



**UÇUCU KÜL KULLANIMININ ÇİMENTOLU YONGALEVHALARIN BAZI
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Elvan ÜRÜN

**Yüksek Lisans
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hüsnü YEL**

2021

Artvin

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**UÇUCU KÜL KULLANIMININ ÇİMENTOLU YONGALEVHALARIN BAZI
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elvan ÜRÜN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hüsnü YEL**

Artvin 2021

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘‘Ucucu Kl Kullanımının imentolu Yongalevhaların Bazı zellikleri zerine Etkisi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hsn YEL’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
03/02/2021

Elvan ÜRÜN

İmza

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**UÇUCU KÜL KULLANIMININ ÇİMENTOLU YONGALEVHALARIN BAZI
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Elvan ÜRÜN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : .../.../2021

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : .../.../2021

Tez Danışmanı: Ünvanı Adı SOYADI

Jüri Üyesi : Ünvanı Adı SOYADI

Jüri Üyesi : Ünvanı Adı SOYADI

Jüri Üyesi : Ünvanı Adı SOYADI

Jüri Üyesi : Ünvanı Adı SOYADI

ONAY:

Bu Yüksek Lisans, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../..... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../.....

.....

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Uçucu Kül Kullanımının Çimentolu Yongalevhaların Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüsnü YEL’e ve diğer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Deneme levhalarının üretimi için hammadde temininde yardımlarını esirgemeyen Trabzon Arsin Organize Sanayi Bölgesi’nde Gündoğdu Mobilya, Yılmazlar Kerestecilik, Sözenler Orman Ürünleri ve Bursa’daki Ares Çimento İnşaat Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi’ne çok teşekkür ederim. Deney örneklerinin hazırlanmasında AÇÜ Mobilya ve Dekorasyon Atölyesi ve deneylerin yapılmasında AÇÜ Bilim Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi’nin değerli çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan ve çalışmalarım süresince bana destek olan sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Araştırmanın bilimsel ve teknik açıdan uygulayıcılara faydalı olmasını dilerim.

Elvan ÜRÜN
Artvin - 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TABLolar DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	5
1.1.1 Odun-Çimento Kompozitlerin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	5
1.1.2 Odun-Çimento Kompozit Çeşitleri ve Kullanım Alanları	7
1.1.3 Odun-Çimento Kompoziti Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	11
1.1.4 Odun- Çimento Kompozitlerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler	17
1.1.5 Çimentolu Yongalevhaların Üretim Akışı ve Teknolojik Özellikleri	30
1.2 Literatür Çalışması	34
2 MATERYAL VE YÖNTEM	39
2.1 Materyal	39
2.1.1 Ağaç Malzeme.....	39
2.1.2 Çimento	40
2.1.3 Uçucu Kül	41
2.1.4 Kalsiyum Klorür (CaCl ₂)	42
2.2 Yöntem	43
2.2.1 Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	43
2.2.2 Deney Levhalarına Uygulanan Testler	46
2.3 İstatistik Yöntemler	55
3 BULGULAR	57
3.1 Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular	57
3.1.1 Rutubet Miktarı	57
3.1.2 Yoğunluk	58
3.1.3 Su Alma Miktarı.....	59

3.1.4	Kalınlık Artımı	60
3.2	Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	61
3.2.1	Eğilme Direncine Ait Bulgular	61
3.2.2	Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular	62
3.2.3	Yüzeye Dik Çekme Direncine Ait Bulgular.....	63
3.2.4	Vida Tutma Gücüne Ait Bulgular	64
4	TARTIŞMA.....	66
4.1	Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi.....	66
4.1.1	Rutubet Miktarı	66
4.1.2	Yoğunluk.....	67
4.1.3	Su Alma Miktarı.....	69
4.1.4	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı.....	70
4.2	Mekanik Özellikler.....	72
4.2.1	Eğilme Direnci	72
4.2.2	Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	74
4.2.3	Yüzeye Dik Çekme Direnci	75
4.2.4	Vida Tutma Gücü	77
4.2.5	Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analiz (DTG).....	78
5	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	81
	KAYNAKLAR.....	84
	ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÖZET

UÇUCU KÜL KULLANIMININ ÇİMENTOLU YONGALEVHALARIN BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Bu çalışmada; çimentolu yongalevha üretiminde, çimentoya ikame olarak farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) uçucu kül kullanımının, levhanın fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu sebeple, Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) planya atığı, farklı oranlarda uçucu kül, Portland çimentosu, 1/3 odun-çimento oranı ve odun-çimento uyumsuzluğunun giderilmesi amacıyla %5 CaCl₂ kullanarak, 1200 g/cm³ hedef yoğunluğa sahip 450x450x10 mm boyutlarında tek tabakalı çimentolu yongalevha üretilmiştir. Üretilen levhaların rutubet miktarı (TS EN 322), yoğunluk (TS EN 323), su alma miktarı ve kalınlık artım oranı (ASTM D1037, TS EN 317), eğilme direnci (TS EN 310), ve eğilmede elastikiyet modülü (TS EN 310), yüzeye dik çekme direnci (TS EN 319), vida tutma gücü (TS EN 320), termogravimetrik (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTG) testleri yapılarak kontrol örnekleri ile kıyaslanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre; uçucu külün levhaların rutubetini az da olsa artırmış olduğu gözlemlenmiştir. Uçucu kül miktarı arttıkça levhaların yoğunluk değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Deneme levhalarında uçucu kül kullanım miktarı arttıkça, levhaların 2 ve 24 saatteki su alma miktarlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Ancak uçucu kül kullanım miktarı arttıkça 2 ve 24 saatteki kalınlık artım miktarı azalış göstermiştir. Genel olarak bakıldığında uçucu kül kullanılarak üretilen tüm levhalar kontrol levhasından daha yüksek eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değeri vermiştir. Diğer taraftan uçucu külün, levhaların yüzeye dik çekme direnci ve vida tutma gücü değerleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül, Planya atığı, Çimentolu Yongalevha, CaCl₂, Fiziksel ve Mekanik Özellikler

SUMMARY

EFFECTS OF FLY ASH ON SOME PROPERTIES OF CEMENTED PARTICLE BOARDS

In this study; the effect of using fly ash in different proportions (5%, 10%, 15%, 20%) as a substitute for cement on the physical, mechanical and thermal properties of the produced cement-bonded particleboard was investigated. For this reason, single-layer cement-bonded particleboards with dimensions of 450x450x10 mm with a target density of 1200 g/cm³ were produced by using spruce planer waste, fly ash in different proportions, Portland cement, wood-cement ratio of 1:3 and 5% CaCl₂ in order to eliminate wood-cement incompatibility. Moisture content, density, water absorption and thickness swelling, modulus of rupture and modulus of elasticity, internal bond strength, screw withdrawal strength, thermogravimetric (TGA) and derivative thermogravimetric analysis (DTG) of produced particleboards were determined and compared with control samples according to TS EN 322, TS EN 323, ASTM D1037, TS EN 317, TS EN 310, TS EN 319 and TS EN 320, respectively.

The experimental results showed that fly ash slightly increased the humidity of the particleboards. It was determined that the density of the particleboards decreases as the amount of fly ash increases. It was observed that as the amount of fly ash usage increased in the test particleboards, the water absorption of these particleboards increased after 2 and 24 hours. However, as the amount of fly ash usage increased, the thickness swelling decreased after 2 and 24 hours. In general, all particleboards produced using fly ash gave higher modulus of rupture and modulus of elasticity than the control particleboard. On the other hand, it was observed that fly ash has a negative effect on the internal bond strength and screw withdrawal strength of the particleboards.

Keywords: Fly Ash, Oriental Spruce, Cement-bonded particleboard, CaCl₂, Physical and Mechanical Properties

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Odun çimento kompozit çeşitleri	8
Tablo 2. Dünya çimento üretimi.....	16
Tablo 3. Çimento tipleri ve kullanıldığı yerler	17
Tablo 4. Çimentolu yongalevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri.	33
Tablo 5. Odun ve çimentonun olumlu özellikleri.....	34
Tablo 6. Doğu ladini odunun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	40
Tablo 7. Levha üretiminde kullanılan çimentonun bazı özellikleri.....	41
Tablo 8. Uçucu külün kimyasal bileşeni ve fiziksel özellikleri	41
Tablo 9. Kalsiyum klorür (CaCl ₂) fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	42
Tablo 10. Deneme levhalarının üretim koşulları.....	45
Tablo 11. Deneylerde kullanılacak levhaların üretim planı	46
Tablo 12. Deneylerde kullanılan levhaların rutubet değerlerine ait bulgular (%).....	57
Tablo 13. Uçucu külün levhaların rutubet değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları	57
Tablo 14. Uçucu kül kullanımının levhaların rutubet değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları	58
Tablo 15. Deneme levhalarının yoğunluk değerlerine ait bulgular (g/cm ³).....	58
Tablo 16. Uçucu külün levhaların yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait basit varyans analizi sonuçları	58
Tablo 17. Uçucu kül kullanımının levhaların yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait Duncan test sonuçları	59
Tablo 18 . Deneme levhalarının su alma değerlerine ait bulgular (%)	59
Tablo 19. Uçucu kül miktarı ve suda bekletme süresinin levhaların su alma değerleri üzerindeki etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	59
Tablo 20. Uçucu kül kullanımının levhaların su alma değerleri üzerine etkisine ait Duncan test sonuçları	60
Tablo 21. Deneme levhalarının kalınlık artımı değerlerine ait bulgular (%)	60
Tablo 22. Uçucu kül miktarı ve suda bekletme süresinin levhaların kalınlık artımı değerleri üzerindeki etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	60

Tablo 23. Deneme levhalarının eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm ²).....	61
Tablo 24. Uçucu külün levhaların eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları.....	61
Tablo 25. Uçucu kül kullanımının levhaların eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları.....	62
Tablo 26. Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular (N/mm ²)	62
Tablo 27. Uçucu külün levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları	62
Tablo 28. Uçucu kül kullanımının levhaların eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları.....	63
Tablo 29. Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm ²).....	63
Tablo 30. Uçucu külün levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları	63
Tablo 31. Uçucu kül kullanımının levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları.....	64
Tablo 32. Deneme levhalarının vida tutma gücü değerlerine ait bulgular (N/mm) ...	64
Tablo 33. Uçucu külün levhaların vida tutma gücü değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları.....	64
Tablo 34. Uçucu kül kullanımının levhaların vida tutma gücü üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Odun-çimento kompozit örnekleri	6
Şekil 2. Farklı ebatlarda çimentolu yongalevha	9
Şekil 3. Çimento yongalevhaların bazı kullanım alanları	10
Şekil 4. Çimento hidratasyon aşamaları	18
Şekil 5. Çimento hidratasyon süreçleri	18
Şekil 6. Kimyasal katkıların çimento tanecikleri üzerine etkisi	29
Şekil 7. Çimentolu yongalevha üretimi iş akış şeması	32
Şekil 8. Japonya’da çimentolu yongalevha kullanılarak yapılan evler	34
Şekil 9. Farklı tane boyutlarında kalsiyum klorür örneği	42
Şekil 10. Rutubet miktarı tayininin belirlenmesinde kullanılan deney örneği	47
Şekil 11. Analitik terazi (a) ve etüv (b)	47
Şekil 12 Yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan deney örneği	48
Şekil 13. Kumpas (a) ve mikrometre (b) ile yoğunluk örneklerinin boyutlarının ölçülmesi	49
Şekil 14. Eğilme Direncinin belirlenmesinde kullanılan deney örneği	51
Şekil 15. Zwick/Roell Z050 universal test cihazı	51
Şekil 16. Yüzeye dik çekme direnci deney düzeneği ve mum silikon	53
Şekil 17. Vida tutma gücünün belirlenmesinde kullanılan deney numunesi	54
Şekil 18. Vida tutma gücü deney düzeneği (Zwick/Roell- Z050)	54
Şekil 19. PerkinElmer STA 6000 termogravimetrik analiz cihazı	55
Şekil 20. Rutubet miktarı üzerine uçucu kül miktarının etkisi	66
Şekil 21. Levhaların yoğunluk değerleri üzerine uçucu kül miktarının etkisi	68
Şekil 22. 2 ve 24 saatteki su alma miktarı üzerine uçucu kül miktarının etkisi	69
Şekil 23. 2 ve 24 saatteki kalınlık artımı oranı üzerine uçucu kül miktarının etkisi ..	71
Şekil 24. Eğilme direncinin üzerine uçucu kül oranının etkisi	72
Şekil 25. Eğilmede elastikiyet modülü üzerine uçucu kül oranının etkisi	74
Şekil 26. Yüzeye dik çekme direnci üzerine uçucu kül oranının etkisi	76
Şekil 27. Vida tutma direnci üzerine uçucu kül oranının etkisi	77
Şekil 28. Uçucu kül katkılı çimentolu yongalevhaların TGA grafiği	78
Şekil 29. Uçucu kül katkılı çimentolu yongalevhaların DTG grafiği	79

KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	American Society for Testing and Materials
CBPB	Çimentolu Yongalevha
CV	Varyasyon Katsayısı
dk.	Dakika
FA	Kontrol Örneği
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
FCB	Çimentolu Lif Levha
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
ISSA	Yakılmış Atık Su Çamuru Külü
İNTES	Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası
MOC	Magnezyum Oksi Klorür Çimentosu
O/Ç	Odun/çimento
PFA	Toz Haline Getirilmiş Uçucu Kül
WWCB	Çimentolu Odun Yünü Levha
WSCB	Çimentolu Yönlendirilmiş Yongalevha
Sx	Standart Sapma
TS	Türk Standardı (Türk Standartları Enstitüsü)
$\bar{X}$	Aritmetik Ortalama

1 GİRİŞ

İnşaat sektörü, kendine bağlı bulunan 200’den fazla sektör ile doğrudan bağlantısı bulunup, bu geniş etki alanı ile “ekonominin lokomotifi” olma özeliğini korumaktadır (URL-1). İnşaat sektörü; dünya nüfusunun hızlı artması, doğal afetler ve yıkımlar, birden fazla konuta sahip olma isteği, değişen dünya şartlarıyla birlikte kentsel dönüşüm projelerinin artması gibi birden fazla faktörün etkisiyle hızla büyüyüp gelişen bir sektör haline gelmiştir.

Küresel ekonominin 2018 ve 2022 yılları arasında yılda %2,5 ile %3 arasında genişlemesi beklenirken, inşaat sektöründeki büyüme hızının, aynı dönemde ortalama %3,6 genişlemesi ve sektörün, 2025 yılına kadar 15 trilyon ABD doları gelir elde edeceği tahmin dilmektedir. Asya-Pasifik bölgesi en büyük küresel inşaat pazarı olmaya devam ederken, Orta Doğu ve Afrika inşaat pazarlarının 2018 ve 2022 arasında en hızlı büyümeyi sağlaması bekleniyor. Daha uzun vadeli bir bakış açısıyla sekiz küresel inşaat pazarı (Çin, ABD, Hindistan, Endonezya, İngiltere, Meksika, Kanada ve Nijerya) 2030 yılına kadar inşaatteki tüm küresel büyümenin %70’ini oluşturması tahmin edilmektedir (URL-2).

İnşaat sektörü, Türkiye ekonomisini daima taşıyıcı gücü olmakla birlikte sektördeki ekonomik durağanlıktan hızlı bir şekilde etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı inşaat sektörü, 2017 yılının ilk çeyreğinde 7,4’lük büyüme kaydetmesine rağmen, yılın tamamına bakıldığında %1,9 oranında küçülmüştür. Diğer taraftan, sektörün 2010-2018 yılları arasında ortalama %9,4 büyüme oranıyla %6,3’lük genel ortalamanın üstünde bir performans sergilediği görülmüştür. Ancak, faiz ve kur oranlarındaki artışlar ve mali disiplin politikaları, sektörün büyüme hızını geçmiş yıllara göre düşürmüştür. Bu verilerle sektörün Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) içerisindeki payı %7,23 olarak gerçekleşirken, yılın tamamında Gayrimenkul faaliyetleri ise %2,6 oranında büyümüştür (URL-1).

2018 yılında ekonomi %3 oranında büyürken, inşaat sektörü ise %1,9 oranında küçülmüştür. 2019 yılında ise ekonomi %0,9 oranında büyürken inşaat sektörü %8,6

oranında küçülmüştür. 2020 yılının ilk çeyreğinde ekonomi %4,5 oranında büyümüş fakat inşaat sektörü %1,5 oranında daralmıştır. 2020 yılının ikinci çeyreğinde ise bu kez ekonomi %9,9 oranında küçülürken inşaat sektöründe daralma %2,7 oranında gerçekleşmiştir (URL-3).

İnsanoğlu yeryüzünde varlığını göstermesinden bu yana çok farklı amaçlarla kullanılan ağaç malzeme en önemli hammaddelerden birisidir. Artan nüfusla birlikte teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle ağaç malzemenin farklı alanlarda kullanımı oldukça genişlemiş ve bu sebeple kullanım miktarı da artmıştır. Ağaç malzemenin kullanımındaki bu artış günümüzde azalan doğal kaynaklar arasında yer almasına neden olmaktadır (Kartal ve Imamura, 2004).

Ülke yüzeyinin %29'unu oluşturan Türkiye orman alanı 78 milyon ha sahiptir. 2015 yılına ait verilere bakıldığında orman alanlarının %57'si (12.704.148 ha) odun hammaddesi üretimi bakımından verimli orman olarak gösterilen ve kapalılık oranı %10'dan fazla olan orman alanlarıdır. Geriye kalan orman alanlarının %43'ü (9.638.787 ha) ise kapalılığı %10'dan az ve verimsiz veya bozuk orman alanı olarak tanımlanmakta olup kapalı orman alanlarından meydana gelmektedir (URL-4).

FAO 2016 verilerine göre; 1990 yılında 4,128 milyar hektara sahip olan dünya ormanları, 2015 yılında azalarak 3,999 milyar hektara düşmüş ve kara yüzey alanının %31,8'ini kaplayan ormanların oranı %30,8'e düşmüştür. 2010 ile 2020 yılları arasındaki verilere bakıldığında orman alanında yıllık ortalama kaybın 7,6 milyon hektar alan iken, artışı ise 4,3 milyon hektar alandır. Bunun sonucunda yıllık olarak net ortalama orman kaybı 3,3 milyon hektar alan civarında olmuştur. 2020 yılı verilerine göre dünya toplam arazi alanının yüzde 31'i olan 4,06 milyar hektarlık (ha) toplam orman alanına sahiptir. Bu alan kişi başına 0,52 hektara eşittir (FAO, 2016; URL-4).

Bilim dünyası; maliyeti düşürecek, etkinliği geliştirecek, yapısal bütünlüğü garanti edecek, insan sağlığını koruyacak, kaliteyi artıracak, mal ve can güvenliğini artıracak ve mekanik özellikleri geliştirecek malzeme seçenekleri üzerine ve azalan orman varlığından dolayı alternatif ürünler üzerinde sürekli araştırma içerisindedir (Güler, 2001; Aslan, 2007). Bu araştırmalar, bilim insanlarını odun esaslı kompozitlere yöneltmiştir.

Odun esaslı kompozitleri; odunsu malzemenin, odunsu bir malzeme ya da başka bir malzeme ile organik veya kimyasal yapıştırıcılar ile yapıştırılması sonucu elde edilen malzemelerin bütünüdür. Kompozitler sadece levha ürünlerini değil odun, kalıpla şekil verilmiş ürünleri ve diğer malzemelerin kombinasyonu ile oluşturulan ürünleri de kapsamaktadır. Bu şekilde elde edilen ürünler lif levhadan lamine ürünlerine kadar geniş bir yelpazeye sahiptir (URL-5).

Odun-çimento kompozitleri; odunsu malzemelerden üretilen kompozit türlerinden biridir. 60 yıldan fazla bir sürede bu kompozit türü inşaat malzemelerinin üretiminde kullanılmakta ve yapı uygulamalarında büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Bununla birlikte geliştirilmesi odun-çimento kompozitlerinin yapı malzemeleri içindeki albenisini artırmaktadır (Okino, vd, 2004).

Odun-çimento kompozitleri inşaat sektöründe çok geniş bir kullanım yelpazesine sahip olup; zemin döşeme altlığı ve döşeme levhası, çit direkleri, dekoratif çit levhası, karo destekçisi, demiryolu ses bariyeri, laboratuvar tezgâhları, oluklu çatı kaplama malzemesi, mutfak tezgâhları, prefabrik ev yapımı, ısıya dayanıklı duvar ve zemin malzemesi, dış cephe kaplaması, beton kalıp sistemi için kalıcı kalıp, ses bariyer duvarları olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte odun-çimento kompozitleri yangın, kuru ve yaş çürüklük, böcekler, termitler ve marangoz karıncalara karşı dayanımı yanı sıra, termal izolasyonun ve akustik performansının yüksek olması, düşük yoğunluk ve dekoratif özelliklerinden dolayı kütüphane, kapalı otopark, at çiftliği ve yüzme havuzlarında da geniş kullanım bulmaktadır (Yel, 2015).

Çimentoya lignoselülozik malzeme eklenmesi ile elde edilen kompozitlerin kullanılmasının avantajları; yüksek teknolojik özellikler, çevreye daha az zarar, düşük maliyet ve yoğunluk, odun lif ve yongalarının kullanım alanının çeşitliği ve yeni bir tarım ekonomisi oluşturmaktır (Karade, 2010).

Odun çimento kompozitleri betonarme ile karşılaştırıldığında; maliyetin daha düşük olması, odundan elde edilen atıkların geri dönüşümü ve mekanik özellikleri koruyarak geleneksel beton panellerinin ısı performansını artırılması, bina tabanındaki yükün azaltılması ve uygulamadaki kolaylığı gibi avantajlar sağlamaktadır (Krüger, vd., 2009).

Odun çimento kompozitleri diğer odun kompozitlerine göre birçok avantajlı yönü vardır. Örnek olarak, yangın performansı, yalıtım özellikleri, su alma direnci, yüksek mekanik özellikler, abiyotik ve biyotik zararlılara karşı dayanım gösterebilir (Fan vd., 2012).

Odun çimento kompozitleri ile yongalevha karşılaştırıldığında; boyutsal stabilite, çivi-vida tutuma kabiliyeti, çürüme ve yanma dayanımının yüksek olması, yalıtım özelliği sebepleri ile geniş bir kullanım alanına sahiptir (Moslemi, 1974).

Değişen zaman koşulları, hızla artan nüfus ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi; sınırlı olan doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Doğal kaynakların hızla tükenmesi yanında, artan çevre kirliliği gibi sebeplerden dolayı atıkların azaltılması, hali hazırda bulunan atıkların potansiyel bir hammadde olarak değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması ve kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetim konuları giderek önem kazanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Pulverize kömür, termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi için yakıt olarak kullanılan bir kömürdür. Bu kömürün yanması sonucu ortaya çıkan külün %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır (Güler vd., 2005). Magnezyum oksit, karbon, kalsiyum oksit ve demir oksit gibi maddelerden farklı olarak yüksek miktarda alümina ve silika içermekte ve amorf bir yapıya sahiptir (Erdoğan ve Erdoğan, 2007). Uçucu kül, diğer puzolanik maddelerde olduğu gibi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile olan kimyasal tepkimelerinde hidrolik bağlayıcı bir nitelik kazanmaktadır. Bunun yanı sıra yanmış karbon kalıntılarını da içermesi olasıdır. Bu olay beton ve çimento mukavemetlerini olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur. Spesifik yüzey ne kadar büyük bir alana sahip ise uçucu küllerin reaktivitesi de o kadar yüksek olmaktadır (Şafak, 2014). Beton işlenebilirliği üzerinde olumlu yönde bir etkisi vardır. Uçucu kül içerisinde bulunan iri tanelerden ayrıştırmak uçucu külün performansını yükseltebilir. Betonda uçucu külün tercih edilmesi sonucunda sertleşmiş betonun geçirimsizliğini azaltmaktadır ve dayanıklılığını artırmaktadır (Mindess ve Young, 1981). Uçucu külün betona katılması birçok fayda sağlamaktadır. Uçucu küller betonun, porozitesini azaltmakta, optimum sıkışmayı sağlamakta, kıvam üzerinde olumu yönde etkisi olmakta ve mikro agrega etkisi yaparak tane dağılımını düzeltmektedir. Bu sebeple betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı artmaktadır. Düzgün

yüzeyli ve küresel bir yapıya sahip olması nedeniyle taze betonun işlenebilirliğini artırmaktadır (Ünal, 2004). Yoğunluğun düşük olması sebebi ile uçucu kül, hacimsel olarak su veya kum, çimento miktarında bir artışa sebep olmadan çimento harcı/agrega oranını artırır. Ayrıca uçucu kül çimentonun içerisindeki boşlukları doldurur ve hidrasyon ısını düşürüp, betonun erken yaşlardaki çatlakların oluşumunu önlemek maksadıyla kullanılır. Bu şekilde betonun uzun sürede dayanımı ve kalıcılığı sağlanmış olur (Demir, 2009). Pulverize kömürle çalışan elektrik santrallerinin bir yan ürünü olan F sınıfı pulverize uçucu kül, çimentolu ürünlerin işlenebilirliğini, dayanıklılığını ve mekanik mukavemetini geliştirebilen en yaygın kullanılan puzolanlardan biridir (Wang ve ark., 2018).

Bu çalışmada, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde çevreye zararlı bir atık olarak ortaya çıkan uçucu külün, çimentolu yongalevha üretiminde çimentoya ikame olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, çimentoya ikame olarak 4 farklı oranda (%5, %10, %15 ve %20) uçucu kül, 1/3 odun-çimento oranı, %5 CaCl_2 kullanarak, 1200 g/cm^3 hedef yoğunluğa sahip $450 \times 450 \times 10 \text{ mm}$ boyutunda çimentolu yongalevhalar üretilmiştir. Üretilen levhaların fiziksel, mekanik, morfolojik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışma ile bir sanayi atığı olan uçucu külün, çimentolu yongalevha endüstrisinde değerlendirilebileceği, kaliteli ve ucuz levhaların üretiminin mümkün olacağı belirlenmiştir.

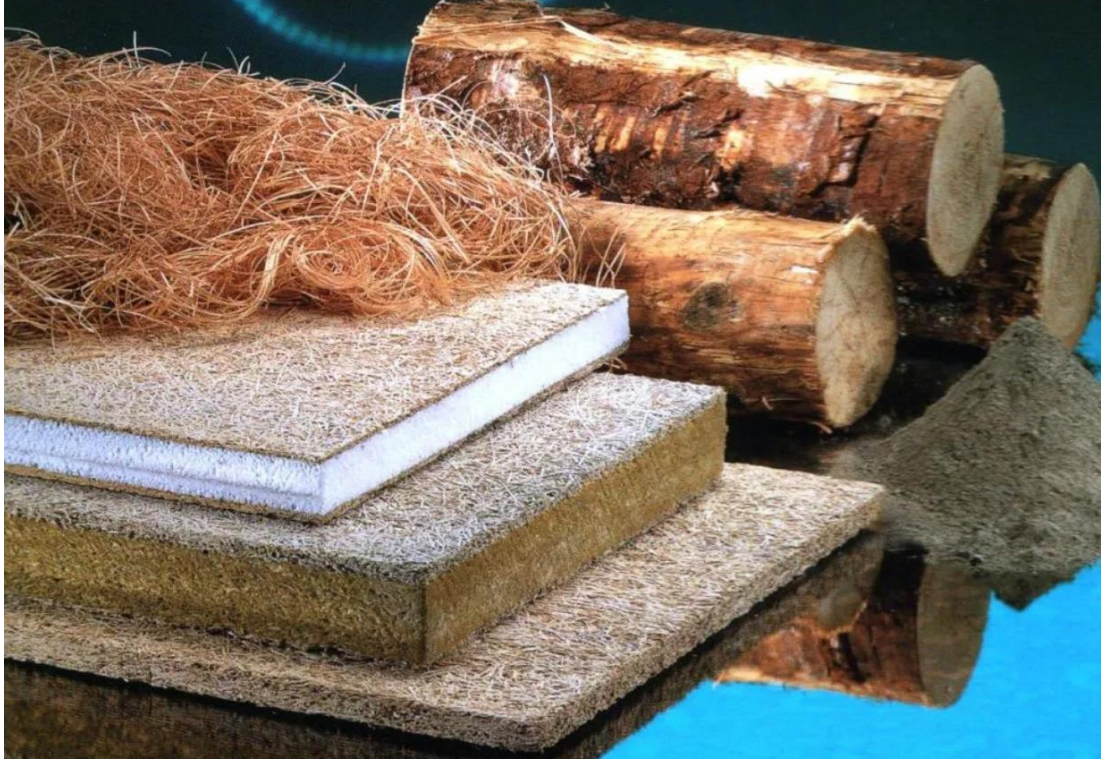
1.1 Genel Bilgiler

1.1.1 Odun-Çimento Kompozitlerin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

TS EN 633 (1999)'de çimentolu yongalevha; katkı maddeleri içeren ve hidrolik çimento ile birbirine yapıştırılan, odun veya diğer bitki parçacıklarından meydana gelen, basınç altında üretilen levhalar olarak tanımlanmaktadır.

