

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANIMININ ÇİMENTOLU YONGA
LEVHALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman AHISKALIOĞLU

Danışman

Doç. Dr. Hüsnü YEL

Artvin-2023

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Granüle Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının imentolu Yonga Levhaların Bazı Teknolojik zelliklerine Etkisi ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Hüsnü YEL’in sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı taahhüt ederim. Aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim-ğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

- ☐ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Artvin oruh niversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin ay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

07/08/2023

Süleyman AHISKALIOğLU

İmza

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANIMININ ÇİMENTOLU YONGA
LEVHALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Süleyman AHISKALIOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07/08/2023

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 04/09/2023

Başkan : Prof. Dr. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Emrah PEŞMAN

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hüsnü YEL

ONAY:

Bu yüksek lisans tezi Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 04/09/2023 tarihinde **oy birliği** ile uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

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

Doç. Dr. Mustafa Çağatay KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Granüle Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Çimentolu Yonga Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları aşmamda bilgi ve tecrübesi ile yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Hüsnü YEL’e ve literatür araştırmamda yardımcı olan diğer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamda beni motive ederek süreç boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme de şükranlarımı sunarım.

Araştırmanın bilimsel ve teknik açıdan uygulayıcılara faydalı olmasını dilerim.

Süleyman AHISKALIOĞLU

Artvin – 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ

BEYANNAMESİ.....III

JÜRİ KABUL TUTANAĞI.....II

ÖNSÖZ..... III

İÇİNDEKİLER IV

ÖZET..... VII

SUMMARY.....IX

TABLolar DİZİNİ XI

ŞEKİLLER DİZİNİ XIV

KISALTMALAR DİZİNİ..... XV

1 GİRİŞ 1

2 GENEL BİLGİLER 7

2.1 Odun- Çimento Kompozitlerinin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi..... 7

2.1.1 Odun-Çimento Kompozitlerinin Kullanım Alanları ve Çeşitleri 8

2.1.2 Çimentolu yonga levha (ÇYL)..... 9

2.1.3 Çimentolu Lif Levha (ÇLL)..... 12

2.1.5 Çimentolu Şerit Yongalı Levhalar (ÇŞYL) 14

2.2 Odun-Çimento Kompozit Levhalarda Kullanılan Hammaddeler 14

2.2.1 Ağaç Malzeme 14

2.2.2 Yıllık Bitkiler 15

2.2.3 Odun Menşeli Geri Dönüşüm Atıkları..... 16

2.2.4 Çimento 18

2.2.5 Çimentoya Alternatif Malzemelerin Kullanılması..... 20

2.2.5.1 Uçucu Kül 20

2.2.5.2 Odun Külü 21

2.2.5.3 Pirinç Kabuğu Külü..... 22

2.2.5.4 Mermer Tozu..... 23

2.2.5.5 Silis Dumanı..... 24

2.2.5.6 Kâğıt Fabrikası Atık Çamuru 24

2.2.5.7 Yüksek Fırın Cürufu (YFC) 25

2.2.5.8 Granüle Yüksek Fırın Cürufu (GYFC)	28
2.2.6 Sertleştirici	32
2.3 Odun-Çimento Kompozitlerinin Özelliklerini Belirleyen Bazı Unsurlar	32
2.3.1 Çimento Hidratasyonu	32
2.3.2 Ağaç Türleri	34
2.3.3 Odun-Çimento Oranı.....	35
2.3.4 Su-Çimento Oranı	35
2.3.5 Yonga Boyut ve Geometrisi.....	36
2.3.6 Yonga Yönlendirmesi	37
3 MATERYAL VE YÖNTEM	38
3.1 Materyal	38
3.1.1 Ağaç malzeme	38
3.1.1.1 Doğu Ladini.....	38
3.1.2 Çimento	40
3.1.3 Granüle Yüksek Fırın Cürufu.....	40
3.1.4 Kalsiyum Klorür (CaCl ₂).....	41
3.2 Yöntem	42
3.2.1 Deneme Levhalarının Üretimi.....	42
3.2.2 Deneme Levhalarına Uygulanan Testler.....	44
3.2.2.1 Rutubet İçeriği.....	44
3.2.2.2 Yoğunluk	45
3.2.2.3 Su Alma.....	46
3.2.2.4 Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı	47
3.2.2.5 Eğilme Direnci (ED)	48
3.2.2.6 Eğilmede Elastikiyet Modülü (EEM).....	49
3.2.2.7 Yüzeye Dik Çekme Direnci (YDÇD)	49
3.3 İstatistik Yöntemler	51
4 BULGULAR	52
4.1 Fiziksel Özellikler	52
4.1.1 Rutubet İçeriği.....	52
4.1.2 Yoğunluk Değeri.....	55
4.1.3 Su Alma Oranı	58

4.1.4 Kalınlık Artımı	60
4.2 Mekanik Özellikler.....	64
4.2.1 Eğilme Direnci	64
4.2.1 Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	66
4.2.2 Yüzeye Dik Çekme Direnci	69
4.2.3 Vida Tutma Direnci	72
5 TARTIŞMA.....	76
5.1 Fiziksel Özellikleri	76
5.1.1 Rutubet Miktarı	76
5.1.2 Yoğunluk.....	77
5.1.3 Su Alma Miktarı.....	80
5.1.4 Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı	83
5.2 Mekanik Özellikler.....	86
5.2.1 Eğilme Direnci	86
5.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	88
5.2.3 Vida Tutma Direnci (VTD).....	90
5.2.4 Yüzeye Dik Çekme Direnci	92
6 SONUÇ ve ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	108

ÖZET

GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANIMININ ÇİMENTOLU YONGA LEVHALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bu çalışmada, demir-çelik fabrikalarında atık olarak ortaya çıkan granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) çimentolu yonga levha üretiminde Portland çimentosuna ikame olarak değerlendirilme olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, Portland çimentosuna ikame olarak farklı oranlarda (%10, %20, %30, %40, %50 ve %60) granüle yüksek fırın cürufu kullanılarak 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranlı, 1200 g/cm³ hedef yoğunluğa sahip ve 450x450x10 mm ebatlarında tek tabakalı çimentolu yonga levhalar üretilmiştir. Üretilen levhalar üzerinde rutubet (TS EN 322), yoğunluk (TS EN 323), su alma miktarı (ASTM D1037), kalınlık artım oranı (TS EN 317), eğilme direnci (TS EN 310), eğilmede elastikiyet modülü (TS EN 310), vida tutma direnci (TS EN 320) ve yüzeye dik çekme direnci (TS EN 319) gibi fiziksel ve mekanik testler yapılmış ve elde edilen sonuçlar ilgili standartta verilen limit değerlerle karşılaştırılmıştır. Test sonuçları değerlendirildiğinde, GYFC ikamesinin artışına bağlı olarak levhaların rutubet değerlerinde azalma gözlemlenmiş, yoğunluk değerinin ise %20 GYFC ikamesine kadar arttığı bu oranın üzerinde ise azaldığı görülmüştür. 2 ve 24 saatteki su alma miktarları en az kontrol levhalarında, en yüksek ise %60 GYFC ikameli levhalarda bulunmuştur. Ayrıca 1/2 odun-çimento (OÇ) oranlı levhaların su alma değerleri, 1/3 odun-çimento (OÇ) oranlı levhalardan daha fazla olmuştur. Levhaların kalınlık yönünde artım değerlerinin de, GYFC kullanım oranı artışına bağlı olarak arttığı, özellikle 1/2 OÇ oranlı levhalarda bu artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda % 40'a kadar GYFC kullanımının levhaların eğilme direnci değerini artırdığı, 1/2 OÇ oranlı levhalarda ise GYFC miktarı artışına bağlı olarak eğilme direnç değerinin düştüğü görülmüştür.

1/3 OÇ oranlı levhalarda %20'ye kadar çimentoya GYFC ikamesinin levhaların eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerine istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı, ancak 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC kullanımına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülü değerinin düştüğü görülmüştür. GYFC kullanımının levhaların vida tutma direncinde de azalmaya sebep olduğu, özellikle %30 üzerinde kullanımda ciddi düşüslere sebep olduğu tespit edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhaların yüzeye dik çekme direnç değeri üzerine %30'a kadar GYFC kullanımının istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı ancak 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC miktarının artışına bağlı olarak yüzeye dik çekme direncinin düştüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Granüle yüksek fırın cürufu, odun çimento oranı, çimentolu yonga levha, fiziksel özellikler, mekanik özellikler

SUMMARY

THE EFFECT OF GRANULATED BLAST-FURNACE SLAG ON SOME TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENT-BONDED PARTICLEBOARD

In this study, the possibilities of using ground granulated blast furnace slag (GGBFS), which is produced as waste in iron and steel factories, as a substitute for Portland cement in the production of cement-bonded particleboard were investigated. For this purpose, single-layer cement-bonded particleboards with 1/2-1/3 wood-cement ratio, 1200 g/cm³ target density, and 450x450x10 mm dimensions were produced by using GGBFS at different ratios (10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60%) as a substitute for Portland cement. Physical and mechanical tests such as humidity (TS EN 322), density (TS EN 323), water absorption (ASTM D1037), thickness swelling (TS EN 317), modulus of rupture (TS EN 310), modulus of elasticity (TS EN 310), screw holding resistance (TS EN 320) and internal bonding strength (TS EN 319) were performed on the produced boards, and the obtained results were compared with the relevant standard. The test results demonstrated that the moisture content values of the boards decreased with the increase of GGBFS substitution, while the density values increased up to 20% GGBFS substitution and decreased above this rate. The water uptake values for 2 and 24 hours were the lowest in the control boards, and the highest in the boards with 60% GGBFS substitution. The water absorption values of the boards with 1/2 wood-cement (WC) ratio were higher than the boards with 1/3 wood-cement (WC) ratio. The thickness swelling values of the boards also increased with the increase of GGBFS, especially in the 1/2 WC-ratio boards. The use of GGBFS up to 40% in the 1/3 WC-ratio boards led to an increase in the bending strength values of the boards, while the bending strength values of the boards with 1/2 WC-ratio decreased with the increase of GGBFS. The substitution of GGBFS to cement up to 20% in 1/3 WC-ratio boards did not have a statistical effect on the flexural modulus of elasticity of the boards, but the flexural modulus of elasticity decreased with the use of GGBFS in 1/2 WC-ratio boards. The use of GGBFS, especially in the use of more than 30%, also caused a decrease in the screw-holding resistance of the boards. The use of GGBFS up to 30% did not have statistically a significant effect on the internal bond strength values of the 1/3 WC-

ratio boards, but the internal bond strength values of the 1/2 WC- ratio boards decreased with the increase of GGBFS.

Keywords: Granulated blast furnace slag, wood-cement ratio, cement-bonded particleboard, physical properties, mechanical properties



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye de çimento üretimi ve satışı.....	19
Tablo 2. Öğütölmüş YFC'nin kimyasal bileşimi.....	27
Tablo 3. Doğü ladini odunun bazı özellikleri.....	39
Tablo 4. Deney levhalarında kullanılan çimentoya ait bazı özellikler.....	40
Tablo 5. GYFC'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	41
Tablo 6. Deneme levhalarının üretim parametreleri.....	43
Tablo 7. Deneylerde kullanılacak levhaların üretim planı	44
Tablo 8. GYFC ikameli yonga levhaların rutubet miktarı değeri.....	52
Tablo 9. Odun-çimento oranı ve GYFC kullanım miktarının deneme levhaların rutubet miktarı değeri üzerindeki etkisine ait ÇVA sonucu.....	53
Tablo 10. 1/2 odun-çimento oranı ile üretilen levhalarda GYFC ikame oranının rutubet miktarı üzerine etkisine ilişkin BVA sonucu.....	53
Tablo 11. 1/3 odun-çimento oranı ile üretilen levhalarda GYFC ikame oranının rutubet miktarı üzerine etkisine ilişkin BVA sonucu	54
Tablo 12. Deneme levhaların rutubet değeri üzerine ilişkin Duncan test sonucu.....	54
Tablo 13. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların yoğunluk değeri.....	55
Tablo 14. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların yoğunluk değerlerine etkisine ait ÇVA sonuçları.....	56
Tablo 15. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının yoğunluk değeri üzerine etkisine ilişkin BVA Sonucu.....	56
Tablo 16. 1/3 OÇ oranlı deneme levhalarında GYFC ikame oranının yoğunluk değeri üzerine etkisine ilişkin BVAsonucu.....	57
Tablo 17. Deneme levhaların yoğunluk değeri üzerine ilişkin Duncan test sonuçları.....	57
Tablo 18. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların su alma değeri.....	58
Tablo 19. OÇ oranı, suda bekletme süresi ve GYFC ikame miktarının deneme levhalarının su alma değeri üzerine etkisine ilişkin ÇVA sonuçları.....	59
Tablo 20. 1/2 OÇ oranlı levhaların su alma miktarına ait Duncan test sonucu.....	60
Tablo 21. 1/3 OÇ oranlı levhaların su alma miktarına ait Duncan test sonucu.....	60

