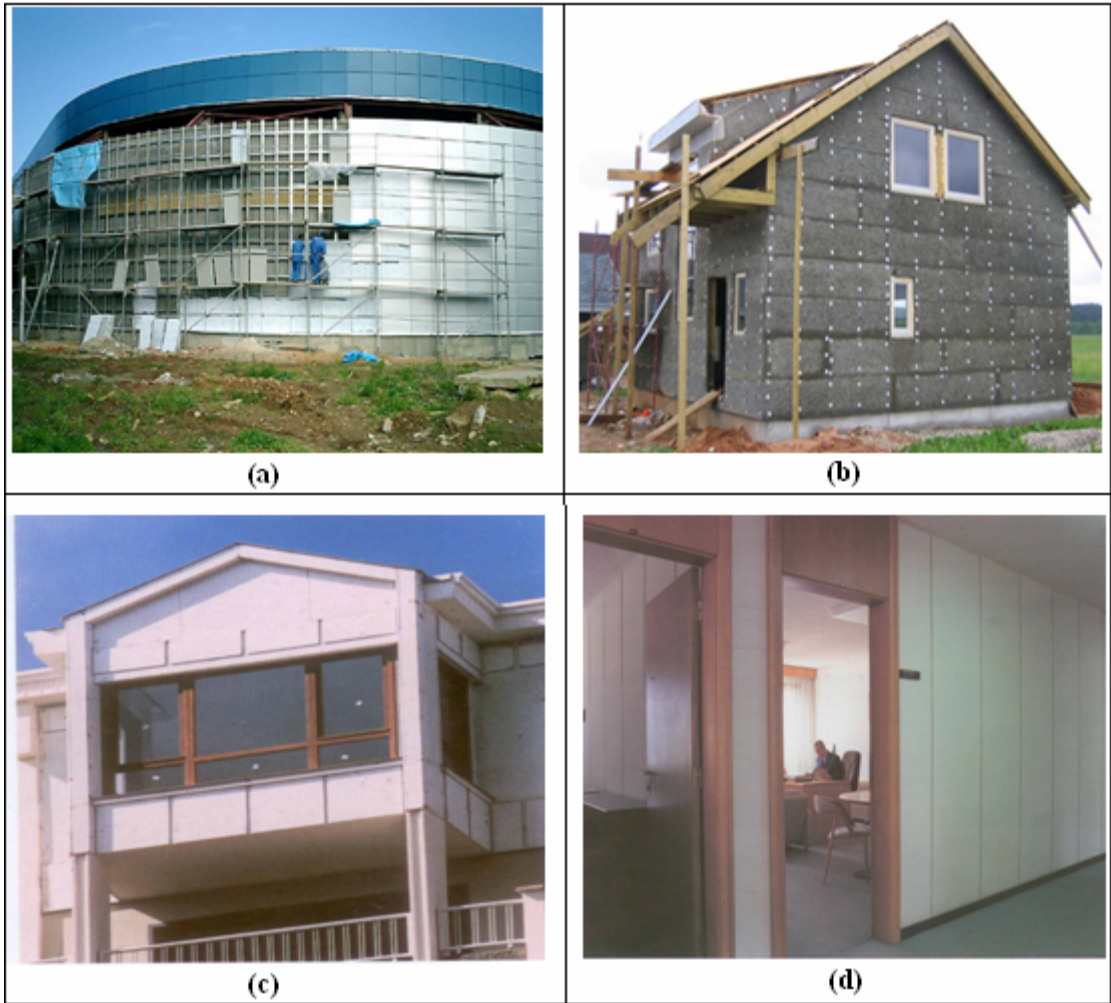
6. Özellikle sanayi tesislerindeki uygulamalarda yangına direnç özelliği nedeniyle çelik kolon ve kirişleri kaplama malzemesi olarak.

7. Sanayi tesisleri, atölyeler, büro ve depo görevi gören asmakatların yapımında ve bu tesislerin ısı yalıtımının sağlanmasında.

8. Isı izolasyonu yüksek, montaj hızı ve çok az fire vermesi nedeniyle çatı altı kaplama malzemesi olarak.

9. Zemin temaslı döşemelerin kaplanmasında; (Toprakla temas eden zeminlerde toplam ısı kaybı maliyetinin %15'lik kısmına olanak sağlar.

10. Temelerde su yalıtım katmanını koruyucu kaplama olarak kullanılabilir. Örnek uygulamalar Şekil 10'da verilmiştir [84].



Şekil 10. Çimentolu kompozitlerin kullanım alanları

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1 Ağaç Malzeme

Deneme levhalarının üretiminde ağaç malzeme olarak, Maçka Orman İşletme Müdürlüğü'nden temin edilen Doğu Ladin'i (*Picea orientalis L.*) odunları ve Çolakoğlu Kontrplak Fabrikasında açığa çıkan 10-12cm çapa sahip kızılağaç kaplama soyma çekirdekleri kullanılmıştır.

2.1.1.1 Doğu Ladini (*Picea orientalis L.*) Odunu Hakkında Genel Bilgiler

Kuzey yarım kürenin soğuk ve ılıman bölgelerinde ladin cinsinin 40 değişik türü ve bu türlere ait varyeteleri bulunmaktadır. Bunlar arasında yer alan doğu ladini (*Picea orientalis L.*) Link) Kafkasya ile Kuzey Doğu Anadolu'da doğal yayılışını yapan, Doğu Karadeniz Bölgesi ve ülkemiz için son derece önemli bir iğne yapraklı ağaç türümüzdür. Ülkemizde ladin ormanları; Melez havzasından başlayıp, Doğu Karadeniz dağlarının kuzey yamaçları boyunca Posof'a kadar uzanır. Bu alanda yaklaşık 136 bin hektar saf ve 200 bin hektar karışık olmak üzere 336.000 hektarlık alan kaplamaktadır. Ormanlığımızın yaklaşık %1.5'ini oluşturması bakımından bu türün önemi büyüktür [86].

Doğu ladini odununun diri ve öz odun kısımları aynı ve sarımsı beyaz renktedir. Seyrek ve dar reçine kanalları bulunan odunun boyuna kesitleri parlak bir görünümündedir. Nispeten ince yeknesak tekstürde olup, lifler düzgün olup, kolay yarılmaktadır. Hafif ve çalışması azdır. Özgül ağırlığının düşük rağmen yüksek direnç özelliği göstermesi sebebiyle ladin odunundan büyük boyutlu kereste elde edilmesi mümkündür [87].

Odunu; kolayca ve temiz bir biçimde işlenebilir. Planyalama, zımparalama ve vernikleme yoluyla yüzey işlemine tabi tutulup yumuşak dokulu, çekici bir parlak görünüm verir. Tutkallamada sorun çıkarmaz, vidalama ve çivi tutma özellikleri iyi olan bir türdür. Uzun lifli yapısından ötürü özellikle kâğıt endüstrisi ve selüloz üretiminde tercih edilmektedir. Yapı kerestesi olarak çatıda, taban ve tavan döşemesi olarak kapı pencere doğramaları ile bunların kasa pervazlarında, iç dekorasyon, mobilya üretiminde, inşaat

sektöründe, iskele malzemesi ve kalıp tahtası olarak çokça kullanılmaktadır [87]. Trabzon ve Artvin Orman Bölge müdürlüğü verilerine göre 2000–2005 yılları arasındaki toplam doğu ladini emvali 119892m^3 olup, bunun ortalama %70,5'lik kısmı (812709m^3) masif odun hammaddesi olarak üretilmiştir [88].

Tam kuru özgül ağırlığı $0,40\text{gr/cm}^3$, hava kurusu özgül ağırlığı $0,44\text{gr/cm}^3$ tür. Liflere paralel basınç direnci 31 N/mm^2 'dir. [89].

2.1.1.2. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. subsp. *Barbata*)

Kızılağacın çok geniş bir coğrafi yayılımı vardır. Tüm Avrupa, Kuzey Afrika, Kafkasya, Türkiye, İran, Sibirya ve Japonya'da yayılım göstermektedir [90]. Bu cinsin, Kuzey Yarım küresinin ılıman ve serin bölgelerinde yayılmış olan 30 kadar türü vardır. Kızılağaç genel olarak serin ve nemli yerlerin ağacıdır.

Alnus glutinosa (L.) Gaertn. subsp. *Barbata* (C.A. Mey.) Yalt. Doğu Karadeniz bölgesinde yayılım göstermektedir. Ordu, Giresun, Gümüşhane, Trabzon, Rize, Artvin illeri dâhilinde kalan yapraklı ormanlar ile saf ladin ormanlarında rutubetli yamaçlar, vadi tabanları ve dere yataklarında yetişmektedir. Deniz seviyesinden 1700m. kadar yüksekliğe çıkabilmektedir [91].

Adi kızılağaç odunu taze iken koyu kirli sarı renkte olup, kurduğunda kahverengimsi açık kırmızı renginde görülür. Enine kesitte yıllık halkalar çok düzenlidir. Çıplak gözle sadece yalancı özışınlarını görmek mümkündür. Özışınları radyal kesitlerde koyu zemin üzerinde sedef gibi parlak ve beyaz adacıklar halinde çıplak gözle izlenebilir [92].

Özellikle kontrplak sanayinde ve mobilyacılıkta iskelet olarak kullanılır. Tornacılıkta kolay işlenir. Kabuklarından elde edilen tanen maddesi deri ve tekstil sanayinde boya maddesi olarak kullanılır. Ayrıca; son yıllarda kurşun kalem, çay ve diğer ambalaj sandıklarının yapımında (hamsi ve balık kasaları gibi), su altı inşaatlarında iskele ayaklarının yapımında, kalıp tahtaları olarak kullanım alanları bulunur [93].

Tam kuru özgül ağırlığı $0,49\text{gr/cm}^3$, hava kurusu özgül ağırlığı $0,53\text{gr/cm}^3$ tür. Liflere paralel basınç direnci ise 85 N/mm^2 'dir. [89].

2.1.2. Çimento ve İçme Suyu Arıtma Tesisi Atığı

Çimentolu yongalevha üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan portland çimentosu maliyeti yüksek bir bağlayıcıdır. Ayrıca kullanım oranı da ağırlıkça yongaya göre iki kat olup oldukça yüksektir.

İçme suyu arıtma tesisi atıkları; dere ve bağlantılı olarak denize drenaj edilen bu nedenle kirliliğe neden olan, ancak çimento karakterine benzer özellikler gösteren bir çamurdur. Gülay tarafından yapılan bir çalışmada; tam kuru çimentoya oranla %5 atık arıtma çamur kullanılarak üretilen prizmaların, saf çimento ile üretilen prizmalardan daha üstün basınç direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Dünya literatüründe çimentolu levhaların üretimleri ile ilgili pek çok çalışma gerçekleştirilmiş olmasına rağmen içme suyu arıtma çamurlarının bu amaçla kullanımına ait hiçbir bilgiye rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada; içme suyu arıtma tesislerinden çıkan çamurların çimentolu levha üretiminde çimento kullanım oranının azaltılması amacıyla değerlendirilebileceği düşüncesiyle Trabzon Atası arıtma tesisinden dereye boşaltım noktasından alınan özellikleri Tablo 8’de verilen çamur kullanılmıştır.

Trabzon Atası içme suyu arıtma tesisinden sulu halde alınan çamurun suyu çöktürme yöntemiyle süzdürüldükten sonra, kurutma fırınında kurutularak bilyeli değirmenlerde öğütülmüştür. TS 1227 standardına uygun olarak 90–200µm gözenekler arasında kalan toz üretimde kullanılmıştır.

Bağlayıcı olarak kullanılan PÇ 42,5’luk Portland çimentosu, Ünye Çimento fabrikasından PÇ 32,5 Portland çimentosu ise Trabzon çimento fabrikasından temin edilmiştir. Tablo 8’de çimento türlerine ve atık çamura ait bağlayıcı özellikleri verilmiştir [94].

Tablo 8. Levha üretiminde kullanılan çimento türleri ve arıtma çamuru özellikleri

Özellikler	Portland Çimento (%)		Arıtma Çamuru (%)
	PÇ 32,5 R	PÇ 42.5	
Silisyum dioksit (SiO ₂)	30,32	20.96	45.2
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	7,01	4.40	20.03
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	3,23	3.53	5.93
Magnezyum Oksit (MgO)	1,10	0.63	2.65
Kalsiyum oksit (CaO)	51,00	63.99	3.52
Sodyum oksit (Na ₂ O)	-	-	1.42
Potasyum oksit K ₂ O	-	-	1.72

* Verilen sonuçlar kimyasal analizleri TS EN 196-2 ve 196-21'e göre yapılmıştır.

2.1.3.Katkı Maddeleri

2.1.3.1. Alüminyum Sülfat (Al₂(SO₄)₃ .18 H₂O)

Alüminyum Sülfat çimentonun bağlanmasını için hızlandırıcı olarak kullanılır. Teslimat şekli 40mm ye kadar tane büyüklüğünde bir kristal granül veya ince öğütülmüş toz şeklindedir. Depolama kuru şartlarda yapılır.

Alüminyum sülfat suda kolayca çözülebilir ve karışımda nispeten düşük konsantrasyonda ilave edilir. Değişik tane iriliğindeki alüminyum sülfat örnekleri Şekil 11'de verilmiştir. Üretime %10'luk çözelti halinde karıştırılarak verilir. Çimentolu yongalevha üretiminde kullanılan alüminyum sülfat'ın kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 9 ve 10'da verilmiştir [95].



Şekil 11. Değişik tane iriliğindeki Alüminyum Sülfat örnekleri (Dostel Firması)

Tablo 9. Alüminyum Sülfat'ın kimyasal özellikleri

Kimyasal İçerik	Miktar
Al ₂ O ₃ (%)	16-17
Fe ₂ O ₃ (%)	mak. 0,02
Suda çözülmeyenler (%)	mak. 0,3
PH (%1'lik çözelti)	2,5 – 3
Kurşun-Arsenik-Siyanur	Yoktur

Tablo 10. Alüminyum Sülfat'ın fiziksel özellikleri

Renk	Beyaz		
Suda çözünme (gr)	75 (0° 100 CC de)		
	170 (100 °C 100 CC de)		
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	1,7		
Yığılma Yoğunluğu gr/cm ³	Parça	Granül	Pudra
	0,96	1	1,08
Tane İriliği mm	20-50	0-6	0-1

2.1.3.2. Sodyum Silikat (Na₂SiO₂)

Su camı olarak bilinen sodyum silikat transparant rengi ile suda çözünen viskoz haldeki maddedir. Su camı; tekstil, çimento ve odun endüstrisi gibi çeşitli alanlarda

bağlayıcı, yangına karşı direnç, suya karşı mukavemet gibi çeşitli amaçlarla kullanılmakta olan bir bileşiktir [96].

Sodyum su camı bağlanmayı hızlandırmaya olduğu gibi çimentolu yonga levhaların erken mukavemetinin yükselmesine de etki eder. Bu nedenle muhtemelen odun hammaddesinden ileri gelen kalite bozukluğunu dengelemek amacıyla emniyet faktörü olarak da kullanılmaktadır.

Sıvı halde depolanan sodyum su camı belli konsantrasyonda, havada kristalleşmesinden dolayı hava ile teması önlenmelidir. Sodyum su camı piyasada toz halinde de mevcut bulunmaktadır. Ancak bu durumda çözelti haline dönüştürmek için özel bir katkı maddesi gereklidir. Ayrıca katı halde iken 40°C’de kendiliğinden sıvılaştığından düşük sıcaklıklarda depolanmalıdır [46]. Şişecam Soda Fabrikasından elde edilen sodyum silikat’ın özellikleri Tablo 11’de verilmiştir [97].

Tablo 11. Sodyum Silikat’ın Özellikleri

Maddenin Yapısı	Alkali sıvı
Görünüş	Berrak- renksiz
Molekül Oranı	3,2 – 3,5
Sodyum Oksit (Na ₂ O) (%)	22,50 – 24,0
Silisyum Dioksit (SiO ₂) (%)	75,0 – 76,50
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃) (%)	0,4 max.
Demir (3) Oksit (Fe ₂ O ₃) (%)	0,05 max.
Kalsiyum Oksit (CaO) (%)	0,06 max.
Titanyum Dioksit (TiO ₂) (%)	0,04 max.
Magnezyum Oksit (MgO) (%)	0,10 max.
Potasyum Oksit (K ₂ O) (%)	0,10 max.
Suda çözünemeyen madde (%)	1,0 max.
20° C deki birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	1,4
Konsantrasyon Bé	38 - 40

2.2.Deneme Levhalarının Üretimi

2.2.1 Ön Muamele İşlemleri

Kontrplak fabrikasında temin edilen kızılâğaç tomrukları, üretim öncesi 50–70°C derecede buharlama işlemine maruz kalmıştır. Daha sonra levhaların üretiminde ön

muamele işlemine uğrıtılacak olan kızılağaç çekirdekleri; yongalandıktan sonra 24 saat süreyle soğuk suda bekletilmiştir. Ardından yongalar sudan arındırılıp tekrar yıkanarak açık alanda kurumaya bırakılmıştır. Ön muamele uygulanmayacak yongalar ise doğrudan üretime aktarılmıştır. Ladin yongaları da üretim öncesi aynı şekilde yıkanmıştır.

2.2.2. Yongalama

Ladin tomrukların kabukları temizlendikten sonra şerit testerede yaklaşık 2,5cm kalınlığında biçilmiştir. Kaba yongalama işlemi, Robert Hildebrand marka laboratuvar (20/6/2) tipi iki bıçaklı kaba yongalama makinesinde yapılmıştır. Liflere dik yönde yapılan kaba yongalama ile ortalama 1–1.5x2.5cm ebatlarında yongalar üretilmiştir. Levha üretimine uygun yonga üretmek amacıyla kaba yongalama makinesinde elde edilen yongalar R. Hildebrand marka, 6 çekiç ve 16 bıçaktan oluşan bıçak halkalı ince yongalama makinesinde ikincil bir yongalama işlemine tabi tutulmuşlardır.

2.2.3 Eleme

Elde edilen yongaları tasnif etmek için Algemaier marka dairesel yatay hareket yapan 4 kademeli elek kullanılmıştır. 3mm gözenekli elek üzerinde kalan yongalar tekrar ince yongalama makinesinde yonganmışlardır. 3mm elekten geçip 1,5mm elek üzerinde kalan yongalar levhaların orta tabakasında, 1.5mm gözenekli elekten geçip 0,5mm gözenekli elek üzerinde kalan yongalar ise dış tabaka üretiminde kullanılmak üzere elenmiştir. Toz kısmı üretim dışı bırakılmıştır.

2.2.4 Yongaların Kurutulması

Elenen yongalar hava kurusu hale gelinceye (%12 rutubet) kadar laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır.

2.2.5. Levha üretimi

Deneme levhalarının üretiminde iki farklı ağaç türü (Ladin, Kızılağaç), iki farklı çimento türü (PÇ 32,5, PÇ 42,5) ve dört farklı içmesuyu arıtma çamuru (% 0, 5, 10, 15) varyasyonu kullanılmıştır.

2.2.5.1 Çimento İle Karıştırma

Levha üretimi için karışım dış ve orta tabakalar için ayrı hazırlanmıştır. Her tabaka için gerekli olan yonga miktarı belirlenmiş ve karıştırılmak amacıyla geniş bir kaba alınmıştır. Öncelikli olarak %12 rutubetteki yongalar karışımda kullanılacak toplam su miktarının yarısı ile ıslatılmıştır. Islatma işlemi 500 ml. kapasiteli, 18mm uçlu, üstten hazneli tek enjektörlü hava tabancası ile yapılmıştır. Böylece, yonga rutubetinin yaklaşık %30'a ulaşması sağlanmıştır. Ardından çimento ilavesi yapılarak karıştırmaya devam edilmiştir. El yardımıyla çimento ve yongalar homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karışımda kullanılan hammadde ve kullanım oranları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Çimentolu yongalevha üretimi için uygulanan deney koşulları

Hammadde Tipi	Kullanım Oranı (%)
Hedeflenen Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1.2
Orta tabaka / Dış Tabaka (%)	70 / 30
Odun / Çimento oranı	1 / 2,75
Su / Çimento oranı	1 / 1,64
Al ₂ SO _{4(k)} (% çimentoya oranla)	1,5
Na ₂ SiO _{2(s)} (% çimentoya oranla)	3,5

2.2.5.2 Kimyasal Maddeler ile Muamele

Levha üretiminde yongalar çimento ile muamele edildikten sonra uyumu geliştirmek ve çimento hidratasyon reaksiyonunu hızlandırmak amacıyla sertleştirici kimyasal malzemeler kullanılmıştır. İlk olarak çimento ağırlığına oranla %3,5 oranında sıvı haldeki

su camı (sodyum silikat) çözeltisi karışıma ilave edilmiştir. Sodyum silikat kendi ağırlığının üç katı oranda su ile karıştırılarak yongaların üzerine püskürtülmüştür.

Şetleştirme amacı ile kullanılan diğer bir kimyasal madde ise Alüminyum Sülfat'tır. Daha sonra çimento ağırlığının %1,5 oranında katı haldeki Alüminyum sülfat %10'luk çözelti haline getirilerek karışıma püskürtülmüştür. Karışıma son olarak kalan su ilave edilmiştir ve yonga rutubetinin ortalama %40–45 arasında olması sağlanmıştır. Rutubetin bu değerlerin üzerinde çıkması durumunda presleme esnasında su ile beraber kimyasal maddeler ve çimentonun dışarı sızması söz konusu olabilir. Buda levha kalitesinin bozulmasına neden olur. Aynı şekilde %40–45 rutubet değerinin altındaki değerlerde su miktarı yeterli olmadığı için çimento ile odun arasında bağlanma problemleri meydana gelir [46].