Odun-çimento kompozitleri; çimento, su ve birden fazla kimyasal maddenin ağaç yonga ya da tarımsal bitkiler ile belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulmuş, yüksek özgül ağırlıklı, pürüzsüz bir yüzeye sahip olan ve yapı malzemesi olarak kullanılan kompozit malzemedir (Kalaycıoğlu ve ark., 2012). Şekil 1'de odun-çimento kompozitleri gösterilmektedir.

Kompozit, birbirlerinin zayıf yönlerini kapatarak üstün özelliklerini ön plana çıkaran iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşan malzemedir. Odun-çimento kompozitleri; ağaç malzemedeki hafiflik, işlenebilirlik ve elastikiyet özelliklerini, çimentodan ise su, yanma, rutubet ve çürümeye karşı direnç değerlerini alarak üstün yapısal özelliklere sahip bir ürün olmaktadır (Yel, 2015).



Şekil 1. Odun-çimento kompozit örnekleri (URL- 6)

İlk defa 1930’larda Heraklith adı altında üretilmiş olan odun-çimento kompozitlerinde ambalaj talaşı biçimindeki materyallerden yararlanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak ilk magnezit kullanılmış daha sonra yerini Portland çimentosuna bırakmıştır. Bu tür levhalara hafif levhalar (350–500 kg/m³) ismi verilmiş olup, binalarda ısı ile ses yalıtımında kullanılmaktadırlar (Kalaycıoğlu, 1996).

20. yy’ın son çeyreğinde asbest kullanımı kanserojen etkilerinden dolayı yeni alternatif malzeme arayışları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sebepten dolayı asbest lifleri yerine odun lif artıkları tercih edilmeye başlanılmıştır (Moslemi, 1999).

Hollandalı Eltomation; günümüzde çimentolu odun yünü levha (WWCB) ve çimentolu yönlendirilmiş yongalevha (WSCB) fabrikalarının anahtar teslim kurulumunu gerçekleştiren en önde gelen firmadır. 1956'dan bu yana 40'tan fazla ülkede 150'nin üstünde fabrika kurmuştur (Yel, 2015).

Çimentolu yongalevha; (CBPB) 1967 yılında İsviçreli Durisol ile Alman Bison şirketlerinin birlikte İsviçre'de Duripanel adındaki fabrikada üretilmeye başlanılmıştır. Bundan kısa bir süre sonra dünya genelinde 40'ın üstünde fabrika kurularak üretime geçilmiştir. Türkiye'de ilk tesis 1987 yılında Artvin'in Arhavi ilçesinde çalışmaya başlanılmıştır (Kalaycıoğlu, ve ark., 2012). Daha sonra Tepe grubu tarafından 1983 yılında Ankara Beytepe'de yeni bir üretim merkezi açıldı. Tepe Grup 2001 yılında Arhavi'de bulunan tesisini satın alıp Ankara ilinde "Betopan" ismiyle üretime devam ettirilmektedir. Sakarya'da Hekim Yapı şirketi tarafından 2004 yılında kurulan çimentolu lif levha fabrikası, 2015 yılı itibariyle üç üretim tesisinde toplam 125.000 m³/yıl kapasitesiyle üretim gerçekleştirmekte olup, levhalarını piyasada Hekim Board adı altında pazarlamaktadır (URL-7).

1.1.2 Odun-Çimento Kompozit Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Odun-çimento kompozitleri; çevresel etkiler veya hızlı yaşlanmaya karşı yüksek dayanıklılık ile boyutsal olarak kararlılık göstermesi yanında, mantar, böcek, yangın vb. biyolojik faktörlere karşı da yüksek bir dayanım ve direnç özeliğine sahiptir. Reçine esaslı levhalardan daha ağır olmalarına karşın betondan daha hafif olup, yoğunluklarına kıyasla mekanik direnç değeri çok daha yüksektir. Yapısında lignoselülozik materyal bulundurmasından dolayı ses ve ısı yalıtkanlığı yüksektir. Bu da binalarda %40-45 oranında enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Prefabrik yapı sektöründe yüke maruz kalmayan kısımlarında rahat bir şekilde tercih edilmektedir. Otoyol kenarlarında ses yalıtım özeliği sebebiyle kullanılmaktadır (Yel, 2015)

Odun-çimento kompozitleri; genelde kullanılan odun hammaddesinin şekillerine göre adlandırılmaktadırlar. Tablo 1'de Odun-kompozitlerinin çeşitleri ve yoğunlukları verilmiştir (Kalaycıoğlu ve Özen, 2012).

Tablo 1. Odun çimento kompozit çeşitleri (Yel, 2015)

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

Odun-çimento kompozitlerin düşük yoğunlukta olanları odun yünü ile, yüksek yoğunlukta olanları ise lif veya yonga kullanılarak üretilir. Düşük yoğunlukta olan ürünler binaların iç kısımlarında tavanda ve duvar paneli olarak tercih edilir. Odun-çimento kompozitlerinin ses izolasyonu iyidir. Yüksek yoğunluğa sahip levhalar ise çatı örtüsü olarak, yangın kapılarında, yük taşıyıcı duvarlar, dekoratif çatı kiremitleri, preslenmemiş büzlerin yapımında tercih edilmektedir (Ulusoy ve ark., 2019).

1.1.2.1 Çimentolu Yongalevha (CBPB)

Çimentolu yongalevha, 1970’li yıllarda geliştirilen ve asbest-çimento levhalarının yerine geçen yüksek yoğunluklu (1250-1500 kg/m³) bir yapı malzemesidir. Üretimi yapılan ilk levhalar tek katmanlı olup, levhanın tamamında tek tip büyük ebatlı yongalar kullanıldığından, yüzeyler iri gözenekli bir yapıya sahiptirler. Bu ilk üretilen levhalardan sora çimentolu yongalevhanın kalitesini artırmak için geliştirilen yeni yöntemlerle birlikte küçük yongalar yüzeylere gelecek şekilde çok katmanlı olarak üretilmeye başlanmıştır. Çimentolu yongalevhalar dünyada en fazla üretimi yapılan odun-çimento kompozitidir. Genellikle 2400-3600*1250*4-40 mm boyutlarında çimentolu yongalevhalar üretilmektedir. Levhada kullanılacak yonga boyutları organik bağlayıcı ile üretilen yongalevhalar da olduğu gibi olup, kalınlık 0.25-0.40 mm genişlikleri 2-6 mm ve 10-25 mm ebatlara sahip yongalar tercih edilmektedir (Aro, 2008; URL-8; Yel, 2015).

Genel olarak levha kalınlıkları 12 ve 18 mm’dir. Fakat 8-40 mm ebatları arasında da üretim yapılmaktadır. Şekil 2’de farklı ebatlarda çimentolu yongalevhalar gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı ebatlarda çimentolu yongalevha (URL-9)

Çimentolu yongalevhalar herhangi bir emprenye işlemine tabi tutulmamasına rağmen, levha içinde bulunan yongalar bir çimento tabakası ile örtülmüş olması ve çimento da alkali bir ortama sebep olduğundan levhalara mantarlar arız olamamaktadırlar. Ayrıca çimentolu yongalevhalar yanma özelliklerine bakıldığında güç yanan (B_1) malzemeler sınıfına girmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda çimentolu yongalevhanın ateşe dayanıklılık sınıfı DIN 4102 2 bahsedilen F90'a uyum göstermekte ve bu sınıf ateşe dayanıklı malzemelerden bahsetmektedir. Özet olarak bu malzemeler 90 dk. bir zaman diliminde ateşe yüksek derecede bir dayanım göstermektedir (Bozkurt, 1982). Çimentolu yongalevhaların, eğilme, basınç, çekme dayanımları, boyutsal kararlılıkları, boyanabilme, ısı izolasyonu ve sıva tutma özellikleri yüksek, özgül ağırlığı ise diğer odun ve odun esaslı malzemelere göre düşüktür.

Çimentolu yongalevhalar; her türlü iç ve dış cephe uygulamalarında, tavan kaplamaları ve döşemelerinde, çatı örtüsü alt kaplamasında, ıslak zeminlerde seramik altı kaplaması olarak, giydirme cephelerin altında kullanılabilir (Swamy, 2000). Ayrıca yüksek yoğunluğu yanında çimento ve mineral içerdiğinden dolayı yüksek rüzgâr kesme ve yangın direnci de sağlamaktadır. Şekil 3'de çimentolu yongalevhaların bazı kullanım alanları verilmiştir.



Şekil 3. Çimento yongalevhaların bazı kullanım alanları (URL-9)

1.1.2.2 Çimentolu Lif Levha (FCB)

Çimentolu lif levha; odun lifleri, çimento ve kimyasal katkı maddelerinden oluşmaktadır. Çimentolu lif levha üretiminde lif kaynağı olarak kraft (selüloz hamuru), sentetik elyaflar ve geri dönüştürülmüş elyaflar kullanılmaktadır. Çimentolu lif levha üretiminin çalışma prensibi genelde kâğıt üretiminde kullanan sisteme benzeyen hatschek yöntemi kullanılmaktadır (Yel, 2015).

Çimentolu lif levhalar; döşeme altlığı, kalınlığı 12,7 mm ve üzeri olan döşeme levhası, çatı arduvazı, çit direkleri, laboratuvar ve mutfak tezgâhları, oluklu çatı kaplama malzemesi, demiryolu ve ses bariyeri, ısıya dayanıklı duvar gibi birçok kullanım alanı mevcuttur (URL-10; URL-11).

1.1.2.3 Çimentolu Odun Yünü Levha (WWCB)

Çimentolu odun yünü levhalar çimento ve odun yünü kullanılarak üretilen çok yönlü bir yapı malzemesidir. Çimentolu odun yünü levhalarda kullanılan odun yünleri 1-5*0,2-0,5*500 mm boyutlarında üretilmektedir. Üretilcek levha türüne göre odun yününün boyutları değişiklik göstermektedir. Daha dar ve kalın odun yünleri akustik

ve dekoratif amaçla üretilen levhalarda daha dar ve kalın, geniş ve ince odun yünleri ise izolasyon amaçlı üretilen levhalarda kullanılmaktadır (Van Elten, 1975).

WWCB yangın, yaş ve kuru çürüklük, termit ve diğer haşeratlara karşı dayanımı yanında; termal ve akustik performansının yüksek olması, düşük yoğunluk ve dekoratif özelliklerinden dolayı çok yönlü bir izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

1.1.2.4 Çimentolu Şerit Yongalı Levha (WSCB)

WSCB, Eltamotion firması tarafından geliştirilmiş olup, piyasadaki en yeni ürünü oluşturmaktadır. Levhalar WWCB benzerlik göstermekle birlikte özgül ağırlık değeri çok yüksek olup, yaklaşık üç katıdır (URL-10).

Çimentolu yongalevha ile karşılaştırıldığında; WSCB daha düşük özgül ağırlığa sahip olmasına rağmen, daha yüksek vida ve çivi tutma ile eğilme direnci değerlerine sahiptir (Van Elten, 2006). Ayrıca yüksek yapısal direnç, makul yoğunluktaki elastik yapı, yangına, bozulmaya ve ısı kaybına karşı yüksek direnç vb. özelliklerinden dolayı sektörün dikkatini üzerine toplamaktadır (Aro, 2008).

1.1.3 Odun-Çimento Kompoziti Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

1.1.3.1 Ağaç Malzeme

TS 1351 standartlarına göre lif ve yonga odunu olarak; boyu 0.5-2 m kalın uç çapı en çok 20 cm, ince uç çapı 4 cm olan yuvarlak yarma odunlar, tane büyüklüğü ez az 2 mm, kalınlığı 200 mm'den küçük parçalar olan testere talaşları kullanılmaktadır. Kabuk ve çürüklük yongalevha üretiminde kullanılacak odunlarda olmamalıdır. Fakat enine kesitin yarısına kadar olan öz çürüklük kabul edilebilir (TS 1351, 1973).

Odun-çimento kompozitlerinde kapak tahtaları, yakacak odunlar, çita ve tomrukların uç kısımlarından, kaplama levha üretimden ve kereste fabrikasından elde edilen atıklar, testere talaşları, lif ve yonga odunları gibi odun hammaddeleri değerlendirilir. Ayrıca, bakım kesimleri, aralama ve budama ile elde edilen ince odunlar, tepe uçları ve dal ile endüstriyel atıklarda kullanılabilmektedir (Kalaycıoğlu, 1991).

Odun-çimento kompozitleri üretiminde, odun materyalinden daha iyi yararlanabilmek için çimento ile odun arasındaki uyumluluğu tam olarak anlamak gerekmektedir. Çünkü, çimento hidrasyonu; su, ısı ve alkali çevre koşulları gerektiren oldukça karmaşık bir reaksiyon sürecidir (Sauvat ve ark., 1999). Ağaç malzemenin şeker içeriği ve içinde bulundurduğu ekstraktif maddelerin türü ve miktarı çimentolu kompozit üretimini kısıtlamaktadır. Ağacın türünün yanında, depolama koşulları, kesim zamanı, kabuk içeriği ve hammaddenin ağaçtan alındığı yer gibi farklı faktörlerin de çimentonun hidrasyonunu etkilediği yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Sanderman ve ark., 1960; Miller ve ark., 1991).

Odun ve çimento arasındaki ilişkide çözünür halde bulunan şeker bileşikleri ana inhibitörü oluşturmaktadır. Aktif yüzeyli ve hidrofilik olan odun şekerleri, karışıma su ile birlikte eklenen çimento şeker ile bir araya geldiğinde yüzeyde ince bir adsorpsiyon tabakası meydana gelmektedir. Bunun sonucunda çimentonun oduna bağlanabilmesi için yeterince suya ulaşımı engellenmekte ve çimento hidrasyonu ağırlaştırmaktadır (Juenger ve Jennings, 2002). Bu nedenden dolayı şeker oranı düşük türler odun-çimento kompozitinin üretiminde tercih edilmektedir. Örneğin sonbahar ya da kış kesimi göknar, ladin ve çam gibi iğne yapraklı ağaç türlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Ekstraktif maddeleri etkisiz hale getirilerek kavak, okaliptus ve akasya gibi türler de tercih edilebilir. Tanen ve aşırı derecede şeker içeren kızılâğaç (*Alnus glutinosa*) ve karaçam (*Larix decidua*) gibi ağırlıkça %0,25'ten fazla glikoz, sakkaroz ve ksiloz oranına sahip olan türler kullanılamazlar (Duvalve Kadri, 1998).

1.1.3.2 Yıllık Bitkiler

Odun, yongalevha üretiminde kullanılan hammaddelerin başında gelmektedir. Dünyanın hızlı gelişmesi ile birlikte hammadde sorunu gün geçtikçe artmaktadır. Çevresel kirliliğin artması ile birlikte ormanların hızlı bir şekilde azalması ve yok olması tehlikeli bir hale gelmektedir. Orman ürünlerini kullanan endüstrilerin çok çeşitli olması ve kaynak kullanımının planlı bir şekilde yapılmaması ormanları yok ederken, kaynakların az ve yetersiz olması üretimin maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Günümüzde azalan kaynaklar sebebiyle hammaddenin ekonomik ve rasyonel bir şekilde değerlendirilerek %100 verimle kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle birçok ülke; farklı hammadde kaynakları aramaya başlamışlardır, odun hammaddesine

bağlı levha endüstrilerinde; atıkların geri kazanımı, biokütle kullanımı, hızlı yetişen türlerin yanı sıra bitki atıklarının kullanımı gündeme gelmiştir. Odun hammaddesi fazla olmayan ülkelerin bu yöndeki araştırmaları ve çalışmaları çok fazladır (Kalaycıoğlu ve Özen, 2012).

Yıllık bitkilerden; şekerkamışı, bambu, keten, göl kamışı ve pamuk gibi yıllık bitkilerin odunsu taraflarının levha üretiminde kullanılabilmesi için herhangi bir teknolojik engel teşkil etmemektedir. Burada yapılması gereken bu ürünlerin biyotik ve abiyotik zararlılara karşı muhafaza edilmesidir (Wolfe, ve ark., 1996).

Warden ve ark. (2002), 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.

Aggarwal ve ark. (2008), Ahrar saplarını kullanarak çimentolu yongalevhaların kalınlık artışı oranları %0,09-%0,10, eğilme dirençleri 9,42 MPa – 9,61 MPa, yoğunlukları 1847 kg/m³- 1729 kg/m³, nem içeriği oranları %9,05- %9,84, yüzeye dik çekme dirençleri ,63 – 0,65 MPa arasında olduğunu rapor etmişlerdir.

Mendes ve ark. (2017), şeker kamışı ve bambu kullanılarak üretilen çimentolu yongalevhaların eğilmede elastikiyet modülü 3000 MPa – 4500 MPa, yüzeye dik çekme direnci 0,5 MPa, eğilme direnci 9 MPa, kalınlık artım oranlarını (2 saat- 24 saat) %1,2-%1,8 ve su alma oranını %0,51- %0,92 olarak tespit etmişlerdir.

Bitkisel lignoselülozik atıkların çimentolu kompozit imalatında kullanılması, üretim kapasiteleri fazla olan ülkelerde ciddi bir yer edinmiştir. Bitkisel liflerin pozitif yönleri olan sağlamlık ve makul maliyet oranlarına rağmen sadece sınırlı dönemlerinde bulunmaları ve çimento ile olan bağlanma problemi önemli bir sorun olarak görülmektedir (Aslan, 2007).

1.1.3.3 Odun Esaslı Geri Dönüşüm Artıkları

Lif levha, yongalevha, tel direği, mobilya, kereste, palet, ambalaj sandıkları, kâğıt gibi odun ve odun esaslı malzemelerin; üretim, kullanım ve kullanım ömrünü

tamamladıktan sonraki atıkları nüfusun artması ile ciddi artışlar göstermiş ve önemli bir sorun haline gelmiştir (Yel, 2015).

Bunun yanı sıra bazı odun ve odun esaslı ürünler; biyotik ve abiyotik faktörlere karşı direncin artırılması amacıyla çevre ve insan sağlığına zararlı birçok koruyucu ile muamele edilmektedir. Doğada çok zor yok olan bu kimyasallarla işlem görülmüş ürünlerin atıkları ya yakacak olarak kullanılmakta ya da doğaya çürümeye bırakılmaktadır. Bu durum az ve yetersiz olan orman kaynağının verimli bir şekilde kullanılmamasına hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ekonomiye katkı sağlamak hem de çevresel zararlarının önüne geçmek için odun esaslı atıkların geri kazanımıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Yel, 2015).

CO₂ enjeksiyon yöntemi ile atık MDF'den üretilen odun-çimento kompozitleri, direkt odun lifinden üretilen levhalarla karşılaştırıldığında; levhaların fiziksel özelliklerinde bir iyileşme gözlenirken, mekanik özelliklerinde ise çok az bir düşüş yaşandığı rapor edilmiştir (Qi ve ark., 2006).

Başka bir çalışmada odun-çimento kompozitlerine tavuk tüyü eklenmiştir. Tüy oranının %5'ten %20'ye doğru çıkartılması ile işlenebilme özelliklerinde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. Odun-çimento kompozitlerinde tavuk tüyünün ağırlık olarak %5-10 arasında kullanılması ile kontrol örneklerine yakın teknolojik özellikler tespit edilmiştir. %10'dan daha fazla kullanılması durumunda sertlik, eğilme direnci ve boyutsal kararlık özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir (Acda, 2010).

Ashori ve ark. (2012) atık ahşap demiryolu traverslerinden çimentolu yongalevha üretmiştir. Üretilen bu levhaların su alma ve kalınlık artım değerleri normal odundan elde edilen çimentolu levhalara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Mekanik özellikleri ise normal odundan üretilen çimentolu levhalarinkine hemen hemen eşit sonuçlar vermiştir.

Jaraboa ve ark. (2013), farklı pişirme koşullarında mısır sapları liflerinden üretilen çimentolu lif levhaların özelliklerinin mısır liflerinin morfolojisi ve pişirme şartlarına bağlı olduğu sonucuna varmışlar ve mısır liflerinin çimentolu lif levha üretiminde bir lif kaynağı olarak kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Buğday samanı, hindistan cevizi lifi, fındık kabuğu, çeltik samanı, yağlı palmiye kalıntıları, mantar granülleri gibi büyük miktarda ve çeşitli çevre sorunlarına neden olan lignoselülozik atıkların, çimentolu kompozitlerde kullanımıyla ilgili bir çok araştırma yapılmış ve birkaç ön muameleden sonra bu lignoselülozik atıklardan bina inşaatında kullanılabilecek düzeyde çeşitli çimentolu kompozitlerin üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Lignoselülozik atıkları ile üretilen kompozitlerin, ormanların sahip olduğu doğal kaynakların tasarrufunda ve farklı inşa bileşenleri için kullanılabileceği rapor edilmiştir (Karade, 2010).

1.1.3.4 Çimento

Çimento; yontulmuş taş kırıntısı manasındaki Latince “caementum” kelimesinden gelmektedir. Daha sonraki zamanlarda bağlayıcı manasında ifade edilmiştir. 19. yüzyılın ilk zamanındaki killi kireç taşlarının yakılması deneyleri çimentonun keşfini sağlamıştır (Felekoğlu, 2005). Doğal kalker taşlarının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülerek elde edilmiş toz halindeki bir yapı malzemesi olan çimento; havada ve suda sertleşebilmekte ve sertleştikten sonra su ve havanın etkisiyle çözülmeyen hidrolik bir bağlayıcıdır (Kökipek, 2010).

Çimentonun %76–78’i CaCO_3 ve geri kalan kısmı kilden meydana gelen karışımın 1400°C ile 1500°C ’de ısıtılması ile meydana gelmiştir. Çimentonun ilkel hammaddesi olan kalker taşı çimentonun %65’ini teşkil eden CaO ’nun, kil ise diğer bileşenleri olan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ’ün meydana gelmesini sağlamaktadır (Kökipek, 2010). Tablo 2’de yıllara göre dünya çimento üretim miktarı verilmiştir.

Çimentoların, üretiminde kullanılan hammaddelerin bileşim, niteliklerine uygulanan teknoloji ile pişme şekilleri, eklenen katkı maddelerine göre kendilerine özgü özellikler gösteren pek çok farklı türleri vardır.

Tablo 2. Dünya çimento üretimi (URL-12)

Ülke	Çimento Üretimi (Milyon Ton)				
	2015	2016	2017	2018	2019
Çin	2350	2410	2320	2200	2200
Hindistan	270	290	290	300	320
Vietnam	61	70	78.8	90.2	95
ABD	83.4	85.9	86.6	87	89
Mısır	55	55	53	81.2	76
Endonezya	65	63	65	75.2	74
İran	65	53	54	58	60
Rusya	69	56	54,7	53.7	57
Brezilya	72	60	53	53	55
Güney Kore	63	55	56.5	57.5	55
Japonya	55	56	55.2	55.3	54

Portland Çimentosu 1824'te İngiltere'de keşfedilen, organik birleşiklere sahip bir ürün çeşididir. Joseph Aspdin tarafından bulunduğu özümsemiştir. Aspdin doğal killi kalkerlerin yerine 1 kısım kil ve 3 kısım kalkerü uygun bir karışım yapmak için birbirine karıştırılıp yüksek sıcaklıkta pişirerek üstün bir dayanıklılık gücüne sahip yeşilimsi gri renkte bir çimento meydana getirmiştir. Elde edilen ürünün renk olarak güney İngiltere'de bulunan portland yarım adasındaki killi kalkerlere benzediğinden ismini portland çimentosu olarak tescillendirmiştir (Yeğınobalı, 2004).

Portland çimentosu genelde gri renkte ve toz halinde bulunan bir maddedir. Klinkerin mineral katkılarla ve kalsiyum sülfat öğütölmesi sonucu elde edilmektedir.

Çimento üretiminde kil, kalker ve gerektiğinde bir miktar demir ve alüminyum oksit orantılı bir şekilde karıştırılarak öğütölmeğmektedir. Oluşan bu hammadde karışımına farin adı verilmektedir. Farin, döner fırında 1450 °C sıcaklığa kadar pişirilmektedir. Fırının çıkışına doğru hammadde karışımının taneleri erir ve çeşitli kimyasal reaksiyonlardan geçerek granüle haldeki klinkeri oluşturmaktadır. Burada oluşan klinker çimento üretiminde bir ara ürün olarak görölmektedir. Çimento ise bir miktar kalsiyum sülfat ile klinkerin öğütölmesi işleminde sonucu elde edilmektedir. Öğütme işleminin çimentonun kimyasal reaksiyon gerçekleştirebilmesi için klinker tanelerinin çimento tane inceliğine inene kadar devam etmesi gerekmektedir. Ortalama bir çimento tane boyutu 15-20 µm (0,0015-0,0020 cm) aralığında değışiklik göstermektedir. Bu aşama sonucunda klinker taneleri yaklaşık olarak 1000 kat küçölmeğmektedir. Bunun yanı sıra çimento ile su karıştırıldığında meydana gelecek

kimyasal reaksiyonların kontrolünün sağlanması için öğütme sırasında klinkere ağırlıkça %3-5 oranında kalsiyum sülfat (alçı) ilave edilmektedir (Yeğinobalı, 2003). Tablo 3’de çimento tipleri ve kullanıldığı yerler verilmiştir.

Tablo 3. Çimento tipleri ve kullanıldığı yerler (Yel, 2015)

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

1.1.4 Odun- Çimento Kompozitlerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler

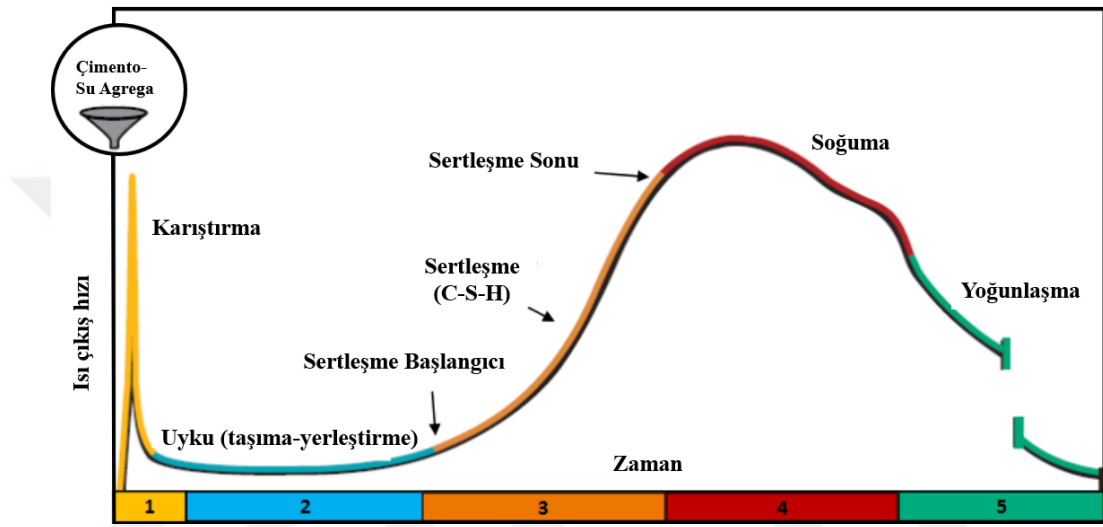
1.1.4.1 Çimentonun Hidratasyonu

Hidrasyon; su ve çimentonun etkileşimi ile oluşan kimyasal bir reaksiyondur. Çimentonun sertleşmesi ve prizi bu reaksiyon sonucunda oluşur. Bu etkileşim sonucunda oluşan reaksiyonlar [su ve kalsiyum silikatlar (C₃S- C₂S)] sonucu kalsiyum silikat hidrat (C₃S₂H₃, C-S-H) ile kalsiyum hidroksit [H₂(OH)] oluşmaktadır. Bu karışım çimentoyu bağlayıcı nitelikteki C-S-H jelini sağlamaktadır. Oluşan C-S-H jelinin parçacıklar arası çekim kuvveti, bağlayıcılık özelliği taşımaktadır. C-S-H’nin büyüklüğü moleküler seviyede olup, çimento tanesinin 1/1000 çapındadır (Edoğan, 1995).