Tablo 22. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların kalınlık artımı değeri.....	61
Tablo 23. OÇ oranı, suda bekletme süresi ve GYFC ikame miktarının deneme levhalarının kalınlık artımı değerlerine etkisine ait ÇVA sonucu.....	62
Tablo 24. 1/2 OÇ oranlı levhalarının kalınlık artımı değerlerine ait Duncan test sonucu.....	63
Tablo 25. 1/3 OÇ oranlı levhalarının kalınlık artımı değerlerine ait Duncan test sonucu.....	63
Tablo 26. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların eğilme direnci değeri.....	64
Tablo 27. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların eğilme direnci etkisine ait ÇVA sonucu.....	65
Tablo 28. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu.....	65
Tablo 29. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu.....	66
Tablo 30. GYFC Kullanımının Odun-Çimento Oranına Göre Eğilme Direnci Özelliklerine İlişkin Duncan Test Sonuçları.....	66
Tablo 31. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların EEM değerleri.....	67
Tablo 32. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların eğilme direncine etkisine ait ÇVA sonucu.....	68
Tablo 33. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının EEM değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu.....	68
Tablo 34. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının EEM değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu.....	69
Tablo 35. GYFC Kullanımının Odun-Çimento Oranına Göre EEM Özelliklerine İlişkin Duncan Test Sonucu.....	69
Tablo 36. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların YDÇD değeri.....	70
Tablo 37. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların YDÇD değerlerine etkisine ait ÇVA sonucu.....	70
Tablo 38. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının YDÇD değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu.....	71
Tablo 39. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının YDÇD değerlerine etkisine ait BVA sonucu.....	71

Tablo 40. GYFC kullanımının odun-çimento oranına göre YDÇD değerlerine ait Duncan test sonucu.....	72
Tablo 41. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların VTD değeri.....	73
Tablo 42. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların VTD'ye etkisine ilişkin ÇVA sonucu.....	74
Tablo 43. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının vida tutma direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu.....	74
Tablo 44. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının vida tutma direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu.....	75
Tablo 45. GYFC Kullanımının Odun-Çimento Oranına Göre VTD Özelliklerine İlişkin Duncan Test Sonuçları.....	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Odun-çimento kompozitleri.....	8
Şekil 2. Çimentolu yonga levha örnekleri.....	10
Şekil 3. Çimentolu yonga levha üretimi iş akış şeması.....	11
Şekil 4. Çimentolu yonga levha (ÇYL) uygulamaları.....	12
Şekil 5. Çimentolu lif levha uygulamaları.....	13
Şekil 6. Pik demir ve yüksek fırın cürufu üretim süreci.....	26
Şekil 7. GYFC'nun granülasyon yöntemi ile elde ediliş şeması.....	29
Şekil 8. GYFC'nun peletleme yöntemi ile elde ediliş şeması.....	30
Şekil 9. Portland çimentosu ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu.....	30
Şekil 10. Çimento hidratasyon süreçleri.....	33
Şekil 11 Odun-çimento oranının eğilme direnci üzerine etkisi	36
Şekil 12. Analitik terazi, b) Etüv.....	45
Şekil 13. a) Dijital Kumpas, b) Dijital Mikrometre.....	46
Şekil 14. Üniversal test makinesi ve eğilme test düzeneği.....	48
Şekil 15. YDÇD deney düzeneği ve mum silikon tabancası.....	50
Şekil 16. VTG test düzeneği	51
Şekil 17. Rutubet miktarı üzerine GYFC ikame oranının etkisi.....	76
Şekil 18. Levhaların yoğunluk değeri üzerine GYFC miktarının etkisi.....	79
Şekil 19. 2 Saatteki su alma miktarı üzerine GYFC miktarının etkisi.....	81
Şekil 20. 24 Saatteki su alma miktarı üzerine GYFC miktarının etkisi.....	82
Şekil 21. 2 Saatteki kalınlık artımı oranı üzerine GYFC miktarının etkisi.....	83
Şekil 22. 24Saatteki kalınlık artımı oranı üzerine GYFC miktarının etkisi.....	84
Şekil 23. Levhaların eğilme direnci üzerine GYFC miktarının etkisi.....	86
Şekil 24. Levhaların EEM üzerine GYFC miktarının etkisi.....	89
Şekil 25. VTD üzerine GYFC ikame miktarının etkisi	91
Şekil 26. YDÇD üzerine GYFC ikame miktarının etkisi	93

KISALTMALAR DİZİNİ

μm	:	Mikronmetre
BVA	:	Basit varyans analizi
CaCl_2	:	Kalsiyum klorür
CaOH	:	Kalsiyum hidroksit
CCA	:	Bakır krom arsenik
C-S-H	:	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
ÇLL	:	Çimentolu lif levha
ÇOYL	:	Çimentolu odun yünü levha
ÇŞYL	:	Çimentolu şerit yongalı levha
ÇVA	:	Çoğul varyans analizi
ÇYL	:	Çimentolu yonga levha
EEM	:	Eğilmede elastikiyet modülü
GYFC	:	Granüle yüksek fırın cürufu
İYA	:	İğne yapraklı ağaç
m^2	:	Metrekare
m^3	:	Metreküp
MPa	:	Megapaskal
OÇ	:	Odun-çimento
OSB	:	Yönlendirilmiş yonga levha
ÖGYFC	:	Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
Sx	:	Standart Sapma
TS EN	:	Türk Standardı (Türk Standartları Enstitüsü)
YFC	:	Yüksek fırın cürufu
$\bar{X}$	:	Aritmetik Ortalama

1 GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışı barınmaya olan ihtiyacı da artırmaktadır. Bu ihtiyaç inşaat sektörünün önemini artırmakla beraber bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Özellikle hammadde ihtiyacının artmasına bağlı olarak doğal kaynakların sınırlı kalması ve hızla tükenişi, inşaat yapımında girdilerin artmasına ve yüksek maliyet sorununa sebep olmaktadır (Yel 2015).

İnşaat sektörü; teknolojik gelişmelere ayak uyduran, devletimizin ulusal hedeflerine bağlı olarak süreklilik arz eden ve planlı bir şekilde geliştirilerek uluslararası rekabet gücü yüksek, mali verimliliği olan, hem yarattığı katma değer hem de istihdam açısından ülkemizde gıda ve tekstilden sonra üçüncü büyük sektör olarak ülke ekonomisindeki yerini almaktadır. Bu sektörün en önemli özelliklerinden biri de yerli sermaye ve yerli üretimle varlığını sürdürebilmesidir. İnşaat sektörüne bağlı olarak 200’den fazla alt sektörün de lokomotif konumundadır. Ayrıca büyük bir istihdam kaynağı olması açısından da çok ciddi önem arz etmektedir (Hozan, 2006).

İnşaat sektöründe özellikle son yıllarda geniş bir kullanım alanına sahip olan odun-çimento kompozitleri; prefabrik ev yapımı, dış cephe kaplaması, mutfak tezgâhları zemin döşeme altlığı, zemin malzemesi, çatı arduvazı, ısıya dayanıklı duvar, döşeme levhası, dekoratif çit levhası, çatı kaplama malzemesi, çit direkleri, karo destekçisi, oluklu demiryolu ses bariyeri, laboratuvar tezgâhları, beton kalıp sisteminde sabit kalıp ve ses azaltıcı bariyer duvarları olarak kullanılmaktadır. Bu levhalar; rutubete, termit ve odun zararlılarına dirençli oluşu, termal izolasyonunun ve akustik performans değerinin iyi olması, yoğunluğunun düşük olması ve dekoratif özelliklerinden dolayı yüzme havuzları, kütüphane, gibi mekanlarda da geniş kullanım alanına sahiptir (Yel, 2015).

Türkiye’ de 1910 yılında başlayan çimento üretimi süregelen yıllar içerisinde artarak devam etmiş ve günümüzde 56 entegre tesis 21 öğütme ve paketleme tesisi olmak üzere 77 çimento fabrikasında toplam 73,9 milyon tona ulaşmıştır. Bu üretimin 17,7 milyon tonu ihraç edilmiş ve ülke ekonomisine yaklaşık 1,6 milyar dolar katma değer sağlanmıştır (URL-1, 2022).

Çimento tüketim ve üretimindeki hızlı artış beraberinde çevresel sorunları da getirmektedir. Bu sorunların başında toz, emisyon, gürültü ve titreşim gelmektedir. Yasal mevzuat bu konuyla ilgili bazı kıstaslar belirlemişse de firmalar gerek rekabet gerekse sürdürülebilirlik kaygısıyla mevzuat ihlalleri yaparak idari yaptırımlarla karşı karşıya kalabilmektedir. Mevzuatın gerekleri sıkı izleme ve müdahaleyle takip edilirken, çimentoyu çevre dostu bir malzeme haline getirmek için sera gazı salınımını azaltma, alternatif enerji ve hammadde kullanım olanakları araştırılmakta ve bu yönde strateji belirlenmeye çalışılmaktadır (Tunçez, 2021).

Bu amaç doğrultusunda özellikle çimentoya ikame malzemelerin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Endüstriyel üretimlerde atık malzeme olarak ortaya çıkan ve tek başına kullanılamayan bazı maddeler (granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, mermer tozu, kağıt fabrikası atık çamuru vb.), gerek çevreye zararları gerekse depolama zorlukları nedeniyle önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu atık malzemeler belirli bir orana kadar çimentoya ikame olarak kullanılarak ekonomiye kazandırılmaları ve çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması büyük önem arz etmektedir. Beton üretiminde Portland çimentosuna ikame olarak kullanılan yapay puzolanlardan birisi de demir-çelik fabrikalarında pik demiri üretimi sırasında meydana gelen endüstriyel atık konumundaki granüle yüksek fırın cürufudur. Yüksek fırının üst kısmında eriyik bir durumda biriken ve atık malzeme olarak ayrıştırılan cürufun sıcaklığı yaklaşık 1500°C olduğundan direkt kullanımı mümkün değildir. Muhtevasında yüksek oranda silis ve alümin olan ve amorf yapıya sahip olan yüksek fırın cürufları, bol miktarda su kullanılarak hızlı bir şekilde soğutulduğunda kum tanelerine benzer büyüklükte (4mm) bir yapıya kavuşurlar. Ulaştıkları bu form nedeniyle “granüle yüksek fırın cürufu” olarak isimlendirilmektedir (Bilim ve Atış, 2011).

Granüle yüksek fırın cürufunun çevre ve ekonomi üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla, çimentoya ikame olarak kullanımıyla ilgili bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. GYFC'nin çimentoya ikame olarak kullanılması; çimento üretim miktarının azalmasına neden olacak ve bu da çevreye verilen zararın azaltılması ve ekonomik kazanç elde edilmesi gibi faydalar sağlayacaktır.

Yun ve ark. (2020), Portland çimentosuna ikame olarak GYFC'nin kullanılmasının betonun priz süresi, sağlamlığı, basınç ve eğilme mukavemetlerine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak kürlenme süresinin harcın mukavemetini arttırdığı ve belirli oranlarda GYFC ikamesinin betonda faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilim ve Atış (2011), Portland çimentosuna ikame malzeme olarak GYFC kullanımının uygun ve yeterli kür uygulanmasına bağlı olarak betonun dayanma ve aşınma mukavemetlerinde olumlu etki gösterdiği, %40'a kadar GYFC ikamesinin (uygun kimyasal katkıları ve 0,30 su/bağlayıcı oranlı) olumlu sonuçlar verebileceğini ve ıslak küre maruz bırakılan numunelerin kuru kürlenmiş numunelere nazaran daha yüksek aşınma ve mukavemet değeri gösterdiklerini rapor etmiştir.

Şeker (2019), GYFC'nin kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada; ince agrega yerine GYFC agregasını %0, 25, 50 ve 75 oranlarında, 400 kg/m³ çimento, 100 kg/m³ uçucu kül ve 0,45 sabit s/ç içeriğe haiz kendiliğinden yerleşen betona ikame ederek farklı testlere tabi tutmuştur. Belirtilen karışım oranlarıyla üretilen beton numunelerinin 7, 28 ve 90. gün sonundaki özellikleri incelendiğinde %25 -%50 oranlarında taze hal özelliklerinde iyileşmenin görüldüğü ancak GYFC agregası miktarı arttıkça basınç dayanımlarında azalma tespit edildiği bildirilmektedir.

Cahyani ve Rusdianto (2020), GYFC ikamesinin (%0, %30, %50 ve %70) betonun performans değerlerine etkisi konusundaki çalışmada; betonun basınç dayanımı, elastikiyet modülü ve gözeneklilik testleri sonucunda elastiklik modülü değerinde ikame miktarının artışına bağlı olarak bir azalmanın olduğu ancak betonun gözenek hacmini azalttığı ve %50 oranında GYFC ikamesinin kabul edilebilir değerler verdiğini rapor etmiştir.

Ulugöl (2015), çimentoya ikame olarak belirli bir miktar yüksek fırın cürufu kullanımının çimento harcının durabilite performansına olumlu etkisinin olduğunu bildirmiştir. Çimento harcına ilave olarak %20 oranında yüksek fırın cürufu kullanımının optimum fayda sağladığını belirtmiştir.

Şahan (2006), çimento oranı sabit tutularak karışıma %17, %33 ve %50 oranlarında YFC ikame edilerek farklı beton numuneleri üretmiş ve bu numuneler su ve hava ortamlarında bekletilerek YFC'nin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Test sonuçları değerlendirildiğinde; YFC'nin betonda işlenebilirliği artırdığı ve su ihtiyacını azalttığı tespit edilmiş, basınç dayanımında ise 28. güne kadar referans değerlere yakın değerler elde edilmiştir. Ağırlıkça su emme oranında %50 YFC ikameli betonların ise su emme oranlarının referans değerinin altında kaldığı belirtilmiştir.