2.2.6 Levha Taslağının Hazırlanması

Levha taslağının serilmesi için 56.5x56.5cm boyutlarında şekillendirme çerçevesi kullanılmıştır. Levhalar 1.8cm kalınlığında üretilmişlerdir. Dış tabaka, levha kalınlığının %30'unu, orta tabaka ise %70'ini oluşturacak şekilde hazırlanmıştır. Özgül ağırlığı 1,2gr/cm³ olarak alınmıştır. Taslak; çerçeve üzerinde yağlı kağıt bulunan pres sacı üzerine yerleştirildikten sonra, önce dış tabaka yongaları el ile mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde serilmiş, ardından orta tabaka ve tekrar ikinci dış tabaka yongaları serilmiştir. Serme işleminden sonra taslak şekillendirme çerçevesi büyüklüğünde bir tabla ile bastırılarak sıkıştırılmış yongaların sıcak pres öncesi belli oranda birbirine bağlanmaları sağlanmıştır. Şekillendirme tablası yavaş bir şekilde ve levha kenarlarına zarar vermeden çıkarılmıştır. Ardından taslak üzerine pres sacına yapışmayı önleyici yağlı kağıt ve üst pres sacı yerleştirilerek prese yüklenmiştir.

2.2.7. Levha Taslağının Preslenmesi

Taslaklar, presleme alanı 70 x 89cm olan, elektrikle ısıtılan tek katlı hidrolik preste preslenmiştir. 1,8cm kalınlığında kalınlık takozları kullanılarak tüm levhaların homojen bir şekilde aynı kalınlıklarda olmaları sağlanmıştır. Her levha tipinden 2'şer adet olmak üzere toplam 42 adet levha üretilmiştir. Sıcak pres levha spesifik basıncı 1,8–2,0 N/mm² (piston

basıncı 13–15N/mm²) ve sıcaklığı 60°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Levhalar bu sıcaklıkta yaklaşık 8 saat bekletilmiştir. Ardından sıcaklık etkisi kaldırılıp 24 saat boyunca mevcut pres basıncı altında bekletilmiştir.

2.2.8. Presleme Sonrası İşlemler

Presleme sonrası levhalar, çimento sertleşme reaksiyonu nedeniyle hava kurusu ortamda 20 gün bekletilerek tam olarak sertleşmesi sağlanmıştır. Ardından TS 642'ye göre sıcaklığı 20±2°C ve bağıl nemi %65±5 olan klima dolabında yaklaşık bir hafta bekletilerek klimatize edilmiştir [98]. Levhalar yapılacak olan testler için gerekli örnek boyutlarında kesilmişlerdir. Üretim gerçekleştirilirken kullanılan hammadde ve miktarları Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Levhalarının üretiminde kullanılan hammadde ve miktarları

Levha Tipi	Aritma Çamuru Oranı (%)	Ağaç Türü	Çimento türü
K1	0	Kızılağaç	PÇ 32.5R
K2	5	Kızılağaç	PÇ 32.5R
K3	10	Kızılağaç	PÇ 32.5R
K4	15	Kızılağaç	PÇ 32.5R
K5	0	Kızılağaç	PÇ 42.5R
K6	5	Kızılağaç	PÇ 42.5R
K7	10	Kızılağaç	PÇ 42.5R
K8	15	Kızılağaç	PÇ 42.5R
L1	0	Ladin	PÇ 32.5R
L2	5	Ladin	PÇ 32.5R
L3	10	Ladin	PÇ 32.5R
L4	15	Ladin	PÇ 32.5R
L5	0	Ladin	PÇ 42.5R
L6	5	Ladin	PÇ 42.5R
L7	10	Ladin	PÇ 42.5R
L8	15	Ladin	PÇ 42.5R
KY1	0	Kızılağaç (yıkanmış)	PÇ 42.5R
LY1	0	Ladin (yıkanmış)	PÇ 42.5R

2.3. Araştırma Yöntemi

Deneme levhalarının teknolojik özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Kimyasal Analizlere Ait Yöntemler

Kimyasal analiz için alınan yıkanmış ve yıkanmamış kızılğaç ve ladin odunu örnekleri, küçük parçacıklara bölünmüştür. Daha sonra Tappi T11 m-45 standart metoduna göre Willey laboratuvar tipi değirmende öğütülmüştür [99]. Öğütülen ladin ve kızılğaç odunu tozları 40 ve 60 mesh'lik sarsıntılı elekte elenmiş olup, 60 mesh'lik elek üzerinde kalan örnekler cam kavanozlara konulmuştur. Örneklerin rutubetleri $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kurutmak suretiyle aynı standart metoda göre belirlenmiştir.

Kullanılan odunların kimyasal analizleri standartlara göre belirlenmiştir.

2.3.1.1. Soğuk ve Sıcak Su Çözünürlüğü

Soğuk su ekstraksiyonu ile odun ve hamurdaki inorganik maddeler, tanenler, sakızlar, şekerler ve renk veren maddeler çözünür. Soğuk su çözünürlüğünde Tappi T207 om-88 standardına uygun olarak $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ de 300 ml destile su içerisine konulan 2gr hava kurusu örnek 48 saat süreyle zaman zaman karıştırılarak bekletilmiştir [100]. Bu sürenin sonunda örnekler, darası alınmış krozeden süzülerek destile su ile yıkanmıştır. Örnekler daha sonra $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutularak tartılmıştır. Soğuk su çözünürlüğü tam kuru oduna oranla % olarak hesaplanmıştır.

Sıcak su çözünürlüğü; soğuk suda çözünen maddelere ilaveten nişastayı da çözer. Sıcak suda çözünürlük TAPPI T 207 om-88 standart yöntemine göre belirlenmiştir [100]. Bu yönteme göre; daha önceden rutubeti belirlenmiş 2 gr hava kurusu örnek 200 ml'lik bir erlenmayere konularak üzerine 100 ml destile su ilave edilmiştir. Erlenmayer bir soğutucu altında 3 saat süre ile kaynayan su banyosunda tutulmuştur. Bu sürenin sonunda bir krozeden süzülüp sıcak su ile yıkanarak $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuş ardından desikatörde soğutularak tartılmıştır. Çözünen madde miktarı tam kuru örnek ağırlığına oranla % olarak tespit edilmiştir. Soğuk ve sıcak su çözünürlüğü;

$$S = [(A - B) / A] \times 100 \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

A: Örneğin ekstraksiyondan önceki fırın kuru ağırlığı (gr),

B: Örneğin ekstraksiyondan sonraki fırın kuru ağırlığı (gr)

2.3.1.2. Alkol-Benzen Çözünürlüğü

Alkol benzen çözünürlüğü örneklerde bulunan vaks, yağ, mumsu maddeler, tanen gibi maddelerin miktarını belirlemek üzere TAPPI T204 om-88 standardına göre soksolet cihazında 1 kısım alkol ve 2 kısım benzen karışımı ile saatte 6 devir yapacak şekilde toplam 24 devirlik zaman içerisinde ekstraksiyona tabi tutularak gerçekleştirilmiştir [101]. Odun ekstraktifleri nötral organik çözücülerde çözünebilen bileşiklerdir. Ethanol benzen karışımı hamurda en iyi uzaklaştırıcı olarak görülmektedir. Ekstrakte edilen kısım tam kuru örneğe oranla % olarak hesaplanmıştır.

$$Ekstrakt(\%) = \left[\frac{(We - Wb)}{Wp} \right] \times 100 \quad (2)$$

We: Kuru ekstraktın ağırlığı (gr)

Wp: Tam Kuru örnek ağırlığı (gr)

Wb: Balonda kalan tortu miktarı (gr)

2.3.1.3. %1'lik NaOH Çözünürlüğü

Bu yöntem 100°C'de seyreltik alkalide çözünmeye karşı kullanılan materyalin dayanıklılığını belirler. %1'lik NaOH çözünürlüğün en önemli uygulaması alınan odundaki degrade olmuş selüloz miktarının belirlenmesidir.

%1'lik NaOH çözünürlüğü belirlenmesinde 0,1 gr hassasiyette tartılan 2 gr örnek 200 ml'lik erlenmayer içerisine konulduktan sonra üzerine bir pipetle %1'lik NaOH çözeltisinden 100 ml ilave edilmiştir. Erlenmayer buhar yoğunlaştırıcı ile sabitlenerek 100°C deki su banyosuna konmuş ve bir saat süre ile su banyosu içinde bekletilmiştir. Bekleme süresinin 10., 15. ve 25., dakikalarında üç defa karıştırılmış; sürenin sonunda kalıntı, darası alınmış krozeden süzülmüştür. Daha sonra % 10'luk 50 ml asetik asit ve sıcak su ile yıkandıktan sonra kroze ve içerisindekiler 103±2°C'de kurutulmuş ve bir desikatörde soğutulularak tartılmıştır. %1'lik NaOH değerleri;

$$S = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

A: Örneğin ekstraksiyondan önceki fırın kuru ağırlığı (gr),

B: Örneğin ekstraksiyondan sonraki fırın kuru ağırlığı (gr)

2.3.1.4. pH Değerleri

pH ölçümünde kullanılan yonga örnekleri TAPPI t m-45'e göre hazırlanmıştır [102]. Her test grubunu temsil eden yongalar Willey tipi değirmen ile öğütüldükten sonra 40 ve 60 mesh'lik eleklerde kademeli olarak elenmiş, 60 mesh'lik elek üzerinde kısım materyal kimyasal analizlerde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Rutubetleri belirlendikten sonra her test grubundan yaklaşık 5 gr örnek, içinde 150 ml destile edilmiş su bulunan bir erlenmayere yerleştirilmiş ve bir çalkalayıcı ile 24 saat çalkalanmıştır. Bu süre sonunda elde edilen çözelti bir vakum pompası yardımıyla süzülerek pH ölçümleri 18,6° C sıcaklıkta 2 örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar dorudan kullanılmıştır.

2.3.2. Fiziksel Özellikler

2.3.2.1. Birim Hacim Ağırlık

Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan hava kurusu birim hacim ağırlık değeri esas alınmıştır. Birim hacim ağırlık değerleri kompozit levhaların fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini etkileyen en önemli faktör olup, TS EN 323/1 (1999)'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir [103]. Birim hacim ağırlık değerleri,

$$\delta = \frac{m_r}{a_1 \times a_2 \times t} \text{ (gr / cm}^3\text{)} \quad (4)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Burada;

δ : Birim hacim ağırlık (gr/cm³)

m_r : Hava kurusu ağırlık (gr)

a_1 : Örnek genişliği (cm)

a_2 : Örnek uzunluğu (cm)

t : Örnek kalınlığı (cm)

2.3.2.2. Rutubet Miktarı

Deneme levhalarının rutubet miktarı EN 322'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir [104]. Bunun için 50x50xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan örnekler kullanılmıştır. Örneklerin ağırlıkları $\pm 0,01$ gr duyarlıklı hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra etüvde $103 \pm 2^\circ\text{C}$ de değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilerek tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Bunlara göre örneklerin rutubet miktarları;

$$r = \left(\frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

m = Klimatize edilmiş örnek ağırlığı (gr),

m_0 = Tam kuru haldeki örnek ağırlığıdır (gr)

2.3.2.3. Su Alma Miktarı

Su alma miktarı ASTM D1037 standardına uygun olarak belirlenmiştir [105]. 50 x 50 x levha kalınlığı(mm) boyutlarında hazırlanmış örneklerin ağırlığı ± 0.01 gr duyarlıklı analitik terazide tartılmıştır. Daha sonra örnekler su yüzünden 25mm aşağıda tutulmak suretiyle 2 ve 24 saat süre ile $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik suda bekletilmişlerdir. Bu süreler sonunda sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bez ile silinmiş ve ağırlıkları aynı hassasiyetle ± 0.01 gr duyarlıklı terazide tartılmıştır. Su alma miktarlarının belirlenmesinde;

$$\%SA = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır.

Burada;

SA = Su alma miktarı (%)

m_0 = Örneğin ilk ağırlığı (gr)

m = Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (gr)

2.3.2.4. Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı

2 ve 24 saat su içinde bekletilen örneklerin kalınlık artışlarının belirlenmesi için örnekler EN 317 (1993)'de belirtilen esaslara uygun olarak 50x50x levha kalınlığı mm boyutlarında hazırlanmıştır [106]. Kalınlıkları tam orta noktasından ± 0.01 mm duyarlıklı mikrometreyle ölçülmüş ve $19-21^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki temiz suda, su yüzeyinden 25mm aşağıda tutulmuştur. 2, 24 saat sonra sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bez ile alınmış ve kalınlıklar ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artışı miktarı,

$$\%KA = \frac{e_y - e_k}{e_k} \times 100 \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

e_y = Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

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

2.3.3. Mekanik Özellikler

2.3.3.1. Eğilme Direnci

Eğilme direnci EN 310 (1993) standardına uygun olarak belirlenmiştir [107]. Bu amaçla örnekler 400x50xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanmıştır. Sıcaklığı 18–22°C ve bağıl nemi %65±5 olan klima şartlarında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilen örneklerde genişlik kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde 2 noktanın ortalaması alınarak 0.01mm duyarlıklı mikrometre ile ölçülmüştür. Üniversal deneme makinesinde yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anında itibaren 1–2dak. içerisinde gerçekleşmesini sağlayacak şekilde 6mm/dak hızla çalıştırılmıştır. Şekil 12'de eğilme direnci ve elastikiyet modülü test düzeneği verilmiştir.

Eğilme direnci;

$$\sigma_e = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

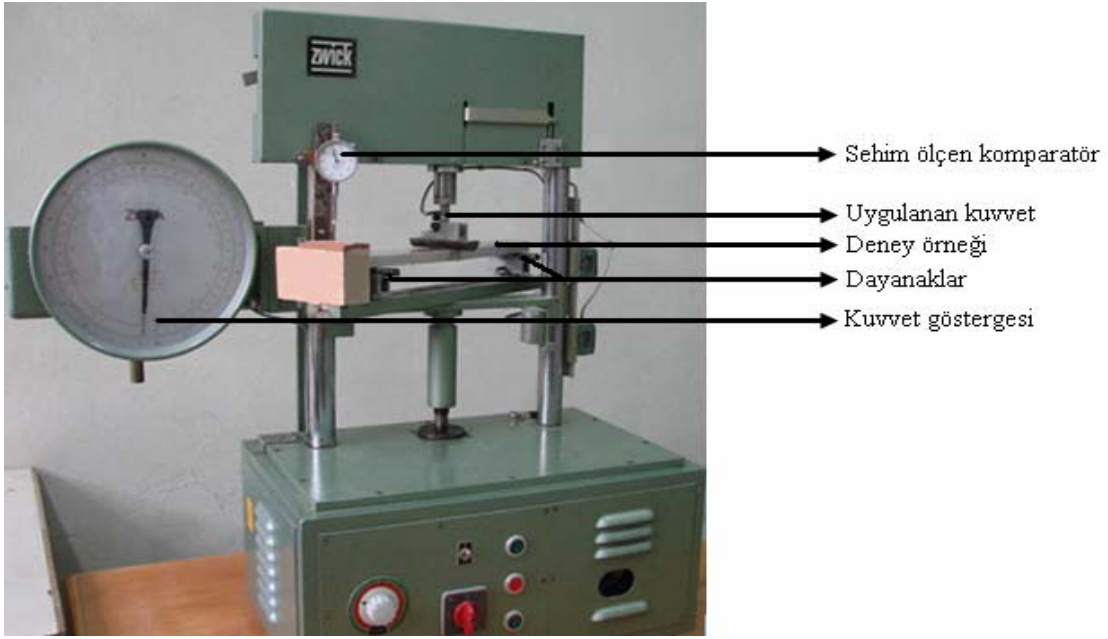
eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

P= Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

b= Örnek genişliği (mm)'dir.



Şekil 12. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği

2.3.3.2. Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülünün belirlenmesinde deney örnekleri ayrı hazırlanmamış eğilme direnci deney örnekleri kullanılmıştır. Bu amaçla TS EN 310 (1993) standardı esas alınmıştır [107]. Klimatize edilen örneklerin eğilme direnci deneyleri yapılırken Zwick Üniuersal deneme makinesinin sehim ölçen komparatör yardımıyla eğilme miktarı belirlenmiş ve çizilen kuvvet-deformasyon eğrisinin elastikiyet sınırı içinde kalan kısmından yararlanılarak elastikiyet modülü,

$$E = \frac{P \times L^3}{4 \times \Delta e \times b \times d^3} \text{ N/mm}^2 \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır [47].

Burada;

P= Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

L= Dayanaklar arasındaki açıklık (mm)

b= Örnek genişliği (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

Δe = Eğilme miktarı (sehim) (mm)'dir.

2.3.3.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Yüzeye dik çekme direnci deneyi EN 319 (1993)'da belirlenen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [108]. Bunun için her levha grubundan 50 x 50mm x levha kalınlığı boyutlarında örnek hazırlanmıştır. Sıcaklığı 18–22°C ve bağıl nemi %60±5 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilen örneklerin boyutları 0.01mm duyarlıklı kumpas ile ölçülmüştür. Bunu takiben örneklerin her iki yüzüne standartlarda belirtilen profillere sahip kayın takozlar yapıştırılmıştır. Bu amaçla polivinil asetat tutkalı kullanılmıştır. Kayın takoz yapıştırılmış örnekler işkencelerle sıkıştırılmış, sıkıştırma süresi 1 gün olarak belirlenmiştir. Kırılmaların levha yüzeylerine çok yakın olduğu örnekler hesaplara dâhil edilmemiştir. Yüzeye dik çekme direnci;

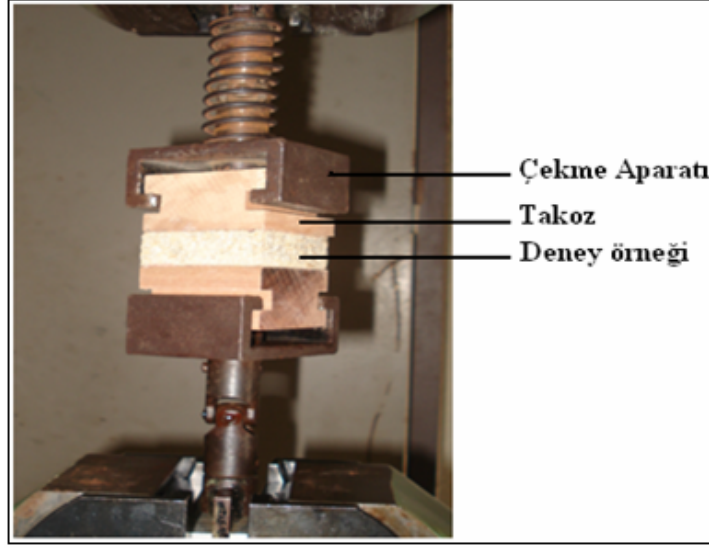
$$\sigma_{cd} = \frac{P_{\max}}{A} \quad N/mm^2 \quad (10)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

P max: Kırılma anındaki max kuvvet (N),

A: Örnek enine kesit alanıdır (mm²).

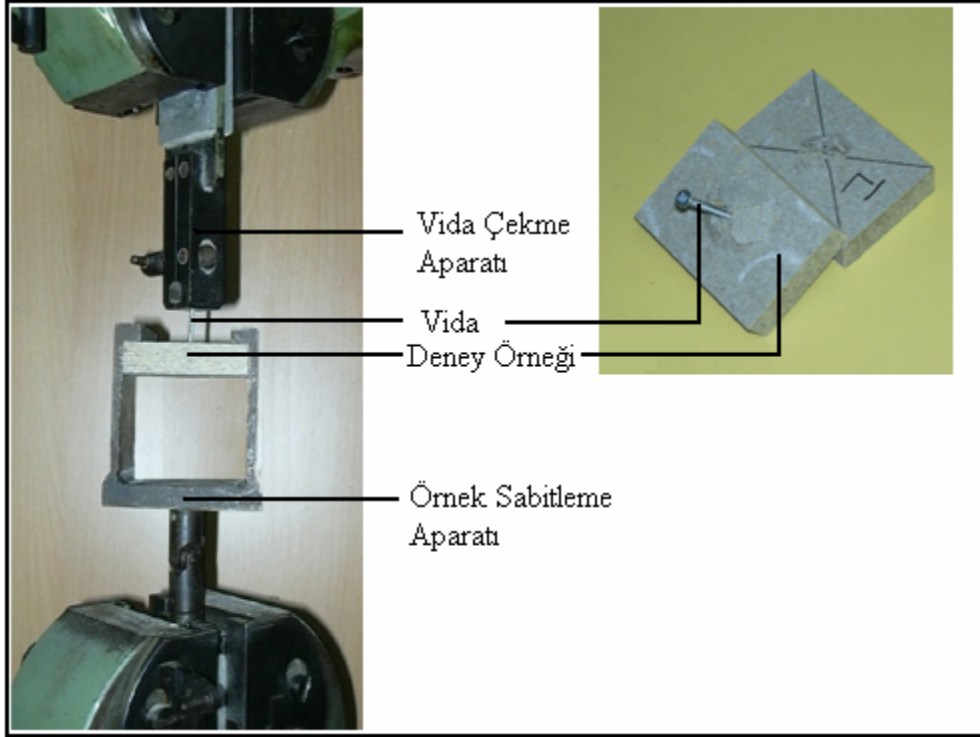
Şekil 13'de yüzeye dik çekme düzeneği ve deney örneği verilmiştir.