Çimento ve su karışımından oluşan çimento hamuru, başlangıçta plastik bir yapıya sahiptir. İki malzemenin birleştiği andan itibaren hidrasyon başlamakta ve bu işlemin devam etmesiyle katılaşarak sert bir yapıya dönüşmektedir. (Taşkın, 1994). Yaklaşık 100 saatte tamamlanmış olarak gözüke de çimento hidrasyonu yıllarca devam eden bir

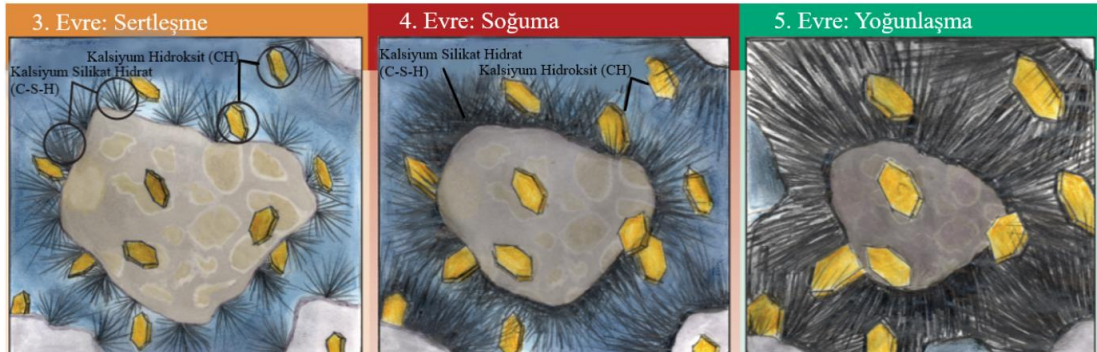
olaydır. Ekzotermik bir tepkime olması hidratasyonun başka bir özelliğidir (Postacıoğlu, 1986).

Hidratasyon reaksiyonu beş aşamada tanımlanır ve çimentonun su ile karıştırıldığı andan itibaren başlamaktadır. Bunlar karıştırma, uyku hali, sertleşme (priz) soğuma ve yoğunlaşma süreci şeklindedir (Şekil 1, Şekil 2).



Şekil 4. Çimento hidratasyon aşamaları (Taylor ve ark., 2019).

10 -15 dk. süren karışım süreci içerisinde alüminatlar ve alçı, suda hızlı bir çözünme gerçekleştirir ve birkaç dakika dk. içinde tepkime oluşturmalar. Bu hızlı tepkime sonucunda, bileşikler yüksek bir ısı çıkışı oluşmasına sebep olurlar.



Şekil 5. Çimento hidratasyon süreçleri (Taylor ve ark., 2019).

Uyku sürecinde ise alüminatların tepkimesi bu periyotta 2 ve 4 saat arası sürelerde kontrol edilebilir. Bu durumun nedeni olarak jelimsi tabakadır. Bu sürecin sağlamış olduğu önemli olarak gösterilen nokta betonun plastik halde taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi ve işlenmesi gibi özellikler kazanmasıdır. Bu süreçteyken ısı çıkış hızı hemen hemen sabit kalmakla birlikte çimento bileşenlerinin çözünmesi devam eder ve karışım suyu kalsiyum (Ca) ve hidroksil (OH-) iyonları ile doymaya devam etmektedir. Sertleşme süresinde (priz) meydana gelen yeni malzemelerin miktarları sürekli olarak artış gösterir. Buna bağlı olarak ısı oluşumunda artış gözlenmektedir. Bu ürünler birbirleriyle bağlanıp agregaların etrafında toplanırlar ve agregaları sararlar. Sonuç itibarı ile sertleşen beton katılaşmaya başlar. Priz (sertleşme) sonunda betonun üzerinde yürünebilir bir yapı oluşturur. Soğuma sırasında; ısı değişimi esnasında meydana gelen bir tepe noktası ve ardından sürekli bir düşüş eğilimi gözlenir. Bu süreçte “topo kimyasal” diye isimlendirilen reaksiyon oluşur. Çimento hamuru bileşenler açısından doymuş hale gelmiş bulunur. Çimento taneciklerinin (C_3S) yüzeylerinde hidrasyon başlar ve yüzeyde hidrasyon ürünleri olan C-S-H ve CH oluşur. Betonun dayanım kazanma süresi bundan sora başlamış olur. Yoğunlaşma süresinde reaksiyon yavaşlamaya başlar ve ısı çıkışı önemli bir azalış gösterir. Hidrasyon ürünleri artış göstermeye ve gelişmeye devam etmektedir. Bu periyot hidrate olmamış çimento tanecikleri ile suyun bulunması durumunda çok uzun bir süre devam eder. Kısacası, betonun yıllar boyu sürebilecek bir zaman süreci içerisinde dayanım ve dayanıklılık özelliğini artırır. Bu beş aşamada sistem dengelendiğinde ve istenildiği gibi performans gösterdiğinde betonun genel olarak nasıl tepki verdiğini açıklar (Taylor ve ark., 2019; Soroko, 2004)

Çimentonun sertleşmesi ve erken dayanımının artmasında en önemli faktör Triksilyum silikat (C_3S) ile Triksilyum alüminat (C_3A)’dır. Bu yüzden araştırmacılar C_2S ile C_4AF ’nin hidrasyonundan fazla bu iki kristalin hidrasyonu üzerinde durmuşlardır. Süreye bağlı ısı artışlarını hassas bir şekilde ölçüm yapan aletlerle çimento hidrasyonunun temel reaksiyonları kolay bir şekilde takip edebilir. Çimentonun sertleşmesi, C_3A ile kalsiyum sülfat hidrasyonunun reaksiyon ürününün dayanıklı bir yapı oluşturmaya bağlıdır. Bu reaksiyon sonucu elde edilen ürün özellikle çimento taneciklerinin yüzeyinden ince bir tabaka halini alıran ince taneli etrenjittir. Bu ince etrenjite tabakası çimento taneciklerinin hareket halini etkilemez ve

işlenebilirliğini korur. Priz alma, bu mikro kristal etrenjitinin, çimento tanecikleri arası boşlukları dolduran ve bir bakıma köprüler oluşturan uzun iğneler şeklindeki etrenjit kristalleri sayesinde olmaktadır (Yengül, 1984).

1.1.4.2 Odun-Çimento Uyumsuzluğu

Odun ve çimento arasındaki uyumsuzluk, odun-çimento kompozitlerinin üretimde büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu durum, kullanılan odun miktarı ve odunun ihtiva ettiği kimyasalların bileşimi ile alakalıdır. Odun içindeki bazı çözünebilir kimyasallar çimentonun hidratasyonu durdurmakta veya engellemektedir. Bu durum, saf çimento ile karşılaştırıldığı zaman daha düşük mekanik direnç ile sonuçlanmıştır. Bu da odunun çimento ile uyumsuz olduğu anlamına gelmektedir. (Zhengtian ve Moslemi, 1986; Thomas ve Birchall, 1983). Fakat odun malzemesi çimentoya katıldığı zaman çimento sertleşme esnasında herhangi bir kimyasal değişim göstermiyorsa çimento ile odunun uyumlu olduğu kabul edilmektedir (Jorgeve ark., 2004).

Ekstraktif madde oranının artması, odun çimento uyumluluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Çeşitli ekstraktif maddelerin uyumluluğu ile ilgili yapılan çalışmalarda, odun yapısında bulunan şekerlerin çimento hidratasyonunu aynı oranda etkilemediği gözlemlenmiştir. Örneğin früktoz gibi şekerler, %0,50 oranlardaki konsantrasyonlarda bile çimento hidrattasyonunu değiştiremezken, bazı şeker türleri ise %0,25 konsantrasyonda bile çimento hidratasyonuna olumsuz yönde etki rapor edilmiştir (Sander mann ve ark., 1956; Peschard ve ark., 2006).

Suda çözünebilen hemiselülozlar, alkali çimento pastasında hidroliz olarak karboksilik aside dönüşmektedir. Bu alkali degradasyon ürünleri, çimento hidratasyonunu odun ekstraktiflerinden 3 kat daha fazla engellemektedir. %0,1 gibi küçük miktarlardaki hemiselüloz, çimento hidratasyonunu önemli derecede etkileyerek çimento pastasında büyük direnç kayıplarına neden olmaktadır. Diğer taraftan, pentozların (ksiloz, arabinoz) çimento üzerinde daha az etkiye sahip oldukları görülmüştür (Miller, 1991; Govin ve ark., 2005). Bununla birlikte, asetik asit ve fenolik bileşiklerin çimentonun hidratasyonu üzerinde olumsuz yönde etkisi olmazken, tanen çok az miktarda da olsa hidratasyonu engelleyebilmektedir (Boustingorryve ark., 2005). Weber (1985) ve

Bever (1986) kaliteli bir odun-çimento kompozit üretimi için toplam şeker oranının %0,6'yı geçmemesi gerektiğini önermektedirler.

1.1.4.3 Ağaç Türü

Odun farklı tür ve miktarda ekstraktif maddeye sahip olduğundan çimento hidratasyonu sebebi ile elde edilen odun-çimento kompozitinin direnç değerleri üzerinde farklı etkiler göstermektedir (Weatherwax, ve diğerleri, 1964). İğne yapraklı ağaç türleri; yapraklı ağaç türlerine oranla düşük özgül ağırlık, az miktarda şeker, fenolik madde ve hemiselüloz gibi ekstraktifler bulundurmaları nedeniyle daha kullanışlıdır. Çam, göknar ve ladin gibi iğne yapraklı ağaç türleri yaygın olarak değerlendirilmekte, bunlarla birlikte okaliptüs, akasya ve birçok yapraklı ağaç türleri de bulundurdıkları ekstraktif maddelerin olumsuz yönde etkilerinin belirli yöntemler kullanarak en askeri seviyeye düşürülmesiyle üretimde kullanılabilirler. Bünyesinde tanen içeren ağaç çeşitlerinin kullanılması halinde ise tanenin etkisiyle çimentonun sertleşmesi gecikmektedir (Hofstrand, 1984).

Yetiştirme ortamı, kesim zamanı, ağaçtan alındığı yer, ilkbahar/yaz odunu oranı gibi faktörler de odun-çimento uyumluğunu etkilemektedir. Biblis ve Lo (1968), yapmış olduğu çalışmada kış kesiminden elde edilen odunların bahar kesiminden elde edilen odunlara göre çimento ile daha uyumlu olduğu ve daha yüksek direnç değerleri verdiğini rapor etmişlerdir. Çimentonun özelliklerini olumsuz etkileyen bir başka faktör olarak öz odunu kullanımı da gösterilebilir (Sandermann ve Kohler 1964).

Çimentolu odun kompozitlerinin üretiminde, şeker miktarı düşük türlerin kullanımı tercih edilir. Kış ve sonbahar kesiminde göknar, çam, ladin vb. iğne yapraklı ağaç türleri genel olarak tercih edilirler. Akasya, okaliptus, kavak vb. türlerde bulunan ekstraktif maddeler işlevsiz hale getirilerek kullanılabilir. Tanen fazla oranda şeker %0.25 sakkaroz, glikoz ve ksiloz oranını içeren kızılâğaç ve karaçam gibi türlerin ise kullanımı tercih edilmez (Aro, 2008).

1.1.4.4 Yonga Boyutu ve Geometrisi

Odun-çimento kompozitleri üretiminde her boyut ve geometrideki odun hammaddesi (yonga, odun yünü ve odun lifi) kullanılabilir. Odun-çimento kompozitlerinin özelliklerini önemli derecede yonga geometrisi etkilemektedir.

Tutkal esaslı yongalevhelerde olduğu gibi odun-çimento kompozitlerinde de yonga boyutu ve geometrisi mekanik özellikler üzerinde etkilidir. Odun ve çimento arasında, tutkal esaslı kompozitlerdeki gibi bir kimyasal bağlanma olmadığından, odun-çimento kompoziti üretiminde daha büyük boyutlu yongalar kullanılabilir (Semple ve ark., 2004; Bejo ve ark., 2005).

Badejo (1998), yapmış olduğu çalışmada yonga geometrisinin odun-çimento kompozitlerinin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci ve kalınlığına şişme gibi özellikleri üzerinde etkili olduğunu tespit etmiştir. Narinlik oranı (yonga/lif uzunluğunun kalınlığına oranı) yüksek olan yonga ve lifler; sert, boyutsal kararlılığı daha yüksek ve daha dayanıklı levhalar üretilmesini sağlamaktadır. Semple ve ark. (2004), küçük yongalar yerine, daha uzun yongalar ile üretilen levhalarda daha yüksek dayanım elde etmişlerdir. Küçük boyutlu yonga kullanımında ise az boşluklu ve düzgün yüzeyli levhalar elde edilebilmektedir. Fakat sıkıştırma miktarının artması, levhanın yüzey alanı ve hacminin artması, çimento özelliklerini de olumsuz yönde etkilenmektedir. Daha geniş bir yüzey alanında iç bağlanmanın gerçekleşmesi için daha fazla yapıştırıcıya ihtiyacı olması nedeniyle, yüzey alanı ve yonga arasında bir ilişki oluşmaktadır (Li ve ark., 2004).

1.1.4.5 Yonga Yönlendirilmesinin Etkisi

Levhaların mekanik özellikleri üzerinde yongaların yönlendirilmesi önemli ölçüde etki etmektedir. Yongaların yönlendirilmesi odun kompozitlerinde yaygın kullanılan bir özelliktir (Cabangon ve ark., 2002). Ma ve ark., (2000) yapmış oldukları çalışmada yönlendirilmiş yongalar kullanılarak üretilen çimentolu levhaların eğilme dirençlerinin 2,5 kat arttığını gözlemlemişlerdir. Aynı levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri 2 kat daha yüksek çıkmıştır. Yongaların sadece %25'lik kısmının yönlendirilmesi bile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artışa sebep olmuştur. Stahl ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada yönlendirilmiş yongalar

kullanmışlardır. Kullanılan yönlendirilmiş yongalar levha dayanımını %25, sertliğini ise %33 oranında artırdığını rapor etmişlerdir.

1.1.4.6 Odun-Çimento Oranı

Üretilen odun-çimento kompozitlerinin özelliklerine etki eden önemli parametrelerden biri de odun/çimento (O/Ç) oranıdır. Kompozitlerde kabul edilebilir özelliklerde bağlanmanın sağlanabilmesi amacı ile odun; yün, yonga veya liflerinin tamamını saracak bir düzeyde çimentoya gereksinim duyulur (Bever, 1986).

Yapılan bir çalışmada çimento/odun oranının 3'den 1.5'e indirilmesi sonucunda eğilme dayanımında (mukavemetinde) yükselme olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan odun çimento oranının 2'ye yakın bir orana getirilmesi ile yeterli ölçüde eğilme dayanımına sahip levhalar üretilmektedir. (Moslemi ve Pflster, 1987). Günümüzde ticari levhalar 1/2,75 ile 1/3,0 seviyesinde odun/çimento oranı ile üretilmektedir.

Odun-çimento oranının azalması sonucu hidrasyon sıcaklığının yavaş bir şekilde arttığı, hidrasyon zamanının kısaldığı ve basınç direncinin artış gösterdiği ifade edilmektedir. Odun-çimento kompozitlerinin eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerinde odun-çimento oranının etkisi daha karmaşıktır. Çalışmalarda azalan odun-çimento oranıyla levha eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin doğrusal olarak azaldığı belirtilmektedir (Lee ve Hong, 1986).

Odun-çimento oranı, üretilen nihai ürün niteliklerine etki eden önemli bir parametredir. Odun miktarının artması ile odun-çimento kompozitlerin elastikiyet özelliklerinde azalma görülmekte, plastik bölgede artış gözlenmekte ve malzeme dayanımının azalması ile kırılma azalmaktadır. Çimento kullanılarak üretilen OSB levhalarında bu oranın normal odun-çimento kompozitlerine göre az olması öngörülmektedir (Papadopoulos ve ark., 2006).

Marzuki ve ark. (2011), 1/1.75, 1/2, 1/2.25 ve 1/2.5 olmak üzere 4 farklı odun-çimento oranında levha üretmişler ve odun-çimento oranının artması ile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, su alma ve kalınlık artımı değerlerinde de artış gözlenmiştir.

Sotannde ve ark. (2012), yapmış oldukları çalışmalarında 1/2, 1/2,5, 1/3 ve 1/3,5 olmak üzere 4 farklı odun-çimento oranında levha üretimini araştırmışlardır. Odun-çimento oranının artmasıyla birlikte eğilme ve basınç dirençlerinde artış gözlemlenmiştir. Fakat kalınlık artırım ve su alma oranlarında ise çok belirgin bir değişiklik olmadığı rapor etmişlerdir.

1.1.4.7 Sertleştirici Kimyasallar

Odun-çimento kompozitlerinde sertleştiricilerin kullanımı; 1880'lerin ilk yıllarında çimento hidrasyonunu hızlandırmak için CaCl_2 'nin kullanımıyla başlamıştır. CaCl_2 ; etkinliği ve kolay ulaşılabilirliği bu maddeyi sertleştiriciler arasında en çok kullanılan malzeme haline getirmiştir (Hachmi ve Moslemi, 1989).

Öncelikle sertleştiriciler betonun direncini iyileştirmek için kullanılırken, odun-çimento kompozitlerinde odunun çimento hidrasyon reaksiyonu üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak ya da durdurmak amacı ile kullanılmıştır. Sertleştirici pratik ve ekonomik açıdan uygun olması sebebiyle odun-çimento uyumsuzluğunun giderilmesinde en çok tercih edilen yöntemdir. Sertleştiriciler odun-çimento-su karışımına sulu çözelti halinde eklenmektedir (Yel, 2015).

Zhengtian ve Moslemi (1985), çimento ile en az uyumlu ağaç türü olan melez (*Larix occidentalis*) öz odunu ile karıştırılmış çimentonun hidrasyon ısısı üzerine klorür ve sülfat içerikli 30 farklı sertleştiricinin etkisini araştırmışlardır. Sonuçta SnCl_2 , FeCl_3 , AlCl_3 ve CaCl_2 gibi klorürlü bileşiklerin; melez odunun çimento hidrasyon ısısı üzerindeki olumsuz etkisini azalttığı belirlenmiştir.

Odun-çimento kompozitlerinin imalatındaki başlıca sorunlardan biri, maksimum hidrasyon ısısını oluşturulabilmek için uzun pres ve sertleşme süresi ihtiyacıdır. Sertleşme işlemi ve üretim süresinin az olması için, presleme esnasında sıcaklığın yükseltilmesi veya CO_2 gibi farklı katkı maddeleri eklenmesi gibi yöntemler belirlenmiştir (Soroushian ve ark., 2004).

Reçine esaslı levhalarda presleme süresi 6-7 dk gibi çok kısa bir süre olurken, odun-çimento kompozitlerde ise uzun sertleşme süresi sebebiyle, levhaların 8-24 saat gibi uzun süreyle basınç altında tutulması gerekmektedir. Bu durum, endüstriyel

uygulamaların verimliliği açısından önemli bir dezavantaj olarak görülmektedir. Çimentonun bu çok uzun süreli reaksiyonunu hızlandırmak ve sertleşme süresini 8-24 saatten 5 dakikanın altına indirmek için karbon dioksit (CO₂) enjeksiyon yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem, çimentolu odun kompozitlerin preslemesi esnasında alt ve üstten levha tabakası içerisinde karbon dioksit gazı geçirilmek suretiyle gerçekleştirilmektedir (Berger ve ark., 1972; Hermawan ve ark., 2002).

1.1.4.8 Su-Çimento Oranı

Su, çimento esaslı malzemelerin kalitesi açısından önem arz eden faktörlerin başında gelir. Su miktarının çok fazla olması, çimento hidratasyonu sürecinde ve öncesinde çimento partikülleri arasındaki temas yüzeyini arttırdığından dolayı kılcal boşluk hacminin artmasına neden olmaktadır. Bu durum ise üretilecek olan ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerine olumsuz yönde etkisi olabilir (Zhengtian ve Moslemi, 1985; Taşkın, 1994).

Çimento ile su arasındaki hidratasyon, çimento hamurunun bağlayıcılık kazanma hızı ve miktarında etkilidir. Hidratasyonun ne hızda ve mükemmellikte oluşacağı konusu ise ortam sıcaklığı ve rutubetiyle birlikte yüksek oranda çimentonun içeriği, inceliği ve kullanılan çimentonun, miktarına bağlıdır (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

Miyatake ve ark. (2000), su-çimento oranının 0.5/1'den 0.44/1 oranına indirgenmesiyle birlikte odun-çimento kompozitlerinin eğilme dirençlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Su-çimento oranının, odun-çimento kompozitleri üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan birçok çalışmada farklı sonuçlar tespit edilmiştir. Optimal su-çimento oranı ise; odunun türü, rutubeti ve kesim süresi gibi özelliklerinden dolayı ihtiyaç duydukları su gereksinimi farklılık göstermesi sebebiyle net bir şekilde tespit edilememektedir (Yel, 2015).

Odun türlerinin neredeyse hepsi için benzer su/çimento oranı kullanılmaktadır. Ancak, farklı odun türleri değişik miktarlarda serbest su absorbe etme yeteneğine sahip olduklarından, kullanılan su oranlarında değişiklikler gerekli olabilir. Bu durum, odun özelliklerinin su miktarı ile ilişkili olduğunu göstermektedir Su miktarının optimum seviyenin altında tutulması ulaşılabilecek en yüksek sıcaklık seviyesini

yakalayamamaya, optimum seviyenin üstünde bir miktarında tutulması ise en yüksek sıcaklığa ulaşma süresinin uzamasına neden olabilecektir (Karade ve ark., 2003).

1.1.4.9 Çimentoya Alternatif Malzemelerin Kullanımı

Kâğıt fabrikası atık çamuru:

Dünyada kâğıt-karton üretimi 408,8 milyon ton iken Türkiye'nin üretimi ise 2,7 milyon ton'dur (FAO, 2018). Bir ton kâğıt üretiminden yaklaşık olarak 35-45 kg atık çamur elde edilmektedir. Bu atık çamur içerisinde selüloz lifleri kaolin, kil ve kalsiyum karbonat gibi inorganik materyaller bulunmaktadır (Girones ve ark., 2010). Bu nedenle katı atık materyalleri içerisinde kâğıt fabrikası atık çamuru miktarlarının çok fazla olması ve bulunduğu yerde kötü bir koku oluşturmaları sebebiyle çevre üzerinde olumsuz yönde bir etkiye sahip olup, geri kazanılması büyük bir önem arz etmektedir.

Fava ve ark. (2011), kâğıt fabrikasında arıtma suyu çamurunun yakılması ile oluşan külün portland çimentosuna ikame olarak %10 oranında kullanılması sonucunda üretilen levhanın mekanik özelliklerinde iyileşmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Dönmez Çavdar ve ark. (2012), çimentolu yongalevha üretiminde Portland çimentosuna ikame olarak %10, %20 ve %30 oranlarında kâğıt fabrikası atık çamuru kullanmışlardır. Levhaların mekanik özelliklerinde bir iyileşmenin olduğu gözlemlenmiş fakat fiziksel özellikleri üzerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır. Kâğıt fabrikası atık çamurunun çimentolu levha üretiminde belli oranlarda kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Uçucu Kül:

Uçucu kül; termik santrallarda elektrik enerjisi üretimi esnasında yakıt olarak tercih edilen pulverize kömürün yakılması sonucunda yan ürün olarak elde edilir. Kalsiyum oksit, magnezyum oksit, demir oksit ve karbon gibi maddelerin dışında çok yüksek miktarda alümina ve silika içeren bir yapıya sahiptir (Erdoğan ve Erdoğan, 2007). Uçucu külün rengi koyu gri olup, ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyuluğu açıklığı, üretildiği kömürün cinsine ve yanış özelliğine bağlıdır. İyi bir yanma sonucu oluşan uçucu külün rengi açıktır. Yanmanın tam olmadığı durumda uçucu külün rengi

siyahtır. Bu rengi uçucu küle içindeki yanmamış karbon vermektedir (Güler ve ark., 2005).

Uçucu külün inceliğine etki eden ilk faktör, kazana verilen kömürün öğütülme derecesidir. İkinci faktör ise küllerin bacadan kaçmasına mâni olarak tutulmasını sağlamaktır. Kısaca bacadan kaçan kül miktarı azaldıkça incelik artar. Kül partiküllerin tane boyu ise 0.5-150µ arasında olup, camsı ve küresel karakterdeki parçacıklardır.

Spesifik yüzeyleri 1800-5000 cm²/gr arasında değişim gösterirken, ortalama 2800 - 3800 cm²/gr civarındadır. Uçucu külün yoğunluğu; inceliğine ve mineralojik yapısına bağlıdır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2,2-2,7 gr/cm² arasındadır (Güler ve ark., 2005).

Uçucu kül diğer puzolanik maddeler gibi, Ca(OH)₂ ile tepkimelerinde hidrolik bağlayıcı bir nitelik kazanmaktadır. Diğer yandan karbon kalıntılarını da içermesi muhtemeldir. Bu sebeple beton ve çimento mukavemetlerine negatif yönde etki eder. Uçucu kül ne kadar büyük ve spesifik bir yüzeye sahip ise o kadar yüksek reaktivitesi olmaktadır (Şafak, 2014).

İlk zamanlarda uçucu külün genel yapısı ile birlikte kullanım alanlarına yönelik yapılan çalışmalar, zaman içinde laboratuvar ortamları ve arazi çalışmalarında yapılan analizler sonucunda uçucu külün inşaat alanında özellikle yol yapımında tercih edilmesinin, termik santrallerde atık malzeme olan uçucu külün uzaklaştırılması sorununa çözüm olacağı açığa kavuşmuştur. Yapılan çalışmaların sonucunda, uçucu külün özellikle zemin stabilizasyonunda, yol yapımında, ayrıca dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde kullanılması ön görülmüştür. Uçucu küller dünyada çimento ve beton olarak; köprü ayakları, baraj duvarları, maden ve diğer yapı elamanlarının dolgu enjeksiyonlarında, tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında, agrega olarak köprü, otoyol, briket ve yol yapımında vb. alanlarda kullanılmaktadır (Güler ve ark., 2005).

Silis dumanı:

Silisyum metali veya silisyum metalli alaşımlar, yüksek aralıktaki kuvarsın tahmini 2000 °C sıcaklıkta indirgenmesiyle oluşur. Bu işlem sırasında büyük kısmı SiO'dan oluşan gazlar çıkmaktadır.

Gaz halindeki SiO'nun fırının nispeten soğuk bölgesinde hava ile teması sonucu çok hızlı bir şekilde yoğunlaşır ve gazın içerisindeki SiO, amorf yapıya sahip SiO₂ halini alır. Bu sebeple, tanecikler 0.1 µm- 0.2 µm boyutunda atık malzemeler elde edilir. %85- %98 oranında silika bulunduran, amorf yapıda olan atık malzemeyi “yoğunlaştırılmış silis dumanı” veya “silis dumanı” denilir. Bu malzeme, “mikrosilika” veya “silika tozu” ve “silika füme” gibi adlarla bilinmektedir. (Erdoğan ve Erdoğan , 2007).

Yüksek Fırın Cürufu:

Amorf yapıya sahip olan ve büyük miktarda SiO₂ ve Al₂O₃ içeren yüksek fırın cürufu, öğütülerek çok ince taneli yapıya getirildiği taktirde, doğal puzolanlar ile uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzeyen nitelikler gösterir. Ayrıca, yüksek miktarda CaO içermesi sebebiyle, öğütülerek elde edilen yüksek fırın cürufunun kendisinin de bir miktar bağlayıcı özeliği bulunmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

Shaikh'a (2013) göre, uçucu külün cüruf külünden daha ince tanecik boyutlu olmasından kaynaklı yüksek reaktivitesi nedeniyle avantajlı olduğu düşünülmektedir.