Saran (2007), GYFC ikameli farklı karışım oranlarına sahip 20 adet betonu farklı koşullarda (hava ve suda kürlenme) üretmiş ve üretilen numuneleri farklı testlere tabi tutarak karşılaştırma yapmıştır. Buna göre su ile kürlenmiş numunelerin hava kürlü numunelerine göre çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Ören (2017), GYFC'nin betonlarda kum yerine ikame malzemesi olarak kullanılabileceği, mukavemet için çimento miktarının artırılmasına gerek olmadığı, bunun yerine porozite miktarının daha önemli olduğunu bildirmiştir.

Vu ve ark., (2019), çimentoya ikame olarak %10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında odun külü kullanımının çimentolu yonga levhaların eğilme direnci, su alma miktarı ve sertlik değerlerine etkilerini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, %30'a kadar odun külü kullanımının levhaların mekanik değerlerinde optimum sonuçları verdiği rapor edilmiştir.

Ürün (2021), çimentoya ikame olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında uçucu kül kullanımının çimentolu yonga levhaların mekanik, fiziksel ve termal özellikleri üzerine etkisini incelediği çalışmada, uçucu kül ikamesinin levhaların rutubet miktarı ve su alma değerini artırdığı; yoğunluk ve kalınlık artımı değerlerini ise azalttığı belirlenmiştir.

Uçucu kül kullanılan tüm levhaların eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin referans levhaya göre daha iyi olduğu, fakat vida tutma gücü ve yüzeye dik çekme direnci değerlerin ise daha kötü olduğu rapor edilmiştir.

Aslan (2007), çimentoya ikame olarak %5, %10, %15 oranında içme suyu arıtma çamuru kullanılarak üretilen çimentolu yonga levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri incelemiştir. Çalışmada, çamur kullanımının levhanın özelliklerini olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır.

Yel (2015), çimentoya ikame olarak %10, %15 ve %20 oranında silis dumanı, 3 farklı sertleştirici ve üç farklı ağaç türü kullanılarak üretilen çimentolu yonga levhaların mekanik, fiziksel, termal ve morfolojik özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonucuna göre, çimentoya ikame olarak %15 oranına kadar silis dumanı kullanımının genel olarak çimentolu yonga levhaların özellikleri üzerinde olumlu etki yaptığı rapor edilmiştir.

Dönmez Çavdar ve ark. (2012), 1/3 odun-çimento oranlı ladin planya atığı ve kâğıt fabrikası atık çamuru ikameli çimentolu yonga levhalar üretmiştir. Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin irdelendiği bu çalışmada, çimentolu yonga levhalarda %20 oranında kâğıt fabrikası atık çamuru kullanılan levhaların standartları karşıladığı sonucuna varılmıştır.

Granüle yüksek fırın cürufunun çimentolu yonga levha üretiminde çimentoya ikame olarak kullanımıyla ilgili literatürde bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, demir-çelik fabrikalarında pik demir üretimi esnasında atık olarak ortaya çıkan granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) çimentolu yonga levha üretiminde çimentoya ikame malzeme olarak kullanılabilirliği ve GYFC'nin odun-çimento oranıyla etkileşiminin çimentolu yonga levhaların özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu maksatla farklı oranlarda (%10, 20, 30, 40, 50 ve 60) GYFC, iki ayrı odun-çimento oranı (1/2 ve 1/3) ve Doğu ladini (*Picea orientalis* L.) planya atığı kullanılarak 1200 kg/m³ yoğunlukta ve 450 mm *450 mm *10 mm boyutlarında 28 adet deneme levhası üretilmiş ve üretilen bu levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak endüstriyel bir atık olan GYFC'nin çimentolu yonga levha endüstrisinde çimentoya ikame malzeme olarak kullanılabileceği;

kaliteli ve düşük maliyetli levhaların üretiminin mümkün olabileceği tespit edilmiştir.



2 GENEL BİLGİLER

2.1 Odun- Çimento Kompozitlerinin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Kompozit kavramı; iki ya da daha fazla farklı özellikleri ihtiva eden materyallerin, uygun bağlayıcı ve uygun tekniklerle birleştirilmesiyle meydana getirilen yeni ve üstün özelliklere sahip malzemeler olarak ifade edilebilir (Maloney ve Youngquist, 1999). Kompozit malzemenin en belirgin avantajı kullanılan farklı malzemelerin zayıf yönlerinin bir diğer malzemenin olumlu özelliği ile kapatılmasıdır. Örneğin odun-çimento kompozitleri; odundan kolay işlenebilirlik, hafiflik ve esneklik özelliklerini, çimentodan ise yanmaya, çürümeye ve rutubete karşı dayanım özelliklerini almıştır (Yel, 2015).

Odun-çimento kompozitleri: odun yongaları ve tarımsal bitki kaynaklarının, çimento, su ve bazı kimyasallarla karıştırılarak uygun sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle elde edilen özgül ağırlığı yüksek, düzgün yüzeyli malzemelerdir.

Bu kompozitlerin inşaat sektörü tarafından benimsenerek kullanılmasının asıl sebebi ahşap ve çimentonun olumlu ve istenilen özelliklerinin bu kompozit levhalarda bir araya getirilmesidir. Örneğin ahşap malzemenin düşük özgül ağırlığı, elastikiyeti ve kolay işlenebilir olması; çimentonun ise yanmaya, çürümeye, rutubet ve suya karşı dayanımının yüksek olması odun-çimento kompozitlerinin yüksek nitelikli inşaat malzemesi olarak kullanılmasına sebep olmuştur (Kalaycıoğlu, 2006).

Özellikle çimentolu yonga levhaların yoğunlukları ve levhaların vidalarla yüzeylere montajının kolay olması sebebiyle inşaat sektörü tarafından benimsenmiştir. Mevcut durumda ise odun yüklü çimento kompozit levhaların kullanımı artmıştır. Bu levhalar özellikle iç mekânlarda, ayrıca suya dayanıklılığı nedeniyle tavan ve çatılarda da örtücü malzeme olarak kullanılmaktadır (Elten, 2006).

Şekil 1’de odun-çimento kompozitlerine ait bazı örnekler verilmiştir. Heraklith adı altında ilk kez 1930’lu yıllarda üretilen odun-çimento kompozitlerinde ambalajlamada kullanılan talaşlardan yararlanılmıştır. Magnazit bağlayıcı madde olarak kullanılmışsa da daha sonra yerini Portland çimentosuna bırakmıştır. Bu

proseste üretilen levhalar hafif levhalardır (350–500 kg/m³). Binaların ısı ve ses yalıtımında kullanılmaktadırlar (Kalaycıoğlu, 1996).

Tarihte ilk üretimi yapılan çimentolu odun yünü levha (ÇOYL) ise 1880 yılında Almanya’da odun lifleri, su ve çimento kullanılarak üretilmiş ve patenti alınmıştır. Robert Scherer 1908 tarihinde Viyana’da magnezit çimentolu levhanın patentini almıştır (Elten, 2006).

Geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğine kadar kullanılan asbest kanserojen etkilerinden dolayı terk edilmiş, alternatif olarak asbest lifleri yerine odun lif artıkları tercih edilmeye başlanılmıştır (Moslemi, 1999).



Şekil 1. Odun-çimento kompozitleri (URL-2)

2.1.1 Odun-Çimento Kompozitlerinin Kullanım Alanları ve Çeşitleri

Odun-çimento kompozitleri özellikle son zamanlarda inşaat sektöründe kendine önemli bir kullanım alanı oluşturmuştur. Ekonomik, hafif, esnek, suya, ateşe ve çürümeye karşı yüksek dayanıklı malzeme olması nedeniyle odun çimento kompozitleri, iç mekânlarda bölmeler, dış duvar uygulamaları ve komple cephe giydirme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, ses yalıtım özelliğinin çok iyi

olması sebebiyle de otoyolların cephe kaplamalarında, endüstriyel işletmelerin çelik konstrüksiyonlarının kaplamasında, aynı zamanda iyi bir ısı yalıtım malzemesi olması sebebiyle büro, asmakat ve depolarda da kullanılmaktadır. Odun-çimento kompozitleri; yalıtım kimyasalları olarak kullanılan poliüretan ve polyester gibi malzemelerle birleştirilerek soğuk hava depoları, tiyatrolar gibi mekanlarda da akustik ve termal değerlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).Zemine direkt teması bulunan döşemelerin kaplanması ısı tasarrufunu %15 oranında etkilemesi sebebiyle tercih edilmektedir (Lee ve Hong, 1994).

2.1.2 Çimentolu yonga levha (ÇYL)

Çimentolu yonga levhaların ilk seri üretiminin 1967 yılında Durisol, Bison firması tarafından İsviçre’de yapıldığını görmekteyiz (URL-3). Ülkemizde ise 1984 yılında Bilkent Holding tarafından Ankara Bilkent’te Betopan ismiyle kurulmuş ve ilk ihracatını 1987 yılında yapmıştır. 1999 senesine gelindiğinde modernize edilen tesis Artvin ili Arhavi ilçesinde bulunan diğer çimentolu yonga fabrikasını da satın alıp bünyesine dahil etmiş; bu sayede Türkiye’de tek, dünyada ise 60.000 m³ kapasiteye sahip önemli bir üretici haline gelmiştir (URL-4).

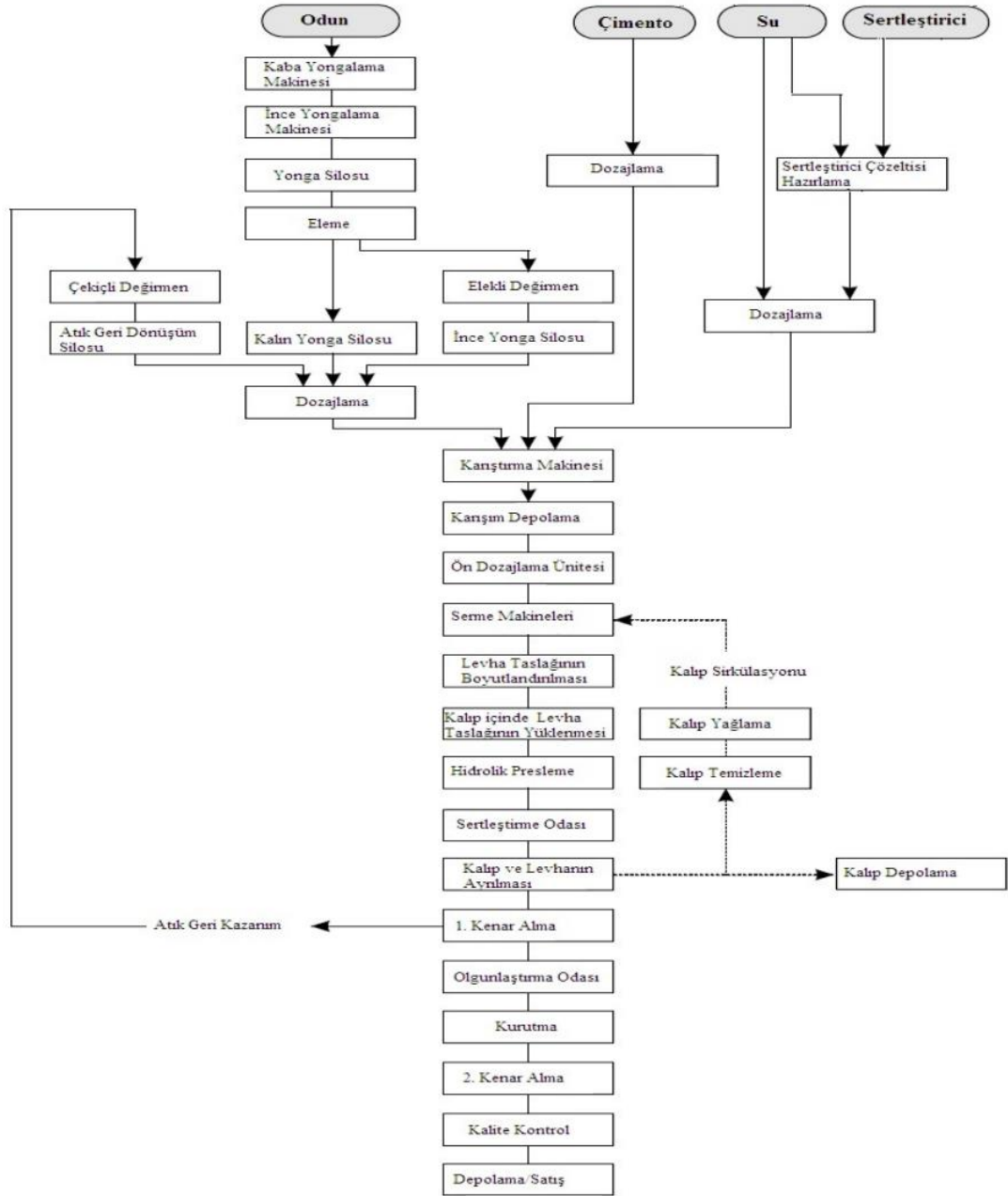
1970’li yılların başında geliştirilen 1250-1500 kg/m³ yoğunluk değerine sahip çimentolu yonga levha (ÇYL), asbestli levhaların yerine geçerek yapı malzemesi olarak kullanıma sunulmuştur (Aro, 2008). Dünya üzerinde en fazla imal edilen odun-çimento kompozitidir. Piyasada 2400-3600x1250x4-40 mm boyutlarında bulunmaktadır. Çimentolu yonga levhalarda kullanılan yongaların boyutları genellikle organik bağlayıcılı yonga levhalarda olduğu gibi 0.25-0.40 mm kalınlık ve 2-6mm genişlikte olup uzunlukları 10-25 mm arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 2’de yüzeyleri zımparalanmış ve zımparalanmamış çimentolu yonga levha örnekleri verilmiştir.