Şekil 13. Yüzeye dik çekme düzeneği ve deney örneği

2.3.3.4. Vida Tutma Gücü

Levha yüzeyine dik vida tutma gücünün belirlenmesinde TS EN 320 no'lu standarttan yararlanılmıştır [109]. Örnek boyutları 70x70xlevha kalınlığı (mm) olarak alınmıştır. Örneklerin ön yüzüne köşegenler çizilerek orta noktaları belirlenmiştir. Çizilen köşegenlerin kesişme noktalarına matkapla 1.6mm çapında, 6mm derinliğinde birer delik açılmıştır. Buraya BS 1210 standartlarında öngörülen ve özellikleri 6 numara ile belirtilmiş bulunan vida (TS 19-40) yüzeylere dik gelecek şekilde 13mm derinliğe kadar vidalanmıştır [110,111]. Vidаланan örnekler 18-22°C sıcaklık % 60±5 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme şartlandırma deney anına kadar bekletilmiştir. Bunu takiben Üniwersal test makinesinde, kavrama ve çekme işlemi yeknesak bir şekilde artan ve çıkmanın 30sn'den uzun bir sürede gerçekleştiği kuvvet ile örneklerin vida tutma gücü değerleri belirlenmiştir. Çıkma anında makine göstergesinden okunan kuvvet kg cinsinden doğrudan kaydedilmiştir. Şekil 14'de vida tutma gücü deney düzeneği ve deney örnekleri verilmiştir.



Şekil 14. Vida tutma gücü deney düzeneği ve deney örnekleri

2.4. İstatistik Yöntemler

Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla SPSS 13 istatistik paket programı kullanılmıştır. İki den fazla örnek ve bir faktör söz konusu olunca basit varyans, iki faktör ve ikiden fazla örneklemelede ise çoğul varyans analizleri kullanılarak değişkenlerin etkili olup olmadıkları belirlenmiştir. Etkilemenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler Duncan testi ile karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Kimyasal Özellikler

Levhaların üretildiği yıkanmış ve yıkanmamış ladin ve kızılağaç türlerine ait soğuk su ve sıcak su çözünürlüğü, alkol benzen ve %1'lik NaOH çözünürlüğü ile pH testlerinden oluşan kimyasal analiz sonuçları Tablo 14'de verilmiştir. Denemeler 2 şer örnek üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 14. Levha üretiminde kullanılan yongaların kimyasal analiz sonuçları

Özellikler	Ağaç Türleri			
	Yıkanmış Ladin	Ladin	Yıkanmış Kızılağaç	Kızılağaç
Soğuk Su Çözünürlüğü (%)	1,28	2,34	1,45	2,21
Sıcak Su Çözünürlüğü (%)	2,18	3,84	2,78	3,25
Alkol-Benzen Çözünürlüğü (%)	1,50	2,30	2,76	3,63
%1 NaOH Çözünürlüğü (%)	14,30	17,6	19,23	20,19
pH Değeri	6,83	5,37	6,67	5,61

3.2. Fiziksel Özellikler

3.2.1. Rutubet Miktarı

Levhaların rutubet miktarlarına ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 15'de verilmiştir. Denemeler 24 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 15. Levhaların ortalama rutubet değerleri (%)

Levha tipi	X	S	V
K1	11,96	0,29	2,46
K2	11,89	0,29	2,40
K3	11,36	0,11	0,95
K4	10,85	0,07	0,67
K5	10,26	0,65	6,35
K6	10,36	0,78	7,53
K7	10,64	0,44	4,16
K8	10,78	0,59	5,46
L1	11,74	0,20	1,59
L2	11,63	0,24	2,09
L3	11,38	0,27	2,33
L4	11,66	0,12	1,06
L5	10,25	0,41	4,45
L6	10,70	0,20	1,88
L7	10,70	0,20	1,88
L8	10,56	0,20	2,05
KY1	10,85	0,28	2,54
LY1	11,61	0,68	5,88

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levha rutubet değerleri aynı koşullarda iklimlendirildiklerinden dolayı istenen sınır değerler içerisinde elde edilen levha grupları arasında istatistiksel bir analiz uygulanmamıştır.

3.2.2. Birim Hacim Ağırlık

Levhaların birim hacim ağırlık değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 16'de verilmiştir. Deneyler 24 adet örnek üzerinde geręekleřtirilmiř olup, homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 16. Levhaların ortalama birim hacim ağırlık değerleri (gr/cm³)

Levha tipi	X	S	V
K1	1,17	0,04	3,37
K2	1,16	0,04	3,00
K3	1,15	0,06	5,37
K4	1,14	0,04	3,39
K5	1,16	0,03	2,83
K6	1,15	0,03	2,96
K7	1,14	0,03	3,01
K8	1,13	0,03	2,16
L1	1,19	0,05	4,01
L2	1,15	0,05	4,61
L3	1,18	0,04	3,60
L4	1,14	0,03	2,84
L5	1,20	0,04	3,36
L6	1,18	0,04	3,16
L7	1,20	0,05	4,02
L8	1,15	0,05	3,92
KY1	1,15	0,03	2,71
LY1	1,18	0,04	3,64

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Birim hacim ağırlık değeri üzerine, atık miktarı, çimento ve ağaç türlerinin etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. Atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Atık Miktarı (A)	0,05	3	0,01	8,96	***
Çimento Türü (B)	0,01	1	0,001	0,31	ÖD
Ağaç türü (C)	0,03	1	0,03	16,74	***
Atık miktarı * çimento türü (AxB)	0,01	3	0,00	0,29	ÖD
Atık miktarı * ağaç türü (AxC)	0,03	3	0,008	4,95	**
Çimento türü* ağaç türü (BxC)	0,005	1	0,005	2,74	ÖD
Atık* çimento * ağaç türü (AxBxC)	0,001	3	0,000	0,15	ÖD
Hata	0,38	224	0,002		
Toplam	323,99	240			

Ö.D. : Önemli Değil ***: $x \leq 0,001$ **: $0,001 \leq x \leq 0,01$

Varyans analizi sonucuna göre, atık miktarı, ağaç türü ve atık miktarı-ağaç türü etkileşiminin levha birim hacim ağırlığına etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Çimento türü, atık miktarı, çimento türü, çimento türü, ağaç türü ve atık

miktarı çimento türü ağaç türü karşılıklı etkileşiminin ise 0,05 hata payı ile önemli olmadığı belirlenmiştir.

Birim hacim ağırlık değerleri arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılırken atık miktarı esas alınmış ağaç türleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. ve sonuçları Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo.18 Atık miktarının birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	Kızılağaç X (gr/cm ³)	Ladin X (gr/cm ³)
Kontrol	1,16 a	1,20 a
%5 Atık	1,15 a	1,15 b
%10 Atık	1,14 a	1,19 a
%15 Atık	1,14 a	1,15 b

Tablo 19’de yıkanmış ve yıkanmamış odunlarla üretilen levhaların birim hacim ağırlık değerlerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 19. Ön yıkama işleminin birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	0,03	3	0,01	7,49	***
Gruplar içi	0,07	56	0,001		
Toplam	0,10	59			

***: $\alpha \leq 0,001$

Varyans analizi sonucuna göre ön yıkama işlemi ve ağaç türü levhaların birim hacim ağırlığına etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Ön yıkama işleminin birim hacim ağırlık değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (gr/cm ³)
L5	1,20 a
YL	1,18 ab
K5	1,15 bc
YK	1,14 c

3.2.3. Su Alma Miktarı

Levhaların 2 ve 24 saatlerdeki su alma miktarlarına ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 21’de verilmiştir. Denemeler 24 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 21. Levhaların ortalama su alma miktarı oranları (%)

Levha tipi	2 saat			24 saat		
	X	S	V	X	S	V
K1	18,19	1,37	7,53	19,38	0,64	3,28
K2	17,89	1,21	6,77	19,64	0,93	4,71
K3	18,62	0,87	4,68	21,77	0,66	3,01
K4	22,93	1,28	5,59	26,50	0,64	2,40
K5	24,60	0,70	2,85	27,90	0,67	2,42
K6	24,57	0,81	3,29	26,95	0,86	3,18
K7	25,13	0,81	3,23	28,14	0,93	3,31
K8	26,37	0,90	3,43	29,93	1,50	5,02
L1	15,83	1,14	7,18	19,65	0,46	2,34
L2	19,69	1,56	7,95	22,30	0,63	2,80
L3	17,46	0,86	4,92	20,29	0,86	4,21
L4	19,49	0,91	4,66	24,02	1,21	5,03
L5	19,96	0,49	2,43	22,08	0,85	3,84
L6	22,19	0,61	2,71	24,42	1,91	7,81
L7	20,24	0,81	3,99	22,48	0,85	3,76
L8	21,731	0,50	2,30	24,28	0,57	2,35
KY	18,635	1,64	8,81	21,67	1,77	8,18
LY	17,91	0,97	5,43	22,48	0,93	4,12

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Su alma miktarı üzerine atık miktarı, ağaç türü, çimento türü ve sürenin etkili olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Atık miktarı, ağaç türü, çimento türü ve sürenin su alma miktarına etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-hesap	Önem Derecesi
Süre (A)	942,56	1	942,56	1025,25	***
Atık miktarı (B)	785,35	3	261,78	284,75	***
Çimento türü (C)	2122,91	1	2122,91	2309,13	***
Ağaç türü (D)	842,64	1	842,64	916,55	***
Süre * atık (AxB)	27,67	3	9,22	10,03	***
Süre * çimento (AxC)	1,98	1	1,99	2,16	Ö.D.
Atık * çimento (AxD)	152,51	3	50,84	55,29	***
Süre * atık * çimento (AxBxC)	6,81	3	2,26	2,46	Ö.D.
Süre * ağaç türü (AxD)	0,48	1	0,48	0,53	Ö.D.
Atık * ağaç türü (BxD)	271,12	3	90,37	98,30	***
Süre * atık * ağaç türü (AxBxD)	6,61	3	2,20	2,39	Ö.D.
Çimento * ağaç türü (CxD)	421,07	1	421,07	458,01	***
Süre * çimento * ağaç türü (AxC)	24,53	1	24,53	26,68	***
Atık * çimento * ağaç türü (AxCxD)	26,58	3	8,86	9,64	***
Süre * atık * çimento * ağaç türü (AxBxCxD)	12,03	3	4,01	4,36	***
Hata	411,87	448	0,92		
Toplam	245459,96	480			

Ö.D.: Önemli değil ***: $x \leq 0,001$

Varyans analizi sonucuna göre atık miktarı, çimento ve ağaç türü, süre ve bunların birbirleriyle olan etkileşiminin levhaların su alma miktarına etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Su alma miktarları arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 23’de verilmiştir. Duncan testi yapılırken atık miktarı esas alınmış ağaç türleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tablo 23. Atık miktarının su alma miktarına etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Atık miktarı	Kızılağaç (%)		Ladin (%)	
	2 saat	24 saat	2 saat	24 saat
Kontrol	21,40 ab	23,64 a	17,89 a	20,86 a
%5 Atık	21,23 a	23,29 a	20,60 c	21,38 b
%10 Atık	21,87 ab	24,95 b	18,84 b	23,35 c
%15 Atık	24,64 c	28,21 c	20,94 c	23,15 c

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır. Örneklerin birim hacim ağırlık değerleri üzerine ön yıkama işleminin etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 24’de verilmiştir.

Tablo 24. Ön yıkama işleminin su alma miktarına etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Grup	784,21	3	261,40	219,44	***
Süre	314,77	1	314,77	264,25	***
Grup * süre	24,17	3	8,06	6,76	***
Hata	133,42	112	1,19		
Toplam	58596,14	120			

***: $\alpha \leq 0,001$

Varyans analizi sonucuna göre ile odunsu materyal cinsinin levhaların su alma miktarları üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 25’de verilmiştir.

Tablo 25. Ön yıkama işleminin su alma değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	2 saat X (%)	24 saat X (%)
YL	17,91 a	22,48 b
YK	18,55 a	21,59 a
L5	19,89 b	21,95 ab
K5	24,61 c	27,90 c

3.2.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı

Levhaların kalınlık artımına ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 26’de verilmiştir. Denemeler 24 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 26. Levhaların ortalama kalınlık artım oranları (%)

Levha tipi	2 Saat			24 Saat		
	X	S	V	X	S	V
K1	0,50	0,07	13,41	0,59	0,07	11,60
K2	0,52	0,06	11,35	0,75	0,08	10,50
K3	0,67	0,07	10,92	0,94	0,07	8,15
K4	1,23	0,04	2,91	1,77	0,10	6,04
K5	1,30	0,09	7,23	1,5	0,14	9,21
K6	1,53	0,17	10,79	1,60	0,14	9,03
K7	1,97	0,13	6,72	2,23	0,13	5,97
K8	2,29	0,11	4,67	2,42	0,11	4,63
L1	0,74	0,08	11,28	0,91	0,09	10,91
L2	0,80	0,11	13,07	1,09	0,11	9,97
L3	0,78	0,12	14,81	0,99	0,14	14,91
L4	0,95	0,15	15,03	1,15	0,15	13,22
L5	0,75	0,07	9,26	0,95	0,06	6,51
L6	0,8	0,20	24,24	1,01	0,11	10,80
L7	0,77	0,09	11,86	0,95	0,08	8,75
L8	0,84	0,09	11,01	1,02	0,07	7,52
KY	0,54	0,12	21,66	0,65	0,11	17,40
LY	0,57	0,10	17,50	0,83	0,07	9,33

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levhanın kalınlık artımı üzerine, atık miktarı, ağaç türü, çimento türü ve sürenin etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27. Atık miktarı, ağaç türü, çimento türü ve sürenin kalınlık artımı değerlerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-hesap	Önem Derecesi
Süre (A)	5,65	1	5,65	463,16	***
Atık miktarı (B)	20,69	3	6,89	565,25	***
Çimento türü (C)	26,99	1	26,99	2211,88	***
Ağaç türü (D)	25,34	1	25,34	2076,37	***
Süre * atık (AxB)	0,12	3	0,04	3,37	*
Süre * çimento (AxC)	0,12	1	0,12	10,21	***
Atık * çimento (AxD)	1,17	3	0,39	32,08	***
Süre * atık * çimento (AxBxC)	0,39	3	0,13	10,83	***
Süre * ağaç türü (AxD)	0,02	1	0,02	2,34	ÖD
Atık * ağaç türü (BxD)	12,50	3	4,16	341,43	***
Süre * atık * ağaç türü (AxBxD)	0,22	3	0,08	6,25	***
Çimento * ağaç türü (CxD)	31,64	1	31,64	2592,44	***
Süre * çimento * ağaç türü (AxC)	0,04	1	0,04	3,79	ÖD
Atık * çimento * ağaç türü (AxCxD)	0,87	3	0,29	24,01	***
Süre * atık * çimento * ağaç türü (AxBxCxD)	0,29	3	0,10	8,04	***
Hata	5,46	448	0,01		
Toplam	757,62	480			

Varyans analizi sonuçlarına göre atık miktarı çimento, ağaç türü, süre ve bunların birbirleriyle olan etkileşiminin, levhaların kalınlık artımına etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla, Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 28’de verilmiştir. Duncan testi yapılırken atık miktarı esas alınmış ağaç türleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tablo 28. Atık miktarının kalınlık artımı değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	Kızılağaç X (%)		Ladin X (%)	
	2 saat	24 saat	2 saat	24 saat
Kontrol	0,91 a	1,07 a	0,75 a	0,93 a
%5 Atık	1,03 b	1,18 b	0,78 a	0,97 a
%10 Atık	1,33 c	1,59 c	0,80 a	1,05 b
%15 Atık	1,77 d	2,10 d	0,90 b	1,09 b

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır. Örneklerin kalınlık artım değerleri üzerine ön yıkama işleminin etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 29’de verilmiştir

Tablo 29. Ön yıkama işleminin kalınlık artım değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Grup	12,15	3	4,05	257,77	***
Süre	1,13	1	1,13	71,97	***
Grup * süre	0,12	3	0,04	2,60	Ö.D.
Hata	1,76	112	0,02		
Toplam	115,20	120			

Ö.D. : Önemli Değil ***: $\alpha \leq 0,001$

Varyans analizi sonuçlarına göre ön yıkama işleminin levhaların kalınlık artım değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Fakat ağaç türü ve sürenin birlikte etkileşimin kalınlık artım değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 30’da verilmiştir.

Tablo 30. Ön yıkama işleminin kalınlık artım değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	2 saat X (%)	24 saat X (%)
YK	0,54 a	0,66 a
YL	0,57 a	0,83 b
L5	0,80 b	0,97 c
K5	1,30 c	1,55 d

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

3.3. Mekanik Özellikler

3.3.1. Eğilme Direnci

Levhaların eğilme dirençlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 31’de verilmiştir. Deneyler 24 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 31. Levhaların ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Levha tipi	X	S	V
K1	4,97	0,36	7,26
K2	4,38	0,53	12,05
K3	4,01	0,51	12,56
K4	3,73	0,24	6,45
K5	4,50	0,45	10,00
K6	4,08	0,44	10,89
K7	3,46	0,29	8,51
K8	3,17	0,22	6,99
L1	5,94	0,46	7,75
L2	4,60	0,43	9,51
L3	5,31	0,37	7,14
L4	5,17	0,40	7,85
L5	7,00	0,24	3,51
L6	4,73	0,76	16,12
L7	6,13	0,34	5,60
L8	4,67	0,37	7,94
KY1	6,04	0,76	1,25
LY1	9,45	0,50	5,35

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Eğilme direnci üzerine kullanılan atık miktarı, ağaç türü ve çimento türü etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün eğilme direnci değerlerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Atık Miktarı (A)	68,32	3	22,77	126,89	***
Çimento Türü (B)	0,13	1	0,13	0,75	Ö.D.
Ağaç türü (C)	118,86	1	118,86	662,30	***
Atık miktarı * çimento türü (AxB)	5,72	3	1,90	10,63	***
Atık miktarı * ağaç türü (AxC)	20,83	3	6,94	38,68	***
Çimento türü* ağaç türü (BxC)	10,71	1	10,71	59,67	***
Atık* çimento * ağaç türü (AxBxC)	5,79	3	1,93	10,74	***
Hata	40,20	224	0,18		
Toplam	5671,33	240			

Ö.D. : Önemli Değil ***: $\alpha \leq 0,001$

Varyans analizi sonucuna göre atık miktarı, ağaç türü, atık miktarı-ağaç türü, atık miktarı-çimento türü, atık-çimento-ağaç türünün levhaların eğilme direnci üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Çimento türünün ise levha eğilme direnci üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olmadığı belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 33’de verilmiştir. Duncan testi yapılırken atık miktarı esas alınmış ağaç türleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tablo 33. Atık miktarının eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	Kızılağaç X (N/mm ²)	Ladin X (N/mm ²)
Kontrol	4,74 a	6,48 a
%5 Atık	4,23 b	4,67 c
%10 Atık	3,74 c	5,72 b
%15 Atık	3,45 d	4,92 c

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır. Tablo 34’de yıkanmış ve yıkanmamış odunlarla üretilen levhaların eğilme direnci değerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır

Tablo 34. Ön yıkama işleminin eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	195,17	3	65,06	236,62	***
Gruplar içi	15,40	56	0,275		
Toplam	210,56	59			

Varyans analizi sonucu ile ön yıkama işlemlerinin levhaların birim eğilme direncine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla basit varyans analizi ve buna bağlı olarak Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 35’de verilmiştir

Tablo 35. Ön yıkama işleminin eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (N/mm ²)
YL	9,47 a
L5	7,01 b
YK	6,04 c
K5	4,50 d

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

3.3.2. Elastikiyet Modülü

Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 36’da verilmiştir. Deneyler 24 örnek üzerinde gerçekleştirilmiş olup, homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 36. Levhaların ortalama elastikiyet modülü değerleri (N/mm²)

Levha tipi	X	S	V
K1	2176,61	100,98	4,64
K2	2131,08	155,36	7,29
K3	1984,56	118,44	5,97
K4	1821,33	113,83	6,25
K5	2062,09	154,88	7,51
K6	1924,62	110,95	5,77
K7	1840,16	115,96	6,30
K8	1730,67	85,52	4,94
L1	2940,56	207,70	7,06
L2	1830,68	82,63	4,51
L3	2301,17	85,96	3,74
L4	2115,30	105,05	4,97
L5	2428,93	99,87	4,11
L6	1744,87	134,45	7,70
L7	2267,04	72,42	3,20
L8	1887,16	120,95	6,41
KY1	2298,710	270,94	11,79
LY1	3555,64	206,84	5,82

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Elastikiyet modülü üzerine kullanılan atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 37'de verilmiştir.