Pirinç kabuğu külü:

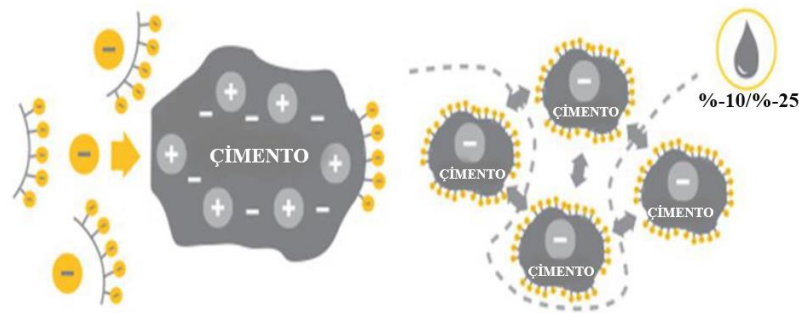
Pirinç, çeltik bitkisinden elde edilen kapçıklı tane ürününün çeltik üretim tesislerinde işlenmesi ile, pirinçlerin üzerindeki kabuklardan ve çeltik saplarından ayırt edilmesi sonucu oluşur. Pirinç üzerinde iki kabuk bulunmaktadır. Birinci kabuk, ince bir zar şeklinde pirincin etrafını sarmakta ve sarımsı renkte olup kepek diye adlandırılmaktadır. Besleyici olup, bazen pirinç tanelerinin üzerinde bırakılır ama genel olarak hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. İkinci kabuğa kapçık veya kavuz denilmektedir. Bu kabuk pirinç tanelerinin en dış kısmındaki kabuktur. Çeşitli organik ve inorganik bir yapıya sahip olan bu kabuk, yüksek oranda (%92- %93) silika içerir. Bir ton pirinç üretiminde ortalama 200 kg (%20) kadar pirinç kabuğu elde edilir

(Erdoğan ve Erdoğan, 2007). Sanayide koku ve renk giderici olarak tercih edilmesinin sebebi aktif karbon absorpsiyon özelliğinin yüksek olmasından kaynaklıdır. Yapı malzemesi olarak hafif beton üretiminde hafif agrega olarak kullanılmaya uygundur (Sadıç, 2008).

1.1.4.10 Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri

Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri, karışım suyu oranlarında herhangi bir değişiklik yapmadan beton kıvamını arttırmaya veya beton kıvamını sabit tutarak karışım suyunu azaltan maddelerdir. Akışkanlaştırıcı katkıları sırasıyla ligno, melamin ve naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcılar ve son olarak polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcılarıdır. Bu akışkanlaştırıcılar, hedeflenen amaca yönelik olarak betonda kullanılmaktadır (Felekoğlu ve ark., 2004).

Naftalin sülfonat ve melamin gibi akışkanlaştırıcıların içeriğindeki SO_3 , çimento parçacıklarının yüzeyinde negatif elektrik yük meydana getirecek elektrostatik itme kuvveti oluşturmakta ve böylelikle çimento parçacıkları arasındaki topaklanmayı oluşturmaktadırlar. COO-karboksil içerikli hiper akışkanlaştırıcılar ise elektrostatik itme kuvvetiyle beraber zincir üzerine oluşturulmuş yan dallar ile sterik etki de meydana getirmektedirler (Tandırılı ve ark., 2000). Şekil 3'te Kimyasal katkıların çimento tanecikleri üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 6. Kimyasal katkıların çimento tanecikleri üzerine etkisi (Putzmeister, 2018).

Akışkanlaştırıcılar, uygulamada su/çimento oranının azaltılması ile aynı işlenebilmeyi elde etmek, daha yüksek dayanım kazanabilmek ve çimento miktarının azalmasını

sağlayarak hidrasyon ısını düşürmek için kullanılmaktadır (Topçu vd., 2006). Kimyasal katkıları; su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları, yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları, su tutucu katkıları, hava sürükleyici katkıları, priz hızlandırıcı katkıları, sertleşmeyi hızlandırıcı katkıları, priz geciktirici katkıları, su geçirimsizlik katkısı, priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları, priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları olmak üzere farklı sınıflara ayrılmaktadır (TS EN 934-2, 2013)

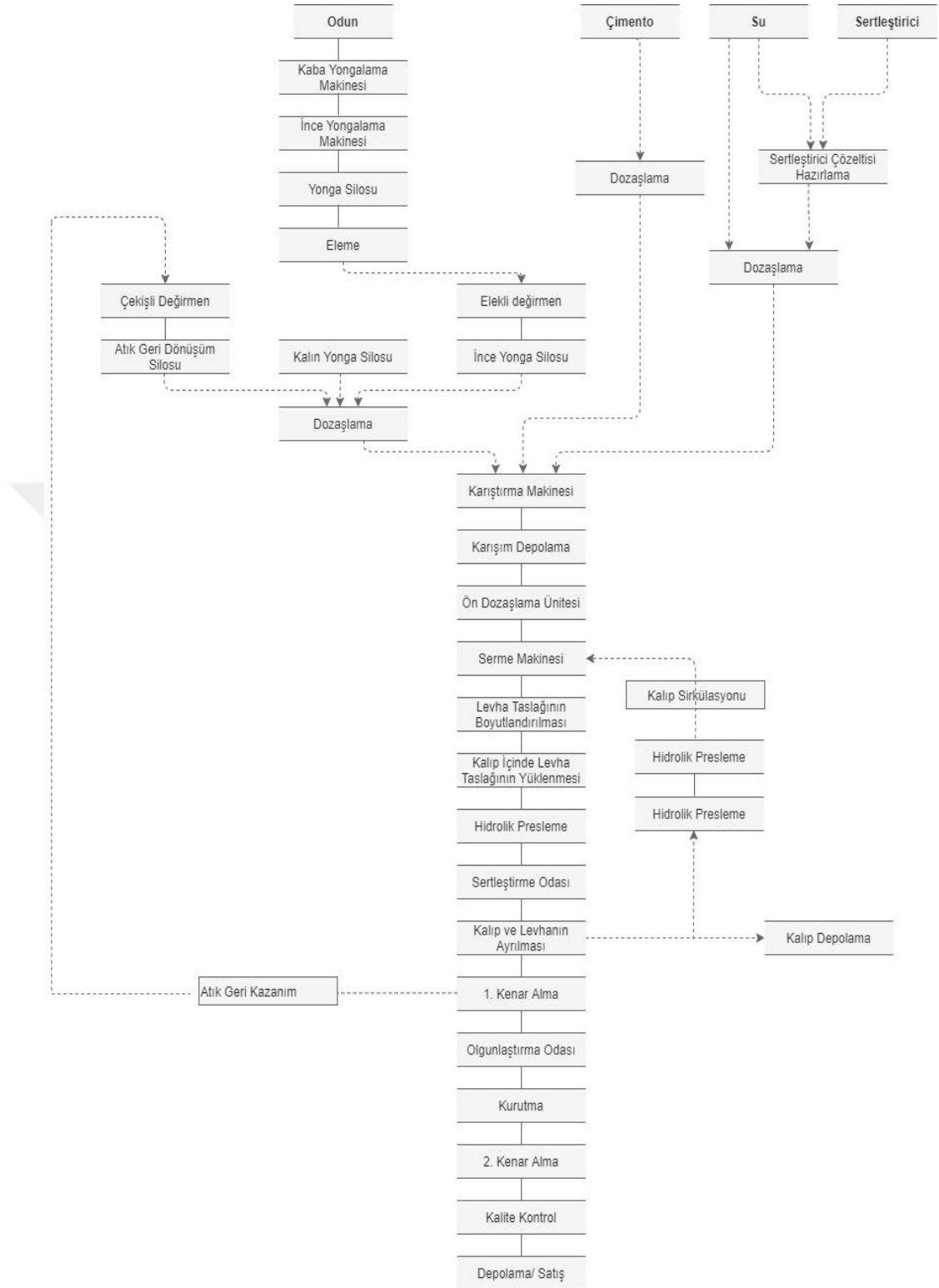
1.1.5 Çimentolu Yongalevhaların Üretim Akışı ve Teknolojik Özellikleri

Çimentolu yongalevhalar iki farklı şekilde üretilmektedir. Birincisinde levha üç tabakalı olacak şekilde üretilmekte ve tabakalar arasında ani bir geçiş bulunmaktadır. Yüzey tabakaları ince, orta tabaka ise kalın ve kaba yongalardan meydana gelmektedir. İkinci yöntem yani otomasyon sisteminde ise; tabakalar arasında geçiş tedricidir. En ortada en kalın yonga, en dışta (yüzey) ise en ince yonga olmaktadır. Yani levhanın orta kısmından her iki yüzeye doğru gidildikçe yonga kalınlığı küçülmektedir (Van Elten, 2006).

Çimentolu yongalevha üretiminin; karıştırma bölümünde yongalar ve çimento diğer kimyasallar ile birlikte su ile karıştırılır. Karıştırıcıda hazır hale gelen malzeme, karışım deposuna boşaltılır ve buradan eğimli bir konveyörle dağıtım makinelerine gönderilir. Daha sonra hazırlanan karışım serme makinesi yardımı ile 3 tabakadan oluşacak şekilde (ince-kaba-ince) kalıplar üzerine dağıtılır. Burada levhanın orta kısmına kaba, dış kısımlarına ise ince yongalar serilmektedir. Bu şekilde serme işlemi yapıldığından levhalarda istenilen pürüzsüz yüzey oluşur. Sermedeki bu kalite ağırlık kontrol sistemi yardımıyla sağlanmaktadır. Serme işleminden sonra levhalar boyutlanma aşamasında istenilen ebatlara ayrılır ve oluşan artıklar geri gönderilerek tekrar değerlendirilir. Presleme işlemi yapılan levhalar sertleşme odasına alınarak sertleşmesi sağlanır. Sertleşen levhalar kalıplardan ayrılarak 1. kenar alma işlemi yapılır. Bundan sonra levhalar olgunlaşma odasına alınır. Daha sonra kurutma işlemi yapılır, 2. kenar alımı ve kalite kontrol yapılarak depolanır. Levhaların rutubet miktarının 9 ± 4 olması istenir. Bundaki sebep levhaların kullanım yerindeki stabilitesini sağlamak istenmesindendir. Şekil 7’de tipik bir çimentolu yongalevha iş akışı şeması gösterilmektedir (Van Elten, 2006).

Çimentolu yongalevhalar, kontrplak gibi organik bağlayıcılı odun kompozitlerine kıyasla, boyut kararlılığı ve su alma değerlerinde daha istikrarlı olduğu tespit edilmiştir. Odun yongalarının, daha küçük boyutlarla kullanılacak bir organik hidrofobik bileşeni ile su alışverişinde minimum seviyelere inilebileceği ifade edilmiştir (Mougel ve ark., 1995).





Şekil 7. Çimentolu yongalevha üretimi iş akış şeması (Van Elten, 2006)

Çimentolu yongalevhaların çalışma oranı; ortamın bağıl nemi ile alakalı olup diğer levha türleri ve masife göre çok daha düşüktür. Ayrıca; böceklerle, mantarlara, yangına ve tüm dış hava şartlarına karşı dayanıklıdırlar. İç ve dış duvarlarda iyi bir ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadırlar. Yapısında diğer levhalarda olduğu gibi formaldehit, asbest gibi sağlığa zararlı maddeler bulundurmaz. İşlenmesi, boyanması ve montajı kolay olduğu için prefabrik yapılarda tercih edilen bir yapı malzemesidir. Ayrıca; farklı tasarımlara uygun oluşu, güneşin zararlı UV ışınlarına karşı ahşap yapılı malzemelere göre çok daha dayanıklı olması, fiyat uygunluğu sebebi ile dış mekân uygulamalarında tercih edilmektedir. Cam, granit, laminat, masif vb. mekanik montajlı dış cephe giydirme malzemelerine alternatif bir malzeme olarak lambalı dış cephe giydirme yalı baskı, komple dış duvar uygulamaları için de kullanışlı bir yapı malzemesidir. Üretimi esnasında yüksek teknolojiye ve kalifiye iş gücüne ihtiyaç duyulmamaktadır (Erten ve ark., 1994; Yel, 2015; Acar, 2019).

Çimentolu yongalevhalar mekanik olarak kolayca alet ve makinelerce işlenebilmektedir. Bu levhaların üzerine diğer normal levhalarda olduğu gibi kağıt, ağaç levha kaplanabilir veya vernik sürülebilir (Bozkurt 1982). Tablo 4’de Çimentolu yongalevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri gösterilmektedir (TS EN 634-2, 2009).

Tablo 4. Çimentolu yongalevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri (TS EN 634-2, 2009).

Özellikler	Standart Değerler
Yoğunluk (kg/m^3)	<1000
Kalınlık Artımı (%) (24 saat)	1,5
Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	9
Rutubet (%)	9 ± 3
Yıpratma deneyinden sonra çekme direnci (N/mm^2)	0,3
Yüzeye Dik Çekme Direnci (N/mm^2)	0,5
Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	Sınıf 1: 4500 / Sınıf 2: 4000
Yıpratma testinden sonra kalınlık artımı (%)	1,5

Çimentolu yongalevhaların yapısında önemli oranda bulunan odun-çimento miktarı; sahip oldukları karakterleriyle ürüne pozitif yönde özellikler kazandırmaktadırlar. Tablo 5’te çimentolum levhaların yapısını meydana getiren odun ve çimentonun pozitif nitelikleri verilmiştir (TS EN 634-2, 2009).

Tablo 5. Odun ve çimentonun olumlu özellikleri (TS EN 634-2, 2009).

Özellikler	Odun	Çimento
Isı Yalıtımı	+	
Ürün Maliyeti	+	
Yoğunluk	+	
Elastikiyet	+	
Makine ile Kolay İşlenebilirlik	+	
Mekanik Direnç	+	+
Biyolojik Zararlılara Karşı Dayanım		+
Rutubet Direnci ve Boyutsal Kararlılık		+
Yangına Karşı Direnç		+
Gürültü İzolasyonu	+	



Şekil 8. Japonya’da çimentolu yongalevha kullanılarak yapılan evler

İlk çimentolu yongalevha üretim tesisleri Batı Avrupa’da geliştirilmiş olmasına rağmen, Japon üreticiler ürünü geliştirmesiyle öne geçmiştir. Şekil 8’de Japonya’da çimentolu yongalevha ile inşa edilen iki farklı ev örneği görülmektedir. Japon hükümeti ülkede sık meydana gelen depremler ve ardından oluşan büyük çaplı yangınlardan doğan zararları minimize etmek için gerçekleştirdiği yasalarla; binaların dış cephesinin çimentolu yongalevhalarla kaplanmasını zorunlu hale getirmiştir (Van Elten, 2006).

1.2 Literatür Çalışması

Soroushian vd., (2004), çok miktarda tarımsal atıklı buğday samanı ve çimento esaslı inşaat malzemeleri kullanarak levha üretmiştir. Eğilme dayanımı oranı 4 MPa, yüzeye dik çekme direnci oranı ise 0,1-0,6 MPa olup 500 N/mm eğilme direnci belirlenmiştir. Çimentolu saman levhaların dayanıklılığının yüksek ve potansiyelinin fazla olduğu

sonucuna varmışlardır. Bu levhaların hidratasyonu üzerindeki olumlu etki sağlamasından dolayı çok yönlü bir bina elamanı olarak sektörde aranan bir yapı malzemesi olmasını sağlamıştır.

Xu ve ark. (2005), odunun ve tarımsal artıkların çimento ile uyumunu geliştirmek için çimento-su karışımına püskürtme yöntemi ile priz hızlandırıcısı ekleyerek, priz hızlandırıcısının erken hidrasyona sebep olduğunu bulmuşlardır. Bu sebeple, inorganik malzemeler odun-çimento kompozitlerinin mekanik özelliklerini ve su varlığında boyutsal stabilitesini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Aslan (2007), çimentoya ikame olarak içme suyu arıtma çamuru kullanarak çimentolu yongalevhalar üretmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, levhaların rutubet miktarlarının %10,3-11,9 arasında, kalınlıkta şişme oranlarının %15, su alma miktarlarının ise %15,83 - 19,65 arasında olduğunu belirlemiştir. Çimentolu yongalevhaların fiziksel özellikleri standart değerleri karşılarken, mekanik özellikleri ise standart değerleri karşılamadığı sonucuna varmıştır. Fakat uygulanan ön işlemler sonucunda levha gruplarının bazıları standartlara uygun sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Ayrıca atık kullanım miktarındaki artış levha özelliklerinde azalmaya sebep verdiğini tespit etmiştir.

Noor Azrieda ve ark. (2009), 6 ağaç türünün hidratasyon oranını, çimento ile uyumluluğunu ve priz hızlandırıcılarının odun-çimento-su karışımına etkilerini belirlemiştirler. Odunun içindeki ekstraktların çimentonun hidratasyon oranını etkilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca priz hızlandırıcısı olarak $MgCl_2$ ve $CaCl_2$ eklemişlerdir. Bu kimyasalların iyi tepkimeye girerek karışımın priz süresini iyileştirdikleri tespit edilmiştir. Wei ve ark. (2002), $MgCl_2$ 'nin odun ekstraktiflerinin olumsuz etkilerini önlemek için etkili bir priz hızlandırıcısı olduğunu tespit etmişlerdir. Bozulmuş polisakkaritlerin çimentonun yerleşmesini engelleyen ana faktör olduğu sonucuna varmışlardır.

Güntekin, (2009), yapmış olduğu çalışma sonucuna göre yoğunluğun ve kullanılan bağlayıcı oranının artırılması genellikle mekanik özellikleri önemli düzeyde arttırdığını rapor etmişlerdir. Lif/çimento oranındaki artış elastikiyet modülünü önemli ölçüde düşürürken, eğilme direnci, kalınlığına şişme ve su alma değerlerini önemli oranda arttırdığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre

kızılçam lifleri kullanılarak üretilen çimentolu lif levhalar dış ortamda kullanılmaya uygun olduğu tespit edilmiştir.

Karade (2010), yaptığı çalışmada lignoselülozik atıkların çimentolu yongalevha üretiminde kullanımı araştırmıştır. Yapılan fiziksel test sonuçlarında; su alma oranını %12,5-14,5 ve kalınlıkta şişme oranını %0,1-%2 arasında tespit etmiştir. Mekanik test sonuçlarında ise; eğilme dayanım değerini 9,00 MPa-18,00 MPa, elastikiyet modülü değerini ~~0,1~~ 3,0 GPa- 11,00 GPa arasında olduğunu rapor etmiştir.

Christy ve Tensing (2010) çimentoya ikame olarak %10, %20, %25 ve %30 oranında uçucu kül kullanarak ürettikleri beton özelliklerinde, %20'ye kadar silis dumanı kullanmışlar ve önemli iyileşmeler elde etmişlerdir.

Lie ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada buğday sapı ve Portland çimentosu karışımına çimento ağırlığının %10'u miktarında uçucu kül ekleyerek çimentolu levha üretmişlerdir. Uçucu külün levhanın direnç değerlerini olumlu yönde artırdığını rapor etmişlerdir.

Ahmaruzzaman (2010), kalsiyum hidroksit ile reaksiyona giren uçucu kül, çimento esaslı bileşiğin stabil hale geldiğini ve bunun korozyona karşı direncini pozitif yönde artırdığını belirtti.

Subaşı ve ark. (2011), çimentoya farklı oranlarda (%5, %10 ve %20) uçucu kül katılarak elde ettikleri betonları 100, 200, 300, 400, 500 ve 600 °C sıcaklıklara maruz bırakarak dayanımlarını ölçmüşlerdir. %5 oranında uçucu kül kullanılması ile çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde olumlu yönde iyileşmeler sağlandığını, %10'a kadar uçucu kül kullanılmasıyla çimento harçlarının yüksek sıcaklık etkisinden daha az zarar gördüğünü belirlemişlerdir.

Binici ve ark. (2012), yapmış olduğu çalışmada pamuk atıkları, uçucu kül ve barit ile üretilen yongalevhaların ses yalıtımının, ısı iletkenliğinin ve radyoaktivitesinin araştırmasını yapmışlardır. Pamuk atığı ve uçucu kül kullanımı suntaların mühendislik özellikleri üzerinde olumlu yönde etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Binici ve Aksoğan (2017), yapmış oldukları çalışmada uçucu kül, ponza, perlit, barit, çimento ve alçıtaşı ile birlikte soğan derisi ve yer fıstığı kabuğu liflerinin yalıtım

malzemesi olarak uygunluğunu incelemişlerdir. Uçucu kül ve barit katkı numunelerin birim ağırlıklarının daha yüksek olduğu, su alma seviyelerinin diğerlerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Dönmez Çavdar ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada ladin planya ve kâğıt fabrikası çamurunun çimentolu yongalevha üretimindeki kullanımı araştırılmıştır. Üretilen levhaların eğilme direncini 9,13 MPa -14,7 MPa, eğilmede elastikiyet modülünü ise 4000MPa –6492MPa olarak tespit edilmiştir. Levhaların kalınlık artımı oranları, gri çamurla üretilen levhalarda %4,78- 15,63, siyah çamur ile üretilen levhalarda ise %3,39-12,94 olarak tespit edilmiştir. Su alma oranları gri çamurla üretilen levhalarda %0,58- %0,90, siyah çamur ile üretilen levhaların oranları ise %1,32 -5,05 olarak tespit edilmiştir.

Mendes ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada çam, okaliptüs, şeker kamışı küspesi ve bambunun çimentolu levha üretimindeki kullanımını araştırmışlardır. Üretilen levhaların eğilme direnci 9 MPa, eğilmede elastikiyet modülü 3000 MPa – 4500 MPa ve yüzeye dik çekme direncinin 0.5 MPa olduğunu belirtmişlerdir. Levhaların kalınlık artırım oranları %1,2- 1,8, su alma oranları %0,51- 0,92 olarak bulunmuştur.

He ve ark. (2017), pulverize yakıt külü ve CO₂ kürünün, magnezyum oksiklorür çimentosunun (MOC) su direncine etkisini araştırmıştır. Toz haline getirilmiş uçucu kül (PFA) ve yakılmış atık su çamuru külü (ISSA) gibi ek çimentolu malzemelerin (SCM'ler) dahil edilmesinin, PFA / ISSA ile reaksiyonu nedeniyle üretilen amorf faz olarak MOC'nin su direncini önemli ölçüde artırabildiğini tespit edilmiştir.

Aykanat (2018), çimento bağlayıcılı odun lifli levha üretiminde pirinç kabuğunun lifsi yapısının eğilme dayanımını arttırdığı ve elastikiyet modülün yüksek olmasına katkıda bulunduğunu tespit etmiştir.

Chen ve ark. (2020), reaktif magnezyum çimentolu yongalevhada yeşil alternatiflerin ve karbondioksit kürünün etkinliğini incelemiştir. Mekanik özellikleri iyileştirmek ve karbon ayak izini azaltmak için yeşil alternatifler ve karbondioksit kürü kullanılmıştır. Spektroskopik ve termogravimetrik analizler, toz haline getirilmiş

uçucu kül ve yakılmış atık su çamuru külünün değiştirilmesinin puzolanik benzeri reaksiyon yoluyla magnezyum silikat hidrat jeli üretimini desteklediğini göstermiştir.

Yel ve ark. (2020), yapmış oldukları çalışmada farklı pres sıcaklığının ladin ve kavak odunundan üretilen çimentolu yongalevhanın bazı özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çimentonun hidratasyon reaksiyonu sırasında uygulanan pres sıcaklığının çimentolu yongalevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve bu etkinin ağaç türlerine göre değişiklik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Fiziksel ve mekanik özellikleri en iyi sonucu elde etmek için optimum pres sıcaklığı ladin ağacından üretilen levha için 60 C iken, kavak odunundan üretilen levhalarda ise 40 C'dir. Ayrıca, pres sıcaklığının 60 C'yi geçmesi durumunda, çimentolu yongalevhaların özelliklerinde ciddi düşüş meydana geldiğini rapor etmişlerdir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Ağaç Malzeme

Deneme levhalarının üretiminde; Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) kullanılmıştır. Ağaç malzeme; Trabzon Arsin Organize Sanayi Bölgesi'nde Yılmazlar Kerestecilik, Gündoğdu Mobilya ve Sözenler Orman Ürünleri firmalarından planya artığı şeklinde temin edilmiştir.

2.1.1.1 Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)

Gymnospermae'lerin Coniferae sınıfı, Pinaceae familyasının *Picea* cinsine dâhil olan Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) yaklaşık 322.857 hektarlık bir alanda yayılış göstermekte ve bu geniş yayılış alanı ile doğu ladini ülkemiz ormanlarının yaklaşık %1,45'lik kısmını oluşturmaktadır (OGM, 2015). Doğu Ladini 40-50 m, boy yapan, bazen 60 m kadar ulaşabilen, 5-2,0 metre çap yapabilen herdem yeşil bir ağaçtır. Sivri tepeli, dolgun ve düzgün gövdeli asli orman ağaç türlerimizdendir. Kabuk, genç gövdelerde açık renkli düzgün bir görüme sahipken, yaşlı gövdelerde koyu renkli ve çatlaklı bir yapıya sahiptir. Dallar çevresel olarak sık bir şekilde tüm gövdeye yerleşmiştir. Genç sürgünler ince, açık renkli ve tüylüdür. Tomurcukları kahverengi sivri ve reçinesizdir (Anşin ve Özkan, 2006; Erkuloğlu, 1989).

Kafkasya ve Kuzeydoğu Anadolu'nun sahil kesimlerinde doğal olarak yayılım göstermektedir. Ülkemizdeki yayılımı Türkiye-Gürcistan sınırından başlayarak batıda Ordu ili yakınlarında ki Melet ırmağı ile son bulmaktadır. Bu kesimde dağların çoğunlukla denize dönük kuzey yamaçlarında görülmektedir. Harşit ve Çoruh vadileri gibi deniz ikliminin etkilerini iç kesimlere kadar ulaştırabildiği büyük vadiler boyunca yine kuzey yamaçlarda meşcerelere rastlamak mümkündür. Doğu Ladini ülkemizde hem saf halde hem de *Pinus sylvestris*, *Abies nordmanniana* ve *Fagus orientalis* gibi türler ile karışık orman alanları oluşturmaktadır. Çoğunlukla 900-1500 m arasında karışık; 1500-2400 m arasında saf ormanlar kurmaktadır (Anşin ve Özkan, 2006).

Doğu Ladininin odunu; kolay ve temiz bir biçimde işlenebilir. Planya, zımpara ve vernikleme yoluyla yüzey işlemine tabi tutulup yumuşak dokulu, çekici parlak bir görünüm verir. Tutkallamada sorun çıkarmaz, vida ve çivi tutma özellikleri iyi olan bir türdür. Uzun lifli yapısından ötürü özellikle kâğıt ve selüloz üretiminde tercih edilmektedir. Yapı kerestesi olarak çatıda, taban ve taban döşemesi olarak kapı pencere doğramaları ile bunların kasa pervazlarında, iç dekorasyon, mobilya üretiminde, inşaat sektöründe, iskele malzemesi ve kalıp tahtası olarak kullanılmaktadır (Anşin, 1998). Doğu ladinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait bilgiler Tablo 6’da verildiği gibidir.