Şekil 2. Çimentolu yonga levha örnekleri (URL-5).

Bu levhalar 2 farklı şekilde üretilabilmektedir. Bunların ilki üç tabakalı olanlardır. Tabakalar arasındaki geçiş anidir. Bu levhaların yüzey tabakaları ince, orta tabakaları ise kaba ve kalın kaba yongalardan oluşmaktadır. İkincisinde ise tabakalar arasındaki geçiş tedricidir. Orta kısımda en kaba (kalın) yonga, yüzeyde (en dışta) ise en ince yongalar olacak şekilde serme işlemi gerçekleştirilmektedir. Kısaca levha kalınlığının merkezinden her iki yüzeye doğru yongaların kalınlığı azalmaktadır. Çimentolu yonga levha üretimi iş akış şeması Şekil 3'te verilmiştir (Van Elten, 2006).

Çimentolu yonga levhada bağlayıcı unsur çimentodur. Çimentonun karışımdaki ağırlık oranı %30-90 arasında, ahşap yongaların oranı ise %10-70 arasındadır (Youngquist, 1999).



Şekil 3. ÇYL üretimi iş akış şeması (Van Elten, 2006).

Çimentolu yonga levhalar; dış cephe kaplamalarında, elektrik enerjisiyle ısıtılan zemin döşemelerinde, beton duvar ve zeminlerin kalıcı olan kalıplarında, ses yalıtımının iyi olması nedeniyle yalıtım bölmelerinde, rutubet ve yanmaya karşı direnci nedeniyle bazı mobilyaların üretiminde kullanılmaktadır (Van Elten

2006;Aro 2008). Şekil 4’te çimentolu yonga levhaların dış cephe ve iç mekan uygulamalarına dair örnekler görülmektedir.



Şekil 4. Çimentolu yonga levha (ÇYL) uygulamaları (URL-6).

Ayrıca yoğunluğunun yüksek değerde olması ve çimento-mineral içeriği sebebiyle rüzgar kesme ve yangına karşı direnci de olumlu yönlerinden bazılarıdır. Bir deprem ülkesi olan Japonya’da deprem sonrasında meydana gelen yangınların verdiği zararların en aza indirilmesi için binaların dış cephe kaplamalarında çimentolu levhaların kullanılması yasal olarak zorunlu hale getirilmiştir (Van Elten, 2006).

2.1.3 Çimentolu Lif Levha (ÇLL)

Bu levha, çimento ve odun lifleri kullanılarak elde edilen dayanıklı bir yapı malzemesidir. İlk zamanlar asbest lifleri kullanılarak üretilen çimentolu lif levhalar, asbestin insan sağlığına zararlarının ortaya çıkmasıyla birçok ülke tarafından kullanılmaktan vazgeçilmiştir. Asbest liflerin yerine selüloz esaslı lifler kullanılmaya başlanmıştır. Bunun haricinde geri dönüşümden elde edilen lifler ve sentetik esaslı elyaflar da kullanılmaktadır.

Bu levhaların üretilmesinde Hatschek yöntemi diye bilinen yöntem kullanılmaktadır. Çimentolu lif levhaların kullanım alanları olarak; demiryollarında kullanılan çatı kaplama malzemesi, ses bariyerleri, ısıya karşı dayanıklı zemin-duvar malzemesi, çatı saçakları, laboratuvar ve mutfak tezgâhları gösterilebilir (Yel, 2015). Şekil 5’te

Çimentolu lif levhaların dış cepheler ve tavan kaplamasında kullanıldığı örnekler gösterilmektedir.



şekil 5. Çimentolu lif levha uygulamaları (URL-7)

2.1.4 Çimentolu Odun Yn Levhalar (OYL)

Her türlü iklim koşullarına dayanıklı işlevsel bir yapı malzemesi olan bu levhaların ana bileşenleri imento ve odun yönüdür. Odun yönleri, yaklaşık 50 cm boya sahip odunlardan elde edilirler. Üretimde kullanılan odun yönleri, 0.2-0.5 mm kalınlık, 1-5 mm genişlik ve 50 cm uzunluğundadır. Bu boyutlar imal edilecek levhaların işlevine göre farklılık gösterebilir. Örneğın dekoratif amaçlı levhaların odun yönleri dar ve kalın iken akustik özellik istenen levhalarda geniş ve ince odun yn kullanılır (Yel, 2015). Çimentolu odun yn levhaların yoğunlukları 300-500 kg/m³ aralığında farklılık gösterebilir (Wolfe ve Gjinolli, 1996). Çimentolu odun yn levhalar (OYL); normal, akustik, kompozit, yüksek yoğunluklu ve büyük boyutlu olarak sınıflandırılmaktadır. Normal OYL'ler çatı ve duvar bölmelerinin termal izolasyonunda, akustik OYL'ler tiyatro ve sinema gibi meknların duvar ve tavan kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu levhalar görünümünün estetik ve hoş olması için kısa odun yönünden levha ya da karo şeklinde üretilirler. Kompozit OYL'lerde termal yalıtım malzemesi olarak 2 veya 3 katmanlı olarak 15-140 mm kalınlığında üretilmektedir. Yüksek yoğunluklu OYL'ler isminden de anlaşılacağı üzere standart yoğunluk değlerlerinin üstünde 1000-1100 kg/m³ yoğunlukta olup iklim koşullarına dayanıklıdır. Bu levhalar kullanıldığında i ve dış cephede ayrıca bir sıva yapmaya gerek duyulmamaktadır. Büyük boyutlu OYL'ler (6*2,6- 3*0,35-0,50 m) zerine kapı ve pencere boşlukları açılmış şekilde prefabrik ev yapımında

kullanılmaktadır. Bu malzemeler yangına karşı dirençli, çevre dostu, hafif ve yüksek mekanik özelliklere haiz olduğu için yapı sektöründe kendine geniş bir kullanım alanı oluşturmıştır (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

2.1.5 Çimentolu Şerit Yongalı Levhalar (ÇŞYL)

Bu kompozit levhaları, Hollandalı Eltamotion firması geliştirmiştir. Üretiminde kullanılan metotlar diğer odun-çimento kompozitleriyle benzerdir. Özgül ağırlıkları standart çimentolu yonga levhalara göre daha düşüktür. Buna karşın vida tutma ve eğilme direnci daha yüksektir. Çimentolu yonga levhalara kıyasla suya maruziyet sonunda kalınlığındaki artış daha azdır (Aro, 2008). Piyasada bulunan ebatları 2,4-3 m uzunluk, 60 cm genişlik ve 0,8-2,5 cm kalınlıktadır (Van Elten, G.J. 2010). Çimentolu şerit yongalı levhalar (ÇŞYL); çoğunlukla endüstriyle yapılarda, tarımsal yapılar ve bina tadilatlarında kullanılmaktadır. Bu levhalar üzerine çivileme, vidalama ve zımbalama işlemleri yapılabilmekte ve ayrıca harç, sıva, boyama içinde uygun bir malzemedir. Kullanım alanları çeşitlilik arz etmektedir: dış cephe kaplaması, prefabrik yapılar, zemin döşemeleri, çatı kaplaması, ses bariyer duvarları bunlardan bazılarıdır (Aro, 2008).

2.2 Odun-Çimento Kompozit Levhalarda Kullanılan Hammaddeler

2.2.1 Ağaç Malzeme

Odun-çimento kompozit levha üretiminde yuvarlak odun yanında yakacak için ayrılan odun parçaları, tomruk kenarından alınan kapak tahtaları, tomrukların baş kısımlarının temizlenmesinden çıkan atıklar, kesim sonrası çıkan talaşlar, ağaç kaplama imalat atıkları, kereste üretim atıkları, ağaç budama ve aralama kesimlerinden elde edilen dal ve odunlar kullanılabilir (Kalaycıoğlu, 1991).

Yapılan araştırmalarda odun hammaddesinin kesim zamanı, depolanma şartları, kabuk içeriği gibi faktörlerin çimento hidratasyonu üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Sanderman ve ark., 1956). Kullanılan hammaddede bir genelleme yapıldığında iğne yapraklı ağaçların geniş yapraklı ağaçlara göre çimento ile uyumluluğunun daha iyi olduğu ve bu durumun sebebinin yapraklı ağaçlardaki

“ksilan” miktarının iğne yapraklı ağaç odunlarına göre daha fazla olması gösterilmektedir (Weatherwax ve Tarkow, 1964). Papadopoulos (2007), ağaç türlerinden başka öz odun ve diri odun arasında da çimento ile uyum farklılığının olduğunu rapor etmiştir. Semple ve Evans (2000), monteri çamı ile yapılan çalışmalarda öz ve diri odundan üretilen odun-çimento kompozitlerin direnç değerlerinin ciddi anlamda farklılık gösterdiği ve öz odunun diri oduna oranla çimento hidratasyonuna daha fazla engel olduğunu tespit etmiştir. Ağaç malzemenin şeker oranının fazlalığı da odun-çimento uyumunu olumsuz olarak etkilemektedir (Cabangon ve ark., 2000).

2.2.2 Yıllık Bitkiler

Yonga levha üretiminin temel hammaddesi odundur. Artan dünya nüfusu ve konforlu yaşam ihtiyacı insanların yaşamı için hayati öneme sahip bu hammaddenin kaynağı olan ormanların hızla tükenmesine ve ciddi hava kirliliğine sebep olmaktadır. Azalan hammadde ürün maliyetlerini yukarı yönde etkilemekte ve temin edilmesi güçleşmektedir. Belirtilen sebeplerden ötürü birçok ülke alternatif hammadde kullanımına yönelik araştırmalar ve yatırımlara gitmiştir. Tarımsal ürünlerin artıkları ve hızlı yetişen türler yanında yıllık bitki atıkları yonga levha ve diğer kompozit panel levha üretiminde değerlendirilmeye başlanmıştır. Yapılan çalışmada farklı birçok yıllık bitki atıklarının bu alanda kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Kalaycıoğlu ve Özen, 2012).

Ling ve ark. (2000) pirinç sapı ve kabuğundan üretilen çimentolu kompozit levhaların mekanik özelliklerinin standart değerleri karşıladığını rapor etmiştir. Ayrıca, bu kompozitlerin mekanik ve hidratasyon test sonuçlarını arasındaki ilişkisinde yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yel ve ark. (2011), atık lif levha ve çay fabrikası atıklarının çimentolu yonga levha üretiminde değerlendirilebilme olanaklarını araştırmıştır. Deneme levhaları 5 farklı kavak/lif levha/çay artıkları oranı (1/0/0, 1/1/0, 1/0/1, 0/1/0, 0/0/1) kullanılarak iki farklı yoğunlukta (800 ve 1200 kg/m³) üretilmiştir. Sertleştirici olarak tüm levhalarda alüminyum sülfat (%1,5) ve sodyum silikat (%3,5) karışımı kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre atık lif levha ve çay fabrikası atıkları çimentolu yonga levhaların hem fiziksel hem de mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Yoğunluk artka levha özelliklerinin de geliştiği gözlenmiştir. Atık lif levha-kavak ve çay atıkları-kavak karışimleri ile üretilen levhaların izolasyon amacıyla kullanılabileceği rapor edilmiştir.

şeker kamışının da yıllık bitkilerden kompozit panel üretiminde önemli bir yeri vardır. Warden ve ark. (2000), kenevir bitkisi ve muz ağacı gövde liflerinden elde ettikleri yarı kimyasal termomekanik hamurları %4, %8 ve %12 konsantrasyonlarda çimentolu lif levha üretiminde kullanmıştır.

Yel (2022), sodyum hidroksit ön işleme tabi tutulmuş %100 ayçiçeği sapı ve sertleştirici olarak %5 kalsiyum klorür kullanılarak üretilen çimentolu yonga levhaların mekanik zelliklerinin EN 634-2 standardında belirtilen minimum değerleri karşıladığını tespit etmiştir. Ayrıca ayçiçeği saplarının ihmal edilebilecek bir maliyetle elde edilebilirliği düşünöldüğünde özellikle yapı sektöründe baş gösteren hammadde sıkıntısına önemli bir katkı sunacağını bildirmiştir.

Demirbaş ve Aslan (1998), imentolu levha üretiminde fındık kabuğu, ladin ve kayın odunu ile çay bitki atıkları kullanarak çimentolu yonga levhalar üretmiştir. Sonuç olarak, fındık kabuklarının çimentolu yonga levha üretiminde kullanılabileceğini, fakat çay bitki atıklarının levhanın direncini önemli derecede düşürdüğü rapor edilmiştir.

2.2.3 Odun Menşeli Geri Dönüşüm Atıkları

Odun esaslı malzemelerden olan telefon direkleri, yonga levha, lif levha, mobilya, kereste, ambalaj sandıkları, kâğıt vb. materyallerin kullanım ömrünü tamamlayanlar ciddi bir geri dönüşüm hammaddesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu atık malzemeler genellikle yakacak olarak kullanılmakta ya da açık alanlarda çürümeye terk edilmektedir. Buda çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Çevre kirliliğinin önlenmesi, orman varlığının korunması ve daha ekonomik ürünlerin elde edilmesi için bu atıkların geri dönüştürölmesi oldukça önemlidir.