Tablo 37. Atık miktarı, ağaç türü, ve çimento türünün elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Atık Miktarı (A)	10211371,21	3	3403790,40	232,05	***
Çimento Türü (B)	1879042,69	1	1879042,69	128,10	***
Ağaç türü (C)	3190023,57	1	3190023,57	217,48	***
Atık miktarı * çimento türü (AxB)	412179,17	3	137393,06	9,36	***
Atık miktarı * ağaç türü (AxC)	5303504,47	3	1767834,82	120,52	***
Çimento türü* ağaç türü (BxC)	86448,59	1	86448,59	5,89	*
Atık* çimento * ağaç türü (AxBxC)	675993,38	3	225331,13	15,36	***
Hata	3285705,62	224	14668,33		
Toplam	1057576216,65	240			

***: $x \leq 0,001$

* : $0,01 \leq x \leq 0,05$

Varyans analizi sonucuna göre atık miktarı, ağaç türü, çimento türü ve bunların birbirleriyle olan karşılıklı etkileşimi levhaların elastikiyet modülü üzerine etkisinin 0,05

hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 38’de verilmiştir. Duncan testi yapılırken atık miktarı esas alınmış ağaç türleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tablo 38. Atık miktarının elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	Kızılağaç X (N/mm ²)		Ladin X (N/mm ²)	
	PC 32,5	PC42,5	PC 32,5	PC 42,5
Kontrol	2176,62 a	2062,09 a	2940,56 a	2428,93 a
%5 Atık	2131,08 a	1924,62 b	1830,68 d	1744,87 d
%10 Atık	1984,56 b	1840,16 b	2301,17 b	2267,04 b
%15 Atık	1821,32 c	1730,67 c	2115,30 c	1887,17 c

Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır. Tablo 39’de yıkanmış ve yıkanmamış haldeki ladin ve kızılağaç odunlarından üretilen levhaların elastikiyet modülü değerlerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır

Tablo 39. Ön yıkama işleminin elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	18109216,20	3	6036405,40	157,55	***
Gruplar içi	2145574,32	56	38313,83		
Toplam	20254790,52	59			

*** $\alpha \leq 0,001$

Varyans analizi sonucuna göre ön yıkama işlemi ve ağaç türü levhaların elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla basit varyans analizi ve buna bağlı olarak Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 40’da verilmiştir

Tablo 40. Ön yıkama işleminin elastikiyet modülü değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (N/mm ²)
YL	3499,11 a
L5	2428,93 b
YK	2312,53 b
K5	2062,09 a

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

3.3. Yüze Dik Çekme Direnci

Levhaların yüze dik çekme direnci değerlerine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 41’de verilmiştir. Denemeler 24 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 41. Levhaların ortalama yüze dik çekme direnci değerleri (N/mm²)

Levha tipi	X	S	V
K1	0,26	0,031	11,62
K2	0,33	0,06	18,50
K3	0,30	0,05	16,97
K4	0,32	0,03	10,10
K5	0,18	0,03	18,63
K6	0,20	0,04	20,12
K7	0,11	0,01	9,99
K8	0,14	0,02	17,89
L1	0,34	0,05	15,35
L2	0,32	0,04	13,46
L3	0,37	0,04	9,71
L4	0,32	0,03	9,35
L5	0,33	0,0	15,26
L6	0,28	0,02	7,98
L7	0,32	0,06	18,84
L8	0,31	0,04	15,85
KY1	0,40	0,04	9,25
LY1	0,66	0,07	11,11

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levha çekme direnci üzerine kullanılan atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 42’de verilmiştir.

Tablo 42. Atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün yüzeye dik çekme direnci değerleri etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Atık Miktarı (A)	0,003	3	0,001	0,64	Ö.D.
Çimento Türü (B)	0,47	1	0,47	267,16	***
Ağaç türü (C)	0,54	1	0,54	307,32	***
Atık miktarı * çimento türü (AxB)	0,06	3	0,02	11,06	***
Atık miktarı * ağaç türü (AxC)	0,09	3	0,03	16,34	***
Çimento türü* ağaç türü (BxC)	0,22	1	0,21	123,36	***
Atık* çimento * ağaç türü (AxBxC)	0,02	3	0,008	4,50	**
Hata	0,39	224	0,002		
Toplam	20,58	240			

Ö.D. : Önemli Değil ***: $x \leq 0,001$ **: $0,001 \leq x \leq 0,01$

Varyans analizi sonucu ile ağaç türü, çimento türü ve bunların birbirleriyle olan etkileşimi levhaların çekme direnç değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Atık miktarının ise levhaların çekme direnç değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle Duncan testine gerek duyulmamıştır.

Ön yıkama işlemlerinin levha yüzeye dik çekme direncine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmıştır. Tablo 43’de yıkanmış ve yıkanmamış odunlarla üretilen levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 43. Ön yıkama işleminin yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	1,75	3	0,58	226,01	***
Gruplar içi	0,15	56	0,00		
Toplam	1,90	59			

***: $x \leq 0,001$

Varyans analizi sonucu ile ön yıkama işlemlerinin levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Çekme direnci değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla basit varyans analizi ve buna bağlı olarak Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 44’de verilmiştir.

Tablo 44. Ön yıkama işleminin yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (N/mm ²)	
YL	0,66	a
L5	0,40	b
YK	0,33	c
K5	0,18	d

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

3.3.4. Vida Tutma Gücü

Levhaların vida tutma gücüne ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 45’de verilmiştir. Denemeler 24 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 45. Levhaların ortalama vida tutma direnci değerleri (kp)

Levha tipi	X	S	V
K1	47,13	5,70	12,10
K2	44,13	4,45	10,09
K3	43,33	6,29	14,53
K4	41,20	6,88	16,72
K5	46,13	7,56	16,40
K6	44,00	5,38	12,23
K7	42,80	6,20	14,48
K8	41,73	9,68	23,20
L1	58,40	11,12	19,05
L2	46,26	7,38	15,95
L3	56,86	9,09	15,99
L4	45,60	6,90	15,14
L5	62,93	10,73	17,05
L6	43,46	6,50	14,95

Tablo 45'in devamı;

L7	59,93	7,48	12,49
L8	40,33	5,79	14,35
KY1	53,13	5,55	10,45
LY1	80,06	6,96	8,69

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levha vida tutma direnci üzerine kullanılan atık miktarı, ağaç türü ve çimento türünün etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 46'de verilmiştir.

Tablo 46. Atık miktarı, ağaç türü, ve çimento türünün vida tutma direnci değerlerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Atık Miktarı (A)	5106,43	3	1702,14	29,80	***
Çimento Türü (B)	2,40	1	2,40	0,04	Ö.D.
Ağaç türü (C)	3760,42	1	3760,41	65,84	***
Atık miktarı * çimento türü (AxB)	184,76	3	61,59	1,08	Ö.D.
Atık miktarı * ağaç türü (AxC)	2763,61	3	921,21	16,13	***
Çimento türü* ağaç türü (BxC)	0,42	1	0,42	0,01	O.D.
Atık* çimento * ağaç türü (AxBxC)	315,82	3	105,27	1,84	Ö.D.
Hata	12793,06	224	57,11		
Toplam	572524,00	240			

Ö.D. : Önemli Değil ***: $\alpha \leq 0,001$

Elde edilen varyans analizi sonucu ile atık miktarı, ağaç türü ve atık miktarı-ağaç türü bileşiminin levhaların yüzeye dik vida tutma direnç değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Çimento türü, atık miktarı-çimento türü, Çimento türü-ağaç türü ve atık-çimento-ağaç türü bileşimlerinin ise levhaların yüzeye dik vida tutma direnç değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olmadığı belirlenmiştir.

Vida tutma gücü değerleri arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 47'da verilmiştir.

Tablo 47. Atık miktarının vida tutma direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Levha tipi	Kızılağaç X (N/mm ²)	Ladin X (N/mm ²)
Kontrol	46,63 a	60,66 a
%5 Atık	44,06 ab	44,86 b
%10 Atık	44,06 ab	58,40 a
%15 Atık	41,46 b	42,96 b

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır. Tablo 48’de yıkanmış ve yıkanmamış odunlarla üretilen levhaların vida tutma direnci değerlerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 48. Ön yıkama işleminin vida tutma direnci değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	9741,40	3	3247,13	51,58	***
Gruplar içi	3525,33	56	62,952		
Toplam	13266,73	59			

***: $\alpha \leq 0,001$

Varyans analizi sonucu ile ön yıkama işlemlerinin vida tutma direnci değerleri üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla basit varyans analizi ve buna bağlı olarak Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 49’de verilmiştir.

Tablo 49. Ön yıkama işleminin vida tutma direnci değerlerine etkisine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (N/mm ²)
YL	80,06 a
L5	62,93 b
YK	53,13 c
K5	46,13 d

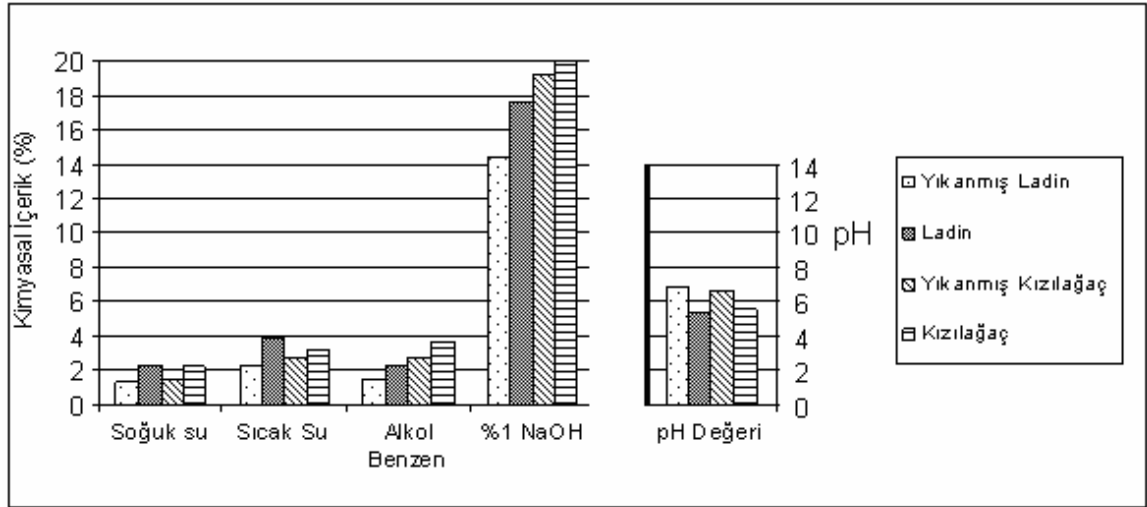
Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

4. İRDELEME

İki farklı çimento (PÇ 32,5- PC 42,5), iki farklı odun türü (kızılağaç, Ladin) ve değişik katkı oranlarındaki içme suyu arıtma tesisi atık çamuru (%0, %5, %10, %15) kullanılarak üretilen levhaların bazı, fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler ile üretimde kullanılan odun yongalarının kimyasal özelliklerindeki değişimler grafikler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca ön yıkama işlemi uygulanmış ve uygulanmamış ladin ve kızılağaç levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler karşılaştırılmıştır.

4.1. Kimyasal Özellikler

Denemelerde kullanılan yongaların çözünürlük ve pH değerleri Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. Denemelerde kullanılan yongaların çözünürlük ve pH değerleri

Literatürde ladin yongalarının çimentolu yongalevha üretimi için uygun olduğu belirtilmektedir [17]. Öte yandan çimentolu odun kompozitleri üretiminde odun ile

çimento arasındaki uyumun çok önemli olduğu da bir gerçektir. Uyum problemini çözmek için hammadde odununun depolarda bekletilerek veya suda depolanarak ekstraktif ve bazı şeker grupları gibi suda çözünen maddelerin bir kısmının odunu terk etmesi sağlanmaktadır. Depolama işlemi ile odun çimento karışımı hidrasyon testleri sonucunda odun çimento uyumunun iyileştiği belirlenmiştir [112].

Bu çalışmada; çözünürlük işlemi uygulamasının odun çimento uyumuna etkisini belirlemek amacıyla soğuk, sıcak, alkol-benzen ve %1'lik NaOH çözünürlükleri incelenmiştir.

Literatürde doğu ladini yongaları; sıcak su, alkol benzen ve %1'lik NaOH çözünürlükleri sırasıyla %1,56, %0,99 ve %10,72 olarak verilmektedir [113]. Levhaların üretiminde kullanılan ladin yongalarında ise bu değerler daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni olarak yongaların içerisindeki iç kabuk oranının fazla olması gösterilebilir. Kızılağaç yongalarının çözünürlük değerleri ise Bostancı'nın çalışmasında belirtilen değerler ile benzerlik göstermektedir [114].

Yapılan analizlere göre soğuk ve sıcak su çözünürlükleri paralellik göstermiş olup en yüksek çözünürlük değerleri yıkanmamış ladin örneklerinde elde edilmiştir. Alkol benzen ve %1'lik NaOH çözünürlük değerleri birbiriyle paralellik göstermektedir. Yıkanmış ladin yongaları en düşük değerleri (%1,5 – %14,3) verirken, yıkanmamış kızılağaç yongaları en yüksek (%3,63 – %20,04) çözünürlük değerlerini vermiştir. Odun türleri pH değerlerine göre düşükten yükseğe doğru; ladin, kızılağaç, yıkanmış kızılağaç ve yıkanmış ladin şeklinde sıralanmıştır.

Yapılan bir çalışmada; orman aralama kesimlerinden elde edilen odunsu materyalin normal oduna ikame olarak çimentolu kompozitlerde değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Ön işlemler (soğuk su veya sıcak suda çözünürlük yıkanma) yanında sertleştirici (CaCl_2 , MgCl_2) ilavesi ile odun yongalarının çimento ile uyumluluğunun arttığı belirlenmiştir. Çimento sertleşmesinin lignin haricindeki holoselüloz oranının artışıyla geciktiği belirlenmiştir. Üç farklı ekstraksiyon işlemi (soğuk su, sıcak su ve %1'lik NaOH) uygulamasının odun çimento uyumu ile negatif ilişki göstermiştir [115].

Düşük seviyedeki odun pH'nın azalması (asiditenin artışı), çimento odun karışımının pH seviyesini düşürdüğü için levha özelliklerine olumsuz etkilemektedir [116].

Roffael ve Sattler (1991); çimento süspansiyonunun alkalinitesinin odun karbonhidratlarının çözünmemesine katkı sağladığını ve yüksek alkali tamponlama

kapasitesine sahip çimentoların, düşük tamponlama kapasitesine sahip çimentolara göre levhaların mekanik özelliklerini düşürdüğünü belirlemiştir [117].

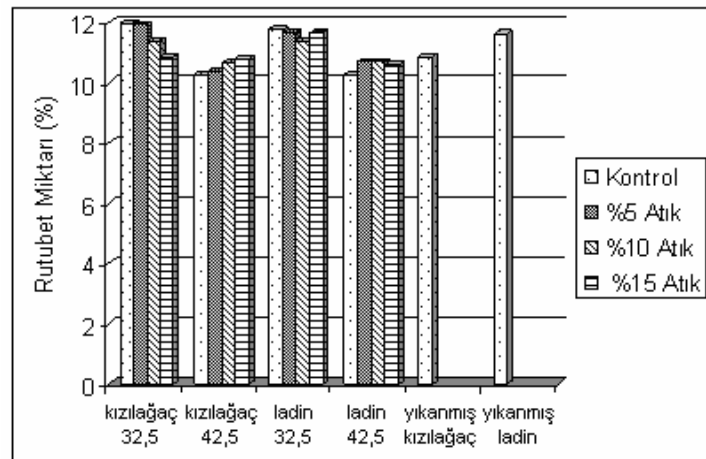
Soğuk sudaki çözünürlük odun içerisindeki şeker, tanen, sakız ve renk verici maddeler hakkında bilgi vermektedir [118]. Yapılan analizlerde soğuk ve sıcak sudaki çözünürlük değerleri paralellik göstermiştir.

Araştırmalarda basit odun şekerleri, tanen ve suda çözünen ekstraktif maddelerin kuruma ve depolama esnasında odun yongası yüzeyine adsorbsiyonu sonucu çimento hidrasyonunu olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Alkali ortamda gerçekleşen hidrasyon reaksiyonu odun içerisindeki şeker asitleri nedeniyle çimento reaksiyonunu geciktirerek fiziksel ve mekanik bağın zayıflamasına neden olur [119, 120, 121]. Bu nedenle alkol-benzen ve %1'lik NaOH çözünürlük deneyleri odun ile çimento arasındaki uyumu ifade etmek amacı ile kullanılmaktadır. Elde edilen fiziksel ve mekanik değerler durumu destekler niteliktedir.

4.2. Fiziksel Özellikler

4.2.1. Rutubet Miktarı

Deneme levhaları rutubet değerlerinin %10,3 - %11,9 arasında değiştiği belirlenmiştir. Üretilen levha gruplarına göre elde edilen rutubet değerleri Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Levhalardaki rutubet değerleri

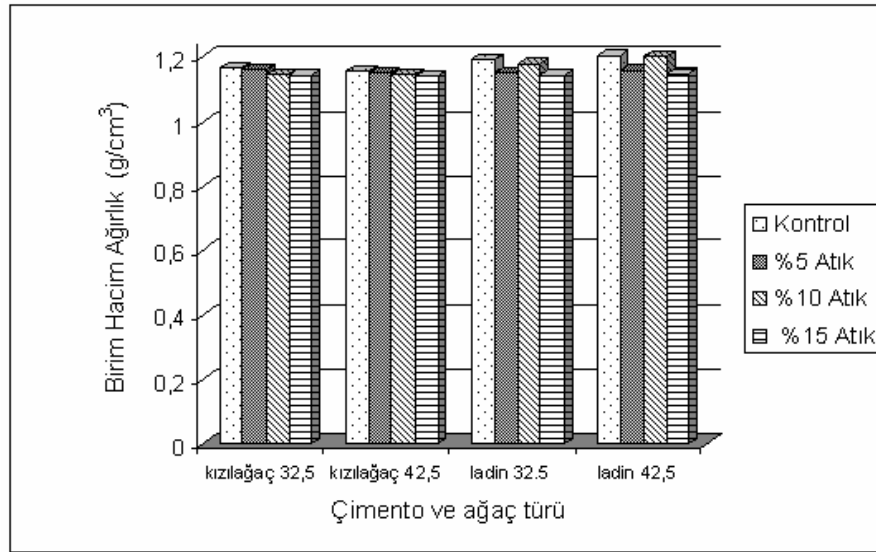
EN 312-1 (1996)'nolu standartta göre levhalarda istenen rutubet miktarının 9 ± 4 arasında olması öngörülmektedir. Levhaların rutubet değerleri bu bakımdan standartta belirtilen değerlere uyum göstermektedir [122].

4.2.2. Birim Hacim Ağırlık Değeri

Birim hacim ağırlık değerleri fiziksel ve mekanik özellikler için son derece önemli olup, malzemenin kullanım yerindeki dayanımını belirler.

En yüksek birim hacim ağırlık değeri PÇ 42,5 ladin grubu levhalarında (L5, $1,20\text{gr/cm}^3$; L7, $1,20\text{gr/cm}^3$) elde edilmiştir. En düşük birim hacim ağırlık değeri ise PÇ 42,5 kızılâğaç grubu levhalarında (K4 ve K8: $1,14\text{ gr/cm}^3$) elde edilmiştir.

Levhaların birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin grafik Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Atık miktarı, çimento ve ağaç türünün birim hacim ağırlığa etkisi

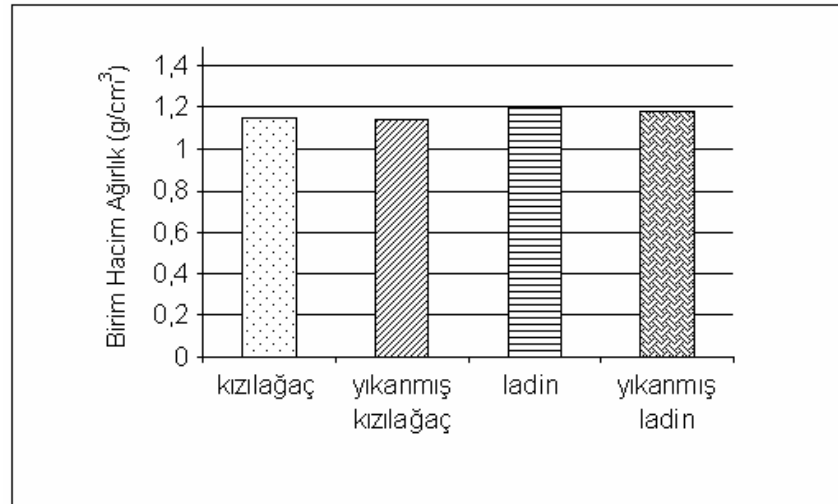
Yapılan istatistik analizler sonucu atık miktarı ve ağaç türünün birim hacim ağırlık değerleri üzerine 0,001 yanılma olasılığı ile etkili olduğu, çimento türü etkisinin ise önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işleminin levhaların birim hacim ağırlık değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Bunun nedeninin yıkanmış odunda çimento tarafından ıslatma oranının fazla olması gösterilebilir. Ayrıca çözünürlük değerleri daha yüksek olan yıkanmamış odun yongalardan üretilen levhalarda presleme esnasında kısa

süre içerisinde levhalardan çimento ve katkı maderini içeren suyun belli oranda sızması nedeniyle birim hacim ağırlık değerinde azalma olmuş olabilir. En yüksek birim hacim ağırlık değeri PÇ 42,5 Ladin grubu levhalarda (L5: 1,20g/cm³), en düşük birim hacim ağırlık değeri ise; PÇ 32,5 %15 atık levha grubunda (L4: 1,14g/cm³) elde edilmiştir.

Sonuçlar genel olarak (1,14–1,20gr/cm³) öngörülen birim hacim ağırlık değerine (1,2 gr/cm³) yakın çıkmıştır. Bunun nedeni levha taslağı oluşturma esnasında oluşturma sırasındaki kayıplar olabilir.

Literatürde ladin odunlarının kızılağaç odununa göre daha iyi ıslanabilirlik gösterdiği belirtilmektedir. Özellikle öz odun, diri oduna göre daha düşük ıslanabilme özellikleri göstermektedir[123]. Bu da presleme esnasında kızılağaç levhalarında ladin levhalarına göre su kaybı oranının daha fazla olmasını açıklamaktadır.