Tablo 6. Doğu ladini odunun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Anşin, 1998)

Fiziksel özellikleri	
Tam kuru özgül ağırlık (δ_0)	0,416 g/cm ³
Hava kurusu özgül ağırlık (δ_{12})	0,451 g/cm ³
Yoğunluk değeri (γ)	750-850 kg/m ³
Radyal yönde daralma (β_r)	%3,878
Teğet yönde daralma (β_t)	%7,147
Hacmen daralma (β)	%11,207
Mekanik Özellikleri	
Basınç direnci (σ_B)	390,68 kg/cm ²
Eğilme direnci (σ_E)	707,03 kg/cm ²
Elastikiyet Modülü (E.mod)	10528 kg/cm ²
Çekme direnci ($\sigma_{\text{ç}}$ //)	875,5 kg/cm ²
Makaslama direnci (σ_M)	63,52 kg/cm ²
Dinamik eğilme (σ_{DE})	0,393 kg.m/cm ²
Radyal yönde brinell sertlik (BS //)	1,47 N/mm ²
Teğet yönde brinell sertlik (BS $\perp$)	1,28 N/mm ²
Radyal yönde yarılmaya direnci (σ_{yr})	3,90 N/mm ²
Teğet yönde yarılmaya direnci (σ_{yt})	4,61 N/mm ²

2.1.2 Çimento

Tez çalışmasında CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R Portland çimentosu kullanılmış olup, Trabzon Aşkale Çimento Sanayi Tic. A.Ş.’den fabrikasından temin edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 7’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan çimento TS EN 197-1-2013 standartlarını sağlamaktadır. Çimentonun bazı özellikleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Levha üretiminde kullanılan çimentonun bazı özellikleri (URL-13)

Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler	
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	4.35	Su ihtiyacı (%)	30.23
Kalsiyum oksit (CaO)	56.39	İncelik (45 μ m elek üstü, %)	8.70
Demir oksit (Fe_2O_3)	3.02	Özgöl Ağırlık (g/cm^3)	2.91
Silisyum dioksit (SiO_2)	16.87	Priz Başı (Saat-dk)	2sa-47dk
Magnezyum oksit (MgO)	1.97	Priz Sonu (Saat-dk)	3sa-34dk
Kükürt trioksit (SO_3)	2.39	Hacim genleşmesi (mm)	0.43
Sodyum oksit (Na_2O)	0.22		
Kızdırma kaybı	13.61		
Potasyum oksit (K_2O)	0.63		
Klor (Cl)	0.0153		
Ölçülemeyen	0.5347		

2.1.3 Uçucu Kül

Çalışmada ARES Çimento İnşaat Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketinden (Seyitömer Üretim Tesisi, Kütahya) temin edilen uçucu kül kullanılmış olup, kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 8’de verilmiştir. Uçucu kül, çimento ağırlığına oranla karışımlara çimento ile ikame edilerek kullanılmıştır.

Tablo 8. Uçucu külün kimyasal bileşeni ve fiziksel özellikleri (URL-14)

Kimyasal İçeriği	Mik. (%)	Fiziksel Özellikler	Mik.
Silisyum dioksit (SiO_2)	54.49	İncelik (90 μ m elek üstü, %)	3.2
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	20.58	İncelik (45 μ m elek üstü, %)	47
Demir oksit (Fe_2O_3)	9.27	Özgöl ağırlık (g/cm^3)	2.13
Kalsiyum oksit (CaO)	4.26	7 günlük puzolonik aktivite (%)	83
Magnezyum oksit (MgO)	4.48	28 günlük puzolonik aktivite (%)	91
Sülfat (SO_3)	0.52	90 günlük puzolonik aktivite (%)	100
Potasyum oksit (K_2O)	2.01		
Sodyum oksit (Na_2O)	0.65		
KK	3.01		
Klorür (Cl ⁻)	0.0058		

TS EN 197-1 standardına göre, Seyitömer uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10’un altında olması nedeniyle, V sınıfı (silissi uçucu kül) kapsamına girmekte ve reaktif silis miktarının %25’in üzerinde olması nedeniyle V sınıfı uçucu kül için istenilen koşulları tamamen sağlamaktadır. ASTM C 618 standardına göre ise, Seyitömer uçucu külü, $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ miktarının %70’in üzerinde ve kalsiyum oksitin (CaO) %10’dan az olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına girmektedir.

2.1.4 Kalsiyum Klorür (CaCl_2)

Beyaz, kristalimsi yapıda bir bileşik olan kalsiyum klorür çok higroskopik bir madde olup, katı halde piyasadan temin edilmiştir (Şekil 5). Suda çözünürlüğü iyi olan kalsiyum klorür, oda sıcaklığında katı bir tuz yapısına sahip olup, higroskopik bir yapıda olması nedeniyle hava almayan kuru ortamlarda saklanmalıdır. Kalsiyum klorür, kireç taşından üretilmektedir. Ayrıca, Solvay (Soda üretimi) yöntemi sonucunda da yüksek miktarlarda yan ürün olarak da elde edilebilmektedir. Kalsiyum klorür, odun-çimento uyumsuzluğunun giderilmesi amacıyla %10'luk çözelti halinde karıştırılarak kullanılmıştır. Tablo 9'da kullanılan kalsiyum klorüre ait fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir.



Şekil 9. Farklı tane boyutlarında kalsiyum klorür örneği

Tablo 9. Kalsiyum klorür (CaCl_2) fiziksel ve kimyasal özellikleri (URL-15)

Fiziksel ve kimyasal özellikleri	
Fiziksel Görünüş	Kristal
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
Yoğunluk (20°C'de)	~ 1,85 g/cm ³
Çözünürlük (20°C'de)	~ 1000 g/l
Parlama Noktası	Yanıcı değil
Erime Noktası	176 °C
pH (20°C'de)	~ 4,5-8,5 (50 g/LtH ₂ O)

2.2 Yöntem

2.2.1 Deney Örneklerinin Hazırlanması

Tez çalışmasında kullanılan planya artıklarının yongalama ve eleme işlemleri KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneme levhalarının üretimi AÇÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney örneklerinin hazırlanması AÇÜ Mobilya ve Dekorasyon Atölyesi'nde, levhaların testleri ise AÇÜ Bilim Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

2.2.1.1 Yongalama

Trabzon Arsin Organize Sanayi Bölgesi'ndeki fabrikalardan temin edilen Doğu ladini planya artıkları, çimentolu yongalevha üretimine uygun hale getirmek için Robert Hildebrand marka, 6 çekiç ve 16 bıçaktan oluşan bıçak halkalı ince yongalama makinesinde öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

2.2.1.2 Eleme

Algemaier marka dairesel hareket yapan 4 kademeli elek makinesi ince yongalama makinesinden çıkan yongaları tasnif etmek için kullanılmıştır. Eleme işleminden sonra gözenek genişliği 3 mm olan eleğin üzerinde kalan yongalar tekrar yongalanmak üzere ince yongalama makinesine konulmuştur. 3 mm elekten geçen ve 0,5 mm elek üzerinde kalan yongalar çimentolu yongalevha üretiminde kullanılmak üzere depolanmıştır. Elek altındaki tozlar ise üretime dâhil edililmemiştir.

2.2.1.3 Yongaların Kurutulması

Eleme sonucunda elde edilen yongalar laboratuvar ortamında temiz bir alanda hava kurusu rutubete (%12) gelene kadar yere serilerek doğal kuramaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi gerçekleşene kadar yabancı maddelerin yongaların içine karışmamasına özen gösterilmiştir. Hava kurusuna ulaşan yongalar üretime kadar muhafaza edilmiştir.

2.2.1.4 Sertleştiricilerin Hazırlanması

Piyasadan katı halde temin edilen kalsiyum klorür (CaCl_2) sertleştiricisi, tüm levhalar için çimento ağırlığının %5'i oranında kullanılmıştır. Sertleştirici, su içerisinde tamamen çözününceye kadar karıştırılarak %10'luk çözelti hazırlanmış ve üretime bu şekilde ilave edilmiştir.

2.2.1.5 Su Miktarının Hesaplanması

Levha üretiminde kullanılacak su miktarı Simatupang (1979)'da geliştirilen ve birçok araştırmacı tarafından kullanılan aşağıdaki 1 nolu formül yardımıyla hesaplanmıştır. Sertleştirici çözeltisinde kullanılan su miktarı ise formülden elde edilen değerden çıkarılmıştır.

$$W = 0.35C + (0.30 - MC) W \quad (1)$$

Burada;

W: Su miktarı (lt)

C: Çimento ağırlığı (kg)

W: Fırın kurusu odun ağırlığı (kg)

MC: Odunun rutubet miktarı (%)

2.2.1.6 Karıştırma İşlemi

Yongalar ilk önce karıştırma işleminde kullanılacak toplam su miktarının 1/2'si ile ıslatılarak yonga rutubetinin %30'a ulaşması sağlanmıştır. Daha sonra uçucu kül (kullanılan levha grupları için) çimento ile homojen bir şekle gelene kadar karıştırılmış ve yongaların bulunduğu kaba ilave edilmiştir. Tablo 10'da deneme levhalarının üretim koşulları verilmiştir.

Odun ve çimentonun homojen bir şekilde karıştırılmasından sonra %10'luk çözelti halinde bulunan sertleştirici karışıma ilave edilerek homojen bir yapı alıncaya kadar karıştırılma işlemine devam edilmiştir.

Tablo 10. Deneme levhalarının üretim koşulları

Levha ve Üretim Koşulları	Değerler
Hedeflenen Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1,2
Boyutlar (genişlik x uzunluk x kalınlık, mm)	450x450x10
Orta Tabaka/Dış Tabaka Oranı	Tek tabaka
Sertleştirici (% , çimento oranla)	5
Odun-Çimento Oranı	1/3
Uçucu Kül İkame Oranı (% , çimento oranla)	5, 10, 15, 20
Pres Basıncı (kg/cm ²)	18-20
Pres Sıcaklığı (°C, ilk 8 saat için)	60
Presleme Süresi (saat)	24

2.2.1.7 Levha Taslağının Hazırlanması (Serme İşlemi)

Hazırlanan karışımların serilmesi için 45x45 cm ebatlarında bir şekillendirme çerçevesi kullanılmıştır. Bu sebeple; 60x60 cm boyutlarındaki alüminyum pres saçları üzerine levhanın yapışmasını önlemek amacıyla yağlı kâğıt serilmiştir. Yonga-çimento-su karışımı, el ile homojen bir şekilde serilerek tek tabakalı çimentolu yongalevha taslağı oluşturulmuştur. Serme işleminden sonra ön presleme işlemi ile yongaların belli oranda birbirine bağlanmaları sağlanmıştır. Şekillendirme çerçeveleri çıkartıldıktan sonra üstüne levhanın yapışmasını önlemek amacıyla yağlı kâğıt serilmiş ve daha sonra üzerine ikinci alüminyum pres sacı yerleştirilmiştir. İki pres sacı arasındaki genişlik 10 mm olacak şekilde kalınlık takozu yerleştirildikten sonra levha taslağı sıcak preslemeye hazır hale gelmiştir.

2.2.1.8 Levha Taslağının Preslenmesi

Her levha tipinden 2’şer adet olmak üzere toplam 10 adet çimentolu yongalevha üretilmiştir. Levha taslakları, 60 °C sıcaklık ve 18-20 kg/cm² basınç şartlarında 8 saat presleme işlemine tabi tutulduktan sonra sıcaklık kapatılarak 16 saat süreyle aynı basınçta presleme işlemine devam edilmiştir.

2.2.1.9 Pres Sonrası İşlemler

Presleme işleminden sonra levhalar, çimento sertleşme reaksiyonu nedeniyle iklimlendirme odasında 28 gün bekletilerek tam olarak sertleşmesi sağlanmıştır. Ardından TS 647’ye göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem olan klima dolabında

yaklaşık bir hafta bekletilerek klimatize edilmiştir. Daha sonra; yapılacak deney boyutlarına uygun örnekler daire testere ile kesilmiştir. Deneme levhalarına ait üretim planı Tablo 11’de özet olarak verilmiştir

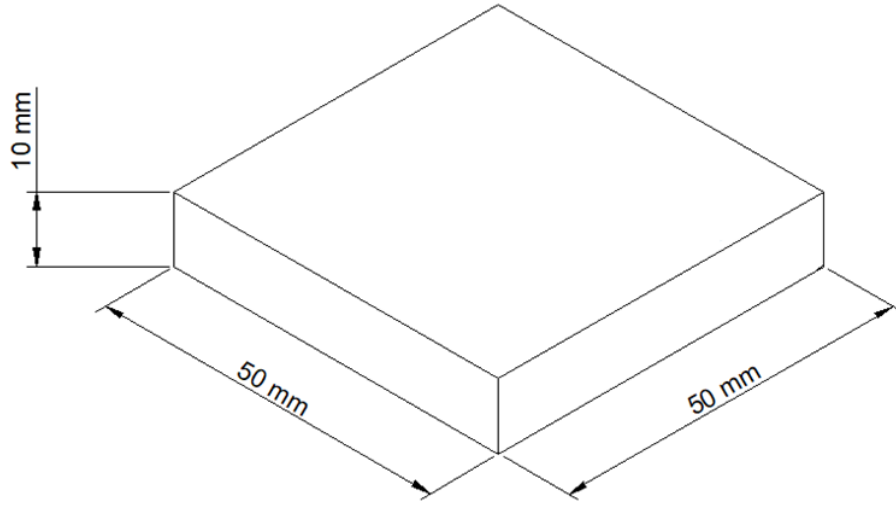
Tablo 11. Deneylerde kullanılacak levhaların üretim planı

Örnek Kodu	Ağaç Türü	Odun/Çimento Oranı	Sertleştirici (CaCl ₂) Miktarı (%)	Uçucu Kül Oranı (%)
F0 (Kontrol)				-
F5	Doğu Ladini	1/3	5	5
F10				10
F15				15
F20				20

2.2.2 Deney Levhalarına Uygulanan Testler

2.2.2.1 Rutubet Miktarı

Deneme levhalarının rutubet tayini, TS EN 322 (1999)’de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Bu amaçla hazırlanan 50x50x10 mm boyutlarındaki örnekler, $\pm 0,01$ g duyarlıktaki analitik terazide tartılmıştır (Şekil 10 ve Şekil 11). Tartılan örnekler daha sonra etüvde (Şekil 11) 101-105 °C’de değişmez ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve daha sonra tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Rutubet miktarı aşağıdaki 2 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 10. Rutubet miktarı tayininin belirlenmesinde kullanılan deney örneği

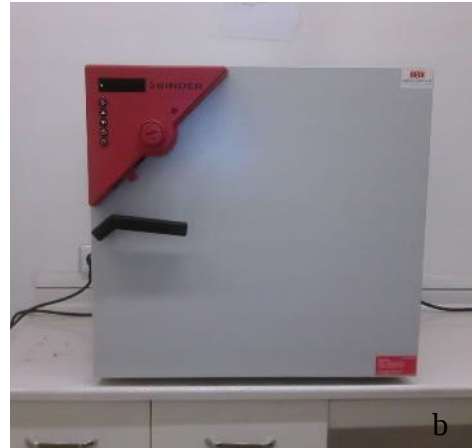
$$r = \left(\frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

r : Örneğin rutubet miktarı (%)

m : Klimatize edilmiş örnek ağırlığı (g)

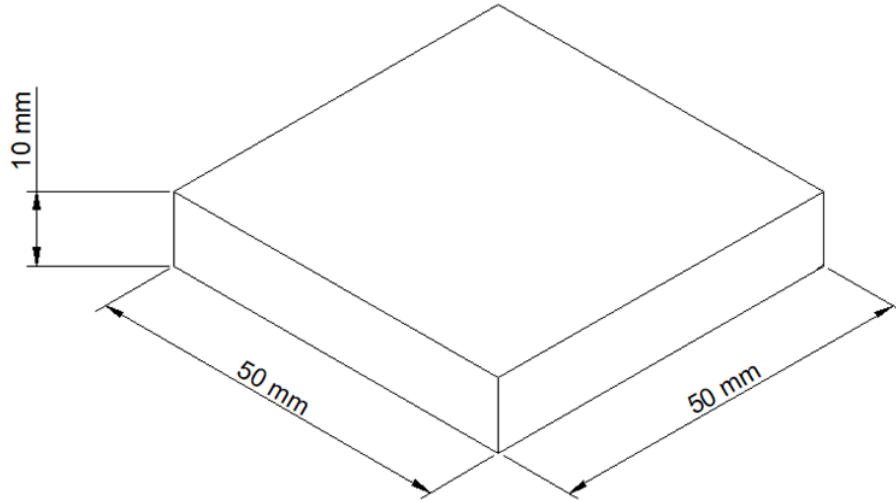
m_0 : Tam kuru haldeki örnek ağırlığı (g)



Şekil 11. Analitik terazi (a) ve etüv (b)

2.2.2.2 Yoğunluk

Deneme levhalarının yoğunluğunun belirlenmesinde TS EN 323 standardında belirtilen esaslar dikkate alınmıştır. Buna göre, 50x50x10 mm ölçülerinde hazırlanmış levha örnekleri (Şekil 8) 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl neme sahip iklimlendirme odasına konularak hava kurusu ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Hava kurusu ağırlığa ulaşan örneklerin ağırlıkları analitik terazi, kalınlıkları dijital mikrometre ve genişlikler ise dijital kumpas (Şekil 32) ile ±0.01 mm duyarlılıkla ölçülmüş ve hava kurusu haldeki yoğunluk değerleri aşağıdaki 3 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 12 Yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan deney örneği

$$\delta = \frac{m_r}{a_1 \times a_2 \times t} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

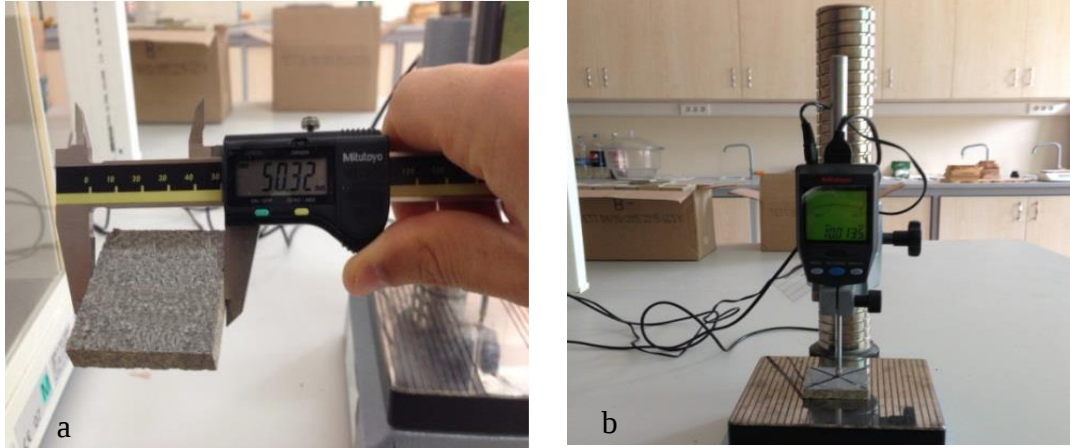
δ : Yoğunluk (g/cm³)

m_r : Hava kurusu ağırlık (g)

a_1 : Örnek genişliği (cm)

a_2 : Örnek uzunluğu (cm)

t : Örnek Kalınlığı (cm)



Şekil 13. Kumpas (a) ve mikrometre (b) ile yoğunluk örneklerinin boyutlarının ölçülmesi

2.2.2.3 Su Alma Miktarı

Su alma miktarının tayini, ASTM D1037 (2006), standardında belirtilen esaslar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 50x50x10 mm ölçülerinde hazırlanmış levha örneklerinin ağırlıkları, ± 0.01 gr duyarlıklı terazide belirlenmiştir. Ağırlıkları belirlenen örnekler daha sonra 2 ve 24 saat süre ile su yüzeyinin 25 mm altında kalacak şekilde 18-22 °C'deki temiz suya batırılmıştır. Bu işlem sonunda sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bez ile alınmış ve ağırlıkları analitik terazi ile belirlenmiştir. Su alma miktarı (SA) aşağıdaki 4 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%SA = \frac{M_y - M_k}{M_k} \times 100 \quad (4)$$

Bu eşitlikte;

SA : Su alma miktarı (%)

m_k : Örneğin ilk ağırlığı (g)

m_y : Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)

2.2.2.4 Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı

Kalınlık artış oranı tayini, TS EN 317 standardında belirtilen esaslara göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 50x50x10 mm ölçülerinde hazırlanmış levha

örneklerinin kalınlıkları ± 0.01 mm duyarlıklı mikrometreyle ölçülmüş ve 18-22 °C sıcaklıktaki temiz su içerisinde, su yüzeyinden 25 mm aşağıda olacak şekilde bırakılmıştır. 2 ve 24 saat geçtikten sonra sudan alınan örneklerin fazla suları bir bez yardımıyla alınmış ve ilk ölçülen noktada tekrar kalınlıkları ölçülerek kalınlık artışları (KA) aşağıdaki 5 nolu eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\%KA = \frac{e_y - e_k}{e_k} \times 100 \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

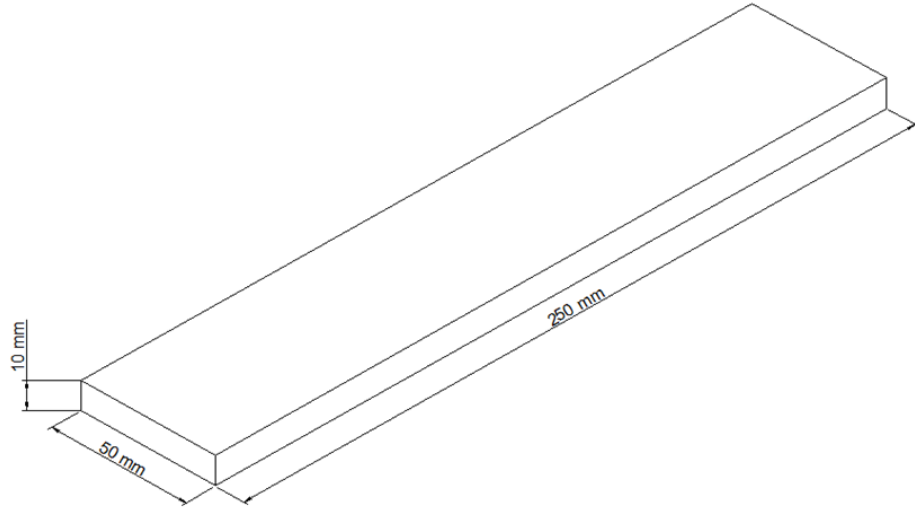
KA : Örneğin kalınlık artış oranı (%)

e_y : Su da bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

e_k : Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)

2.2.2.5 Eğilme Direnci

Eğilme direnci TS EN 317 standardında belirtilen esaslara uygun olarak Zwick/Roell Z050 universal test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 14, Şekil 15). Deneme levhalarından 250x50x10 mm ebatlarında deney örnekleri hazırlanmıştır. Sıcaklığı 18-22 °C ve bağıl nemi %60-70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilen örneklerin genişlikleri ve kalınlıkları sırasıyla $\pm 0,01$ mm duyarlıklı kumpas ve mikrometre ile belirlenmiştir. Kırılma yükleme anından itibaren 1-2 dk. içerisinde meydana gelecek şekilde universal test cihazındaki yükleme mekanizması 6mm/dk. hızla çalıştırılmıştır. Eğilme direnci, aşağıdaki 6 nolu eşitlikten yararlanılarak deney esnasında universal test makinesine ait bilgisayar programından otomatik olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. Eğilme Direncinin belirlenmesinde kullanılan deney örneği

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \times 100 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

Bu eşitlikte;

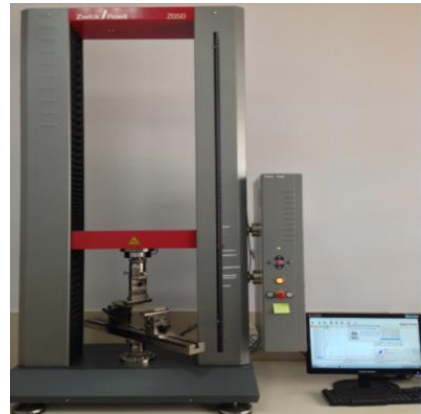
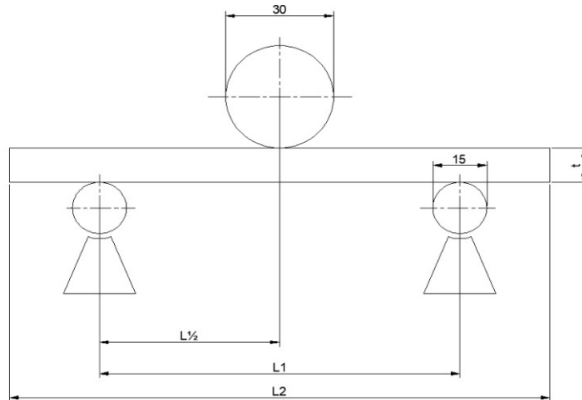
σ_e : Eğilme direnci (N/mm²)

F : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L : Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d : Örnek kalınlığı (mm)

b : Örnek genişliği (mm)



Şekil 15. Zwick/Roell Z050 üniversal test cihazı

2.2.2.6 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülü TS EN 310'da belirtilen esaslara uygun olarak Zwick/Roell Z050 universal test cihazında belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü testi için 250x50x10 mm ölçülerinde eğilme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney örnekleri kullanılmıştır. Levha örnekleri sıcaklığı 20±2°C ve bağıl nemi %65±5 olan iklimlendirme odasında sabit ağırlığa varıncaya kadar bekletilmiştir. Örneklerin genişliği dijital kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlığı ise yüklemenin yapılacağı hat üzerinde iki noktanın ortalaması alınarak ±0,01 mm duyarlıklı dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Universal test cihazında yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1-2 dk içerisinde gerçekleşecek şekilde 6 mm/dk hızla çalıştırılmıştır. Elastikiyet modülü, aşağıdaki 7 nolu eşitlikten yararlanılarak deney esnasında universal test makinesine ait bilgisayar programından otomatik olarak hesaplanmıştır

$$E = \frac{F \times I^3}{4 \times \Delta e \times b \times d^3} \times 100 \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

Bu eşitlikte;

E : Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

F : Deformasyon sağlayan kuvvet (N)

I : Dayanaklar arasındaki açıklık (mm)

d : Örnek kalınlığı (mm)

b : Örnek genişliği (mm)

Δe : Eğilme miktarı (sehim) (mm)

2.2.2.7 Yüzeye Dik Çekme Direnci

Yüzeye dik çekme direnci TS EN 319'da belirtilen esaslara uygun olarak Zwick/Roell Z050 universal test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 15). Bu amaçla, 50x50x10mm boyutlarında hazırlanan örnekler, sıcaklığı 20±2°C ve bağıl nemi %65±5 olan iklimlendirme odasında sabit ağırlığa varıncaya kadar bekletildikten sonra boyutları ±0,01 mm duyarlıklı kumpasla ölçülmüştür. Örneklerin her iki yüzüne sıcak silikon kullanılarak standartlara uygun alüminyum takozlar yapıştırılmıştır (Şekil 16). Takoza yapıştırılan örnekler yeniden klimatize edildikten sonra yüzeye dik çekme testi

yapılmıştır. Levha yüzeyine yakın olan kırılmalar hesaplara dâhil edilmemiştir. Yüzeye dik çekme direnci hesabı ($\sigma_{\text{çd}}$) aşağıdaki 8 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\delta_{\text{çd}} = \frac{F_{\text{max}}}{A} \quad (8)$$

Bu eşitlikte;

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

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

AI : Örnek enine kesit alanı (mm²)

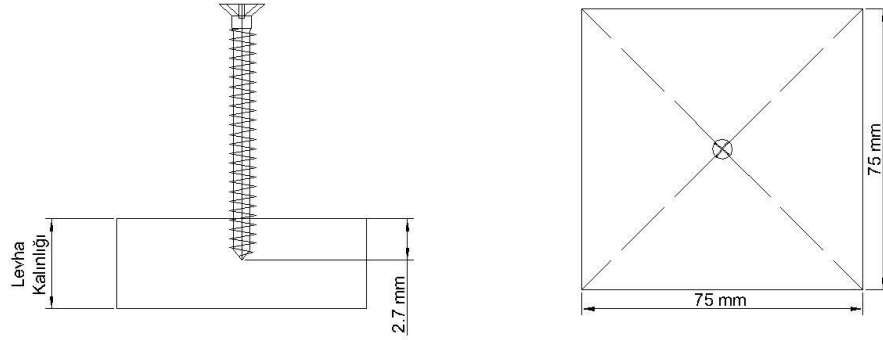


Şekil 16. Yüzeye dik çekme direnci deney düzeneği ve mum silikon

2.2.2.8 Vida Tutma Gücü

Vida tutma gücü, TS EN 320’de belirtilen esaslara uygun olarak Zwick/Roell Z050 universal test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 18) Deneme levhalarından 75x75x10 mm boyutlarında deney örnekleri levhalar hazırlanmıştır. Örneklerin yüzeyinden köşegenler çizilerek orta noktaları belirlenmiş ve matkap ile 2,7 mm çapında delik açılmıştır (Şekil 17). Daha sonra örnekler 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem şartlarına sahip iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiştir. Bunu takiben, TS 432-1 (EN ISO 1478) standardına uygun olarak 4.2x38 mm anma boyutu ve 1.4 mm vida adımına sahip olan saç vidası ile örnek kalınlığını geçecek şekilde daha önce delinmiş kısımdan, örnek yüzeyine dik şekilde vidalanmıştır. Daha sonra, universal test cihazında vidanın 10 mm/dk hızla çıkarılması

sağlanmış ve örneklerin vida tutma gücü aşağıdaki 9 nolu eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 17. Vida tutma gücünün belirlenmesinde kullanılan deney numunesi

$$W = \frac{F_{max}}{L} \text{ N/mm}$$

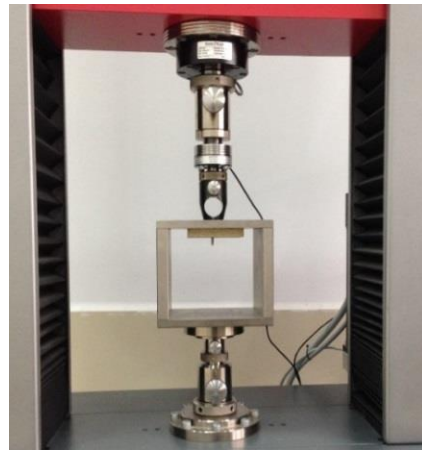
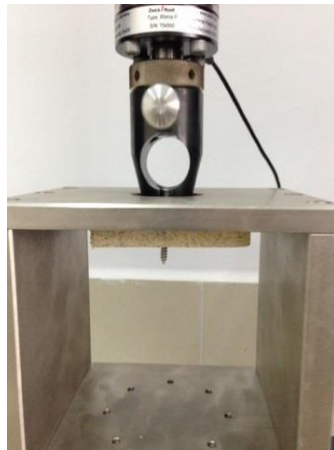
9

Bu eşitlikte;

W : Vida tutma gücü (N/mm^2)

F_{max} : Uygulanan maksimum kuvvet (N)

L : Örnek kalınlığı (mm)



Şekil 18. Vida tutma gücü deney düzeneği (Zwick/Roell- Z050)

2.2.2.9 Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizi (DTG)

Termogravimetrik analiz (TGA) örnek aralığının, zaman ve sıcaklığa bağlı olarak değişimin ölçümünü ifade etmektedir. TGA eğrilerinin zaman ve sıcaklığa bağlı birinci türevi alınarak DTG elde edilmektedir.