Ashori ve ark., (2012), ömrünü tamamlamış ahşap demiryolu traverslerinden çimentolu yonga levha üretmiştir. Yapılan testlerde üretilen bu levhaların boyutsal stabilitesinin normal yongadan üretilen çimentolu yonga levhalara nazaran yüksek olduğu görülmüştür. Mekanik özelliklerinin de normal odun yongalarından imal edilen çimentolu yonga levhaların mekanik değerlerine aşağı yukarı eşit olduğu sonucuna varılmıştır. Qi ve ark., (2006), MDF atıklarını kullanarak ürettikleri çimentolu levharın doğal odun liflerinden üretilen levhalara göre fiziksel özelliklerinin daha iyi olduğu ancak mekanik değerlerinde az bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Kasai ve ark. (1998), Japonya’da yaptıkları çalışmada inşaatlarda kullanılmış atık keresteler ile 920 ile 1250 kg/cm³ arasında yoğunluk değerine sahip çimentolu levha üretmiş ve bu levhaların 5-8 MPa basınç dayanımına ve 4-7 MPa eğilme direncine sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca basınç ve eğilme direncinin de normal betona göre daha yüksek olduğu ve kullanılan ağaç malzemenin kompozitte güçlendirici bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir. Huang ve Cooper (2000) tarafından yapılan başka bir çalışmada, etkili bir emprenye maddesi olan bakır, krom, arsenik (CCA) ile emprenye edilen odunların hiç işlem görmemiş odun yongalarıyla üretilen levhalara oranla çimento uyumunun daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada, üretilen bu levhaların çürümeye karşı direnci, mekanik özellikleri ve boyutsal kararlılığının daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Aras ve ark. (2022), CCA ile emprenye edilmiş sarıçam odunu ile Portland çimentosu arasında yüksek bir uyumun olduğunu, üretilen levhaların mekanik mukavemeti, suya karşı dayanıklılığı ve boyutsal stabilitesinin emprenye edilmemiş normal odunlara göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca 60 °C’de preslemenin, levhaların kalınlık yönünde şişme oranı ve mekanik özelliklerinde pozitif etkisinin olduğu belirtilmiştir. CCA ile emprenye edilmiş sarıçam planya artıklarının odun-çimento kompozitlerinin üretiminde kullanılmasının hem ekonomik hemde çevresel faydasının olduğu ifade edilmiştir.

Yel ve ark. (2022), doğu ladini yongalarına ikame olarak %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında üre formaldehit bağlayıcılı atık yonga levha kullanılarak tek tabakalı çimentolu yonga levhalar üretmiştir. Çalışmada, en yüksek eğilme direnci değeri %10 atık kullanımında, en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise

%20 atık kullanımında elde edilmiştir. Ancak atık kullanımının, levhaların yüzeye dik çekme ve vida tutma dirençleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. %30' a kadar atık yonga levha kullanılarak üretilen levhaların mekanik özellikleri TS EN 634-2 standardında belirtilen minimum değerleri karşılanmıştır. Ayrıca çalışmada atık yonga levha kullanımının levhaların su alma miktarını artırırken yoğunluk ve kalınlık artışı değerleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

Olorunnisola ve Adefisan (2002), şeker kamışından üretilmiş mobilya atıklarını sıcak su ekstraksiyonuna tabi tuttuktan sonra çimentolu yonga levha üretiminde kullanmıştır. Elde edilen levhaların standart levhalara göre eğilme ve su alma dirençlerinin düştüğü, bu sebeple yüke maruz kalınmayan daha çok iç mekan uygulamalarında kullanılabileceği değerlendirilmiştir

Odun-çimento kompozitlerinde tavuk tüyünün kullanılabilirliği noktasında yapılan başka bir çalışmada tavuk tüyü %5'ten %20 seviyelerine doğru artırıldığında levhaların işlenebilirliğinin olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. %10'a kadar tüy kullanımının, levhaların teknolojik özelliklerinde önemli bir etkiye neden olmadığı ancak bu oranın üzerindeki kullanımlarda ise levhaların eğilme direnci, sertlik ve boyutsal kararlık değerlerinin olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir (Acda, 2010).

2.2.4 Çimento

Çimentonun ismi yontulmuş taş kırıntısı anlamına gelen ve kökü Latince olan "caementum" kelimesinden gelmektedir. Bu kelime daha sonraki zamanlarda bağlayıcı manasında kullanılmıştır. Çimento 19. yüzyılın başında yapılan deneyler (killi, kireç taşlarının yakılması) neticesinde bulunmuştur (Felekoğlu, 2005). Hidrolik bağlayıcılar ise su ile karıştırıldığında hava ya da su altında sertleşebilen ve daha sonra suda çözünmeyen maddeler olarak belirtilmektedir (Özgür,1996).

Türkiye' de ilk çimento fabrikaları 1910 ve 1911 senelerinde Eskişehir'de kurulan Arslan ve Eskişehir çimento fabrikalarıdır (Felekoğlu, 2005). Ülkemizde 56 entegre tesis 21 öğütme ve paketlenme tesisi olmak üzere toplam 77 çimento fabrikası bulunmaktadır. Bu haliyle Avrupa'da birinci, dünyanın ise beşinci büyük çimento

üreticisi konumdadır. 2007 yılında 49 milyon ton olan yıllık üretim; 2014 yılında 71 milyona 2021 yılında ise yaklaşık 79 milyon tona çıkmıştır. Yıllara göre Türkiye'nin çimento üretim ve satış miktarları Tablo 1'de verilmiştir (URL-1).

Tablo 1. Türkiye de çimento üretimi ve satışı (URL-1)

Yıllara Göre Türkiye'nin Çimento Üretim ve Satış Miktarları (Milyon Ton)			
	Üretim	İç Satış	Dış Satış
2012	63,8	53,9	9,7
2013	71,3	60,9	9,6
2014	71,2	63,1	7,6
2015	71,4	63,6	7,3
2016	75,4	66,8	7,4
2017	80,5	72,2	7,9
2018	72,5	64,3	7,4
2019	56,9	45,4	11,1
2020	72,2	55,6	16,2
2021	78,9	60,2	17,7
2022	73,9	54,5	19,4

Çimentoyu oluşturan hammaddeler kireç taşı ve kildir. Endüstriyel olarak üretilen çimentonun üretim süreci kompleks olup büyük yatırımlarla inşa edilen teknolojik tesisler gerekmektedir. Çimentoyu oluşturan kimyasal maddelerin birleşme özelliği bulunmaktadır. Silis alümina ve demir oksitle birleşme özelliğine sahiptir. Üretimde bu maddeler belirlenen oranlarda karıştırılarak yüksek sıcaklıklara haiz fırınlarda 1350-1500°C pişirilir. Bu pişirme sonucunda kireç taşından CaO, kilden Al₂O₃, SiO₂ ve Fe₂O₃ oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıkta aralarında birleştiklerinde alüminatları ve silikatu meydana getirerek çimentoya farklı bağlayıcılık özelliği kazandırır. Üretiminde %3-6 oranında hammadde olarak klinkere alçı taşı (CaSO₄.2H₂O) eklenerek birlikte öğütme işlemine tabi tutulurlar. Alçı taşının buradaki işlevi çimento piriz süresini ayarlamaktır. Klinkerin öğütülmesi esnasında karışıma %2-3 oranlarında kireç taşı eklenir. Klinkere göre kireç taşının öğütülmesi daha kolaydır. Kireç taşının bu özelliği partiküllerinin daha küçük olmasına ve bu da klinker

tanecikleri arasındaki boşlukları doldurarak çimentonun işlenebilirliğine ve mukavemetinin artmasına sebep olmaktadır (Dayı, 2006).

Portland çimentosu, 1824 yılında İngiltere’de Joseph Aspdin tarafından keşfedilmiştir. Aspdin, doğal killi kalkerlerin yerine 1 kısım kil ve 3 kısım kalkerini karıştırıp yüksek sıcaklıkta pişirip üstün bir dayanıma sahip yeşilimsi gri renkte bir çimento elde etmiştir. Bu ürünün renginin güney İngiltere’deki Portland yarımadasında bulunan killi kalkerlere benzemesinden dolayı da ismi Portland çimentosu olarak tescillendirilmiştir (Yeğinbolu, 2004).

Portland çimentosu genel olarak dört farklı hammadden üretilmektedir. Bu bileşikler CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ’dür. Çimento üretiminde kalker ve kil karıştırıldıktan sonra üzerine az miktarda düzeltici malzeme ilavesiyle üretim için uygun hammadde elde edilmektedir. Nihai olarak fırına verilecek bu hammadde karışımı “Farin” olarak isimlendirilmektedir. Üretimde bileşik sayısının mümkün olduğu kadar az sayıda olması tercih edilmektedir. Bunun sebebi verimli bir üretimi gerçekleştirmektir. Çimento hammaddesi için tabiatta tek başına uyumlu bir bileşik bulunmamaktadır. Bundan sebep kalker-kil, marn-kalker veya marn-kalker-kil karışımları ile uygun bileşim oluşturulmaktadır (Targan,2002).

2.2.5 Çimentoya Alternatif Malzemelerin Kullanılması

2.2.5.1 Uçucu Kül

Bu malzeme, termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan pulverize kömürün yakılması sonucunda oluşan bir yan üründür. İçeriğinde MgO (magnezyum oksit), Fe_2O_3 (demir oksit), CaO (kalsiyum oksit) ve karbon gibi bileşikler bulunmaktadır. Bunların haricinde çok fazla miktarda silika ve alümina içeren bir yapıya sahiptir (Erdoğan ve Erdoğan, 2007). Uçucu külün inceliğine etki eden iki faktör vardır. Bunlardan ilki kömürün öğütülme derecesidir. İkincisi ise küllerin bacadan kaçmasına mâni olmak ve tutulumunu sağlamaktır. Madde inceliği bacadan kaçan kül miktarını azaltmakla artar. Kül partiküllerin boyutları 0,5-150 μ arasında olup camsı ve küresel karakterdedirler. Uçucu küllerin yoğunlukları yapısına ve

inceliğine göre değişmektedir. İçi dolu olan küre şeklindeki taneciklerin mutlak yoğunluk değeri 2,2-2,7 gr/cm² arasındadır (Güler ve ark., 2005).

Uçucu kül, kalsiyum hidroksitle tepkimesinde hidrolik bağlayıcı özelliكتedir. Buna karşın karbon partikülleri de içerebilmektedir. Bu sebeple beton ve çimento dayanımlarına olumsuz yönde etki eder. Uçucu kül ne kadar büyük ve spesifik bir yüzeye sahip ise o kadar yüksek reaktivitesi olmaktadır (Şafak, 2014).

Yel ve Ürün (2022), %20'ye kadar çimentoya ikame olarak uçucu kül kullanılarak üretilen çimentolu yonga levhaların mekanik özelliklerinin standart değerlerin üzerinde olduğunu rapor etmiştir. Uçucu kül yüksek su tutma kapasitesi ve gözenekliliği nedeniyle su emme değerlerini artırmıştır. Ayrıca uçucu kül katkılı levhaların yoğunluğunun azalması levhaların su emme değerlerinin artmasına neden olmuştur. Bu çalışmada elde edilen çimentolu yonga levhaların, daha çevreci atık malzemeler kullanılarak üretildiklerinden geleneksel çimentolu yonga levhalara göre daha ekonomik olduğu düşünülmektedir.

Hızal (2021), farklı oranlarda uçucu kül ihtiva eden ve etmeyen beton numunelerini 14 gün ve 28 gün kürleme işlemine tabi tutmuştur. Elde edilen sonuçlarda, uçucu kül içeren beton numunelerinin uçucu külün artmasıyla birlikte birim ağırlık ve basınç dayanımının arttığını, su emme oranının ise azaldığını bildirmiştir.

2.2.5.2 Odun Külü

Odun-çimento kompoziti üretiminde çimentoya ikame olarak %10, %20, %30 ve %40 oranında odun külü kullanılarak yapılan bir çalışmada; odun külünün bir miktar hidrolik bağlayıcılığının olduğu, kullanılan kül miktarının artmasıyla karışıma eklenen su miktarının da arttığı belirlenmiştir. Kullanılan kül miktarının artması en yüksek hidratasyon sıcaklığına ulaşma süresini artırmıştır. Üretilen levhalardaki en uygun basınç direnci değerine ise %20 odun külü kullanımda ulaşılmıştır (Abdullahi 2006).