Ön yıkama işlemlerinin birim hacim ağırlığa etkisi Şekil 18’de verilmiştir.



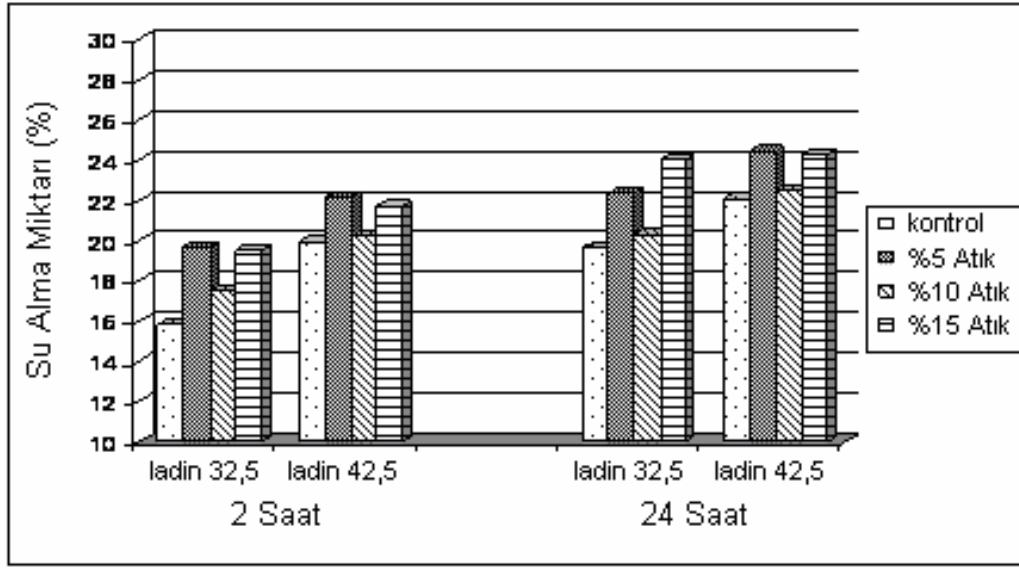
Şekil 18. Ön yıkama işlemlerinin birim hacim ağırlığa etkisi

Yıkanmış ve yıkanmamış kızılağaç ve ladin levhalar arasında yapılan istatistik analizler sonucu birim hacim ağırlık değerlerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Yıkanmamış ladin levhalar (L5:1,20gr/cm³) yıkanmış ladin levhalara (YL:1.18gr/cm³) göre daha yüksek birim hacim ağırlık değerine sahip olup, istatistiksel olarak benzerlik göstermektedir. Yıkanmamış kızılağaç levhalar (K5:1,15gr/cm³) yıkanmış kızılağaç levhalara (YK: 1,15gr/cm³) göre daha yüksek olup, istatistiksel olarak farkın önemli olmadığı belirlenmiştir.

4.2.3. Su Alma Miktarı

Suda bekletme süresi ağaç türü, çimento türü ve atık kullanım oranının su alma miktarı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ladin levhaların 2 saatlik ve 24 saatlik su alma miktarları kızılâğaç levhalara göre daha düşük sonuçlar vermiştir.

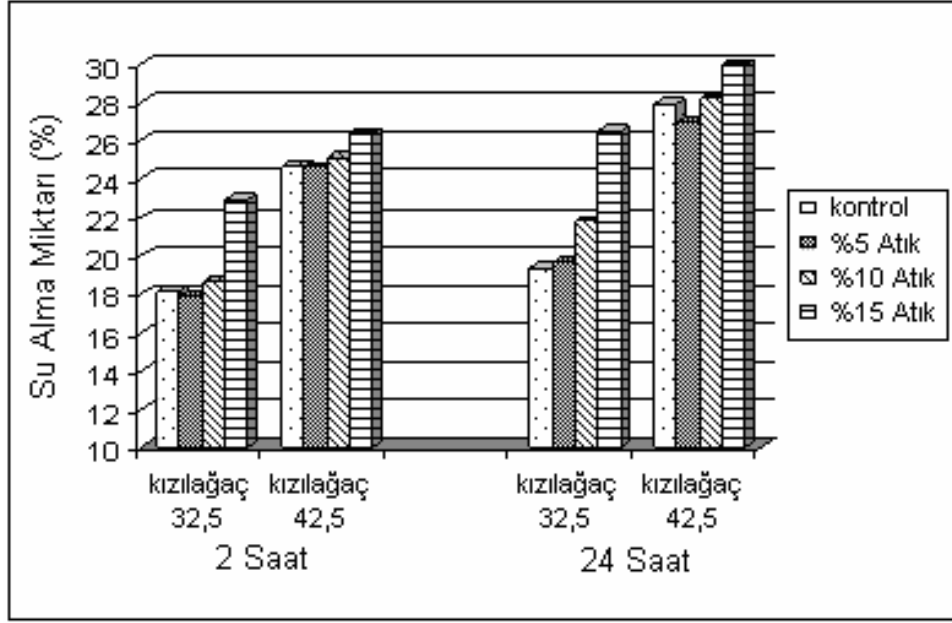
Ladin ve kızılâğaç levhaların 2 ve 24 saatlerdeki su alma miktarlarına ilişkin grafikler Şekil 19 ve Şekil 20’da verilmiştir.



Şekil 19. Atık miktarının ladin levhalarda su alma miktarına etkisi

2 saatte su alma miktarları incelendiğinde en düşük su alma miktarı PÇ 32,5’luk çimento ile kontrol levhalarda(L1:% 15,83) en yüksek ise PÇ 42,5’luk çimento ile %15 oranında atık kullanılarak üretilen levhalarda (L4: %22,19) elde edilmiştir. Kontrol grubundan sonra en düşük değeri %10 atık ile üretilen levhalar göstermiştir. 2 saatlik su alma miktarı benzer şartlarda gerçekleştirilen başka bir çalışma ile benzer sonuçlar vermiştir [124].

24 saatte su alma miktarlarında içinde kontrol grupları diğer tüm gruplara göre daha düşük su alma miktarı vermiştir. En düşük değer PÇ 32,5 kontrol grubundan (L1:% 19,646) en yüksek değer ise PÇ 32,5 - %15 atık levha grubunda (L4: %24,289) elde edilmiştir. 24 saatte su alma miktarı değerleri literatür ile uyum sağlamaktadır [123].

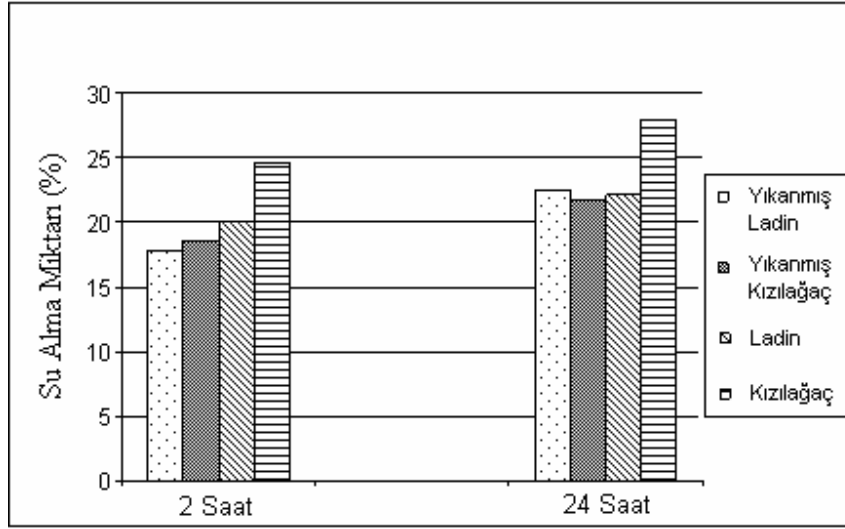


Şekil 20. Atık miktarının kızılağaç levhalarda su alma miktarlarına etkisi

Kızılağaç levhalarda atık miktarının su alma üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Atık miktarının artışı su alma miktarında artışa neden olmuştur. 2 saatte en düşük su alma miktarı PÇ 32,5'lük çimento ile kontrol grubunda (K1: %18,191) en yüksek değer ise PÇ 42,5'lük çimento ile %15 atık kullanılarak üretilen levha grubunda (K8: % 26,366) elde edilmiştir.

2 saatte su alma miktarı verilerine göre PÇ 32,5 ile üretilen levhalar PÇ 42,5 ile üretilen levhalara göre daha düşük su alma değerleri göstermektedir. 24 saatte en düşük su alma miktarı PÇ 32,5 kontrol grubunda (K1: %19,386), en yüksek ise PÇ 42,5 %15 Atık levha grubunda (K8: %29,929) elde edilmiştir. PÇ 32,5 ile üretilen levhalar PÇ 42,5 ile üretilen levhalara göre iyi sonuçlar vermiştir.

Levha üretiminde odun türlerine uygulanan ön yıkama işlemlerinin levha su alma miktarı üzerine etkisi Şekil 21'de verilmiştir.



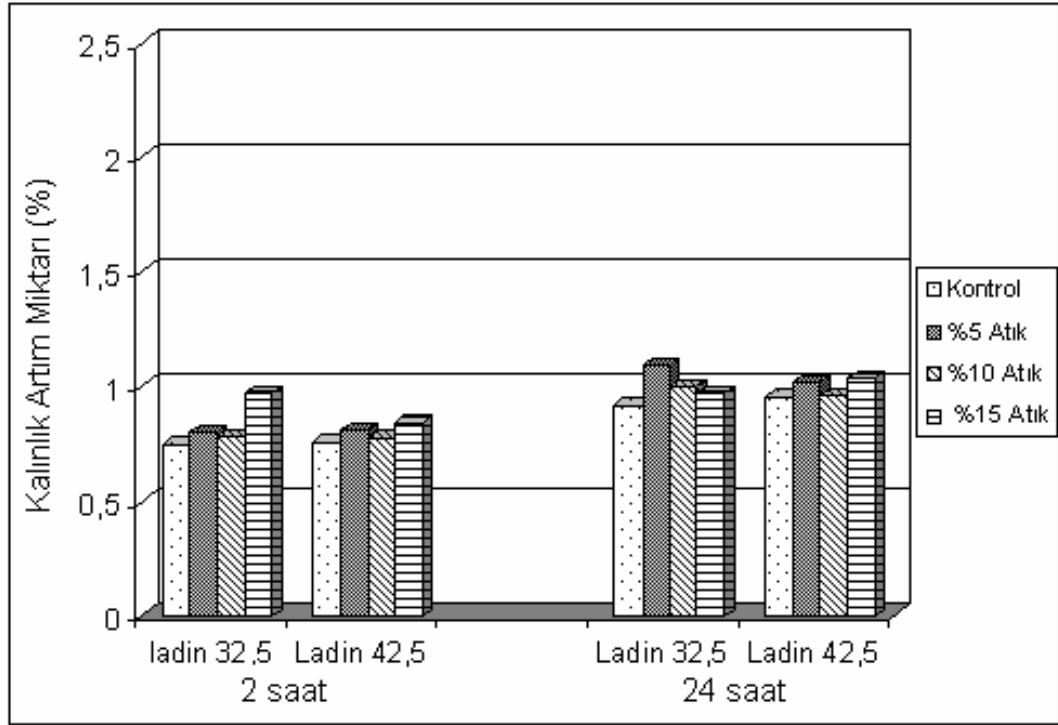
Şekil 21. Ön yıkama işlemlerinin levha su alma miktarına etkisi

Levhelerde ön yıkama işlemleri sonucu 2 saatte su alma miktarı en düşükten en yükseğe doğru; yıkanmış ladin (YL: %17,91), yıkanmış kızılağaç (YK: %18,55), yıkanmamış ladin (L5: %19,89) ve yıkanmamış kızılağaç (K5: %24,60) şeklinde gerçekleşmiştir.

24 saatlik değerlerinde en düşük su alma miktarı yıkanmış kızılağaç (YK: %21,58) levhalarda elde edilirken, en yüksek sonuç yıkanmamış kızılağaç grubu (K5: %27,90) levhalarda elde edilmiştir. Bunun nedeninin ağaç malzeme içerisindeki ekstraktif madde miktarındaki azalma ile hidrasyon derecesindeki artış sonucu daha iyi özelliklerde levhaların elde edilmesi olduğu söylenilebilir.

4.2.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı

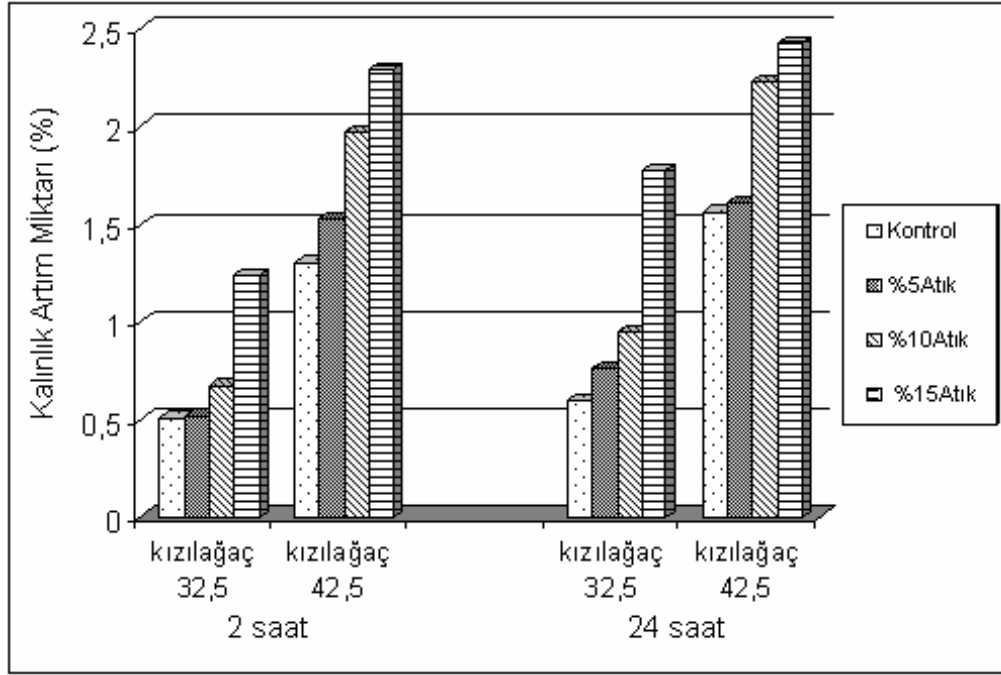
Suda bekletme süresi arttıkça kalınlık artımı değerinde bir artış söz konusudur. Ayrıca; ağaç ve çimento türü ile atık miktarının kalınlık artımı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Kızılağaç levhaların kalınlık artım değerleri ladin levhalarından daha üstün sonuçlar vermiştir. Ağaç türünün etkisi incelendiğinde, kalınlık artımı değerleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca atık kullanım oranının artışı ile ladin levhaların kalınlık artımı değerleri kızılağaç levhalara göre daha üstün sonuçlar vermiştir. Levhaların 2 ve 24 saatteki kalınlık artımı miktarlarına ait grafikler Şekil 22 ve Şekil 23'de verilmiştir.



Şekil 22. Atık miktarının ladin levhalarda kalınlık artım miktarına etkisi

İstatistiksel analizler sonucu ladin levhalarda atık miktarının kalınlık artımı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. 2 saatte en düşük kalınlık artımı PÇ 32,5 kontrol levhalarından (L1:%0,748) en yüksek ise PÇ 32,5'luk çimento ile %15 atık kullanılarak üretilen levhalardan (L4: %0,967) elde edilmiştir. Tüm ladin grubu levhalarda kontrol grubundan sonra en düşük değer %10 atık kullanılarak üretilen levhalarda belirlenmiştir. Ladin levhaların 2 saatte kalınlık artımı değerleri standartlara (TS 634–2) uyumlu sonuçlar vermiştir [125]. Çimento türünün istatistiksel olarak kalınlık artımına etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada da farklı çimento türleri (Tip I-III) kullanılarak üretilen levhaların boyutsal kararlılıklarında da fark olmadığı belirtilmektedir. [126].

24 saatteki kalınlık artım değerleri kontrol gruplarında atık ile üretilen levhalara oranla daha düşük sonuçlar vermiştir. En düşük kalınlık artımı değeri PÇ 32,5 ile üretilen kontrol levhalarında (L1:%0,748) en yüksek ise PÇ 32,5 'luk çimento ve %15 atık kullanılarak üretilen levhalarda (L4: %0,967) elde edilmiştir. Kalınlık artım değerleri TS EN 634-2 no'lu standarda uyumlu sonuçlar vermiştir [125].

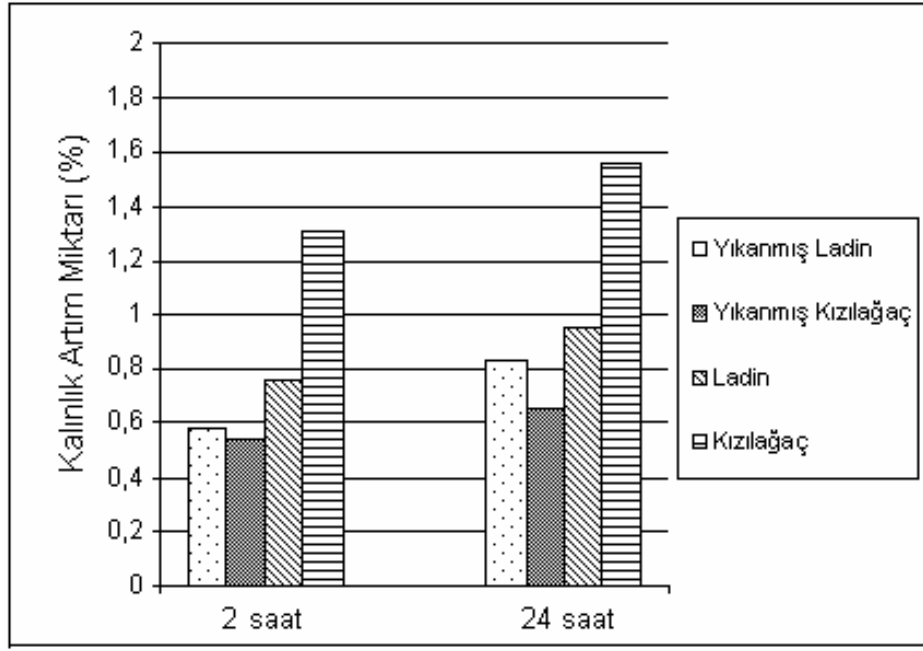


Şekil 23. Atık miktarının kızılağaç levhalarda kalınlık artımına etkisi

Kızılağaç levhalarda atık miktarının kalınlık artım miktarı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Atık kullanım oranı arttıkça kalınlık artımı değerlerinin arttığı görülmektedir. 2 saatte en düşük kalınlık artımı değeri PÇ 32,5 kontrol levhalarından (K1: %0,509), en yüksek ise PÇ 42,5'luk çimento ile %15 atık kullanılarak üretilen levhalarda (K8: % 2,295) elde edilmiştir.

2 saatte kalınlık artımı verilerine göre; PÇ 32,5 grubu levhalarda PÇ42,5 grubu levhalara göre daha düşük kalınlık artım değerleri belirlenmiştir. PÇ 42,5'luk çimento ile %15 atık kullanılarak üretilen levhalar (K8: % 2,295) hariç tüm levhaların standarda uyumlu olduğu belirlenmiştir.. 24 saatte ise en düşük kalınlık artımı değeri PÇ 32,5 kontrol levhalarından (K1: %0,599), en yüksek ise PÇ 42,5'luk çimento ile %15 atık kullanılarak üretilen levhalardan (K8: %2,428) elde edilmiştir. Levhalarda PÇ 32,5 grubu levhalar PÇ 42,5 grubu levhalara göre daha düşük kalınlık artımı sonuçlar vermiştir.

Ön yıkama işleminin levha kalınlık artımı üzerine etkisi Şekil 24'de verilmiştir.



Şekil 24. Ön yıkama işlemlerinin kalınlık artımına etkisi

2 saatteki kalınlık artımı en düşükten en yükseğe doğru yıkanmış kızılağaç (YK:%0,54), yıkanmış ladin (YL: %0,58), ladin (L5: %0,84) ve kızılağaç (K5:%0,30) şeklinde sıralanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği gibi yıkanmış kızılağaç ve ladin yongarlı ile üretilen levhalarda yıkanmamış ladin ve kızılağaç levhaların kalınlık artımı değerlerine göre daha düşük çıkması çözünürlük değerleriyle paralellik göstermiştir. [127]. Tüm gruplarda, standart değerlere uygun sonuçlar elde edilmiştir [125].