TGA/DTG analizinde kullanılacak levha örnekleri öncelikle küçük parçalara bölünmüş ve daha sonra Willey laboratuvar tipi değirmende 1mm boyutuna kadar öğütülmüştür. Daha sonra örnekler 103 ± 2 °C’de değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutularak paketlenmiştir. Analizler, Artvin Çoruh Üniversitesi, Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Enstrümantal Laboratuvarı’nda bulunan PerkinElmer STA 6000 Termogravimetrik Analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 19). Cihaz, oda sıcaklığından 900 °C’ye kadar dakikada 10 °C artacak şekilde ayarlanmıştır. Değerler cihazın ekranından doğrudan alınmıştır.



Şekil 19. PerkinElmer STA 6000 termogravimetrik analiz cihazı

2.3 İstatistik Yöntemler

Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla, ikiden fazla örnek ve bir faktör söz konusu olduğunda basit varyans, ikiden fazla örnek ve iki faktör söz konusu olduğunda ise çoğul varyans analizi kullanılarak değişkenlerin etkilerinin anlamlı olup olmadıkları belirlenmiştir. Etkilenmenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler Duncan testi ile karşılaştırılmıştır. Levhalara ait TGA/DTG analizi verilerine istatistiksel analiz uygulanmamış olup, ortalama değerlere ait

sonuçlar kullanılmıştır. İstatistik analizlerde SPSS 19 İstatistik Paket Programı kullanılmıştır.



3 BULGULAR

3.1 Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

3.1.1 Rutubet Miktarı

Deney numunelerinin rutubet miktarının belirlenmesine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayı değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Deneylerde kullanılan levhaların rutubet değerlerine ait bulgular (%)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	7,90	0,05	0,63
F5	8,51	0,39	4,58
F10	8,04	0,13	1,62
F15	8,38	0,25	2,98
F20	8,10	0,20	2,52

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

Çimentoya ikame olarak uçucu kül kullanımının, çimentolu yongalevhaların rutubet değeri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Uçucu külün levhaların rutubet değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	2,192	4	0,548	10,527	***
Gruplar içi	1,822	35	0,052		
Toplam	4,014	39			

***: $\alpha \leq 0.001$

Varyans analizi sonucuna göre, uçucu kül kullanımının deneme levhalarının rutubet miktarı üzerine etkisinin %0,1 yanılma olasılığı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. Uçucu kül kullanımının levhaların rutubet değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları

Levha Tipi	Homojenlik Grubu
F0 (Kontrol)	a
F5	b
F10	a
F15	b
F20	a

3.1.2 Yoğunluk

Deney örneklerinin yoğunluğuna ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Deneme levhalarının yoğunluk değerlerine ait bulgular (g/cm³)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	1,26	0,023	1,83
F5	1,25	0,017	1,35
F10	1,21	0,015	1,24
F15	1,17	0,027	2,31
F20	1,14	0,022	1,93

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

Çimentoya ikame olarak uçucu kül kullanımının, çimentolu yongalevhaların yoğunluk değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Uçucu külün levhaların yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	0,082	4	0,021	46,240	***
Gruplar içi	0,016	35	0,000		
Toplam	0,098	39			

***: $\alpha \leq 0.001$

Varyans analizi sonucuna göre, uçucu kül kullanımının deneme levhalarının yoğunluk değeri üzerine etkisinin %0,1 yanılma olasılığı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Yoğunluk değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. Uçucu kül kullanımının levhaların yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait Duncan test sonuçları

Levha Tipi	Homojenlik Grubu
F0 (Kontrol)	a
F5	a
F10	b
F15	c
F20	d

3.1.3 Su Alma Miktarı

Deney örneklerinin 2 ve 24 saatteki su alma miktarlarına ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18 . Deneme levhalarının su alma değerlerine ait bulgular (%)

Levha Tipi	2 saat			24 saat		
	$\bar{X}$	S	V	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	15,40	0,91	5.91	18,53	0,64	3.45
F5	15,64	0,88	5.63	20,06	0,53	2.64
F10	14,83	1,06	7.15	20,20	0,65	3.22
F15	16,51	1,41	8.54	22,25	1,23	5.53
F20	17,85	1,53	8.57	22,77	0,68	2.99

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

Uçucu kül kullanımı ve suda bekletme süresi faktörlerinin çimentolu yongalevhaların su alma değerleri üzerindeki etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Uçucu kül miktarı ve suda bekletme süresinin levhaların su alma değerleri üzerindeki etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Uçucu kül kull (A)	123,313	4	30,828	28,138	***
Süre (B)	437,986	1	437,986	399,761	***
A*B	14,330	4	3,582	3,270	*
Hata	76,693	70	1,096		
Toplam	27794,44	80			

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

Çoğul varyans analizi sonucuna göre, levhaların su alma değerleri üzerinde uçucu kül kullanımı ve suda bekletme süresinin etkisi %0,1 yanılma olasılığı ve bu faktörlerin etkileşiminin etkisi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Su alma

değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Uçucu kül kullanımının levhaların su alma değerleri üzerine etkisine ait Duncan test sonuçları

Levha Tipi	Homojenlik Grubu
F0 (Kontrol)	a
F5	b
F10	ab
F15	c
F20	c

3.1.4 Kalınlık Artımı

Deney örneklerinin 2 ve 24 saatlerdeki kalınlık artımı oranının belirlenmesine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayı değerleri Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Deneme levhalarının kalınlık artımı değerlerine ait bulgular (%)

Levha Tipi	2 saat			24 saat		
	$\bar{X}$	S	V	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	3,86	0,23	5,96	5,10	0,42	8,24
F5	3,73	0,4	10,72	4,63	0,41	8,86
F10	3,34	0,32	9,58	4,64	0,43	9,27
F15	3,16	0,26	8,23	4,60	0,31	6,74
F20	3,39	0,23	6,78	4,62	0,46	9,96

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

Uçucu kül kullanımı ve suda bekletme süresi faktörlerinin çimentolu yongalevhaların su alma değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Uçucu kül miktarı ve suda bekletme süresinin levhaların kalınlık artımı değerleri üzerindeki etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Uçucu kül kull (A)	3,486	4	0,872	1,439	Ö.D.
Süre (B)	29,948	1	29,948	49,442	***
A*B	0,635	4	0,159	0,262	Ö.D.
Hata	42,400	70	0,606		
Toplam	1427,85	80			

Ö.D.: Önemli Değil; ***: $x \leq 0.001$

Çoğul varyans analizi sonucuna göre, levhaların kalınlık artımı üzerinde uçucu kül kullanımının ve uçucu kül-suda bekletme süresi etkileşiminin etkisi %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Suda bekletme süresinin etkisi ise %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur.

3.2 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

3.2.1 Eğilme Direncine Ait Bulgular

Deney örneklerinin eğilme direncine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23. Deneme levhalarının eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	9,18	0,51	5.56
F5	11,71	0,74	6.32
F10	11,08	0,38	3.43
F15	10,93	0,56	5.12
F20	10,51	0,70	6.66

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

Çimentoya ikame olarak uçucu kül kullanımının, çimentolu yongalevhaların eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 24’te verilmiştir.

Tablo 24. Uçucu külün levhaların eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	28,601	4	7,150	20,376	***
Gruplar içi	12,283	35	0,351		
Toplam	40,884	39			

***: $\alpha \leq 0.001$

Basit varyans analizi sonucuna göre, uçucu kül kullanımının deneme levhalarının eğilme direnci değeri üzerindeki etkisinin %0,1 yanılma olasılığı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Eğilme direnci değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 25’de verilmiştir. F10, F15 ve F20 levha

grupları aynı homojenlik grubunda yer alırken, diğer levha grupları farklı homojenlik grubunda yer aldığı görülmüştür.

Tablo 25. Uçucu kül kullanımının levhaların eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları

Levha Tipi	Homojenlik Grubu
F0 (Kontrol)	c
F5	a
F10	b
F15	b
F20	b

3.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 26’da verilmiştir.

Tablo 26. Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	5506	294	5.34
F5	6175	261	4.23
F10	5875	182	3.10
F15	5581	258	4.62
F20	5096	368	7.22

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

Çimentoya ikame olarak uçucu kül kullanımının, çimentolu yongalevhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27. Uçucu külün levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	5265815	4	1316453	16,808	***
Gruplar içi	2741262	35	78321		
Toplam	8007077	39			

***: $\alpha \leq 0.001$

Basit varyans analizi sonucuna göre, uçucu kül kullanımının deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerindeki etkisinin %0,1 yanılma olasılığı ile

önemli olduğu belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 28’de verilmiştir. Buna göre, kontrol (F0) ve F15 levha grupları aynı homojenlik grubunda yer alırken, diğer levha grupları farklı homojenlik grubunda yer aldığı gözlenmiştir.

Tablo 28. Uçucu kül kullanımının levhaların eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları

Levha Tipi	Homojenlik Grubu
F0 (Kontrol)	c
F5	a
F10	b
F15	c
F20	d

3.2.3 Yüzeye Dik Çekme Direncine Ait Bulgular

Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direncine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayı değerleri Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29. Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	1,13	0,11	9,7
F5	0,83	0,08	9,6
F10	0,83	0,06	7,2
F15	0,78	0,072	9,2
F20	0,77	0,056	7,3

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

Çimentoya ikame olarak uçucu kül kullanımının, çimentolu yongalevhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 30’da verilmiştir.

Tablo 30. Uçucu külün levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	0,713	4	0,178	4,627	**
Gruplar içi	1,348	35	0,039		
Toplam	2,061	39			

** : 0.001 < x < 0.01

Basit varyans analizi sonucuna göre, uçucu kül kullanımının deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerindeki etkisinin %1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Yüzeye dik çekme direnci değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 31’de verilmiştir. Buna göre, F5, F10, F15 ve F20 levha grupları aynı homojenlik grubunda yer alırken, kontrol levhası (F0) farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 31. Uçucu kül kullanımının levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları

Levha Tipi	Homojenlik Grubu
F0 (Kontrol)	a
F5	b
F10	b
F15	b
F20	b

3.2.4 Vida Tutma Gücüne Ait Bulgular

Deneme levhalarının vida tutma gücüne ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Deneme levhalarının vida tutma gücü değerlerine ait bulgular (N/mm)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
F0 (Kontrol)	97,46	8,54	8,76
F5	93,94	8,31	8,85
F10	91,06	6,82	7,49
F15	91,17	7,09	7,78
F20	86,70	4,36	5,03

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

Çimentoya ikame olarak uçucu kül kullanımının, çimentolu yongalevhaların vida tutma gücü değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 33’te verilmiştir.

Tablo 33. Uçucu külün levhaların vida tutma gücü değerleri üzerindeki etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	505,756	4	126,439	2,450	*
Gruplar içi	1806,471	35	51,613		
Toplam	2312,228	39			

*: $0.01 < x < 0.05$

Basit varyans analizi sonucuna göre, uçucu kül kullanımının deneme levhalarının vida tutma gücü değerleri üzerindeki etkisinin %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Vida tutma gücü değerlerindeki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 38’de verilmiştir. Buna göre, F5, F10 ve F15 levha grupları aynı homojenlik grubunda yer alırken, kontrol (F0) ve F20 levha grupları farklı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 34. Uçucu kül kullanımının levhaların vida tutma gücü üzerindeki etkisine ait Duncan test sonuçları

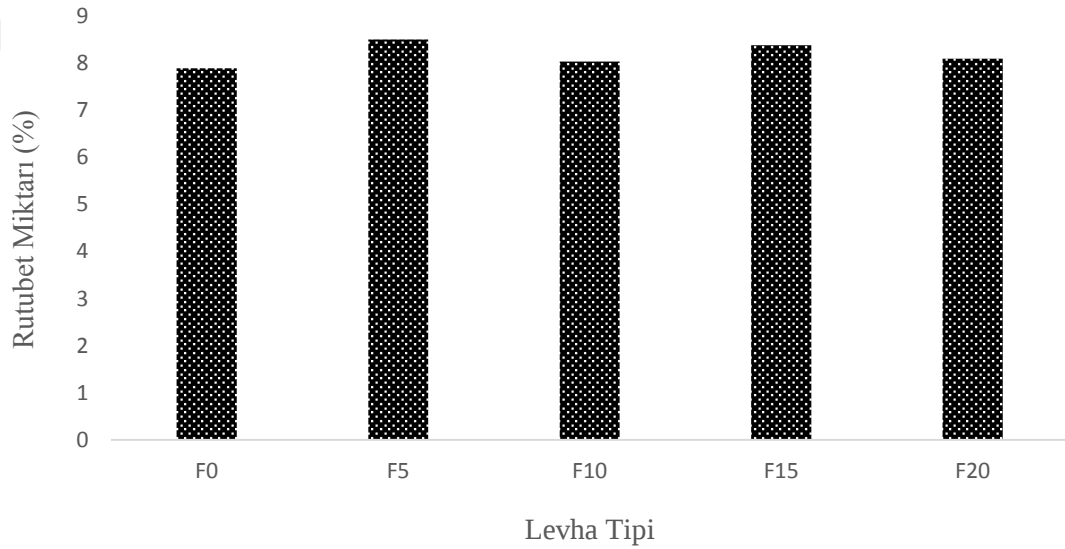
Levha Tipi	Homojenlik Grubu
F0 (Kontrol)	a
F5	ab
F10	ab
F15	ab
F20	b

4 TARTIŞMA

4.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

4.1.1 Rutubet Miktarı

Levhaların rutubet miktarı değerleri üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. Rutubet miktarı üzerine uçucu kül miktarının etkisi

Şekil 20’de görüldüğü üzere, kontrol örnekleri ile mukayese edildiğinde, uçucu kül katkılı levhaların rutubet oranında yükseliş gözlemlenmiştir Çimentoya ikame olarak %5 uçucu kül katkılı levhalar en yüksek (%8,50) rutubet değerini verirken, en düşük rutubet değerleri ise kontrol levhalarından (%7,9) elde edildiği görüşmüştür. Uçucu külün levhaların rutubetini az da olsa artırmış olduğu gözlemlenmiştir. Uçucu külün ince tanelerine özgün yüzey alanın çimentoya göre çok yüksek olması nedeniyle, ortam rutubetinden daha fazla rutubet absorpladığı tahmin edilmektedir.

TS EN 312 (2012) standardına göre, çimentolu yongalevha rutubet miktarının 9 ± 4 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre, deneme levhalarından elde edilen

rutubet miktarı değerleri (%7,9- %8,51) standartta belirtilen değerlerle uyum göstermektedir.

Aslan (2007), çimentoya ikame olarak %5, %10 ve %15 oranında içme suyu arıtma çamuru ve 1/2,75 odun-çimento oranı kullanarak ladin ağacından ürettiği çimentolu yongalevha örneklerinin rutubet değerlerini %10,3-%11,7 arasında belirlemiştir.

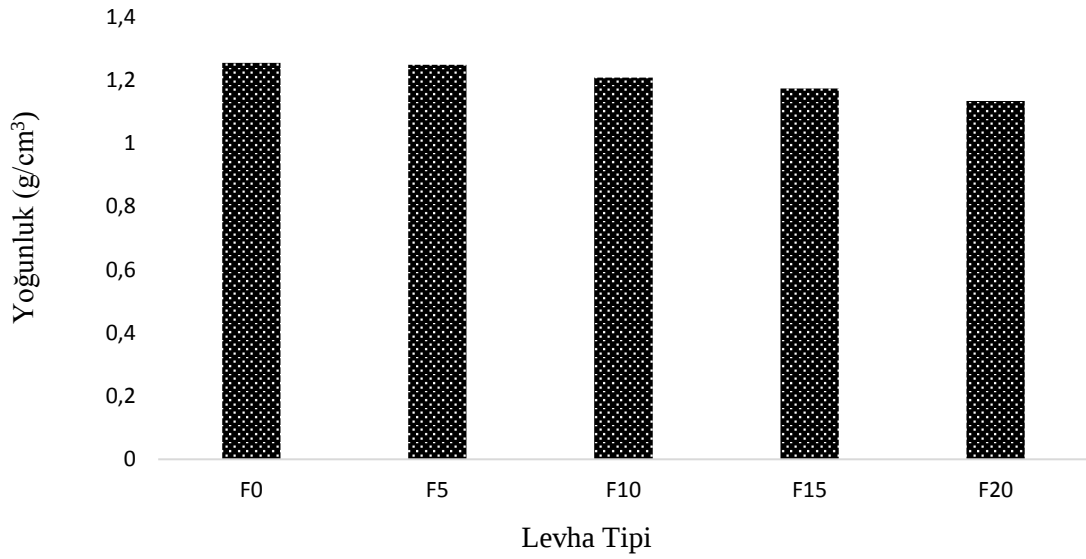
Aras (2013), çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranında ponza tozu ve %4, %8 ve %12 oranlarında akışkanlaştırıcı ve 1/2,75 odun-çimento oranı kullanarak ürettiği yongalevhaların rutubet değerlerinin %10,2 ile %11,9 arasında değişim gösterdiğini belirlemiştir.

Nasser ve ark. (2014), Suudi Arabistan'da 3 farklı yerli ağaç türünün çimentolu levha üretiminde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, 1/3 odun-çimento oranı kullanılarak ürettikleri 1200 kg/m³ hedef yoğunluklu çimentolu levhaların rutubet değerlerinin %8,27-%10,33 arasında olduğunu rapor etmişlerdir.

Yel (2015), 1/3- 1/2 odun- çimento oranları ve %10, %15, %20 oranlarında çimentoya ikame silis dumanı kullanarak çimentolu yongalevha üretmiştir. Ladin odunu ve CaCl₂ sertleştiricisi kullanarak 1/3 odun-çimento oranında ürettiği çimentolu yongalevhalarda en yüksek rutubet değerini %20 silis dumanı (FA22) kullanılan levha örneklerinde (%12,94), en düşük değeri ise %10 silis dumanı (LA12) kullanılan levhalarda (%10,63) tespit edilmiştir.

4.1.2 Yoğunluk

Levhaların yoğunluk değerleri üzerine uçucu kül kullanımının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 21'de verilmiştir.



Şekil 21. Levhaların yoğunluk değerleri üzerine uçucu kül miktarının etkisi

Yoğunluk değeri, levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen önemli bir özellik olup, üretilen levhanın kullanım yerindeki dayanımını belirlemektedir. Şekil 21’de görüldüğü üzere, uçucu kül miktarı arttıkça levhaların yoğunluk değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Uçucu külün ($2,4 \text{ g/cm}^3$), çimentoya göre ($2,8 \text{ g/cm}^3$) yoğunluğunun daha düşük olması sebebiyle uçucu külün levhaların yoğunluk değerinde bir düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir. Yoğunluğun düşük olması, çimentolu yongalevhaların işlenmesi, taşınması ve kullanımda bir avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir.

Sudin ve Swamy (2006), çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanarak bambudan $1,30 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklu levha üretmişlerdir. Sonuçta, her üç katkı maddesinin de kullanım oranı arttıkça levha yoğunluğunun düştüğü tespit edilmiştir.

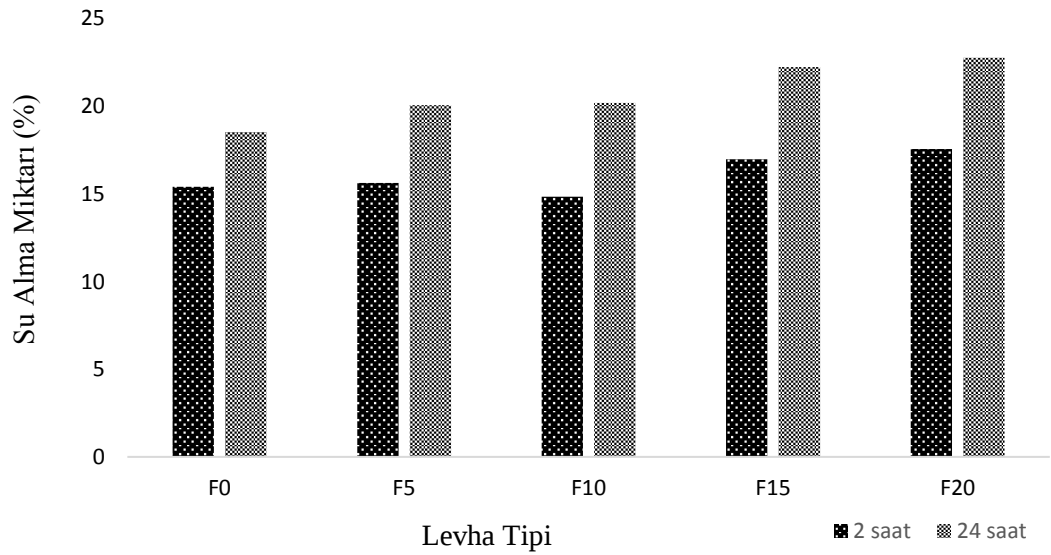
İstek ve Genç (2014), yapmış oldukları çalışmada %0, %10, %15, %20 oranlarında pomza kullanarak çimentolu yongalevha üretmişlerdir. Kontrol levhalarının yoğunluğu $1,30 \text{ g/cm}^3$, %20 pomza ilaveli levhaların yoğunluğu ise $1,14 \text{ g/cm}^3$ olduğu rapor edilmiştir. Üretilen levhalarda kullanılan pomza oranının artması ile levhaların özgül ağırlıklarında azalma tespit edilmiştir.

Yel (2015), 1/3- 1/2 odun- çimento oranları ve %10, %15, %20 oranlarında çimentoya ikame silis dumanı kullanarak çimentolu yongalevha üretmiştir. Çalışmada silis dumanı kullanım oranı artıkça, levhaların yoğunluğunda düşüş gözlemlendiği rapor edilmiştir.

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

4.1.3 Su Alma Miktarı

Deneme levhalarının 2 ve 24 saatteki su alma miktarı üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 22’de verilmiştir.



Şekil 22. 2 ve 24 saatteki su alma miktarı üzerine uçucu kül miktarının etkisi

Deneme levhalarında uçucu kül kullanım miktarı artıkça, levhaların 2 ve 24 saatteki su alma miktarlarının da artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca, suda bekletme süresinin artması ile su alma miktarlarında artış meydana gelmiştir. En düşük su alma değerlerin kontrol (F0) levha grubundan elde edilirken, en yüksek su alma değerleri %20 uçucu kül katkılı levha grubundan (F20) elde edilmiştir.

Sudin ve Swamy (2006), çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve lateks kullanarak 1/2.5, 1/2.75 ve 1/3 bambu-çimento oranlı

levhalar üretmiş ve çimento oranı arttıkça su alma oranı ve kalınlık artımı değerlerinde azalma, ikame malzemelerin kullanım oranı artıkça ise değerlerde artış gözlenmiştir.

Dönmez Çavdar ve ark. (2017), çimentolu yongalevha üretiminde çimentoya ikame olarak kâğıt fabrikası arıtma suyu çamurunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çamur kullanımı artıkça levhaların su alma miktarında da artış olduğu rapor edilmiştir.

Yel (2015), Gökner ve Kavak odunundan ürettiği 1/3 odun-çimento oranlı levhalarda %20 silis dumanı kullanımı, levhaların su alma miktarını artırdığını tespit etmiştir.

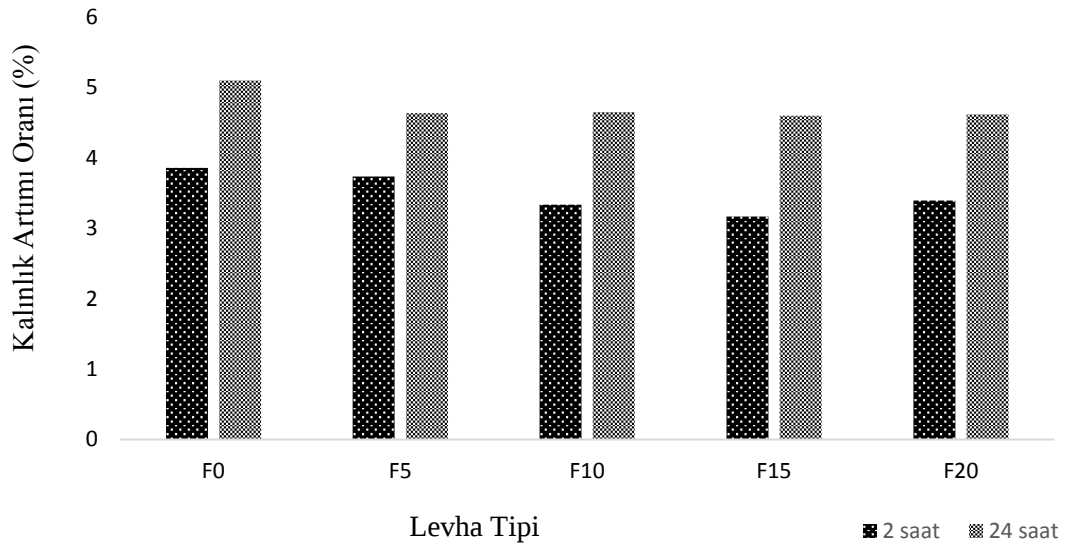
Arslan (2018), yapmış oldu çalışmada PF300 ve DX40 polimer katkıli levha gruplarında polimer oranını artırdıkça levhaların su alma oranlarının artmış olduğu tespit edilmiştir. PF300 levha grubunda en düşük değeri %1,2 polimer katkıli levhalar (%2,86) verirken, en yüksek değeri %1,4 polimer katkıli levhalarda (5,44) bulunmuştur. DX300 levha grubunda en düşük değeri %1 polimer katkıli levhalar (%2,74) verirken, en yüksek değerler %1,4 polimer katkıli levhalarda (5,50) elde edilmiştir.

Aslan (2007), çimentolu yongalevha üretiminde çimentoya ikame olarak (%5, %10, %15 oranında) içme suyu atık çamurunun kullanımı üzerine yapmış olduğu çalışmada, çamur miktarının kullanımı artıkça levhaların su alma miktarının da arttığını görülmüştür.

Deneme levhalarından elde edilen su alma miktarı sonuçları literatürle benzerlik göstermiştir.

4.1.4 Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı

Deneme levhalarının 2 ve 24 saatteki kalınlık artımı oranı üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 23'te verilmiştir.