Hussain ve ark., (2017), odun külü ve uçucu külün çimentoya ikame malzeme olarak kullanılmasının çimentonun mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırdıkları

çalışmada, her iki maddenin ikame oranının artmasıyla betonda priz süresinin arttığını tespit etmiştir. %20 oranda ikame edilen numunelerin sırasıyla 3, 7 ve 28 gün sürelerle kürlenmeye maruz bırakıldığında en yüksek basınç dayanım değerinin 3. gün sonunda elde edildiğini, 7. ve 28. günlerin sonunda ise uçucu külün basınç dayanım değerinin odun külüne kıyasla biraz daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Karışımda odun külü ve uçucu külün oranının artması su emme oranında artmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak %20 oranında ikame edilen odun külü ve uçucu külün optimum değerleri sağladığı ve kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

2.2.5.3 Pirinç Kabuğu Külü

Dünya ülkelerinin toplam pirinç rekoltesi ortalama 500 milyon ton civarında olup en büyük üreticiler Çin, Hindistan, Bangladeş ve Tayland'dır (Şapaloğlu, 2015). Pirinç bitkisinin %20'sini pirinç kabuğu oluşturur. Pirinç kabuğunun yakılmasıyla elde edilen kül oranı da kabuğun %20'sidir. Bu hesaplara yaklaşık 20 milyon ton pirinç kabuğu külü ortaya çıkmaktadır (İşbilir, 2012). Pirinç kabuğu külünün kullanılacağı alana göre kabuğunun yakılma şekli ve derecesi de farklılık gösterebilmektedir. Şayet pirinç kabuğu, yakıt olarak kullanılacak ise yakma koşullarının sabit olmasına gerek yoktur. Fakat bu kül çimentoya karıştırılarak inşaat sektöründe kullanılacaksa külün soğutulmasında farklı metotlar ve koşullar sağlanmalıdır (Givi ve ark., 2010). Pirinç kabuğu muhteviyatının büyük bir kısmı (%92 -%93) silikadan oluşmaktadır. Geri kalan kısmı ise alkalilerden ve alümina demir oksit, magnezyum oksit, kalsiyum oksit gibi bileşiklerden oluşmaktadır. Pirinç kabuğunun yakılması kontrollü olarak (400-600 °C) yapıldığında ortaya çıkan pirinç külü hızlı soğutulursa muhteviyatındaki silika, amorf yapıya dönüşür. Amorf silika içeriği artan pirinç külü ise, yüzey alanı artmış çok ince taneli reaktivitesi yüksek bir malzemeye dönüşmektedir (Erdoğan ve Erdoğan, 2007; Yıldız ve ark., 2007). Pirinç kabuğunun yakılması 800 °C ve üstündeki sıcaklıklarda yapılırsa açığa çıkan kül düşük sıcaklıklarda yakılan pirinç kabuğuna oranla daha fazla SiO₂ içerdiği, puzolanik reaktivitesinin ve özgül yüzey alanının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Pirinç külünün puzolanik bir malzeme olarak çimento ve betonda kullanımının, beton yapısındaki geçirimsizliği azaltılması ve kimyasal etkilere karşı mukavemetini artırdığı bildirilmektedir. Bu da beton

dayanımı ve durabilitesinin iyileşmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Özdemir, 2020).

2.2.5.4 Mermer Tozu

Mermer maden rezervi ve endüstriyel mermer üretiminde Türkiye'nin yeri yadsınamaz. Ülkemizde bu madenin çıkarılması ve nihai ürün safhasına kadar fabrikalarda yapılan işlemlerde işlenen mermerin yaklaşık %30'u toz olarak ortaya çıkmaktadır (Yıldız ve Eskikaya, 1995). Mermer işlenirken kesici ağzının ve mermerin yanmaması, aynı zamanda kesim esnasında ortaya çıkacak tozun engellenmesi için su altında kesim yapılmaktadır. Buda açığa çıkan mermer tozunun çamur şeklinde atık malzeme olarak doğaya salınmasına sebep olmaktadır. Bu çamurun doğaya gelişigüzel atılması; toprağın su süzme kapasitesini olumsuz yönde etkilemekte, bitki örtüsünün gelişimine olumsuz etki etmekte ve dere yataklarını doldurarak yer altı sularına karışmasına sebep olmaktadır (Ural ve ark., 2010).

Topçu (2009), mermer tozu artıklarının beton üretiminde kullanımı ile bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada; çamur halindeki mermer kesim atıkları, içerisindeki yabancı maddelerden temizlendikten sonra etüvde kurutulmuştur. Kurutma esnasında toplanan mermer tozu öğütülerek ince taneli toz haline getirilmiş ve daha sonra kendinden yerleşen beton karışıma eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en uygun karışım değerinin 200 kg/m³ oranında olduğu ve bu oranda mermer tozu kullanılmasının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerinde olumlu etkisinin olduğu rapor edilmiştir.

Doğan (2019), mermer tozu ikame edilen harçların, eğilme ve basınç mukavemeti değerlerini farklı referans örneklere göre değerlendirmiştir. En yüksek eğilme ve basınç mukavemet değerinin %5 mermer tozu ikamesiyle elde edildiğini bildirmiş ve bunun sebebi olarak da %5 oranında ikame edilen mermer tozunun mikro dolgu etkisi göstererek arayüz aderansının artırmasına bağlamıştır. Mermer tozu ikamesinin %10'un üzerine çıktığı harçlarda ise ince agrega yüzey alanını çok fazla artırarak işlenebilirliği azalttığı değerlendirilmektedir.

2.2.5.5 Silis Dumanı

Silis dumanı, ferrosilisyum (FeSi) ile silikon metalin üretimi sırasında ortaya çıkan bir yan üründür. Pozolanik bir malzeme olan silis dumanı, elektrik ark fırınlarında baca tozu olarak özel filtrelerde tutulup toplanarak elde edilmektedir (Yeğınobalı, 2001). Silis dumanı tanecikleri genel olarak küre şeklinde gözlemlenmektedir. Bu tanelerin ortalama çapları 0.1 µm civarındadır. Çimento taneciklerinin büyüklüğüyle mukayese edildiğinde, çimento taneciklerinin 1/100'ü kadardır. Tanecik yapısı çimento ve uçucu küllere göre çok incedir ve yüksek oranda amorf silis içermektedir. Bu sebeple silis dumanı aktif pozolanik özellikli bir maddedir. Silis dumanı yaklaşık 2200 kg/m³ özgül ağırlığa sahiptir (Yel, 2015).

Sümer ve Sarıbyık (2013), betonda silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton özelliklerine etkisini incelemiştir. Optimum miktarda betona ikame edilen silis dumanının hidrasyon ısısının düşmesine sebep olduğu, geçirgenliği azaltarak dayanım değerlerini artırdığı, alkali-silika etkileşimini ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi faydalar sağladığı tespit edilmiştir. Fakat silis dumanı ikamesinin işlenebilirliği düşürmeside olumsuz yönü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür olumsuzlukları gidermek için de betona polipropilen lif katılarak beton özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2.2.5.6 Kâğıt Fabrikası Atık Çamuru

Dünya genelinde 2022 yılı itibarıyla toplam kâğıt üretimi 419,7 (milyon ton), ülkemizde ise 4,6 (milyon ton) civarındadır (URL-8). Bir ton kâğıt üretimi sonunda ortaya çıkan atık çamuru yaklaşık 35-45 kg civarındadır. Bu atık çamurun içeriğinde kil, selüloz lifleri, kalsiyum karbonat ve kaolin gibi organik ve inorganik maddeler bulunmaktadır (Girones ve ark., 2010). Ayrıca atık olarak ortaya çıkan bu çamurun fazla miktarda olması durumunda çevreye kötü bir koku yaymakta ve bölgede yaşayanları rahatsız etmektedir. Bu sebeple de geri dönüşümde kullanılması büyük bir öneme sahiptir (Fernandez ve ark., 2000). Üretim akabinde ortaya çıkan bu çamurun uzaklaştırılması da ciddi bir problem olmaktadır. Direkt olarak doğaya bırakılması hem çevre kirliliğine hem de geri dönüşüm seferberliğine uymamaktadır. Bu sebeple farklı alanlarda ikame malzeme olarak değerlendirilmesi birçok

malzemenin üretimi için gerekli hammadde miktarında da tasarruf edilmesine sebep olacaktır (Eroğlu ve Usta, 2004).

Dönmez ve ark. (2017), kâğıt fabrikası arıtma suyu çamur türlerinin (aerobik ve anaerobik) çimento bağlayıcılı kompozit panellerin bazı teknolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Organik ve inorganik içeriklerine göre; aerobik (gri) ve anaerobik (siyah) çamurlar ayrı ayrı %5, %10, %15, %20 ve birlikte, %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranında doğu ladini planya atıkları ve Portland çimentosuna ikame olarak çimentolu kompozit panellerde kullanmıştır. Anaerobik (siyah) çamur ile karşılaştırıldığında ise aerobik (gri) çamurun daha fazla ağır metal ve daha az organik içeriğe sahip olduğunu tespit edilmiştir. Anaerobik (siyah) çamurun, çimentolu kompozit panellerin özellikleri üzerinde aerobik çamurdan daha fazla etkili olduğu ve bu çamur ile üretilen tüm panellerin mekanik özellikleri EN standardında belirtilen değerleri karşıladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, çimentolu kompozit panel üretiminde aerobik çamurun %5, anaerobik çamurun %20 ve karışımlarının %10'a kadar kullanılabileceği rapor edilmiştir.

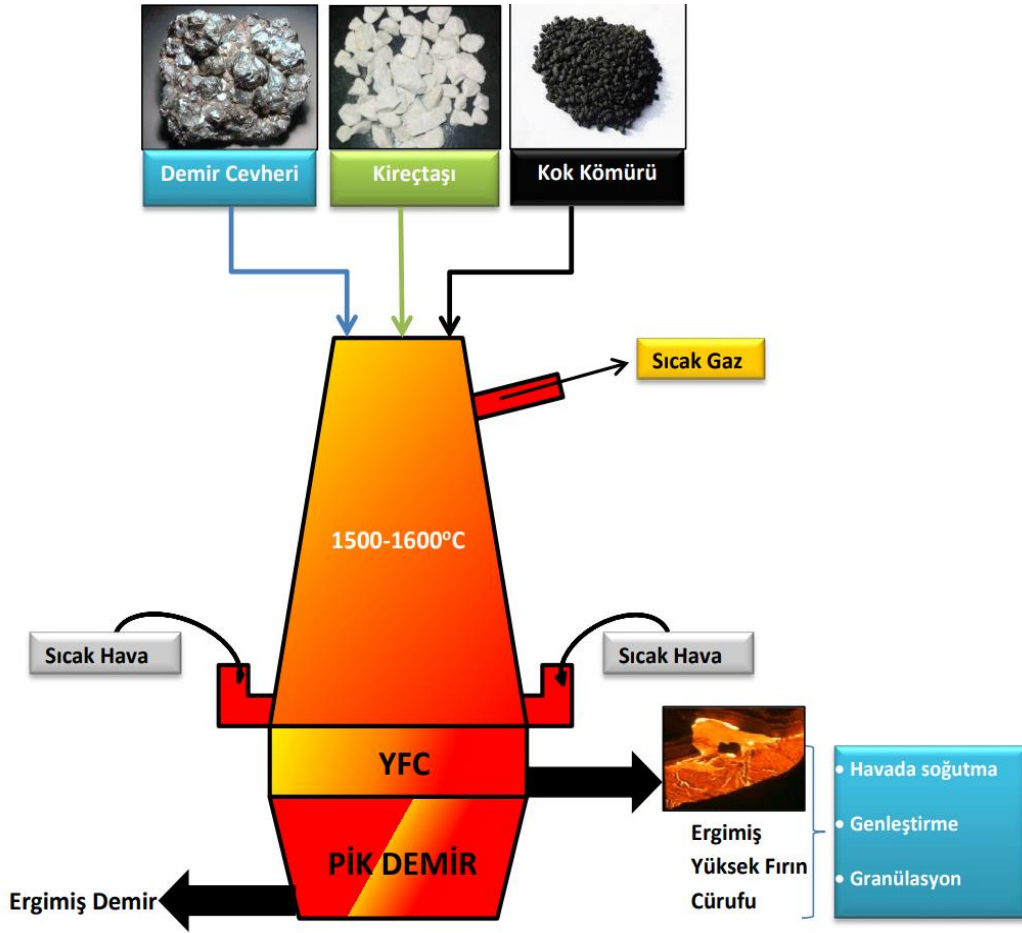
Balwaik ve Raut (2013), çimentoya ikame olarak farklı oranlarda kâğıt fabrikası atık çamuru kullanarak üretilen beton örneklerinin basınç direnci, çekme direnci ve eğilme direnci özelliklerini incelemiştir. Buna göre; kâğıt fabrikası atık çamurunun %10'a kadar kullanımında beton numunelerinin basınç direnci, çekme direnci ve eğilme direncinde önemli bir artış elde edildiği, fakat bu oranın üzerindeki kullanımlarda ise numunelerin direnç değerlerinde bir düşüş meydana geldiği rapor edilmiştir.

2.2.5.7 Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Demir ve çelik gibi metaller üretilirken nihai ürün olarak elde edilecek demir veya çelik mamulün yanında farklı yan ürünlerde açığa çıkmaktadır. Endüstriyel yüksek fırınlarda işleme tabi tutulan demir cevherinden ayrılan bu yan ürüne yüksek fırın cürufu (YFC) adı verilir. Üretim sonunda bol miktarda açığa çıkan bu yan ürün gerek depolanmasının zorluğu gerekse çevreye verdiği zarar sebebiyle ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Fakat bu yan ürünün fiziksel ve kimyasal yapısı incelendiğinde, temel

hammaddelere ikame olarak özellikle yapı endüstrisinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir (Akça, 2022).

Döner fırınlarda demir cevherinin ergitilmesi işleminde dökme demir, özgül ağırlığının fazla olması sebebiyle eriyiğin altında kalmakta; ortaya çıkan YFC ise üstte kalmaktadır. Fırında yakıt olarak kok kömürü kullanılmaktadır. Fırına eklenen kireç taşı arıtma işlevi görmektedir. En altta eriyik halde demir ve demirin üzerinde ise S, SiO₂, MgO, Al₂O₃, CaO ve MnO içeriğine sahip cüruf kalmaktadır. Şekil 6'da pik demir ve yüksek fırın cürufu üretim süreci gösterilmektedir (Siddique, 2008; Çiftçi, 2020).



Şekil 6. Pik demir ve yüksek fırın cürufu üretim süreci (URL-9).

Fırından yaklaşık 1500 °C'de çıkan yüksek fırın cürufuna uygulanacak soğutma yöntemi, nihai cürufun özelliklerini ve kullanım yerini belirlemektedir. YFC'nin soğutulmasında üç farklı yöntem kullanılmaktadır.