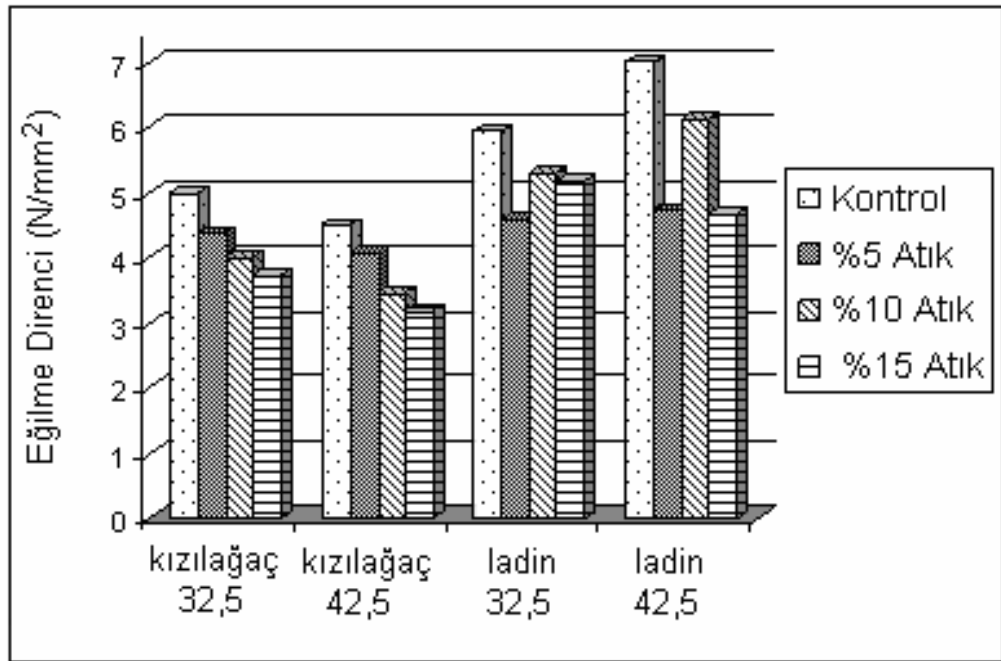
24 saatlik kalınlık artımı değerlerinde ise en düşük değer yıkanmış kızılağaç levhalarda (YK: %0,67) ile elde edilirken en yüksek sonuç yıkanmamış kızılağaç grubu (K5: %1,559) örneklerde elde edilmiştir.24 saatlik kalınlık artım değerleri de standartlarda 2 saatteki sınır değerlerden daha iyi sonuçlar vermiştir [125].

4.3. Mekanik Özellikler

4.3.1. Eğilme Direnci

Atık miktarının eğilme direnci değerlerine etkisi Şekil 25’de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere kontrol levhaları atık kullanılarak üretilen levhalara oranla daha yüksek eğilme direnci değerleri vermiştir.

Atık kullanım oranının artışı ile kızılağaç levhaların eğilme direnç değerleri giderek azalma göstermiştir. Ladin levhalarda ise kontrol grubundan sonra en yüksek değer %10’luk atık kullanımı (L3: 5,31 N/mm², L7: 6,13 N/mm²) ile elde edilmiştir.



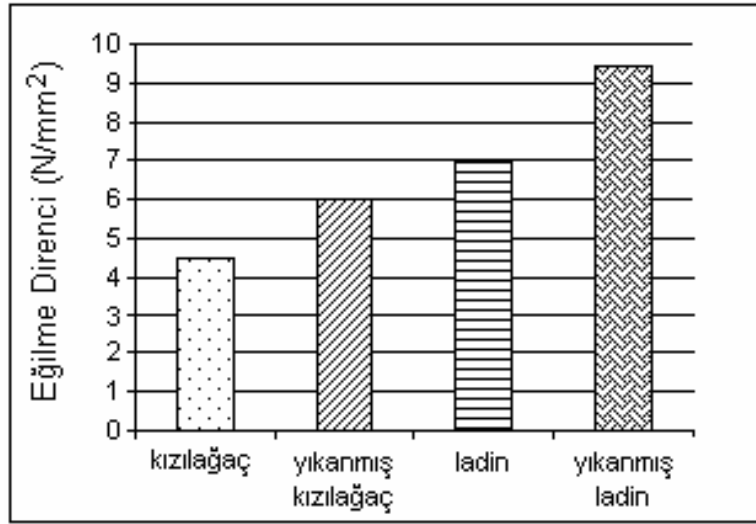
Şekil 25. Atık miktarının eğilme direnci değerlerine etkisi

İstatistik analizler sonucunda çimento türünün levha eğilme direnci üzerine etkisinin olmadığı belirlenmiştir. En yüksek eğilme direnci değeri PÇ 42,5 ladin kontrol grubunda (L5: 7 N/mm²) elde edilirken, en düşük değer ise PÇ 42,5’luk çimento ile kızılağaç ve % 15 atık kullanılarak üretilen levhalarda (K8: 3,17 N/mm²) elde edilmiştir. Ladin levhalar kızılağaç levhalardan daha yüksek değerler vermiştir.

Kızılağaç levhalarda atık miktarı %5, %10, %15 oranlarına göre eğilme direnç değerlerinde sırasıyla %10, %21, %27 oranında azalma meydana gelmiştir. Ladin levhalarda ise atık miktarının artışı sırasıyla %28, %11, %24 oranında azalmaya neden

olmuştur. Levhaların eğilme direnç değerleri TS EN 634-2’de belirtilen standart değerlerden düşük çıkmıştır [125].

Levha üretiminde kullanılan ağaç türlerinin levha üretim öncesi yıkanması sonucu levha eğilme direnci değerlerinde oluşan değişim Şekil 26’de verilmiştir.



Şekil 26. Ön yıkama işlemlerinin eğilme direnci değerlerine etkisi

İstatistiksel analizler sonucu ön yıkama işlemlerinin eğilme direnci üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işlemi sonucu levhaların eğilme dirençlerinde artış olmuştur. En yüksek eğilme direnci değeri yıkanmış ladin grubu levhalarda ($9,467\text{N/mm}^2$) elde edilmiştir. En düşük değer ise; kızılğaç levhalarda ($6,041\text{N/mm}^2$) elde edilmiştir. Yıkama işlemi sonucu kızılğaç grubu levhalarda % 34’lük direnç artış sözü konusu iken ladin levhalarda %35’lik bir artış sözü konusu olmuştur. Yıkama işlemi ile ladin levhalar standart değerden daha iyi sonuçlar vermiştir [125].

Eğilme direnç özellikleri levhaların birim hacim ağırlıklarındaki değişim ile paralellik göstermektedir. Birim hacim ağırlık değerlerindeki azalmanın mekanik özelliklerde oluşturduğu negatif etki literatür tarafından desteklenmektedir [128, 129, 130].

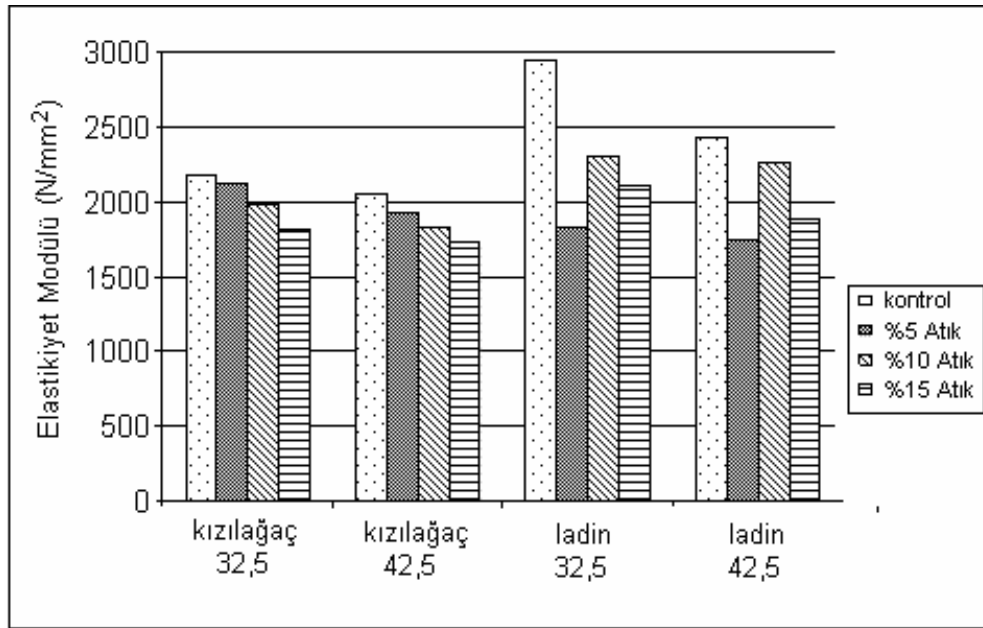
Paribotro’nun (2000) yaptığı bir çalışmada; tik odununun sıcak veya soğuk su ile ekstraksiyonunun benzer şekilde odun ile çimento arasındaki uyumu artırarak fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştiğini belirlemiştir [131].

Semple ve arkadaşları (2000), çam öz ve diri odununu kullanarak ürettikleri çimentolu levhalarda; ön işlem uygulamasının levhaların mekanik özelliklerini iyileştirdiğini belirlemiştir [25].

Benzer şekilde bir başka çalışmada; ön işlem uygulanmamış levhalar standartların altında eğilme direnci verirken ($5,8\text{N/mm}^2$) soğuk su uygulaması ile standart değerlere yaklaşılmış ($8,7\text{N/mm}^2$) sıcak su uygulaması ile ise standart değerlere (9N/mm^2) ulaşılmıştır [127].

4.3.2. Elastikiyet Modülü

Levhaların elastikiyet modülü değerleri şekil 27’de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere tüm kontrol levhaları atık kullanılarak üretilen diğer levhalara göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Atık kullanım oranının artışı ile kızılağaçtan levhaların elastikiyet modülü değerleri giderek azalma göstermiştir. Ladinden levhalarda ise kontrol levhalarından (L1: 2940 N/mm^2) sonra en yüksek elastikiyet modülünü %10 atık ile üretilen levhalarda (L3: 2301 N/mm^2) elde edilmiştir. Şekil 27 de atık miktarının elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi verilmiştir.



Şekil 27. Atık miktarının elastikiyet modülü değerlerine etkisi

İstatistik analizler sonucunda çimento türünün elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisinin olmadığı belirlenmiştir. PÇ 32,5 portland çimentosu ile üretilen levhaların PÇ 42,5 portland çimentosu ile üretilen levhalara göre daha yüksek elastikiyet modülü sonuçları vermiştir.

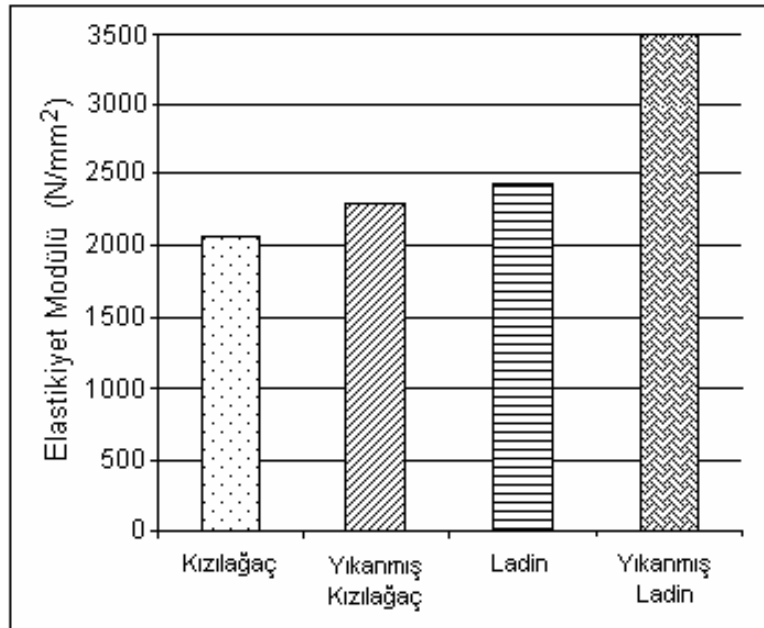
Ladin levhalar kızılağaç grubu levhalardan daha yüksek sonuçlar vermiştir. En yüksek elastikiyet modülü değeri PÇ 32,5 ladin kontrol levhalarında ($L1:2940 \text{ N/mm}^2$) en düşük elastikiyet modülü değeri ise PÇ 42,5 kızılağaç %15 atık kullanılarak üretilen levhalarda ($K8: 1730 \text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir.

Kızılağaç PÇ 32,5 levhalarda; kontrol grubuna göre %5, %10, %15 oranlarında elastikiyet modülü değerlerini sırasıyla % 2, %9, %16 oranında azalmıştır. PÇ 42,5 grubu levhalarda ise sırasıyla %7, %11, %16 oranında azalma neden olmuştur.

Ladin PÇ 32,5 levhalarda; kontrol grubuna göre %5, %10, %15 atık miktarı oranlarında elastikiyet modülü değerlerinde sırasıyla %37, %22, %28 oranında azalma olmuştur. PÇ 42,5 levhalarda ise atık miktarının artışı % sırasıyla %28, %7, %22 oranında azalmaya neden olmuştur.

Levhaların elastikiyet modülü değerleri TS EN 634-2 no'lu standart değerlerden düşük çıkmıştır. Bunun nedeni olarak yüzey tabakasında kullanılan lif miktarının azalması ve çimento odun oranının yüksek olması gösterilebilir. Elastikiyet modülü değerlerinin artışı negatif ve pozitif etkiler arasındaki dengeye bağlıdır. Daha düşük rutubet içeriği ve daha yüksek birim hacim ağırlık pozitif etki, yüzde hacimde daha az lif miktarı negatif etkidir [132].

Ön yıkama işleminin levhaların elastikiyet modülü değerlerine olan etkisi şekil 28'de verilmiştir.

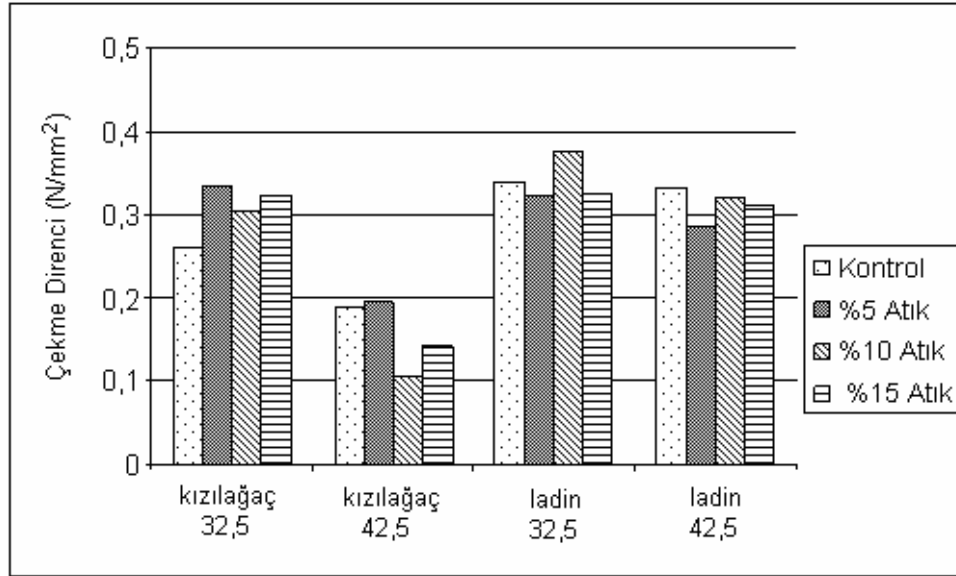


Şekil 28. Ön yıkama işlemlerinin elastikiyet modülü değerlerine etkisi

Yıkama işlemlerinin levha özellikleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işlemi sonucu kızılağaç ve ladin levhaların elastikiyet modülü değerleri artmıştır. En yüksek elastikiyet modülü değeri yıkanmış ladin levhalardan (3499 N/mm^2), en düşük değer ise kızılağaç levhalarda (2062 N/mm^2) elde edilmiştir. Yıkama işlemi sonucu ladin grubu levhalarda % 44'lük bir artış söz konusu iken kızılağaç grubu levhalarda % 12'lik bir artış söz konusu olmuştur. Yıkama işlemi ile ladin levhalar standartta (ISO 8335) belirtilen değere ulaşılmıştır [133]. Bu durum literatür ile desteklenmektedir [127].

4.3.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Atık miktarının yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine etkisi Şekil 29'da verilmiştir. Atık miktarının levha yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine etkisi olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 29. Atık miktarının yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisi

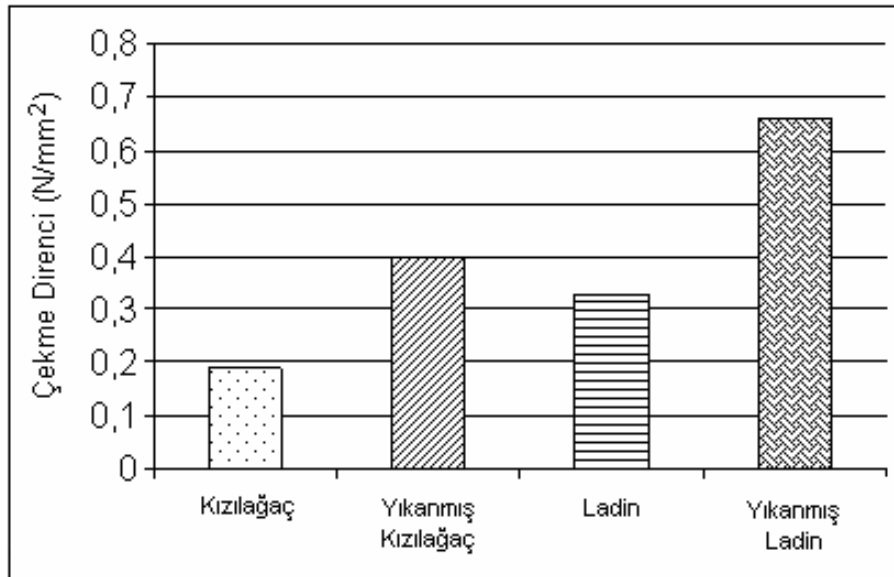
PÇ 32,5 ve PÇ 42,5 portland çimentoları ile üretilen levhalar arasında fark belirlenmiştir. Kızılağaç ve ladin levhaların her ikisinde de PÇ 32,5'lük çimento ile üretilen levhalar PÇ 42,5 ile üretilen levhalara göre daha yüksek yüzeye çekme direnci vermiştir.

Levha grupları içerisinde en yüksek yüzeye dik çekme direnç değeri PÇ 32,5-ladin grubunda (L3: 0,3762) elde edilirken en düşük değer ise; PÇ 42,5'luk çimento ile kızılağaç ve %15 atık kullanılarak üretilen levhalarda (K7: 0,1050) elde edilmiştir.

Levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri TS EN 634-2 no'lu standarta uygun sonuçlar vermiştir [125]. Yüzeye dik çekme direnci sonucu kopan levha örneklerinin iç ve dış tabaka ara yüzeyinden ayrılması ile levha iç bağlanma değerlerinde beklenen değerlere ulaşamadığı anlaşılmıştır. Bunun nedeni olarak 2,75 seviyesinde uygulanan yüksek seviyedeki çimento/odun oranı ve %30 seviyesindeki dış tabakada oranı gösterilebilir.

Ayrıca orta tabaka yongaları, uzun, geniş, kaba yongalardan ince yongalara dönüştükçe yüzeye dik çekme direnci artış göstermektedir. Fakat yüzeylerde geniş yonga kullanımı eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [135, 136].

Ön yıkama işleminin yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine etkisi Şekil 30'da verilmiştir.



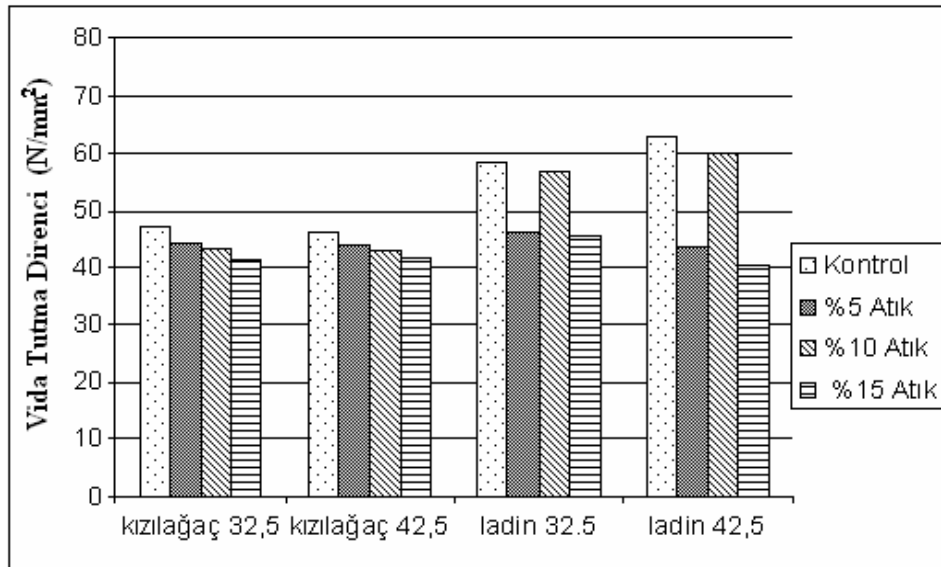
Şekil 30. Ön yıkama işlemlerinin yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisi

İstatistiksel analizler sonucu ön yıkama işlemlerinin levha özellikleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işlemi sonucu kızılağaç ve ladin levhaların yüzeye dik çekme direnç değerlerinde artış olmuştur. En yüksek yüzeye dik çekme direnci yıkanmış ladin levhalarda (0,66N/mm²) elde edilmiştir. En düşük yüzeye dik çekme direnci

değeri ise; kızılğaç levhalarda ($0,1889 \text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir. Yıkama işlemi sonucu ladin grubu levhalarda %66'lık bir artış söz konusu iken kızılğaç grubu levhalarda %75'lik bir artış söz konusu olmuştur. Yıkama işlemi ile ladin grubu levhalar standart uygun yüzeye dik çelme direnç değeri elde edilmiştir.[125].