Şekil 23. 2 ve 24 saatteki kalınlık artımı oranı üzerine uçucu kül miktarının etkisi

Şekil 23'te görüldüğü üzere, uçucu kül kullanım miktarı artıkça 2 ve 24 saatteki kalınlık artım miktarında bir azalış gözlemlenmiştir. Bu durum, uçucu külün bir hidratasyon ürünü olan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek daha dirençli olan C-S-H jelini meydana getirmesinden kaynaklanmış olabilir. 2 ve 24 saatteki en iyi sonuçlar (en düşük artış) F15 levha grubundan elde edilirken, en kötü sonuçlar (en çok artış) ise kontrol grubu (F0) levhalardan elde edilmiştir. Ancak bu azalış miktarı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Yani uçucu kül kullanımının, levhaların kalınlık artımı üzerinde istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Kalınlık artım değerleri TS EN 634-2 standardında belirtilen değerin (%1,5) üzerinde olup, karşılamamaktadır.

Aras (2013), çimentoya ikame olarak %10, %20 ve %30 oranında pomza tozu ve %4, %8 ve %12 oranlarında akışkanlaştırıcı kullanarak ürettiği 1/2,75 odun-çimento oranlı çimentolu yongalevhelerde, pomza tozu miktarının artması ile kalınlık artım değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Dönmez Çavdar ve ark. (2017), çimentolu yongalevha üretiminde çimentoya ikame olarak kâğıt fabrikası arıtma suyu çamurunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çamur kullanımı artıkça levhaların kalınlık artım oranlarının %1,88 ile %15,63 arasında değişiklik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Yel (2015), 1/3 ve 1/2 odun-çimento oranı ve çimentoya ikame olarak %10, %15 ve %20 silis dumanı kullanılarak çimentolu yongalevha üretmiştir. Levhalarda silis dumanı kullanım oranı arttıkça levhaların kalınlık artımı oranının düştüğünü gözlemlenmiştir.

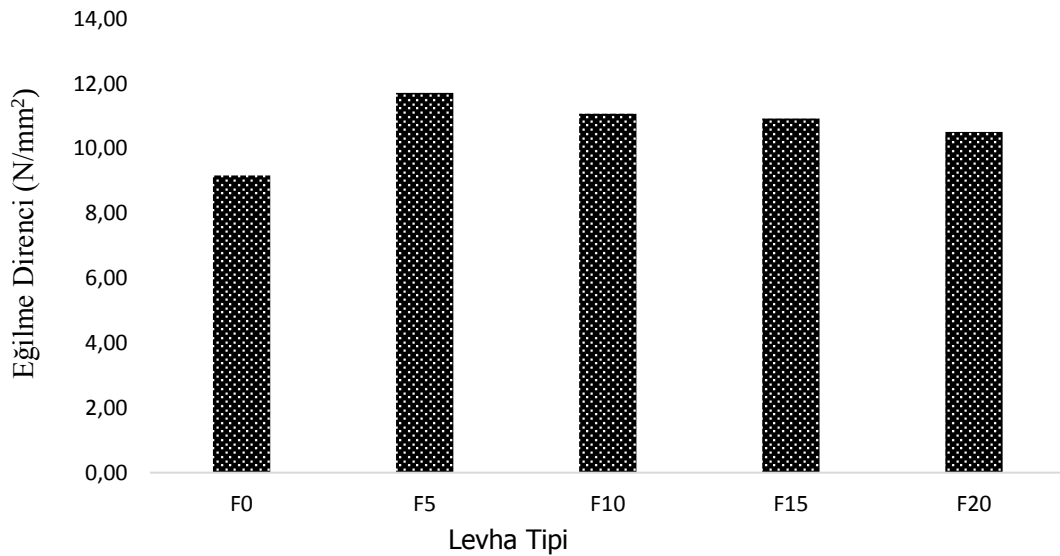
Arslan (2018), polimer türü ve oranının çimentolu yongalevhaların kalınlık artışı üzerinde etkili olduğunu gözlemlemiştir. %1, %1,2 ve %1,4 oranında polimer akışkanlaştırıcı kullanımının levhaların kalınlık artışı değerlerini azalttığını tespit etmiştir.

Acar (2019), atık elma dallarından üretmiş olduğu çimentolu yongalevhaların kalınlık artım oranının %4,53 ile %17,56 arasında değişiklik gösterdiğini tespit etmiştir. Elde edilen sonuçların TS EN 634-2 standardında istenen değerleri karşılamadığını rapor etmiştir.

4.2 Mekanik Özellikler

4.2.1 Eğilme Direnci

Deneme levhalarının eğilme direnci üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 24’te verilmiştir.



Şekil 24. Eğilme direncinin üzerine uçucu kül oranının etkisi

Deneme levhalarının eğilme direnci değerleri incelendiğinde, en yüksek eğilme direnci %5 uçucu kül kullanılan levha örneklerinde (F5) elde edilirken, en düşük eğilme direnci ise kontrol örneklerinden (F0) elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında uçucu kül kullanılarak üretilen tüm levhalar kontrol levhasından daha yüksek eğilme direnci değeri vermiştir. %5 uçucu kül kullanımıyla levhanın eğilme direncinde %27,7'lik bir artış meydana gelmiştir. Ancak, uçucu kül kullanım oranı arttıkça eğilme direncindeki artış da düşmüştür.

Yonga miktarı ve yongalar arası yüzey temas alanının artması, dolayısıyla yük altında levhanın geriliminin yük uygulanan bölgeden diğer bölgelere dağıtılışı artmakta ve levhanın eğilme direncinde artış gözlenmektedir. Yapılan birçok çalışmada da buna benzer sonuçlar bulunmuştur. Uçucu külün tane ebatlarının çimento ve yonga ebatlarından daha küçük olması sebebiyle levha içindeki gözenekleri doldurarak daha bütün yüzeyler oluşturmaktadır (Moslemi, Psifter, 1987). Ayrıca uçucu külün çimentodaki C_3S 'ın hidratasyonunu hızlandırması ve $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek C-S-H jeli meydana getirmesinden dolayı levha direncinde artışa neden olmuş olabilir.

Yel (2015), çimentoya ikame olarak farklı oranlarda silis dumanı kullanarak ürettiği çimentolu yongalevhelerde en yüksek eğilme direnci değerini %10 silis dumanı kullanılan levhalarda (10,97 N/mm²), en düşük eğilme direnci değerini ise kontrol levhalarında (7,72 N/mm²) tespit etmiştir.

Dönmez Çavdar ve ark. (2012), çimentolu yongalevha üretiminde çimentoya ikame olarak kâğıt fabrikası arıtma suyu çamurunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çamur kullanımı arttıkça levhaların eğilme direnci değerlerinde artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Elde edilen veriler sonucunda eğilme direnci TS EN 634-2 standartlarının üstünde olduğunu belirtmişlerdir.

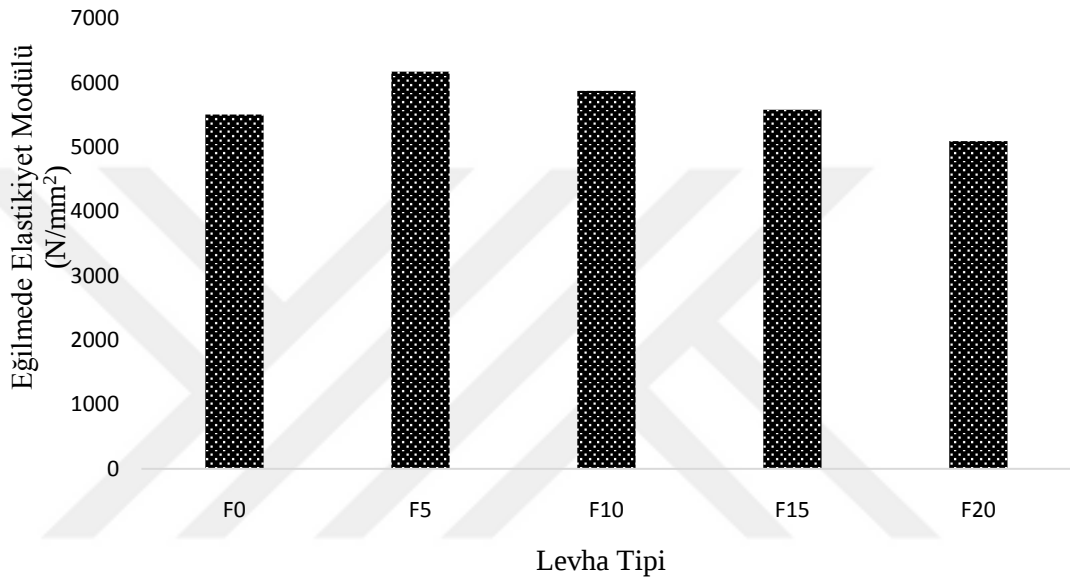
İstek ve Genç (2014), çimentoya ikame %10, %15 ve %20 oranında pomza kullanarak çimentolu yongalevha üretmişlerdir. Pomza kullanımıyla levhaların eğilme direnci değerlerinin %8-%24 arasında arttığını rapor etmişlerdir.

Aras (2013), pomza tozu ve polimer akışkanlaştırıcı kullanılarak ürettiği çimentolu levhaların eğilme direnci değerlerini 7,02 N/mm² ile 10,40 N/mm² arasında olduğunu tespit etmiştir.

TS EN 634-2 (2009) standardında, çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken minimum eğilme direncini 9 N/mm² olarak belirtilmiştir. Deneme levhalarının tüm grupları standardın üzerinde değerler vermiştir.

4.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 25’te verilmiştir.



Şekil 25. Eğilmede elastikiyet modülü üzerine uçucu kül oranının etkisi

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde, en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %5 uçucu kül katkılı levha grubundan (F5) elde edilirken, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %20 uçucu kül katkılı levha grubundan elde edilmiştir. Çimentoya ikame olarak %5 uçucu kullanımıyla levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerinde yaklaşık %12’lik bir artış sağlandığı görülmüştür. Ancak uçucu kül kullanımı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerinin düştüğü görülmüştür.

TS EN 634-2 (2009)’da çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken minimum eğilmede elastikiyet modülü değeri 4500 N/mm² olarak belirtilmiştir. Farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) çimentoya ikame uçucu kül kullanılarak üretilen tüm levha grupları standardın üzerinde değerler vermiştir.

Aras (2013), pomza tozu ve polimer akışkanlaştırıcı kullanılarak ürettiği çimentolu yongalevhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerini 3212 N/mm² ile 5874 N/mm² arasında olduğunu tespit etmiştir

İstek ve Genç (2014), çimentoya ikame %10, %15 ve %20 oranında pomza kullanarak çimentolu yongalevha üretmişlerdir. Pomza kullanımıyla levhaların eğilme dirençlerinde artış olmasına rağmen, eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde %13-%22 arasında düşüşlerin olduğunu rapor etmişlerdir.

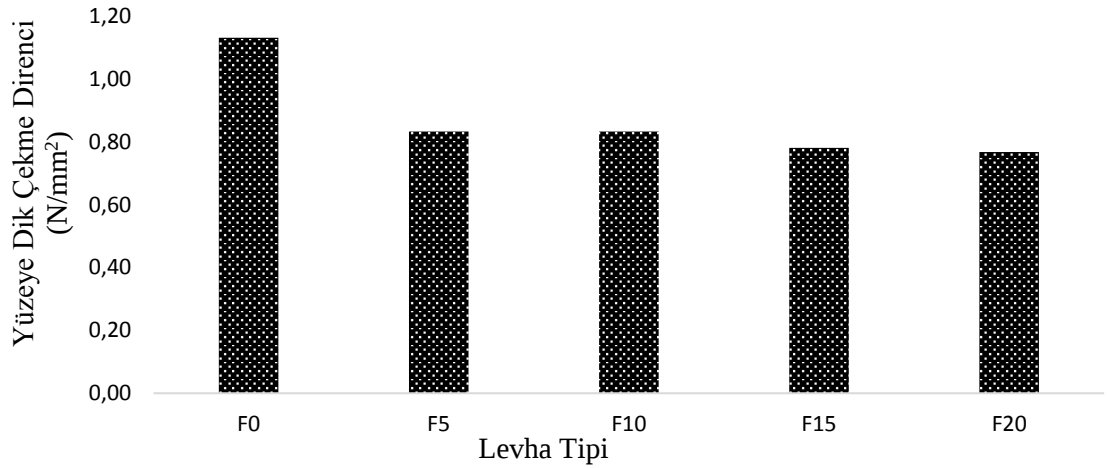
Aladejana (2016), yapmış olduğu çalışmada Gliricidia sepium (Bekçi kakao) ağacından ürettiği levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerini 1800 N/mm² ile 5220 N/mm² arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Yel ve ark. (2017), farklı oranlarda silis dumanı (%10, %15, %20) kullanarak ürettiği çimentolu yongalevhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerini 5000 N/mm² ile 6500 N/mm² arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Yel ve ark. (2020), pres sıcaklığının çimentolu yongalevhaların bazı özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ladin ve kavak odunundan üretilen 1/3 odun-çimento oranlı levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin 2093 MPa ile 5627 MPa arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

4.2.3 Yüzeye Dik Çekme Direnci

Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26. Yüzeye dik çekme direnci üzerine uçucu kül oranının etkisi

Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerleri incelendiğinde, en yüksek yüzeye dik çekme direnci kontrol örneklerinde elde edilirken, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %20 uçucu kül katkılı örneklerde tespit edilmiştir. Bunun sebebi uçucu külün ladin odununun iç bağlanma yeteneğini etkilediğini göstermektedir.

TS EN 634-2 (2009)'da çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken minimum yüzeye dik çekme direnci değerinin $0,5 \text{ N/mm}^2$ olması gerektiği belirtilmiştir. Farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) çimentoya ikame uçucu kül kullanılarak üretilen tüm levha grupları standardın üzerinde değerler ($0,77 \text{ N/mm}^2$ - $1,13 \text{ N/mm}^2$) vermiştir.

Yel (2015), yapmış olduğu çalışmada 1/3 odun-çimento oranlı kavak odunundan üretilen çimentolu yongalevhalarda %10 ve 15 silis dumanı kullanıldığında yüzeye dik çekme direnci değerlerinde azalma, %20 silis dumanı kullanımında ise kontrol örneklerine yakın değerler elde etmiştir.

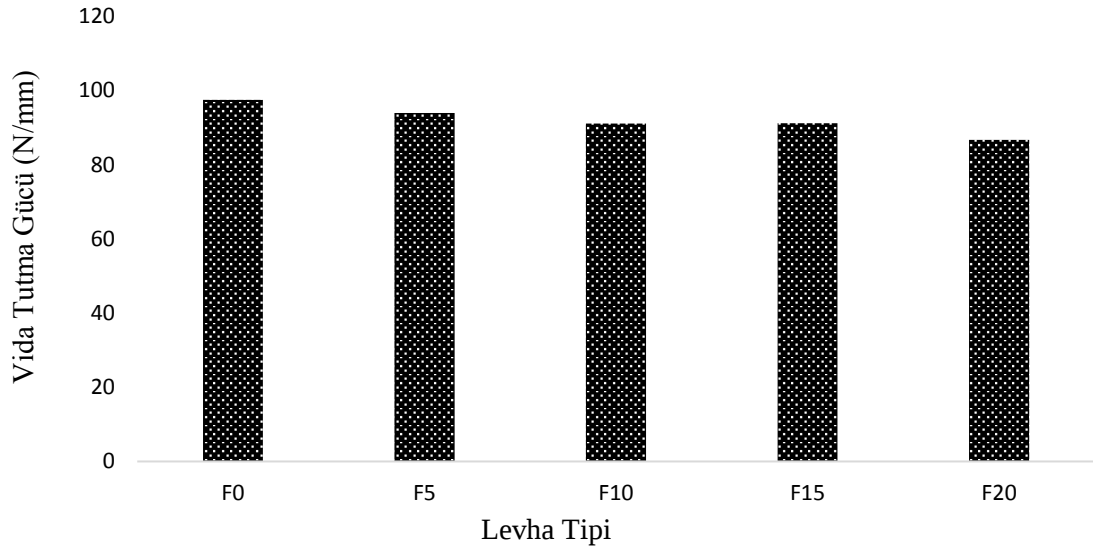
Aslan (2007), PÇ 42,5 Portland çimentosu ve ladin odunundan ürettiği çimentolu yongalevhalarda, çimentoya ikame olarak %10 %15 ve %20 oranında su arıtma çamuru kullanmıştır. Su arıtma çamurunun levhaların yüzeye dik çekme direncini düşürdüğü ve en yüksek değer kontrol levhalarında, en düşük değer ise %5 su arıtma çamuru katkılı levhalardan elde edildiğini rapor etmiştir.

Yel ve ark. (2017), farklı oranlarda silis dumanı (%10, %15, %20) kullanarak ürettiği çimentolu yongalevhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinin 1,05 N/mm² ile 1,95 N/mm² arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Elde edilen yüzeye dik çekme direnci değerleri literatür ile uyumluluk göstermektedir.

4.2.4 Vida Tutma Gücü

Deneme levhalarının vida tutma gücü değerleri üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 27’de verilmiştir.



Şekil 27. Vida tutma direnci üzerine uçucu kül oranının etkisi

Deneme levhalarının vida tutma gücü değerleri incelendiğinde, en yüksek vida tutma gücü değeri kontrol örneklerinde elde edilirken, en düşük vida tutma gücü ise %20 uçucu kül katkılı örneklerde tespit edilmiştir. Uçucu kül kullanımı artıkça levhaların vida tutma gücü değerlerinin de düştüğü tespit edilmiştir. Ancak %5, %10 ve %15 uçucu kül katkılı levhaların vida tutma gücü değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Diğer taraftan %20 uçucu kül kullanımıyla levhaların vida tutma gücünde sadece yaklaşık %11’lik bir düşüş gözlenmiştir.

Aslan (2007), PÇ 42,5 ve PÇ 32,5 Portland çimentosuna ikame olarak farklı oranlarda (%5, %10, %15) su arıtma çamuru ile kızılçam ve ladin odunu kullanılarak üretilen

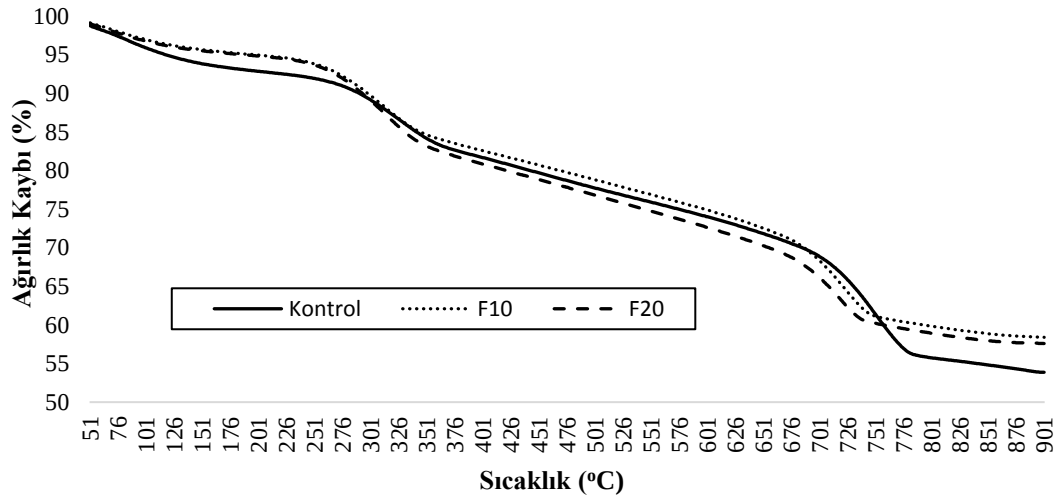
çimentolu yonga levhalarda, kontrol örneklerinin vida tutma gücü değerlerinin, su arıtma çamuru katkılı levha örneklerine göre daha yüksek olduğunu rapor etmiştir.

Dönmez Çavdar vd. (2016), yapmış olduğu çalışmada farklı boyutlarda (6 mm, 12 mm, 19 mm) elyaflardan üretilen çimentolu yonga levhalarda vida tutma direncinin kontrol örneklerinden daha düşük çıktığını tespit etmişlerdir.

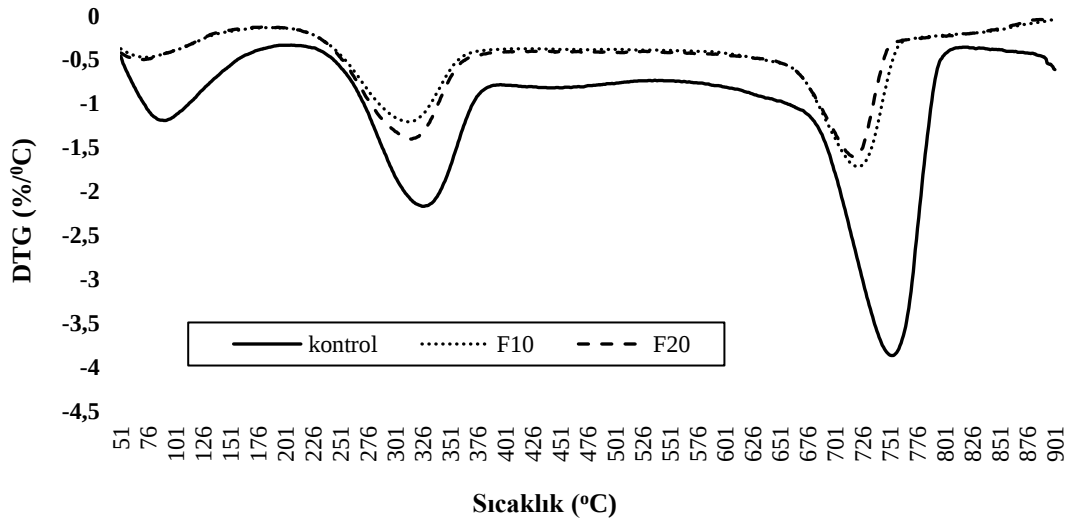
Yel ve ark. (2017), farklı oranlarda silis dumanı (%10, %15, %20) kullanarak ürettiği çimentolu yonga levhaların vida tutma direnci en yüksek %10 silis dumanı kullanılan örneklerde en düşük değer ise silis dumanı içermeyen kontrol örneklerinde tespit etmişlerdir.

4.2.5 Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analiz (DTG)

Deneme levhalarının termogravimetrik (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTG) değerleri üzerine uçucu kül kullanım miktarının etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 28-29'da verilmiştir.



Şekil 28. Uçucu kül katkılı çimentolu yongalevhaların TGA grafiği



Şekil 29. Uçucu kül katkılı çimentolu yongalevhaların DTG grafiği

Lignoselülozik bir yapıya sahip olan malzemelerin bileşenlerinden hemiselüloz 150-350 °C, selüloz 248-350 °C ve lignin ise 200-700 °C sıcaklık aralığında bozulmaktadır. Çimento ise; 420-550 °C arasında bir hidratasyon ürünü olan kalsiyum hidroksitten suyun ayrılmasıyla $[Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O]$ ağırlık kaybı meydana gelmektedir. 600-780 °C sıcaklık arasında meydana gelen ağırlık kaybı ise kalsiyum karbonattan karbondioksitin ayrılmasından $[CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2]$ kaynaklanmaktadır. Hidratasyon ürünü olmayan kalsiyum karbonat, karbondioksit ile kalsiyum hidroksitin reaksiyona girmesi sonucu $[Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O]$ oluşan bir üründür. Bu durum her zaman mümkündür (Yel, 2015).

400-500 °C ve 700-800 °C sıcaklıklarda levhalar arasında en az ağırlık kaybı %20 uçucu kül katkılı levhada (F20), en fazla ağırlık kaybı ise kontrol (F0) levhasından elde edilmiştir. Uçucu kül ile bir hidratasyon ürünü olan kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jelini meydana getirmektedir. Bu durumun, uçucu kül katkılı levhalarda daha az kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ ve kalsiyum karbonat $[CaCO_3]$ bulunmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle söz konusu sıcaklık aralıklarında uçucu kül katkılı levhalarda daha az ağırlık kaybı yaşanmıştır.

Yel (2015), farklı oranlarda silis dumanı (%10, %15, %20) kullanarak ürettiği çimentolu yongalevhaların termogravimetrik (TGA) ve türev termogravimetrik analiz

(DTG) sonucunda 700-800 °C arasında en fazla ağırlık kaybı kontrol grubu levhalardan elde edilirken en az ağırlık kaybı ise %20 silis dumanı katkılı levhalardan elde edildiğini rapor etmiştir.

Musa, (2014), yapmış olduğu çalışmada %5, %10, %15, %20 ve %20 oranında yalancı tespah ağacı tohumu küllerini çimentoya ikame olarak kullanarak kül oranının levhaların termogravimetrik (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTG) değerleri üzerindeki etkisini araştırmış ve kül oranındaki artış 400-500 °C arasında $[\text{CaOH}]_2$ bozulması ağırlık kaybında azalmaya sebep olduğunu tespit etmiştir. 700-800 °C arasında (CaCO_3 bozulması) ise kül oranındaki artışın levha ağırlığında önemli bir kayba sebep olmadığını rapor etmiştir.

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

5 SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde çevreye zararlı bir atık olarak ortaya çıkan uçucu külün, çimentolu yongalevha üretiminde çimentoya ikame olarak kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla, çimentoya ikame olarak 4 farklı oranda (%5, %10, %15 ve %20) uçucu kül, 1/3 odun-çimento oranı, %5 CaCl_2 ve Doğu ladini planya artığı kullanılarak, 1200 g/cm^3 hedef yoğunluğa sahip $450 \times 450 \times 10 \text{ mm}$ boyutunda çimentolu yongalevhalar üretilmiştir. Üretilen levhaların fiziksel, mekanik, morfolojik ve termal özellikleri belirlenmiştir.

TS EN 312 standartlarına göre çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken rutubet miktarı 9 ± 4 'dür. Yapılan deneyler sonucunda yongalevhanın rutubet miktarı %7,9 ile %8,51 arasında değişen değerlere sahip olduğu ve ilgili standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deneylerin sonucuna göre uçucu kül miktarındaki artış levhaların yoğunluk değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Bu durum uçucu külün ($2,4 \text{ g/cm}^3$) yoğunluğunun çimentoya ($2,8 \text{ g/cm}^3$) göre daha düşük olması sebebi ile olabileceği düşünülmektedir.

Deney levhalarında uçucu kül kullanım miktarı artıkça, 2 ve 24 saatteki su alma miktarlarının da arttığı gözlemlenmiştir. En düşük su alma değerlerin kontrol (F0) levha grubundan elde edilirken, en yüksek su alma değerleri %20 uçucu kül katkılı levha grubundan (F20) elde edilmiştir. Su alma miktarı, levhaların su da bekleme sürelerine göre artış göstermiş olup uçucu külün su alma miktarı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Uçucu kül kullanımı artıkça 2 ve 24 saatteki kalınlık artım miktarında azalış göstermiştir. 2 ve 24 saatteki en iyi sonuçlar (en düşük artış) F15 levha grubundan elde edilirken, en kötü sonuçlar (en çok artış) ise kontrol grubu (F0) levhalardan elde edilmiştir. Uçucu kül kullanımının, levhaların kalınlık artımı üzerinde istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Kalınlık artım değerleri TS EN 634-2 standardında belirtilen değerin (%1,5) üzerinde olup, karşılamamaktadır.

%5 uçucu kül kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek eğilme direnci değerleri elde edilirken, en düşük eğilme direnci değerini ise kontrol örneği vermiştir. Uçucu kül kullanımı levhanın eğilme direncini %28 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Ancak, uçucu kül kullanım oranı arttıkça eğilme direncindeki artış da düşmüştür.

En yüksek eğilmede elastikiyet modülü %5 uçucu kül katkılı levha grubunda elde edilirken, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %20 uçucu kül katkılı levha grubunda tespit edilmiştir. Uçucu kül kullanımı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerinin düştüğü görülmüştür.

Yüzeye dik çekme direnci en yüksek kontrol örneklerinde, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %15 uçucu kül kullanılan örneklerinde tespit edilmiştir. TS EN 634-2 standardında, çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken minimum yüzeye dik çekme direnci değerinin $0,5 \text{ N/mm}^2$ olması gerektiği belirtilmiştir. Farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) çimentoya ikame uçucu kül kullanılarak üretilen tüm levha grupları standardın üzerinde değerler ($0,77 \text{ N/mm}^2$ - $1,13 \text{ N/mm}^2$) vermiştir.