Bunların ilki havada soğutma yöntemidir. Bu yöntemde; YFC atmosfer koşullarında yavaşça soğumaya bırakılmakta ve sonuçta mineral özellikli iri kristal yapıları bir malzeme elde edilmektedir. Bu malzeme kırılarak agrega olarak beton veya asfalt yapımında kullanılmaktadır. İkinci yöntem genleştirme yöntemidir. Bu yöntemde; YFC, su ve basınçlı hava ile kontrollü bir şekilde soğutulmaktadır. Bu soğutma yöntemiyle elde edilen ürün iri kristal taneli ve gözenekli bir yapıdadır. Hafif olması sebebiyle de beton üretiminde kullanılabilir. Üçüncü yöntem ise granülasyondur. Bu yöntemde; genleştirme yöntemindekinden çok daha fazla su kullanılarak ani soğutma işlemine tabi tutulan YFC, kuma benzer camsı (amorf) yapıda, puzolanik özellikte granüle bir malzemeye dönüşmektedir. Elde edilen bu malzeme değirmende öğütülmesi sonucu ise “öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu” elde edilmektedir. 1 ton GYFC elde etmek için harcanan su miktarı yaklaşık 10 tondur. Bu yöntem verimli olmasına karşın maliyetlidir. Bunun yerine peletleme yöntemi daha fazla tercih edilmektedir. Bu yöntem sonucu elde edilen malzemenin 4 mm’den küçük kısmı amorf yapıda olup öğütüldüğünde GYFC elde edilmektedir (Engin, 2015). Tablo 2’de öğütülmüş YFC’nin kimyasal bileşimi görülmektedir.

Tablo 2. Öğütülmüş YFC’nin kimyasal bileşimi (URL-9)

Öğütülmüş YFC’nin Kimyasal Bileşimi	
SiO ₂ (%)	35,00
Al ₂ O ₃ (%)	12,00
Fe ₂ O ₃ (%)	1,00
CaO (%)	40,00
SO ₃ (%)	9,00
Na ₂ O (%)	0,30
K ₂ O (%)	0,40
Kızdırma kaybı (%)	1,00
Özgül yüzey alan (cm ² /g)	4000-5000
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,94

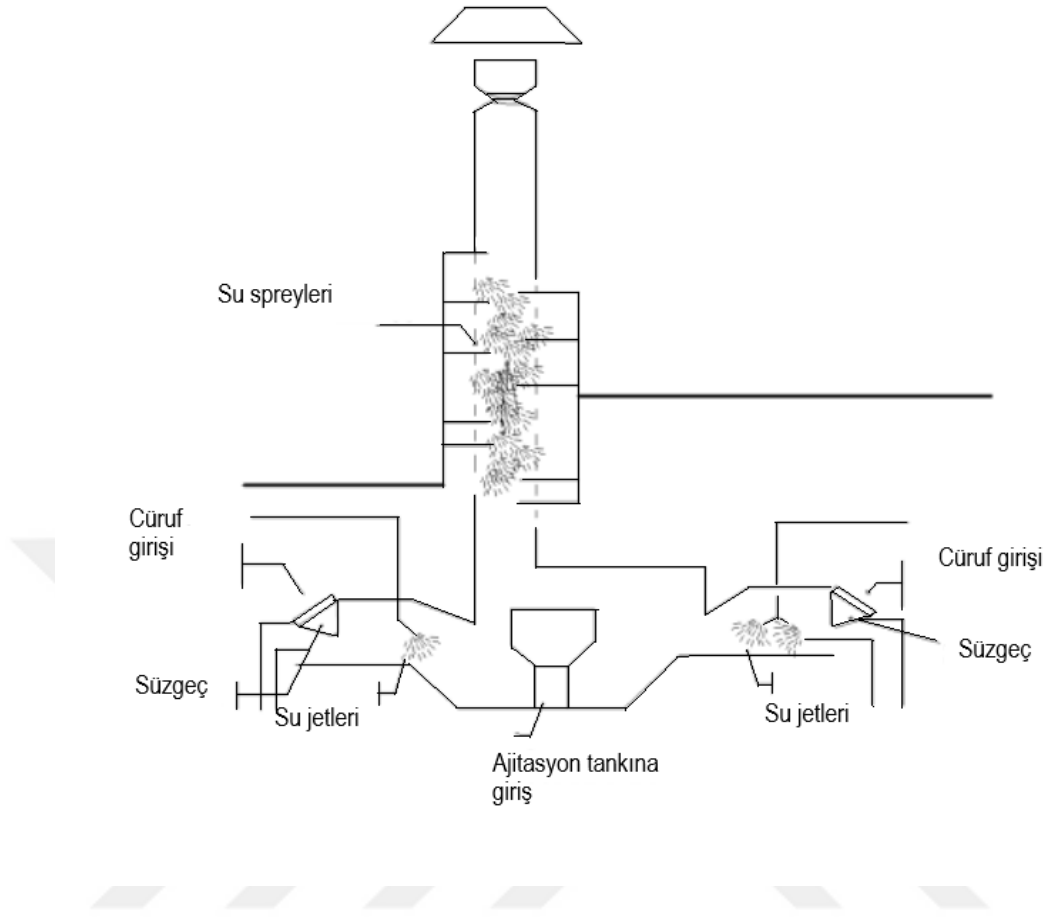
Dünya üzerinde her yıl 100 milyon ton civarında YFC ortaya çıkmaktadır. Fakat bu cürufun sadece bir kısmı bağlayıcılık özelliğine sahiptir. Bu da granüle halde

bulunan yüksek fırın cürufudur. Yüksek fırın cürufunun mukavemetinin yüksek olması, su emiliminin düşük oranlarda oluşu ve ateşe dayanıklı oluşu tercih edilmesinin sebepleri arasında gösterilmektedir. Bunun yanı sıra taze haldeki harçlarda terlemeyi azaltmakta, işlenebilirliği artırmakta ve suya karşı geçirimsiz bir yapı oluşturarak sülfat tahribatını engellemektedir (Çiftçi, 2020).

2.2.5.8 Granüle Yüksek Fırın Cürufu (GYFC)

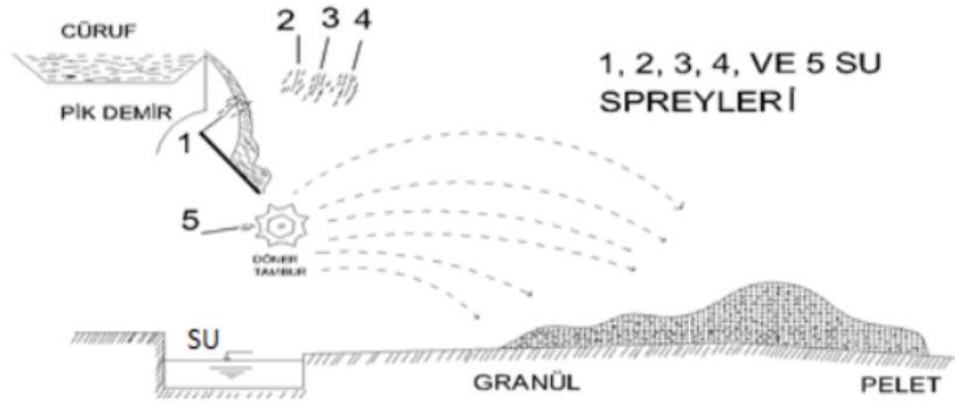
Demir çelik üretiminde kullanılan fırınlarında yakıt olarak genellikle kok kömürü kullanılmaktadır. Demir cevherinin ergitilmesi esnasında cevherin yabancı maddelerden arındırılması ve ergitilmeyi kolaylaştırmak için kireçtaşı kullanılmaktadır. Bu ergitme işleminde fırın sıcaklığı 1500°C'ye kadar yükseltilir. Açığa çıkan CO ve CO₂ gazları bacadan atılırken fırın içerisinde eriyik durumda olan demir yüksek yoğunluğu nedeniyle en altta; daha az yoğunluğa sahip olan cüruf ise eriyiğin üst kısmında toplanmaktadır. Eriyik haldeki demir ve cüruf farklı kanallardan dışarıya alınmaktadır. Fırından tahliye edilen cürufun puzolan olarak kullanılması için hızlı soğutma işlemine tabi tutulması gerekmektedir (Baradan ve ark., 2002; Ören, 2017).

Yüksek fırın cürufları soğutulurken iki farklı ani soğutma yöntemi uygulanmaktadır. Şekil 7'de granülasyon yönteminde yüksek fırın cüruflarının elde edilmesinde soğutma için kullanılan su, yaklaşık 100 m³ /ton'dur. Bu yöntem neticesinde cürufun ağırlığının yaklaşık %30'u su olarak ortaya çıkmaktadır. Bu fazla suyun cüruftan uzaklaştırılmasında kurutucu değirmenlerden ya da filtreli havuzlardan faydalanılmaktadır. Elde edilen GYFC özellik bakımında en iyi olmasına rağmen, kullanılan yöntemin maliyetli olması nedeniyle kullanımı sınırlı kalmaktadır (Ören 2017).



Şekil 7’de GYFC’nin granülasyon yöntemi ile elde edilmiş şeması (Baradan ve ark., 2002)

Kanada’da yeni geliştirilen ikinci yöntem ise peletleme olarak adlandırılmaktadır. Şekil 8’de peletleme yöntemini gösteren şema verilmiştir. Bu yeni yöntemde eriyik haldeki cüruf ilk olarak suyla soğutulurak 300 d/dak. hızla dönen tambur ile havaya savrulmakta ve bu şekilde 1 ton cüruf işlenirken yaklaşık 1 m³ su tüketilmektedir. Cürufun içeriğindeki su miktarıda %10’un altına düşmektedir. Bu yöntem ile elde edilen malzemelerin boyutları değişiklik göstermektedir. 4-15 mm olan büyük boyutlu tanecikler gözenekli olup kısmen kristal yapıdadır. Bu boyuttaki malzemelerin hafif betonlarda agrega olarak kullanılması uygundur. Camsı yapıda olan ve küçük boyutlu malzemeler (<4mm) ise puzolan ya da çimento imalatında katkı malzemesi olarak kullanılabilir (Baradan ve ark., 2002; Ören, 2017).



Şekil 8. GYFC'nin peletleme yöntemi ile elde ediliş şeması (Baradan ve ark., 2002).



Şekil 9. Portland çimentosu ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu

GYFC'nin Portland çimentosu ile hidratasyonu iki aşamalı olarak değerlendirilebilir. İlkinde GYFC ile çimento içerisindeki alkali hidroksit arasında gerçekleşen reaksiyonlardır. İkincisinde ise çimentonun hidratasyonu ile oluşan kalsiyum hidroksit ile cüruf arasında meydana gelen reaksiyonlardır. Bu reaksiyonların güçlü olanı, Portland çimentosu hidratasyonu esnasında oluşan Ca(OH)_2 ile GYFC arasında gerçekleşmektedir. Bu iki madde arasında gerçekleşen reaksiyonlar neticesinde C-S-H jelleri gibi hidrolik bağlayıcı özelliği çok yüksek olan ürünler oluşmaktadır. GYFC'li çimentoların hidratasyonu sırasında oluşan C-S-H jellerinin yüzeylerinin

Al_2O_3 ve MgO bakımından oldukça zengin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ortam sıcaklığı da reaksiyon hızını artırmaktadır (Saran,2007). Şekil 9’da Portland çimentosu ve öğütölmüş granöle yüksek fırın cürufu örnekleri görölmektedir

GYFC beton özelliklerine olumlu ve olumsuz etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Taze betonda işlenebilirliği artırır,
- Taze betonun priz süresini uzatır,
- Betonun hidratasyon ısısını azaltır,
- Donmuş betonun su geçirimsizliğini azaltır,
- Betondaki terlemeyi azaltır,
- Donmuş betonun sülfat mukavemetini artırır.
- Soğuk havalarda betonun priz alma süresini uzatır.
- Betonda belirli miktarlarda süröklenmiş hava elde edebilmek için, daha fazla hava sürökleyci katkı maddesine ihtiyaç duyulmaktadır,
- Erken yaşlardaki beton mukavemet artışını azaltır (Saran, 2007).

GYFC’nin çimento üretiminde kullanılmasının çevresel, teknik ve ekonomik avantajları bulunmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmalarda %65 oranında GYFC içeren 1000 kg Portland çimento üretiminde kullanılan enerji, aynı miktarda normal Portland çimentosu üretiminde kullanılan enerjinin yarısı kadardır. Dolayısıyla daha az çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Çimento üretiminde kullanılan klinkere olan ihtiyaç da GYFC ilavesiyle önemli ölçüde azalmakta ve çevreye verilen zararda minimize edilmektedir. Farinin döner fırınlarda pişirilmesiyle açığa çıkan karbon dioksit miktarının ve işlem sırasında tüketilen yakıt miktarının azaltılması, GYFC’nin çevresel ve ekonomik avantajları arasında gösterilebilir (Tokyay ve Erdoğdu, 2009; Çiftçi, 2020).

2.2.6 Sertleştirici

Çimento kompozitlerinde; 1880'lerin başlarında çimentonun hidrasyon reaksiyonunu hızlandırmak için kullanılmaya başlanan sertleştiricilerin en çok tercih edilip kullanılanı kalsiyum klorür (CaCl_2)'dür. Bunun nedeni olarak diğer sertleştiricilerle kıyaslandığında etkinliğinin ve kolay elde edilebilirliğinin olması gösterilmektedir (Hachmi ve Moslemi, 1989).