4.3.4. Vida Tutma Direnci

Giydirme cephe kaplama malzemesi olarak bina dış mekânlarında ve bina içi duvar paneli uygulamalarında kullanılan çimentolu odun kompozitlerinde vida tutma direnci aranan bir özelliktir. Bu levhaların kullanım alanlarındaki montajı, geliştirilmiş çeşitli metal profillere vidalama şeklinde olmaktadır. Atık miktarının vida tutma direnci değerleri üzerine etkisi Şekil 31'de verilmiştir.



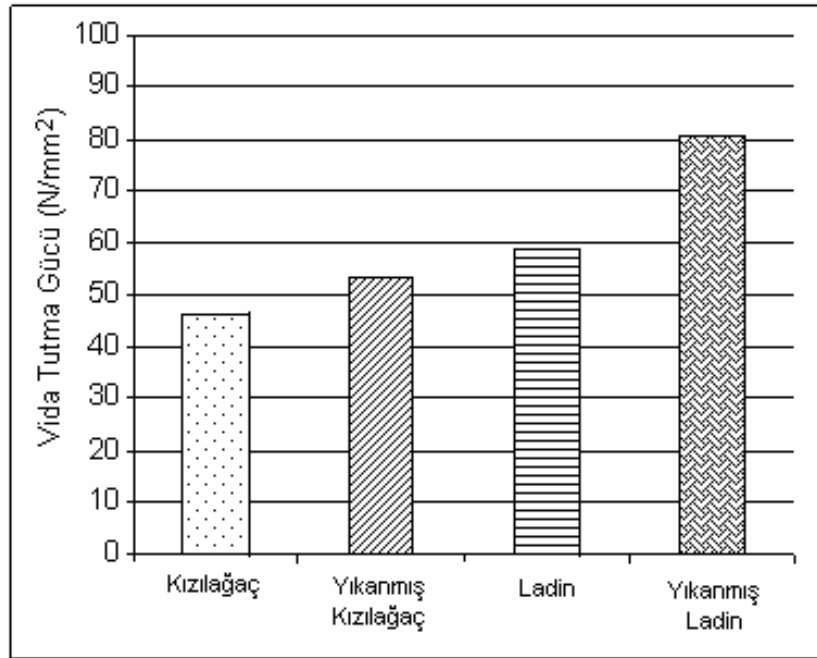
Şekil 31. Atık miktarının vida tutma direnci değerlerine etkisi

Şekilden de anlaşılacağı üzere tüm kontrol grupları atık kullanılarak üretilen diğer levhalara göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Atık kullanım oranının artışı ile kızılğaç levhaların vida tutma direnç değerleri giderek azalma göstermiştir. Ladin levhalarda ise kontrol grubundan (L1: $58,400 \text{ N/mm}^2$ L5: $2,933 \text{ N/mm}^2$) sonra en yüksek sonuç %10'luk atık kullanımında (L3: $56,867 \text{ N/mm}^2$, L7: $59,933 \text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir.

İstatistik analizler sonucu PÇ 32,5 ve PÇ 42,5 portland çimentoları ile üretilen levhalar arasında fark belirlenmemiştir. Ağaç türlerinin levha vida tutma direnç değerlerini farklı şekilde etkilediği belirlenmiştir. Buna göre; ladin levhalar kızılğaç levhalardan daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Kızılğaç levhalarda; %5, %10, %15 atık kullanım oranına göre eğilme direnci değerlerinde sırasıyla %6, %8, %13 oranında azalma meydana gelmiştir. Ladin levhalarda %5, %10, %15 atık kullanım oranına göre eğilme direnç değerlerinde sırasıyla %20, %3, %22 oranında azalma gözlenmiştir. Levhaların vida tutma direnci değerleri TS EN 634-2'de belirtilen değerler ile kıyaslandığında ladin kontrol ve %10 atık kullanılarak üretilen levhalar standart değerlerin üzerinde sonuçlar verdiği belirlenirken diğer tüm gruplarda standarda yakın sonuçlar elde edilmiştir [125].

Diğer taraftan levha üretiminde kullanılan kızılğaç ve ladin odunlarına uygulanan ön yıkama işlemlerinin vida tutma direnci değerleri üzerine etkisi Şekil 32'de verilmiştir.



Şekil 32. Ön yıkama işlemlerinin vida tutma direnci değerlerine etkisi

Yıkama işlemlerinin levha özellikleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işlemi sonucu kızılğaç ve ladin levhaların vida tutma direnci değerlerinde artış olmuştur. En yüksek vida tutma direnç değeri yıkanmış ladin grubu levhalarda ($80,067\text{N/mm}^2$), en düşük vida tutma direnci değeri ise; kızılğaç grubu levhalarda

(53,133N/mm²) elde edilmiştir. Yıkama işlemi sonucu ladin grubu levhalarda % 27'lik bir artış söz konusu iken kızılağaç grubu levhalarda %15'lik bir artış söz konusu olmuştur. Levhaların vida tutma gücü değerleri standart değerlerin üzerinde sonuçlar vermiştir [125].

5. SONUÇLAR

5.1. Kimyasal Özellikler

1. Yapılan çalışma sonucu; soğuk ve sıcak su çözünürlük değerleri paralellik göstermiş olup, en yüksek çözünürlük değerleri yıkanmamış ladin yongalarında en düşük ise yıkanmış ladin yongarında elde edilmiştir.

2. Alkol benzen ve %1'lik NaOH çözünürlük değerleri birbiriyle paralellik göstermiştir. Yıkanmış ladin yongaları en düşük değerleri (%1,5 – %14,3) verirken, yıkanmamış kızılağaç yongaları en yüksek (%3,63 – %20,04) çözünürlük değerlerini vermiştir.

3. pH değerlerine düşükten yükseğe doğru; ladin, kızılağaç, yıkanmış kızılağaç ve yıkanmış ladin şeklinde sıralanmıştır. Bu durum soğuk su ve sıcak su çözünürlükleri ile ters orantı göstermektedir

4. Ladin yongalarında daha yüksek çözünürlük değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak, yongaların içerisindeki iç kabuk oranının artması gösterilebilir.

5. Literatürde kızılağaç yongalarının çözünürlük değerleri ile deneme örneklerinin kimyasal analiz değerleri arasında benzerlik gözlenmiştir [114].

6. Levhaların mekanik özellikleri ile %1'lik NaOH ve alkol benzen çözünürlük değerleri arasında negatif bir ilişki belirlenmiştir..

5.2. Fiziksel Özellikler

5.2.1. Rutubet Miktarı

Yapılan çalışmalar sonucu levhaların rutubet miktarlarının % 10,3 - %11,9 arasında değiştiği belirlenmiştir. Levhalar bu bakımdan standartta belirtilen esaslara uymaktadır.

5.2.2. Birim Hacim Ağırlık

1. Ağaç türünün levhaların özelliklerini etkilediği belirlenmiştir.. Buna göre kızılğaç levhaların birim hacim ağırlıkları ladin ile üretilen levhalara oranla daha düşük sonuçlar vermiştir.

2. İstatistiksel olarak çimento türünün birim hacim ağırlık değerlerine etkisi önemli olmadığı belirlenmiştir.

3. Kızılğaç levhalarda atık miktarının istatistiksel açıdan birim hacim ağırlık değerine olan etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir. Ladin levhalarda atık miktarı etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

4. En yüksek birim hacim ağırlık değeri PÇ 42,5 Ladin grubu levhalarda (L5: 1,204 g/cm³), en düşük birim hacim ağırlık değeri PÇ32,5-%15 atık levha grubunda (L4: 1,143 g/cm³) elde edilmiştir.

5. Ön yıkama işlemlerinin levha birim hacim ağırlık değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Buna göre yıkama işlemi ile levha birim hacim ağırlık değerinde azalma olmuştur.

5.2.3. Su Alma Miktarı

1. Yapılan çalışmalar sonucu; ağaç türünün su alma miktarları üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ladin levhaların 2 ve 24 saatlik su alma miktarı kızılğaç levhalara göre daha düşük sonuçlar vermiştir.

2. Ladin ve kızılğaç levhalarda atık miktarının su alma miktarı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Atık kullanım oranının artması ile 2 ve 24 saatlik su alma miktarlarında artış gözlenmiştir.

3. Tüm levha gruplarında çimento türünün levha su alma oranına etki ettiği ve PÇ 42,5'luk çimento ile üretilen levhaların PÇ 32,5'luk levhalara göre daha fazla su aldığı belirlenmiştir.

4. Ön yıkama işleminin su alma miktarına etkili olduğu belirlenmiştir. Yıkanmış kızılğaç ve ladin yongaları ile üretilen levhaların su alma özelliklerinde azalma meydana gelmiştir.

5.2.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı

1. Ağaç türünün, kalınlık artımı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ladin ile levhaların 2 saatlik ve 24 saatlik kalınlık artımı değerleri kızılğaç levhalara göre daha düşük sonuçlar vermiştir.

2. Ladin levhalarda; Çimento türünün kalınlık artımına etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir. Kızılğaç levhalarda ise çimento türünün etkisi istatistiksel olarak önemli olup, PÇ 42,5'lük çimento ile üretilen levhaların kalınlık artımı değerleri PÇ 32,5 ile üretilen levhalara göre daha fazla artmıştır.

3. Ladin ve kızılğaç levhalarda atık miktarının kalınlık artımı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Atık kullanım oranının artımı ile 2 ve 24 saatlik kalınlık artımı değerlerinde artış meydana gelmiştir.

4. Ön yıkama işleminin istatistiksel olarak levha kalınlık artımı değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Buna göre yıkanmış kızılğaç ve ladin yongaları ile üretilen levhaların kalınlık artım değerlerinde azalma olmuştur.

5.2. Mekanik Özellikler

5.2.1. Eğilme Direnci

1. Ağaç türünün eğilme direnci değerlerini etkilediği istatistiksel olarak belirlenmiştir. Buna göre ladin levhaların eğilme direnci değerleri kızılğaç levhalara göre daha yüksek sonuçlar vermiştir

2. Tüm kontrol levhaları atık kullanılarak üretilen diğer levha gruplarına oranla daha yüksek eğilme direnci değerleri vermiştir. Ladinden üretilen levhalarda ise kontrol grubundan sonra en yüksek sonuç %10'luk atık kullanımı (L3: 5,31N/mm², L7: 6,13 N/mm²) ile elde edilmiştir. Atık kullanım oranının artışı ile kızılğaçtan üretilen levhaların eğilme direnç değerleri giderek azalma göstermiştir.

3. İstatistiksel açıdan çimento türlerinin eğilme direnci değerlerini önemli düzeyde etkilemediği belirlenmiştir.

4. Ön yıkama işlemlerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işlemi sonucu levhaların eğilme dirençlerinde artış olmuştur. En

yüksek eğilme direnci değeri yıkanmış ladin grubu levhalardan (YL: 9,467 N/mm²) elde edilmiştir. En düşük değer ise; kızılağaç levhalarda (K5: 6,041 N/mm²) elde edilmiştir.

5. Yıkama işlemi ile ladin grubu levhalar standart değerlerden daha üstün sonuçlar vermiştir.

5.2.2. Elastikiyet Modülü

1. Ağaç türünün elastikiyet modülü değerlerini etkilediği istatistiksel olarak belirlenmiştir. Kızılağaç levhaların elastikiyet modülü değerleri ladin levhalara göre daha düşük sonuçlar vermiştir.

2. Kızılağaç ve ladin levhalarda çimento türünün elastikiyet modülünü etkilediği belirlenmiş olup PÇ 32,5'luk çimento ile üretilen levhaların elastikiyet modülü değerleri PÇ 42,5 ile üretilen levhalara göre daha yüksektir.

3. Atık kullanım oranının artışı ile kızılağaç levhaların elastikiyet modülü değerleri giderek azalma göstermiştir. Ladin levhalarda ise kontrol levhalarından (L1: 2940 N/mm²) sonra en yüksek elastikiyet modülünü %10 atık ile üretilen levhalar (L3: 2301 N/mm²) vermiştir.

4. Ön yıkama işleminin elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işlemi sonucu levhaların elastikiyet modülü değerlerinde artış olmuştur. En yüksek elastikiyet modülü değeri yıkanmış ladin levhalardan (3499 N/mm²), en düşük elastikiyet modülü değeri ise; kızılağaç levhalarda (2062 N/mm²) elde edilmiştir.

5.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

1. Atık miktarının yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir.

2. Çimento türünün yüzeye dik çekme direncine olan etkisi istatistiksel olarak önemli olup, kızılağaç ve ladin levhaların her ikisinde de PÇ 32,5'luk çimento ile üretilen levhalar PÇ 42,5 ile grubu levhalara göre daha yüksek yüzeye dik çekme direnci vermiştir

3. Yüzeye dik çekme değerleri standart değerlere uygun olmayan sonuçlar göstermiştir. Yüzeye dik çekme direnci sonucu kopan levha örneklerinin iç ve dış tabaka

ara yüzeyinden ayrılması nedeniyle levha iç bağlanma değerlerinde beklenen değerlere ulaşamamıştır.

4. Ön yıkama işlemi sonucu kızılâğaç ve ladin levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinde artış olmuştur. En yüksek yüzeye dik çekme direnci değeri yıkanmış ladin levhalardan ($0,66\text{N/mm}^2$) elde edilmiştir. En düşük değeri ise; kızılâğaç grubu levhalarda ($0,1889\text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir.

5. Yıkama işlemi ile ladin levhalar standartta belirtilen yüzeye dik çekme direnç değerinin üstünde sonuçlar elde edilmiştir.

5.2.3. Vida Tutma Gücü

1. Tüm kontrol grupları atık kullanılarak üretilen diğer levhalara göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

2. Atık kullanım oranının artışı ile kızılâğaçtan üretilen levhaların vida tutma direnci değerleri giderek azalma göstermiştir. Ladinden üretilen levhalarda ise kontrol grubundan sonra en yüksek sonuç %10'luk atık kullanımında elde edilmiştir.

3. Çimento türünün vida tutma direnci değerleri üzerindeki etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir.

4. Yıkama işlemlerinin levha özellikleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Ön yıkama işlemi sonucu kızılâğaç ve ladin levhaların vida tutma direnci değerlerinde artış olmuştur. En yüksek vida tutma direnç değeri yıkanmış ladin levhalarda ($80,067\text{ N/mm}^2$), en düşük değer ise; kızılâğaç levhalarda ($53,133\text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir.

5. Yıkama işlemi ile ladin ve kızılâğaç grubu levhalarda standartta belirtilen vida tutma direnci değerinin üstünde sonuçlar elde edilmiştir.

6. ÖNERİLER

İçme suyu arıtma çamurlarının değerlendirilmesi amacı ile yapılan bu çalışma da; atık çamur kullanımının levha özelliklerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Ancak üretilen standart levhaların özelliklerinde ön işlemler ve uygun üretim parametreleri belirlenerek yeterli dayanım özellikleri sağlandıktan sonra içme suyu arıtma çamuru kullanım etkisi araştırılmalıdır. Ayrıca sanayi boyutundaki üretim parametrelerinin farklı olması bu atık kullanımının sanayi boyutunda da denemeye alınmasını zorunlu hale getirmektedir.

Çimento türü üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda bazı levha özelliklerinde farklılık belirlenmez iken bazı özellikleri ise farklılık göstermektedir. Genel olarak PÇ 32.5 çimentonun PÇ 42,5 çimentosuna göre daha iyi özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Ancak levha üretim süreci içerisinde çimento sertleşmesi için önemli bir unsur olan kürlenme şartlarının her iki çimento türü ile yapılan levhalarda farklı olması elde edilen verileri etkilediği ifade edilmektedir.

Orman ürünleri sanayi atığı olarak kızılâğaç tomruk çekirdeklerinin çimentolu yongalevhelerde kullanımının mevcut üretim parametreleri ile mümkün olamayacağı belirlenmiş olup sanayi boyutunda uygun üretim parametreleri ile çalışmaların yeniden yapılması gerekmektedir. Ayrıca pres ve sertleşme süresinin kısaldığı daha üstün özelliklerde levha üretime imkan veren CO₂ yöntemi kullanılarak normal levha üretimleri için uygun olmayan yapı ve orman ürünleri sanayi artıklarının kullanım imkanları araştırılmalıdır.

Levhaların ön sertleşme (presleme aşaması) ve ileri sertleşme periyodundaki sıcaklık uygulamalarının levha özelliklerine etkisi gelecekte pres, sıcaklık miktarı ve süresi, ilk sertleşme ve ileri sertleşme periyodu şartları üzerinde çalışmalar yapılarak sanayiciler için uygun programlar elde edilmelidir. Bu çalışmada 60°C de 8 saatlik sıcaklık uygulaması ile elde edilen levha özelliklerinin farklı pres süresi ve sıcaklıklarında uygulaması yapılarak optimum levha özellikleri veren presleme koşulları farklı sertleştirici ve çimentolar kullanılarak belirlenmelidir.

Sodyum silikat ve Alüminyum Sülfat; klorit esaslı sertleştiricilere oranla daha az korozif etkiye sahip olup çimentolu odun kompozitleri üretiminde yaygın olarak kullanılan sertleştiricilerdir. Bu bileşikler uzun zamana bağlı olarak levha özelliklerini

geliştirmektedir. Bu nedenle sertleşircilerin en uygun olanı ve kullanım oranları araştırılmalıdır.

Ayrıca ülkemizde hızlı yetişen türlerin özellikle; özellikle kızılgağaç, kavak, okaliptüs ve bambu gibi idari ömrü ladin'e göre çok daha kısa olan türlerin çimentolu odun kompozitleri üretiminde kullanılabilirliği araştırılmalıdır. Böylece kısıtlı hammadde çeşitliliğine alternatif hammaddeler belirlenmelidir.

Reçine esaslı levha üretimlerinde etkileri belirlenmiş olan; özgül ağırlık profili, dış / orta tabaka oranı, yonga boyutu ve kalınlığı ile odun / çimento oranı, su / çimento oranı, gibi üretim parametrelerinin çimentolu yongalevhalarındaki etkilerine ilişkin çalışmalar yapılabilir

Çimentolu odun kompozitleri; sahip olduğu özellikleri nedeniyle dış mekânlarda çürüme, rutubet, buzlanma, mantar ve yangına karşı gösterdiği direnç nedeniyle dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Bir çimentolu yonga levha fabrikasının kurulum maliyeti reçine esaslı levha üretim kurulum maliyetinin üçte biri kadardır. Üretim esnasında herhangi bir toksit duman veya gürültü oluşumu söz konusu olmayıp nispeten ucuz bir üretim ve dolayısı ile ürün maliyetine sahiptir. Diğer taraftan reçineli levhalara göre yavaş üretime sahiptirler. Buda bu ürünlerin ekonomiklik ölçüsünü düşürür. Buda her bir reçine esaslı yonga levhaya göre çimento yonga levhaların maliyetini artırır. Ancak kullanım alanları açısından reçine esaslı yongalevhalarından farklı bir pazar alanına sahip olması bakımından ikame bir malzeme olarak yapı sektöründe kullanımı söz konusudur. Ayrıca artan barınma ihtiyacı neticesinde inşaat sektöründeki toplu konut yapılarının hızla gelişmesi daha hızlı düşük maliyette ve deprem riski az yapılar inşa edilmesi açısından çimentolu odun kompozitlerinin önemini artırmaktadır.

Ülkemizde 1996 ve 2001 yıllarında Sanayi Bakanlığını tarafından hazırlanan raporlarla üretimi teşvik edilen ürünler arasında yer almış olan çimentolu yongalevha üretimi sektörde tepe grubu tarafından tekel durumundadır. Rekabet kurulu onayı ile Artvin çimentolu yonga levha fabrikası alınarak atıl halde durmaktadır. Bu nedenle. ülkemizde özellikle; sahip olduğu çimento fabrikası, odun hammaddesi ticari potansiyeli ve limanı ile Trabzon ve çevresinde, yurt içi ve yurt dışı pazarı açısından bir fabrika kurulumunun fizibilitesi yapılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

1. TÜİK, Türkiye İstatistik Yıllığı, Ankara, Mayıs 2006.
2. Shulman, S., Recycled architecture, Tech. Rev., 98 (1995) 18–19.
3. Jerrold E., Winandy Emerging Materials:What Will Durable Materials Look Like in 2020?, Forest Service, J. Forest Products, Madison, (2002) 113-18.
4. Ersoy, H. Y., Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001.
5. Coutts, R.S.P., Wood Fibre Reinforced Composites, Cement and Concrete, Glasgow, (1998) 13-15.
6. Moslemi, A.A., Emerging Technologies in Mineral-Bonded Wood And Fibre Composites, Advanced Performance Materials, 6 (1999) 161–179.
7. Kelly, M., Critical Review of Relationship Between Processing Parameters and Physical Properties of Particleboard. Gen. Tech. Rep. FPL-10, 1977, Madison, WI:US. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.
8. Ramirez-Coretti A., Eckelman, C.A., Wolfe, R.W., Inorganicbonded Composite Wood Panel Systems For Low-Cost Housing: a Central American perspective, Forest Prod. J., 48, 4 (1998) 62–68.
9. Wolfe, R.W., and Gjinolli, A., Cement-Bonded Wood Composites As An Engineering material, in The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications,(1997), USDA Forest Service and Forest Products Society Proceedings No. 7286, 84-91.
10. Kuroki, Y., Nagadomi, W. and Yamada, J., Manufacture of Lightweight Cement-Bonded Particleboard in Japan, in Proceedings 3rd International Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials, 1993, Madison, ed A.A. Moslemi, Forest Products Research Society, 136-142.
11. Kuroki, Y., Nagadomi, W., Sasaki, H., Kawai, S. and 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, 1995, Madison, ed A.A. Moslemi, Forest Products Research Society, 105-112.
12. Türkiye İstatistik Yıllığı, Türkiye İstatistik Kurumu, 25, Ankara, Mayıs 2006
13. Gülay, M., İçme Suyu Arıtma Tesislerinde Çıkan Çamur Atıklarının Değerlendirilmesi Yüksek lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.