Çimentolu yongalevhaların vida tutuma gücü; en yüksek kontrol örneklerinde en düşük %20 uçucu kül katkılı levhalarda tespit edilmiştir. Uçucu kül kullanımı arttıkça levhaların vida tutma gücü değerlerinin de düştüğü tespit edilmiştir.

Levhaların TGA/DTG analiz sonuçlarında; 400-500 °C ve 700-800 °C sıcaklıklarda kontrole göre uçucu kül katkılı levhalarda çok daha düşük ağırlık kaybı elde edildiği görülmüştür. Bu durum, uçucu kül ile kalsiyum hidroksit $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jelini meydana getirdiğini göstermektedir. Bu da uçucu kül katkılı levhalardaki direnç artışlarının kaynağı olabilir.

Genel olarak bakıldığında, kabul edilebilir değerlerde bir mekanik mukavemet sağlamak için çimentolu yongalevhalarda çimentoya ikame olarak %15'e kadar uçucu kül katılabilir olduğu anlaşılmaktadır. Daha yüksek miktarlarda uçucu kül ilave edildiğinde levha özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu nedenle çimentolu yongalevhalarda %15'e kadar uçucu külün kullanılması tavsiye edilebilir.

Farklı oranlarda uçucu kül kullanımının etkisi; ağaç ve sertleştirici türü ile odun-çimento oranına göre değişiklik gösterebileceği için, bu parametrelerin değiştirilerek çimentolu yongalevhaların üzerindeki etkileri araştırılması tavsiye edilebilir.

Uçucu küller endüstriyel bir atıktır ve doğada puzolanik bir madde olarak bulunur. Bu özeliğinden dolayı çevre için kirletici bir yapıya sahiptir. Uçucu külün çimentolu yongalevha endüstrisinde çimentoya ikame madde olarak kullanılması; çevre kirliliğini azaltacak ve enerji tasarrufu sağlayarak ucuz ve kaliteli çimentolu yongalevhaların üretilmesine sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Acar, K., 2019. Atık elma dallarından üretilen çimentolu yongalevhanın mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Acda, M. N., 2010. Waste chicken feather as reinforcement in cement-bonded composites, *Philippine Journal of Science*, 139(2): 161-166.
- Aggarwal, L. K., Agrawal, S. P., Thapliyal, P. C., ve Karade, S. R. 2008. Cement-bonded composite boards with arhar stalks. *Cement and concrete composites*, 30(1): 44-51.
- Aladejana, J. T., Oluyeye, A. O., 2016. Assessment of selected physical and mechanical properties of cement bonded board produced from *Gliricidia sepium* (Agunmaniye). *Pro Ligno*, 12(1).
- Anşin, R., Özkan, Z. C., 2006. Tohumlu bitkiler (*spermatophyta*) odunsu taksonlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın, Trabzon, 512 s.
- Anşin, R., 1998. Tohumlu Bitkiler: Gymnospermae (açık tohumlular), Cilt 1. 15. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın, Trabzon, 122 s.
- Aras, U., 2013. Pomza tozu ve akışkanlaştırıcı kullanımının çimentolu yongalevhaların bazı özelliklerine etkisi, Yüksek Lisan Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aro, M., 2008. Wood Strand Cement Board, 11th Int. In *Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (IIBCC2008)*, November, İspanya s.169-179.
- Arslan, B., 2018. Polimer katkılı çimentolu yongalevhaların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Ashori, A., Tabarsa, T. ve Amosi, F., 2012. Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood-cement composite materials, *Construction and Building Materials*, 27(1): 126-129.
- Ashori, A., Tabarsa, T. ve Sepahvand, S., 2012. Cement-bonded composite boards made from poplar strands, *Construction and Building Materials*, 26(1): 131-134.
- Aslan, M., 2007. İçme suyu arıtma çamurunun çimentolu yongalevha üretiminde kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- ASTM D1037, 2006. Standard test method for evaluating properties of wood-based fibres and particle panel materials, USA.
- ASTM C 618, 2003. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. American society for testing and materials. West Conshohocken, PA, USA
- Aykanat, B., 2018. yüksek performanslı çimento bağlayıcı odun lifli levha üretiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Badejo, S. O. O., 1988. Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboard from mixed tropical hardwoods. *Wood Science and Technology*, 22(4): 357-369.

- Bejó, L., Takáts, P. ve Norbert, V., 2005. Development of cement bonded composite beams. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 1: 111-119.
- Berger, R. L., Young, J. F. ve Leung, K., 1972. Acceleration of hydration of calcium silicates by carbon dioxide treatment. *Nature Physical Science*, 240(97): 16-18.
- Bever, M.B., 1986. Wood-Cement Boards in Encyclopedia of Materials Science ve Engineering, 1st Edition, Pergamon Press Limited, İngiltere.
- Bozkurt, Y., 1982. Çimentolu yongalevhalar, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 32(2):31-34.
- Bıblis Ej, L. C., 1968. Sugars and other extractives: effect on the setting of southern pine-cement mixtures, *For Products Journal*, 18(8): 28-34.
- Binici, H., Gemci, R., Kucukonder, A. ve Solak, H. H., 2012. Investigating sound insulation, thermal conductivity ve radioactivity of chipboards produced with cotton waste, fly ash ve barite, *Construction and Building Materials*, 30: 826-832.
- Binici, H., Aksogan, O., 2017. Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum, *Materials Today Communications*, 10, 14-24.
- Boustingorry, P., Grosseau, P., Guyonnet, R. ve Guilhot, B., 2005. The influence of wood aqueous extractives on the hydration kinetics of plaster, *Cement and Concrete Research*, 35(11): 2081-2086.
- Cabangon, R. J., Cunningham, R. B. ve Evans, P. D., 2002. Manual strand orientation as a means of improving the flexural properties of wood-wool cement boards in the Philippines, *Forest products journal*, 52(4): 53.
- Chen, L., Wang, L., Tsang, D. C., Mechtcherine, V. ve Poon, C. S., 2020. Efficacy of green alternatives and carbon dioxide curing in reactive magnesia cement-bonded particleboards, *Journal of Cleaner Production*, 120997.
- Christy, C. F., Tensing, D., 2010. Effect of Class-F fly ash as partial replacement with cement and fine aggregate in mortar, *Indian Journal of Engineering ve Materials Sciences*, 17: 140-144.
- Demir, İ., 2009. Aynı oranlarda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özelliklerine etkisi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 1(2): 1-7.
- Dönmez Çavdar, A., Yel, H., Kalaycıoğlu, H. ve Aras, U., 2012. Kağıt fabrikası arıtma suyu çamuru ile üretilen çimentolu yongalevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri, *Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 69-73.
- Dönmez Çavdar, A. , Yel, H., Boran, S. ve Pesman, E., 2017. Cement type composite panels manufactured using paper mill sludge as filler, *Construction and Building Materials*, 142: 410-416.
- Dönmez Çavdar, A., Yel, H. ve Boran, S., 2016. Wood cement composites reinforced with polypropylene fibre. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 76(2): 49-54.
- Erdoğan, S. T., Erdoğan, T. Y., 2007. Puzolanik mineral katkılar ve tarihi geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, s.263-274.
- Erdoğan, T. Y., 2003, Beton, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı Yay. ve İletişim AŞ Yay. 1. Basım, Semih Ofset Matbaacılık Yayıncılık ve Ambalaj Dağıtım AŞ, Ankara, 741 s.

- Erkuloğlu, Ö.S., 1989. Doğu ladini, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları El Kitabı Dizisi:5, Muhtelif Yayınlar Serisi:58, 288 s.
- Erten, A. P., İter, E., 1994. Çimentolu yongalevhaların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, enstitüler teknik eapor serileri, İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, s.35-56.
- Fan, M., Ndikontar, M. K., Zhou, X. ve Ngamveng, J. N., 2012. Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of wood and cement. *Construction and Building Materials*, 36: 135-140.
- FAO, 2016. Global forest resources assessment 2015 how are the world's forests changing? U.N. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma 49s.
- FAO, 2018. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/FO> (05 Nisan 2020).
- FAO, 2020. Global forest resources assessment 2020 - key Findings F U.N. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma 16s.
- Fava, G., Ruello, M. L., Corinaldesi, V. 2011. Paper mill sludge ash as supplementary cementitious material. *Journal of materials in civil engineering*, 23(6): 772-776.
- Felekoğlu Tosun K., 2005. Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, "Ders notları, <https://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/> (05 Mayıs 2020).
- Türkel, S., Felekoğlu, B., 2004. Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1): 77-89.
- Girones, J., Pardini, G., Vilaseca, F., Pelach, M. A., ve Mutje, P., 2010. Recycling of paper mill sludge as filler/reinforcement in polypropylene composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 18(3): 407-412.
- Govin, A., Peschard, A., Fredon, E., ve Guyonnet, R., 2005. New insights into wood and cement interaction, *Holzforschung*, 59(3): 330-335.
- Güntekin, E., 2009. Hızlı yaşlandırma testlerine maruz bırakılmış çimentolu lif levhaların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 92-103.
- Güler, C., 2001. Pamuk (*Gossypium hirsutum L.*) saplarından kompozit levha üretimi olanaklarının araştırılması, Doktora Tezi, Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Guler, C., Sahin, H. I. ve Yeniay, S., 2016. The potential for using corn stalks as a raw material for production particleboard with industrial wood chips. *Wood Research*, 61(2): 299-306.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü. ve Mordoğan, H., 2005. Uçucu küllerin özellikleri ve kullanım alanları, Türkiye 19. *Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir* 419-423.
- Hachmi, M. H., Moslemi, A. A., 1989. Correlation between wood-cement compatibility ve wood extractives. *Forest products journal*, 39(6): 55-58.
- He, P., Poon, C. S. ve Tsang, D. C., 2017. Effect of pulverized fuel ash and CO₂ curing on the water resistance of magnesium oxychloride cement (MOC), *Cement and Concrete Research*, 97: 115-122.
- Hermawan, D., Hata, T., Kawai, S., Nagadomi, W. ve Kuroki, Y., 2002. Effect of carbon dioxide-air concentration in the rapid curing process on the properties of cement-bonded particleboard, *Journal of wood science*, 48(3): 179-184.

- Hermawan, D., Hata, T., Kawai, S., Nagadomi, W., ve Kuroki, Y., 2002. Manufacturing oil palm fronds cement-bonded board cured by gaseous or supercritical carbon dioxide, *Journal of wood science*, 48(1): 20-24.
- Hofstrand, A. D., Moslemi, A. A. ve Garcia, J. F., 1984. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement. *Forest products journal*, 34(2): 57-61.
- İstek, A., Gençer, A., 2014. Çimentolu yongalevha özelliklerine pomza kullanımının etkisi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Isparta, s.560-567.
- Jarabo, R., Monte, M. C., Fuente, E., Santos, S. F. ve Negro, C., 2013. Corn stalk from agricultural residue used as reinforcement fiber in fiber-cement production, *Industrial Crops and Products*, 43: 832-839.
- Jorge, F. C., Pereira, C. ve Ferreira, J. M. F., 2004. Wood-cement composites: a review, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 62(5): 370-377.
- Juenger, M. C. G., Jennings, H. M., 2002. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes, *Cement and concrete research*, 32(3): 393-399.
- Kadri, E. H., Duval, R. 1998. Influence of silica fume on the workability and compressive strength of high performance concrete. *Cement Concr. Res*, 28(4): 533-547.
- Kalaycıoğlu, H., 1996. Çimento yapıştırıcılı odun levhaları üretiminde yenilikler, Bahar Yarıyılı Seminerleri, Seminer serisi-2, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kalaycıoğlu, H., 1991. Sahil çamı (*Pinus Pinaster*) odunlarının yongalevha üretiminde kullanılması imkanları, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kalaycıoğlu, H. ve Özen, R. 2012. Yongalevha endüstrisi ders notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstrü Mühendiliği Bölümü, Trabzon.
- Kalaycıoğlu, H., Yel, H. ve Dönmez Çavdar, A., 2012. Çimentolu odun yünü kompozitleri ve kullanım alanları. *Journal of Forestry Faculty of Kastamonu University*, 12(1): 122-133.
- Karade, S. R., 2010. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. *Construction and building materials*, 24(8): 1323-1330.
- Karade, S. R., Irle, M. ve Maher, K., 2003. Assessment of wood-cement compatibility: A new approach. *Holzforschung*, 57(6), 672-680.
- Kartal, S. N., Imamura, Y., 2004. Borlu bileşiklerin emprenye maddesi olarak ağaç malzeme ve kompozitlerde kullanımı, II. Uluslar Arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, cilt II, s.333-338.
- Kökipek, B., 2010. Suni alçının çimento üretiminde kullanılabilirliği, Yüksek lisans tezi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Krüger, E. L., Adriazola, M., Matoski, A. ve Iwakiri, S., 2009. Thermal analysis of wood-cement panels: Heat flux and indoor temperature measurements in test cells. *Construction and Building Materials*, 23(6): 2299-2305.
- Lee, A. C., Hong, Z. 1986. Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood-cement compatibility, *Forest Products Journal*, 36(11-12): 87-90.
- Li, W., Shupe, T. F. ve Hse, C. Y., 2004. Physical and mechanical properties of flakeboard produced from recycled CCA-treated wood. *Forest Products Journal*, Vol. 54, No. 2, p. 89-94.

- Liu, J., Ma, X. ve Li, Y., 2010. Impact of admixture on physical ve mechanical properties of straw-cement-based composite material. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*, 29(2): 293-295.
- Ma, L.F., Yamauchi, H., Pulido, O.R., Sasaki, H. ve Kawai, S., 2000. Production ve properties of oriented cement-bonded boards from sugi (*Cryptomeria Japonica* D. Don), Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region, Canberra, Australia, 140-147.
- Marzuki, A. R., Rahim, S., Hamidah, M. ve Ruslan, R. A., 2011. Effects of wood: cement ratio on mechanical and physical properties of three-layered cement-bonded particleboards from *Leucaena leucocephala*. *Journal of tropical forest science*, 23(1): 67-72.
- Mendes, R. F., Vilela, A. P., Farrapo, C. L., Mendes, J. F., Tonoli, G. H. D. ve Mendes, L. M. 2017. Lignocellulosic residues in cement-bonded panels, In Sustainable ve nonconventional construction materials using inorganic bonded fiber composites Woodhead Publishing, Brazil. 3-16s.
- Miller, D. P., Moslemi, A. A., 1991. Wood-cement composites: species ve heartwood-sapwood effects on hydration ve tensile strength. *Forest Products Journal (USA)*, s. 41-3.
- Mindess, S., Young, J. F., 1981. Concrete, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Miyatake, A., Fuijii, T., Hiramatsu, Y., Abe, H. ve Tonosaki, M., 2000. Manufacture of wood strand-cement composite for structural use. *Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region*, 148-152.
- Musa, N. M., 2014. Thermal analysis of cement paste partially replaced with Neem Seed Husk Ash. *Int. J. Sci. Eng. Res*, 5(1): 1101-1105.
- Moslemi, A. A., 1974. Particleboard (2 vols). Southern Illinois University Press, Carbondale, IL, pp. 185-186. 1974.
- Moslemi, A. A., Pfister, S. C., 2007. The influence of cement/wood ratio ve cement type on bending strength ve dimensional stability of wood-cement composite panels. *Wood and fiber science*, 19(2), 165-175.
- Moslemi, A. A., 1999. Emerging technologies in mineral-bonded wood ve fiber composites. *Advanced Performance Materials*, 6(2): 161-179.
- Mougel, E., Beraldo, A. L. ve Zoulalian, A. 1995. Controlled dimensional variations of a wood-cement composite, *Holzforschung*, 49(5): 471-477.
- Nasser, R. A., Al-Mefarrej, H. A., Abdel-Aal, M. A. ve Alshahrani, T. S., 2014. Effects of tree species and wood particle size on the properties of cement-bonded particleboard manufacturing from tree prunings, *Journal of Environmental Biology*, 35: 961-971.
- Newman, J., Choo, B. S., 2003. Advanced Concrete Technology Processes, Butterworth-Heinemann, An Imprint of Elsevier, UK.
- Noor Azrieda A. R., Razali A. K., Izran K., Rahim S. ve Abdul Aziz M., 2009. Hydration performance of cement bonded wood composites: compatibility assessment of six pioneer forest species, *Journal of Borneo Science*, 25: 47-57.
- OGM, 2015. Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Türkiye Orman Varlığı, Ankara, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Okino, E. Y., De Souza, M. R., Santana, M. A., da S Alves, M. V., de Sousa, M. E. ve Teixeira, D. E., 2004. Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt ve rubberwood, *Cement and Concrete Composites*, 26(6): 729-734.

- Papadopoulos, A. N., Ntalos, G. A. ve Kakaras, I., 2006. Mechanical and physical properties of cement-bonded OSB. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64(6): 517-518.
- Peschard, A., Govin, A., Pourchez, J. A. E., Fredon, E., Bertrand, L., Maximilien, S. ve Guillhot, B., 2006. Effect of polysaccharides on the hydration of cement suspension, *Journal of the European Ceramic Society*, 26(8): 1439-1445.
- Postacıoğlu, B. 1987. Beton: Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Qi, H., Cooper, P. A., Wan, H., 2006. Effect of carbon dioxide injection on production of wood cement composites from waste medium density fiberboard (MDF). *Waste Management*, 26(5): 509-515.
- Sadıç, E., 2008. Pirinç kabuğu külünden çeşitli silikatların üretilmesi Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sanderman, W., Preusser, H.J., ve Schwiens, W., 1960. The Effect of Wood Ekstraktives, on the Setting of Cement-bonded Wood Materials, *Holzforschung*.
- Sandermann, W., Brendel, M., 1956. Studien über mineralgebundene Holzwerkstoffe-Zweite Mitteilung: Die "zementvergiftende" Wirkung von Holzinhaltsstoffen und ihre Abhängigkeit von der chemischen Konstitution. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 14(8): 307-313.
- Sandermann, W., Kohler, R., 1964. Über eine kurze Eignungsprüfung von Hölzern für zementgebundene Werkstoffe-Studien über mineralgebundene Holzwerkstoffe, VI. Mitteilung. *Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, 18(1-2): 53-59.
- Sauvat, N., Sell, R., Mougél, E. ve Zoulalian, A., 1999. A study of ordinary Portland cement hydration with wood by isothermal calorimetry. *Holzforschung*, 53(1): 104-108.
- Semple, K. E., Evans, P. D., 2004. *Wood-cement Composites: Suitability of Western Australian Mallee Eucalypt, Blue Gum and Melaleucas: a Report for the RIRDC/Land ve Water Australia/FWPRDC/MDBC Joint Venture Agroforestry Program*. RIRDC 64.
- Simatupang, M.H., (1979). Water requirement for the production of cement-bonded particleboard, *Holz Roh-und Werkstoff*, 37: 379-382.
- Shaikh, F. U. A., 2013. Review of mechanical properties of short fibre reinforced geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 43: 37-49.
- Soroushian, P., Aouadi, F., Chowdhury, H., Nossoni, A. ve Sarwar, G., 2004. Cement-bonded straw board subjected to accelerated processing. *Cement and Concrete Composites*, 26(7): 797-802.
- Sotannde, O. A., Oluwadare, A. O., Ogedoh, O., ve Adeogun, P. F., 2012. Evaluation of Cement-Bonded Particle Board Produced From Afzelia Africana Wood Residues, *Journal of Engineering Science and Technology*, 7(6): 732-743.
- Stahl, D. C., Cramer, S. M. ve Geimer, R. L., 2007. Effects of microstructural heterogeneity in cement excelsior board, *Wood and Fiber Science*, 29(4): 345-352.
- Subaşı, S., İşbilir, B., ve Ercan, İ., 2011. Uçucu kül ikameli çimento numunelerinin mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi, *Politeknik Dergisi*, 14(2): 141-148.

- Sudin, R., Swamy, N., 2006. Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration, *Journal of Materials Science*, 41(21): 6917-6924.
- Swamy, R. N., 2000. FRC for Sustainable Infrastructure Regeneration and Rehabilitation, Proc. of the Fifth Int RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete, RILEM, Publications S.A.R.L., March, France, 3-18.
- Şafak, A., 2014. Çimento Minerolojisinin ve Petrografisinin Çimento Teknolojisine Katkısı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Tandırılı, E., Akalın, Ö., ve Arca, E., 2000. Effects of different superplasticizers on early strength of concrete. In *Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete*.
- Taşkın, C., 1994. Türkiye’de çimento ve hammadde kaynakları, türkiye çimento müstahsilleri birliği, Ankara.
- Taylor, P. C., Van Dam, T. J, Sutter, L. L., ve Fick, G. J., 2019. Integrated materials and construction practices for concrete pavement: a state-of-the-practice manual, Second Edition, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA.
- Thomas, N. L., Birchall, J. D., 1983. The retarding action of sugars on cement hydration, *Cement and Concrete Research*, 13(6): 830-842.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M. ve Karakurt, C., 2006. Beton üretiminde kimyasal katkı kullanımı, *Politeknik Dergisi*, 9(1): 59-63.
- TS EN 197-1, 2002. Genel çimentolar- bölüm 1: Genel çimentolar- bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1351, 1973. Yonga ve talaş imalatında kullanılan odun, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-1, 2013. Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, TSE, Ankara.
- TS EN 310, 1999. Ahşap esaslı levhalar-eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 317, 1999. Yonga levhalar ve lif levhalar-su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 319, 1999, TS EN 319, Yonga levhalar ve lif levhalar-levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 320, 2011, Yonga levhalar ve lif levhalar-vida tutma mukavemetinin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 322, 1999. Ahşap esaslı levhalar-rutubet miktarının tayini, TSE, Ankara., 1999.
- TS EN 323, 1999. Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini, TSE, Ankara., 1999.
- TS EN 634-2, 2009. Çimentolu yonga levhalar- özellikler- bölüm 2: Kuru, nemli ve açık hava şartlarında kullanılan normal portland çimentosu (npç) ile yapıştırılmış yonga levhaların özellikleri, TSE, 1 Baskı, Ankara.
- TS EN 633, 1999. Çimentolu yonga levhalar- tarif ve sınıflandırmalar, TSE, Ankara.
- Ulusoy, H., PEKER, H., 2019. Ahşap endüstrisinde kompozit üretimi ve kullanımı, *SETSCI Conference Proceedings*, 4(1):595-598.
- URL-1. İnşaat söktörü raporu. Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası, <https://intes.org.tr/> (06 Nisan 2020,14:40).
- URL-2. Global Powers of Construction, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/ocuments/energy-resources/us-global-powers-of-construction-2018.pdf>, (07 Nisan 2020,18:45).

- URL-3. <https://bi-ozet.com/2020/09/03/turkiye-imsad-agustos-2020-sektor-raporu-aciklandi/> (03 Eylül 2020, 15:30).
- URL-4. Türkiye Ormancılığı 2019, Türkiye Ormancılar Derneği, https://www.ormancilarderneği.org/dosyalar/files/revize_rapor7%20web.pdf (20 Nisan 2020, 18:30).
- URL-5. Forest Products Laboratory, Wood Handbook, Madison,WI: U.S.Department of Agriculture, Forest Service,. www.fpl.fs.fed.us (04 Nisan 2020, 16:30).
- URL-6. <https://chrome-effect.ru/tr/osteklenie/uteplenie-pola-v-derevyannom-dome-raznovidnosti-uteplitelei-i-poryadok-rabot/> (25 Aralık 2020)
- URL-7. Kasımlı Yapı Endüstritrisi <http://www.kasimli.com/Blog/Betopan-Cimentolu-Yonga-Levha-Malzemesinin-Tarihsel-Gelisimi.html>. (20 Mayıs 2020, 20:20).
- URL-8. <http://tr.rivagips.com/cimentolu-yonga-levha/> (25 Aralık 2020, 15:45)
- URL-9. <https://dp32.ru/tr/moduli-pozharotusheniya/cementno-struzhechnaya-plita-razmery-cementno-struzhechnaya/> (25 Aralık 2020, 18:45)
- URL-10. <http://www.certainteed.com/products/vinyl-siding/vinyl-carpentry-trim> (25 Mayıs 2020, 15:25).
- URL-11. <https://www.jameshardie.com/Why-Hardie/Performance-and-Durability>, (06 Mayıs 2020, 16:05).
- URL 12. US Geological Survey, Statista. <https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/> (15 Mayıs 2020, 18:45).
- URL-13. <http://askalecemento.com.tr/urunler.aspx?id=3> (1 Temmuz 2020, 12:55)
- URL-14. <http://www.arescemento.com.tr/> (1 Temmuz 2020, 23:30)
- URL-15. <https://www.tekkim.com.tr/katalog/b4b81b397Tekkim%2020Catalogue.pdf> (15 Eylül 2020, 20:15)
- Ünal, O., Kibici, Y., (2001). Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu. Afyon, Bildiriler Kitabı*, 317-325.
- Van Elten, I. E. B., 2006. Cement bonded particle board (CBPB) and wood strand cement board (EltoBoard): Production, properties and applications. In *10th Inter. Inorganic Bonded Fiber Composites Conf. (IIBCC), Sao Paulo, Brazil* 1-10.
- Van Elten, G. J., 1975. Wood wool cement boards used for low cost houses and other applications. In *at the conference of the FAO of the United Nations in New Delhi, India*.
- Wang, L., Chen, L., Tsang, D. C., Li, J. S., Yeung, T. L., Ding, S. ve Poon, C. S., 2018. Green remediation of contaminated sediment by stabilization/solidification with industrial by-products and CO₂ utilization. *Science of the Total Environment*, 631, 1321-1327.
- Warden, P. E. G., Savastano, H. ve Coutts, R. S. P., 2002. Fibre-cement composites from Brazilian agricultural and industrial waste materials, *CSIRO Forestry and Forest Products, Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region Proceedings*, Canberra, Australia.
- Weatherwax, R.C. ve Tarkow, H., 1964. Effect of Wood on the Setting of Portland Cement, *Forest Products Journal* 567-570.
- Weber, H., 1985. International construction system. in: handbook of element construction with cement boards ve other types of board. *Bison-Werke: Springe*; 93-104.

- Wei, Y. M., Fujii, T., Hiramatsu, Y., Miyatake, A., Yoshinaga, S., Fujii, T. ve Tomita, B. 2004. A preliminary investigation on microstructural characteristics of interfacial zone between cement and exploded wood fiber strand by using SEM-EDS. *Journal of Wood Science*, 50(4): 327-336.
- Wei Y. M., Tomita B., Hiramatsu Y., Miyatake A., ve Fujii T., 2002. Study of hydration behaviors of wood-cement mixtures: compatibility of cement mixed with wood fiber strand obtained by the water-vapor explosion process, *Journal of Wood Science*, 48(5): 365–373.
- Wolfe, R. W., Gjinolli, A. 1996. Cement-bonded wood composites as an engineering material, *The use of recycled wood and paper in building applications*, 84-91.
- Xu Q., Stark J., 2005. Early hydration of ordinary portland cement with an alkaline shotcrete accelerator, *Advances in Cement Research*, 17(1): 1–8
- Yeğınbolu, A., 2004. Çimento-Yeni Bir Çağın Malzemesi. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı-Ankara*.
- Yel, H., 2015. Bazı üretim faktörlerinde çimentolu yongalevhaların özellikleri üzerine etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yel, H., Cavdar, A. D. ve Torun, S.B., 2020. Pres sıcaklığının çimento bazlı yonga levhanın bazı özelliklerine etkisi. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 22(1): 83-92.
- Yengül, F., 1984. Çimento kimyası, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı, Saim Toraman Matbaası, Ankara, 24s. Genişletilmiş Üçüncü Baskı, 149s, İzmir.
- Zhang, T., Dieckmann, E., Song, S., Xie, J., Yu, Z., ve Cheeseman, C., 2018. Properties of magnesium silicate hydrate (MSH) cement mortars containing chicken feather fibres. *Construction and Building Materials*, 180: 692-697.
- Zhengtian, L., Moslemi, A. A., 1985. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixtures. *Forest Products Journal*, 35(7-8): 37-43.
- Zhengtian, L., Moslemi, A. A., 1986. Effect of western larch extractives on cement setting, *Forest Products Journal* 36(1): 53-54.

ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Elvan ÜRÜN
Uyruğu :
Doğum tarihi ve yeri :
Medeni hali :
Yabancı Dili : -
Telefon :
Faks : -
e-posta :

Eğitim

Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Lisans

Artvin Çoruh Üniversitesi/ Orman Fakültesi
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

2013