14. Kalaycıoğlu H., Yongalevha Endüstriyi Basılmamış Ders Notları, K.T.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon, 2006.
15. Ronald W. and Wolfe, A.G., Cement Bonded Wood Composites as an Engineering Material, Use of Recycled Wood And Paper in Building Applications, 1997.
16. Kalaycıoğlu, H., Çimento Yapıştırıcılı Odun Levhaları Üretiminde Yenilikler Bahar yarıyıllı Seminerleri Seminer serisi-2, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1996.
17. Bozkurt, Y. ve Göker, Y., Yongalevha Endüstriyi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul, 1990.
18. TS 1351, Lif, Yonga ve Talaş İmalinde Kullanılan Odun, TSE, Ankara, 1973.
19. Kalaycıoğlu, H., Sahil Çamı (Pinus Pinaster) Odunlarının Yongalevha Üretiminde Kullanılması İmkanları, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1991, Trabzon.
20. Sauvat, N. and Sell, N., A Study of Ordinary Portland Cement Hydration with Wood by Isothermal Calorimeter. Holzforschung, 53 (1999) 104-108.
21. Sandermann, W., Preusser, H. J. and Schwiens, W., The Effect of Wood Extractives on the Setting of Cement-Bonded Wood Materials, Holzforschung, 14, 3 (1960) 70-77.
22. Miller, D. P. and Moslemi, A. A., Wood-Cement Composites: Species and Heartwood-Sapwood Effects on Hydration and Tensile Strength, For. Prod. J., 41, 3 (1991) 9-14.
23. Clare, K. E., Sherwood, P.T., Further Studies on the Effect of Organic Matter on the Setting of Soil-Cement Mixtures, J. Applied Chem., 6 (1956) 317-324.
24. 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.
25. Sample, K., and Evans, P.D., Adverse Effects of Heartwood on the Mechanical Properties of Wood-Wool Cement Boards Manufactured from Radiata Pine Wood: Wood Fiber Sci., 32, 1 (2000) 37-43.
26. Güler, C., Özen, R. ve Kalaycıoğlu, H., Pamuk (Gossypium Hirsutum L.) Saplarından Üretilen Yongalevhaların Bazı Teknolojik Özellikleri, KSÜ, Fen ve Müh. Dergisi, 4, 1 (2001) 98-108.
27. Ling, F.M., Yamauchi, H., Pulido, R.O., Tamura, Y., Sasaki, H., and 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, 2000, Canberra, Australia.

28. P.E.G. Warden, H. Sovastano Jr and R.S.P Coutts Fibre Cement Composites from Brazilian Agricultural and Industrial Waste Materials CSIRO Forestry and Forest Products, Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region Proceedings, 2000, Canberra, Australia.
29. Elvira, C.F., and Vanessa, P., The Use and Processing of Rice Straw in the Manufacture of Cement-bonded Fiberboard Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region Proceedings, 2000, Canberra, Australia.
30. Erdoğan, Y.T., Betonun Oluşturan Malzemeler Çimentolar, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Birsen Yayınevi, Ankara, 1995.
31. Neville, A.M., Properties of Concrete, Third Edition, Wiley and Sons, New York USA, 1990.
32. Aslan A., Termik Santral ve Biyokütle Atıkları ile Traş Katkılarının Çimentonun Mekanik Dayanım ve Hidratasyon Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Ens., Trabzon, 1998.
33. Erdoğan, T.Y., Betonun Oluşturan Malzemeler Çimentolar, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 1995.
34. Kosmatka, et al., Design and Control of Concrete Mixtures, Canadian Portland Cement Association, Sixth Canadian Edition by Steven H. Canada, 1995.
35. Taşkın C., Türkiye’de Çimento Hammadde Kaynakları , Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 1994.
36. Neville A.M., Properties of Concrete, Copyright 1995 by Pitman Publishing Limited, London, 1995.
37. Simatupang, M.H., Geimer, A., Robert, L., 1989. Inorganic Binder for Wood Composites: Feasibility and Limitations, Forest Pro. Res. Soc., Madison, Wisconsin.
38. Hofstrand, A.D., Moslemi, A. A and Garcia, J.F., Curing Characteristics of Wood Particles From Nine Northern Rocky Mountain Species Mixed with Portland Cement, Forest Prod. J., 34, 2 (1984) 57-61.
39. Moslemi A. and Lim, Compability of Southern Hardwoods with Portland Cement, Forest Prod. J., 34, 7-8 (1984) 22-26.
40. Moslemi A.A. and Pflster S.C., The Influence of Cement/Wood Ratio and Cement Type on Bending Strength and Dimensional Stability of Wood-Cement Composite Panels, Wood and Fiber Science, 19, 2 (1987) 165-175.
41. Schwarz H.G. and Simatupang M.H., Influence of the Chemical Composition of Portland Cement on the Compression Strength of Samples Composed of Cement And Spruce or Beech Particles, Holz-als-Roh-und-Werkstoff, 41, 2 (1983) 65-69.

42. Weatherwax R.C. and Tarkow H., Effect of Wood on Setting of Portland Cement, Forest Prod. J., 14, 12 (1964), 567-570.
43. Burdurlu, E., Ahşap Kökenli Kaplama ve Levha Üretim- Kullanım Teknolojisi, 273 Ankara, 1994.
44. Anonim, James Hardie Industries Limited, Annual Report, America, 2000.
45. Simatupang, et. al., Inorganic Binder for Wood Composites: Feasibility and Limitations, Wood Adhesives, Forest Product Societies, (1990), 169-176.
46. Bison-Werke, Bahre and Greten, GMBH&Co. KG, “Cement-Bonded Particleboard Plant Integrated With Low Cost Housing Production Unit”, 1977.
47. Prestemon, D.R., Preliminary Evaluation of Wood Cement Composite, Forest Prod. Journal, 226, 1976.
48. Lee, W.C., Effect of Cement/Wood Ratio on Bending Properties of Cement Bonded Southern Pine Exelsior Board, Wood and Fiber Science, 17, 3 (1985) 361-364.
49. Oyagade, A.O., , Effect of Cement Wood Ratio on The Relationship between Cement Bonded Particleboard Density and Bending Properties, Journal of Tropical Forestry Science, 2(2), (1990), 211-219.
50. Lee, A.W.C. and Hong Z., Compressive Strength of Cylindrical Samples as an Indicator of Wood-Cement Compatibility, Forest Prod. J., 36(11-12), (1986), 87-90.
51. Blankenhorn, P.R., Labosky P., DiCola M. and Stover L.R., Compressive Strength of Hardwood-Cement Composites, Forest Prod. J., 44(4), (1994),59-62.
52. Hachmi M. and Moslemi A.A., Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives, Forest Prod. J., 39(6), (1989), 55-58.
53. Miller, D.P., and Moslemi, A.A., Wood–Cement Composites: Effect of Model Compounds on Hydration Characteristics and Tensile Strength, Wood and Fiber Science, 23, (1991), 472–482.
54. Rixom M.R. and Mailvaganam N.,. Chemical admixtures for concrete, E & FN Spon, 1999.
55. Zhengtian, L. and Moslemi A. A., Influence of Chemical Additives on the Hydration Characteristics of Western Larch Wood-Cement-Water Mixtures, Forest Prod. J., 35, 7-8 (1985) 37-43.
56. Nagadomi W., Kuroki Y., Eusebio D.A., Ma, L., Kawai S. and Sasaki H., Rapid Curing of Cement-Bonded Particleboard Effects of Sodium Hydrogen Carbonate and Some Cement Hardening Accelerators, Mokuzai Gakkaishi, 42, 8 (1996) 762-768.

57. Wei, Y.M., · Tomita, B., · Hiramatsu Y., Miyatake A., · Tsuyoshi F., · Tomoyuki F., and Shuichiro Yoshinaga, Hydration Xehavior and Compressive Strength of Cement Mixed with Exploded Wood Fiber Strand Obtained by the Water-Vapor Explosion Process, Journal of Wood Sci 49, (2003) 317–326.
58. Holmer, S., Jr, Vahan, A., Transition Zone Studies of Vegetable Fiber-Cement Paste Composites, Cement Concrete Composites, 21, (1999) 49–57.
59. Taylor, H.F.W., Cement Chemistry, Academic Press, ÜNC, 1990.
60. Pablo A. and Geimer R.L., Wood J.E., Proceedings, Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials, Editor Moslemi A.A., Forest Prod. Soc, 1994, Madison, Wis., 4, 98-102.
61. Huang C, Cooper P.A, Cement-Bonded Particleboards Using CCA-Treated Wood Removed from Service, Forest Prod.J., 50, 6 (2000) 49-56.
62. Simatupang, M. H., The Water Requirement in Production of Cement Bonded Wood Particleboard, Holz-als-Roh und-Werkstoff, 37, 10 (1979) 379-382,
63. Illston, J.M., Construction Materials: Their Nature and Behavior, E & FNSPON, 1994.
64. Haig, V., Elsayy, A. and Mohammed, F., The Use of Solid Waste Materials as Alternative Compositions in the Development of Wood-Cement Blocks, The Book of use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Product Society, (1996), 92-100.
65. Kate, E., Semple, K., and Evans, P.D., Ameliorate 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, Australia.
66. Soriano, F.P., Eusebio, D.A., Cabangon, R.J., Alcachupas, P.L. and Evans, P.D., The Effect of Wood–Cement Ratio and Cement Setting Accelerators on The Properties of Wood-Wool Cement Board Made from *Acacia Mangium*, Recent Developments in Acacia Planting, Proceedings of an International Workshop 27–30 353–358, Hanoi, ACIAR, 1997, Canberra, Australia.
67. Berger R.L., Young J.F. and Leun K., Acceleration of Hydration of Calcium Silicates by Carbon Dioxide Treatment, Nature Physical Sci., 240, 97 (1972) 16–18.
68. Wood Handbook Wood as an Engineering Material Forest Product Laboratory, 10–26, 1999.
69. Hermawan, D., Hata, T., Umemura, K., Kawai, S. Kaneko, S. and Kuroki, Y., New Technology for Manufacturing High-Strength Cement-Bonded Particleboard Using Supercritical Carbon Dioxide. J. Wood Sci., 46, (2000) 85–88.

70. Cooper, P.A., Disposal of Treated Wood Removed from Service: The Issues, Environmental Considerations in the Manufacture, Use and Disposal of Preservative-Treated Wood Proceedings, Forest Products Society, 1994, Wisconsin, USA, 85-90.
71. Felton, C.C., and DeGroot R.C., The Recycling Potential of Preservative Treated Wood, Forest Prod. Journal, 46, 7-8 (1996) 37-46.
72. McQueen, J., and Stevans, J., Disposal of CCA-Treated Wood. Forest Products Journal, 48, 11-12 (1998), 86-90.
73. Gezer, E.D., Kullanım Süresini Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ağustos 2003.
74. Schmidt, R., Marsh, R., Balatinecz, J.J. and Cooper, P.A., Increased Wood-Cement Compatibility of Chromated-Treated Wood, Forest Prod J, 44, 7-8 (1994) 44-46.
75. McKeever, D.B., Youngquist, J.A. and English, B.W., Sources and Availability of Recovered Wood and Fiber for Composite Products, in: Proceedings of the 29th International Particleboard/Composite Materials Symposium, (1995), Washington State, University, Pullman, WA, 197-214.
76. URL-1, www.Pcierd.dost.gov.ph/publication/forthly/alternative_constructions.pdf, Alternative Construction Material from a Recycling Paper Mill Sludge, 10.01.2007.
77. Rim, K.A., Ledhem, B., Douzane, C., Dheilily, C. and Queneudec, M., Influence of the Proportion of Wood on the Thermal and Mechanical Performances of Clay-Cement-Wood Composites, Cement & Concrete Composites, 21, 269 (1999) 276.
78. Qi, H., Cooper, P.A., Wan, H., Effect Of Carbon Dioxide Injection on Production of Wood Cement Composites from Waste Medium Density Fiberboard (Mdf), Waste Management, 2005.
79. URL-2, www.emwis.org/documents/pdf/20051215/GurdogarSarigul.pdf, AB Üyelik Süreci Çevre ve SU'ya Bakış, 3 Ocak 2007.
80. URL-3, Eysel ve Eysel Nitelikli Atık Su Arıtma Çamurunun Arıtımı www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/evsel/13.doc, 4 Ocak 2007.
81. TÜİK, DİA, İmalat Sanayi Atık Envanterleri, 2006
82. TSE 266, İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TSE, Ankara, 2005.
83. Anonim, Trabzon Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisi Üretim Akışı, Su arıtma Tesisi Resmi Dokümanları, 2004.
84. Anonim, Eltomation Ürün Kataloğu, Çimentolu Odun Kompozit ve Kullanım Alanları, 2004.

85. Yia, Y., Guang, Z. and Bunivhiro, T., Hydration Behavior of Wood Cement Based Composite-I : Evaluation of Wood Species, J of wood sci., 46, (2000) 296-302.
86. Doğu Ladini El Kitabı,. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayın No:58, Ankara, 288, 1989.
87. Anşin, R., Tohumlu Bitkiler, Gymnospermae (Açık Tohumlular), Cilt I, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:112/15, Trabzon, 1988.
88. Anonim, Trabzon-Artvin Orman Bölge Müdürlükleri Resmi Kayıtları, 2005.
89. Örs Y. ve Keskin H., Ağaç Malzeme Bilgisi, 158, Atlas Yayınevi, İstanbul, 2001.
90. Yaltırık, F., Dendroloji Ders Kitabı II. Angiospermae, Bölüm I, İstanbul, 1993.
91. Anşin, R. ve Özder, Z., A New Taxon of Black Alder *Alnus glutinosa* Subsp. *Betuloides* (Betulaceae), The Karaca Arboretum Magazine, 2, (1993), 47-51.
92. Bozkurt, Y.A., Odun Anatomisi., İ.Ü. Yayın No: 3652, Orman Fakültesi Yayın No:415, İstanbul, 1992.
93. Anşin, R. ve Özkan, Z. C., Tohumlu Bitkiler, KTÜ, Orman Fakültesi, Genel Yayın No:167, Fakülte Yayın No:19, Trabzon, 1997.
94. TS EN 196–2, Çimento Deney Metodları, Çimentonun Kimyasal Analizi, TSE, Ankara, 2002.
95. URL-4, <http://www.dostelas.com.tr/urun.html> Alüminyum Sülfat Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, 25 Kasım 2006.
96. URL-5, <http://www.encyclopedia.com/doc/1E1-waterglas.html> WATER GLASS, Columbia University Press The Columbia Encyclopedia, Sixth Edition 2006, 09.01.2007.
97. URL-6, http://www.sodakrom.com.tr/soda_urunleri/sodyum_silikat.asp/, Şişe cam Kimyasallar Grubu / Sodyum Silikat, 08.01.2007.
98. TS 642, Kondisyonlama ve/veya Deney için Standart Referans Atmosferleri, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, 1968.
99. Tappi T11 m-45, Tappi Test Medhods,Atlanta, USA, 1990.
100. Tappi T207 om-88, Solubility in Hot and Cold Water Analyze, USA, 1997.
101. TAPPI T204 om–88, Solubility in Alcohol-benzene, Atlanta, USA, 1990.
102. TAPPI t m-44, TAPPI Test Methods, Atlanta, USA., 1992.
103. TS EN 323/1, Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini, TSE, Ankara, 1999.

104. EN 322, Wood Based Panels, Determination of Moisture Content, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1993.
105. ASTM D1037, Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, ASTM, USA, 2006.
106. EN 317, Particleboard and Fiberboards Determination of Swelling in Thickness After Immersion, European Standardization Committee, Brussels, 1993.
107. EN 310, Wood Based Panels-Determination of Modulus Elasticity Bending and Bending Strength, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1993.
108. EN 319, Particleboards and Fiberboards, Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of The Board, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1993.
109. TS EN 320, Lif Levhalar-Vida Tutma Kabiliyetinin (Mukavemetinin) Tayini T.S.E. Ankara, Mart 1999.
110. BS 1210, Spesification Wood Screws, BS, England, 1963.
111. TS 19-40, Vida boyutları, TSE, Ankara, 1990.
112. URL-7, www.Cnr.uidaho.edu/forp/thesis%20files/almeida1986, The Influence of Wood Storage Time on Wood-Cement Hydration Exothermic Reaction Parameters, 05.01.2007.
113. Yıldız, S., 2002, Isıl işlem uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik, teknolojik ve Kimyasal Özellikleri, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 264, Trabzon.
114. Bostancı, Ş., Utilization Possibilities of Alder Wood in Pulp and Paper Industry, Tubitak Toag Research Report, 9(83), 1985.
115. Patil, S.G., Study on the Utilization of Some Waste Materials of Forests for Wood Cement Composites and Pulping, Msc Thesis, Dr. Yashwant Singh Parmar University of Horticulture Forestry, 1992, Nauni Solan, India.
116. URL-8, <http://www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx.pid=91982>, Important Considerations in Wood-Cement Compatibility, 1988, 25.12.2006.
117. Roffael, E. and Sattler, H., Studies on the Interaction Between Lignocellulosics (straw pulps) and Cement, Holzforschung, 45, 6 (1991) 445-454.
118. ASTM 1110-84, ASTM, Pa, USA 1990.
119. Minami, K., Effects of Wood Forming-Frame on Surface of Concrete (in japanese), Wood Ind. Tokyo, 24, 2, (1969), 30-35.

120. Hachmi, M.H, and Moslemi, A.A., Effect of Wood pH and Buffering Capacity on Wood-Cement Compatibility, *Holzforschung*, 44, (1990) 425-430.
121. URL-9, Miller, P.D., Wood-Cement Composites: Interactions of Wood Components with Portland Cement, 1987, 02.01.2007.
122. EN 312-1, Particleboard Specifications-Part1: Requirements General Purpose Boards for use in Dry Conditions, European Standardization Committee, Brussell, 1996.
123. Aydın, İ., Çeşitli Ağaç Türlerinden Elde Edilen Kaplamaların Islanabilme Yeteneği ve Yapışma Direnci Üzerine Bazı Üretim Şartlarının Etkileri, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 2004.
124. Aslan, M., Gökalp, E., Kalaycıoğlu, H., Evaluation of Bamboo Particles as an Alternative Wood Materials in Wood Cement Composite Production 1st International Non-wood Forest Products Symposium, KTÜ, Trabzon, October 2006.
125. TS EN 634-2, Çimentolu Yongalevhaların Özellikleri, Bölüm 2, Dışarıda Kuru ve Nemli Otamda Kullanılan Yapıştırılmış Yongalevhaların Özellikleri, TSE, Ankara, 1999.
126. URL-10, The Influence of Cement/Wood Ratio and Cement Type on Bending Strength and Dimensional Stability of Wood-Cement Particleboard, 1985, 05.01.2007.
127. Semple, K.E. and Evans, P.D., Suitability of Western Australian Mallee Eucalypt, Blue Gum And Melaleucas , The Manufacture of Cement-Bonded Flake, Particle and Wood Wool Boards from Mallee Eucalypt, Blue Gum and Commercial Pine Species Grown in Western Australia, RIRDC/Land & Water / FWPRDC/ MDBC Joint Venture Agro forestry Program, 2004, Australia.
128. Geimer, R.L., Data Basic to the Engineering Design of Reconstituted Flake board. In: Proceedings of the W.S.U. Symposium on Particleboard, 1979, Pullman, Washington, 104-125.
129. Maloney, T., Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing, Miller Freeman Publications, 1977, San Francisco-California.
130. Ramaker, T.J. and Lehman, W.F., High-Performance Structural Flake board from Douglans-fir and Lodge pole-pine Forest Residues. USDA Forest Service, Research Paper, FPL 286, 1976 Medison, Wis., USA.
131. Paribotro, S., Effect of Aqueous Extraction of Wood-wool on the Properties of Wood-wool Cement Board Manufactured from Teak (*Tectona grandis*) Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region Proceedings of a workshop held at Rydges Hotel, 2000, Canberra, Australia.

132. Homan, W., Tjeerdsma, B., Beckers E. and Jorissen, A., Structural and Other Properties of Modified Wood. World Conference on Timber Engineering, July 31-August 3, Whistler Resort, British Columbia, Canada.
133. ISO 8335, International Organization for Standardization Cement Bonded Particleboards-Boards of Portland or Equivalent Cement Reinforced with Fibrous Wood Particles, Stockholm, 1987.
134. Talbott, J.W. and Maloney, T.M., Effect of Several Production Variables on the Modulus of Rapture and Internal Bond Strength of Boards Made of Gren Douglas-Fir Planer Shavings, Forest Prod. J., 7, 10 (1957) 395-398.
135. Steward and Lehmann, Cross-Grain Cutting with Segmented Helical Cutters Produces Good Surfaces and Flakes, Forest Prod. J., 249, (1973) 104-106.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Trabzon'da doğdu. Lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümüne girdi, 2003 yılında fakülte ve bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümüne araştırma görevlisi olarak atandı. Yabancı dili İngilizcedir.