Bahse konu kompozitlerin üretimindeki başlıca problemlerden biri, maksimum hidrasyon ısını oluşturmak için uzun presleme ve sertleşme süresi gerekliliğidir. Sertleşmenin ve üretim için geçen sürenin minimize edilmesi için presleme anında sıcaklığın artırılması ya da CO_2 gibi farklı katkı maddelerinin eklenmesi belirlenmiştir (Soroushian ve ark., 2004).

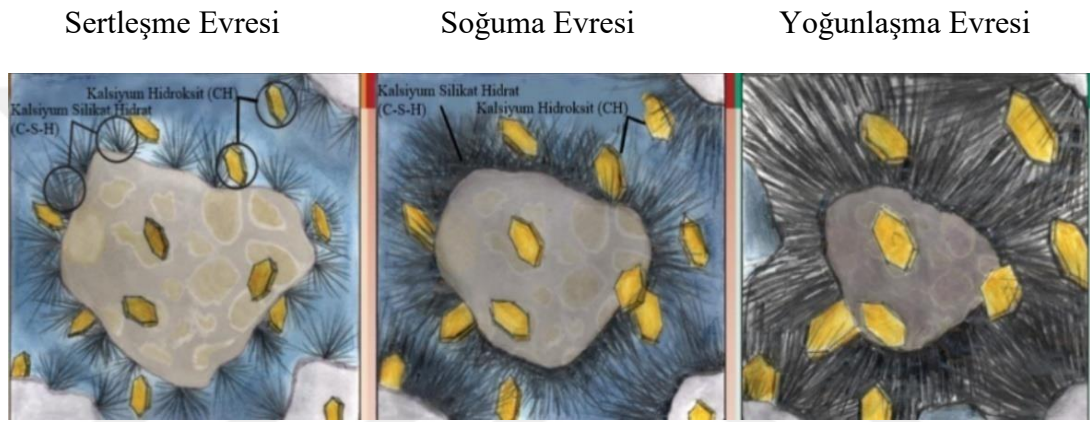
Reçine esaslı levhalarda 6-7 dk gibi az bir süre presleme yapılırken odun-çimento kompozitlerinin sertleşme süresinin 8-24 saat gibi uzun zamanlar gerektirmesi endüstriyel verimlilik noktasında büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu uzun süreyi kısaltmak ve reaksiyonu hızlandırmak için CO_2 enjeksiyon yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem sayesinde bu süre 5 dakikaya kadar düşürülmektedir. Bu yöntemin uygulanması, kompozitin preslenmesi sırasında alt-üst ve levha tabakası içerisinde CO_2 gazı geçirilmek suretiyle gerçekleştirilmektedir (Berger ve ark., 1972; Hermawan ve ark., 2002).

2.3 Odun-Çimento Kompozitlerinin Özelliklerini Belirleyen Bazı Unsurlar

2.3.1 Çimento Hidratasyonu

Su ve çimento karışımı neticesinde kimyasal bir reaksiyon meydana gelmektedir. Bu reaksiyona “hidratasyon”, reaksiyonun neticesinde ortaya çıkan ısıya ise hidratasyon ısısı denir. Çimentonun sertleşmesi anındaki bu sıcaklık ekzotermiktir. Hidratasyonla oluşan jel, yapı yüzeydeki suyun soğurulması neticesinde ortaya çıkar. Bu soğurma neticesinde oluşan ısı toplam hidratasyon ısısının 1/4'üne tekabül eder (Neville, 1981).

Çimento hidratasyonu ekzotermik bir olay olduğu için bu reaksiyon esnasında sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Reaksiyon sınırlandırılırsa hem ısıda azalma hem de hidratasyon süresinde uzama gözlemlenmektedir. Örneğin; odun-çimento kompozitlerinde beklenen direnç değerlerine ulaşmakta sorunlar yaşanabilmektedir. Bunun sebebi, odunun yapısındaki ekstraktif maddeler ve basit şekerlerdir. Bunlar, çimentonun hidratasyon reaksiyonunu yavaşlatarak kristal yapılarda değişikliklere neden olmaktadır (Simatupang ve ark., 1990).



Şekil 10. Çimento hidratasyon süreçleri (Taylor ve ark., 2019).

Çimentonun hidratasyonu; uyku evresiyle başlayarak sırasıyla karıştırma, sertleşme, priz başlangıcı, priz sonu, soğuma ve yoğunlaşma evrelerinden oluşmaktadır. Şekil 10'da Çimento hidratasyonuna ait sertleşme, soğuma ve yoğunlaşma süreçleri görülmektedir (Taylor ve ark., 2006).

Karıştırma evresinde 10-15dk yüksek ısı artışı ve azalışı olmaktadır. Uyku aşamasında ise karışım plastik ve işlenebilir. Bu evrede ısı çıkışı yok denecek kadar azdır. Beton taşınması ve montajı kolaydır. Betonun mukavemeti priz ve sertleşme ile artmaya başlamaktadır. Yoğunlaşma evresine gelince bu süreç yıllar boyunca devam edebilmektedir. Bu süre içerisinde de beton dayanıklılığını arttırmayı sürdürmektedir (Taylor ve ark., 2006).

2.3.2 Ağaç Türleri

Çimento-odun kompozitlerinde kullanılan odun hammaddeleri farklı tür ve oranlarda ekstraktif madde içermeleri sebebiyle çimento hidratasyonuna doğrudan etki etmekte ve neticede nihai ürün olan kompozit levhaların direnç değerlerinde değişime sebep olmaktadır. Yapraklı ağaç odunları genellikle yüksek oranda ksilan içerdikleri için iğne yapraklı ağaç (İYA) odunlarına nispeten odun-çimento kompozitlerinde düşük direnç değerleri göstermektedir (Weatherwax ve ark., 1964).

İYA türlerinin, düşük özgül ağırlığı ve şeker miktarı ayrıca içeriğindeki fenol ve hemiselüloz, geniş yapraklı ağaç odunlarına oranla kullanışlılığını artırmaktadır. Ladin, göknar, çam, vb. İYA türleri üretimde kullanılmakta; bunların yanı sıra akasya, okaliptüs ve birçok yapraklı ağaç türlerinin de ihtiva ettikleri ekstraktiflerin olumsuz etkilerinin sınırlandırılmasıyla kompozit üretimde kullanılmasının önü açılmıştır. (Hofstrand, 1984).

Odun-çimento uyumsuzluğu odundaki ekstraktif madde oranıyla doğrudan ilgilidir. Fazla ekstraktif içeriği negatif yönlü etki yapmaktadır. Sandermann vd. (1956), odunun yapısındaki şeker türlerinin çimento hidratasyonunu benzer oranda etkilemediğini tespit etmiştir. Örneğin; meyve şekeri olarak bilinen fruktoz %0,50 konsantrasyonlarda bile çimentonun özelliklerini değiştiremezken, ksiloz, glikoz ve sakkaroz gibi bazı şeker türleri ise %0,25 konsantrasyonda bile çimento hidratasyonunun gecikmesine sebep olabilmektedir (Peschard, 2006).

Odun-çimento kompozitlerinde kullanılan ağaçların kesim zamanı, yetiştirme ortamı, ilkbahar-yaz odunu, ağaçtan alındığı yer, gibi etmenler de odun-çimento uyumluluğu üzerinde etkili olmaktadır. Biblis ve Lo (1968), kışın kesilen ağaç odunlarının bahar aylarında kesimi yapılan odunlara nazaran çimento uyumunun daha iyi olduğu ve direnç değerlerinin de daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Öz odunu kullanımının da çimentonun özelliklerini olumsuz yönde etkilediği anlaşılmaktadır (Sanderman ve Kohler 1964).

Odun yonga rutubet miktarının düşük olması durumunda, çimento-su oranının artmasına bağlı olarak yongaların daha hızlı su emeceği beklenmektedir. Çimentonun

ihtiyaç duyduğu suyun odun yongalarınca emilmesi de üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanında asit ve alkali karakterli bileşikler suyun içine daha fazla gireceği için bu ürünlerde mukavemet oranı daha da azalacaktır (Dewitz ve ark., 1984).

2.3.4 Su-Çimento Oranı

Çimento gibi malzemelerin niteliğini arttırmada su oranının önemli bir etkisi bulunmaktadır. Su miktarının fazla olması hidrasyon reaksiyonu esnasında ve öncesinde bağlayıcı partiküller arasında sürtünme yüzeyinin ve kılcal boşluk hacminin (porozite) artmasına neden olmakta ve bu da levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Neville, 1995).

Çimento-su reaksiyonu ile ortaya çıkan hidrasyonun, çimento hamurunun bağlayıcılık kazanma hızı ve miktarında önemli bir etkisi vardır. Hidrasyon reaksiyonunun ne hızda ve kalitede oluşacağı ise ortamın sıcaklık ve rutubeti yanında çimentonun inceliği, muhtevası ve miktarıyla ilişkilidir (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

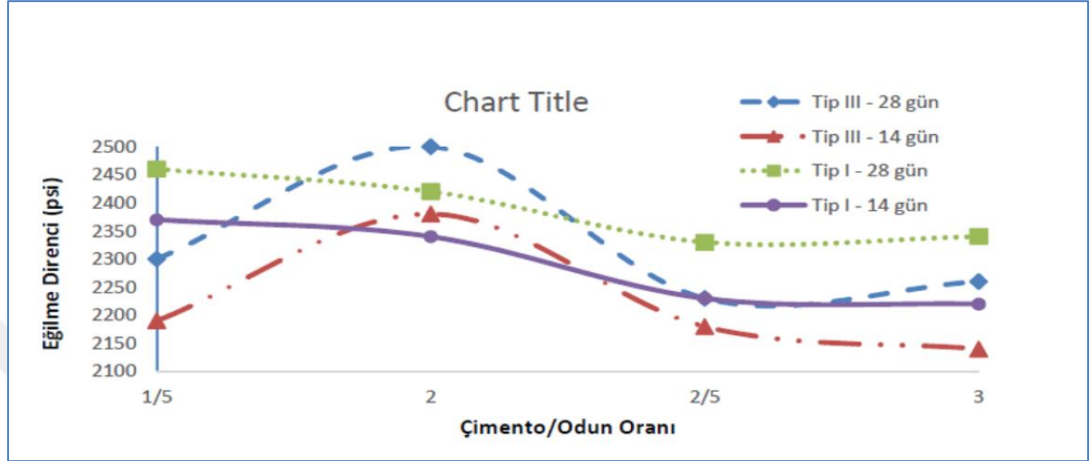
Odun türlerinin tamamına yakını için benzer su-çimento oranı kullanılmaktadır. Su emme miktarları odun türlerine göre değişiklik göstermektedir. Su miktarının yetersiz olması, maksimum hidrasyon sıcaklığına ulaşılamamasına, su miktarının fazla olması ise maksimum sıcaklığa ulaşma süresinin uzamasına neden olmaktadır (Karade ve ark., 2003).

Miyatake ve ark. (2000), çimentolu yonga levhalarda su-çimento oranının 0,5'ten 0,44'e indirilmesiyle levhaların eğilme dirençlerinde artış olduğu sonucuna varmıştır. Odun-çimento kompozitleri için en uygun su miktarı, odunun türü, rutubet miktarı ve kesim zamanı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterdiğinden net olarak belirlenmemektedir (Pablo ve ark.1997).

2.3.3 Odun-Çimento Oranı

Odun-çimento kompozitlerinin dayanıklılığı en önemli özelliklerinden biridir. Kompozit bu özelliğini çimentodan almıştır. Buna karşın kompozitteki odun

miktarının artırılmasıyla da malzeme yüksek eğilme direnci özelliklerine ulaşmıştır. Çimento/odun oranın 3'ten 2'ye düşürülmesiyle kompozitin mukavemet değerinin arttığı da yapılan çalışmada ortaya konmuştur (Moslemi ve ark., 1987).



Şekil 11. Odun-çimento oranının eğilme direnci üzerine etkisi (Moslemi ve ark., 1987).

Odun-çimento oranın azalması neticesinde hidrasyonla ortaya çıkan sıcaklığın artış hızının yavaşladığı, ayrıca hidrasyon süresinin kısaldığı ve basınç direncinin yükseldiği belirtilmektedir. Şekil 11'de çimento-odun oranının eğilme direnci üzerine etkisi görülmektedir. Yapılan çalışmalarda odun-çimento oranının azalmasıyla elastikiyet modülü ve levha eğilme direnç değerlerinin doğrusal olarak azaldığı belirtilmektedir (Lee ve Hong, 1986).

Marzuki ve ark. (2011), 4 farklı odun-çimento oranında (1/1.75, 1/2, 1/2.25 ve 1/2.5) kullanarak çimentolu yonga levha üretmiştir. Sonuç olarak, odun/çimento oranı arttıkça levhaların eğilme özelliklerinin de arttığı rapor edilmiştir. Ayrıca, bu kompozitlerin su alma ve kalınlıklarında da artış olduğu tespit edilmiştir.

2.3.5 Yonga Boyut ve Geometrisi

Odun-çimento kompozitleri üretilirken çok farklı boyut ve geometri özelliklerine sahip odun hammaddeleri kullanılabilir. Yonga elde edilen ağacın cinsi kadar yonga boyut ve geometrisinin de ciddi manada levha özelliklerine etkisi vardır.

Badejo (1988), yonga geometrisi üzerine yapmış olduğu çalışmasında yonga geometrisinin kompozitlerin elastikiyeti, eğilme mukavemeti ve yüzeye dik çekme mukavemeti ile kalınlık ve şişme gibi özellikleri üzerinde etkili olduğu sonucuna varmıştır.

Semple ve Evans (2004), küçük boyutlu yongaların yerine, daha uzun boyutlu yongalar ile üretilen odun-çimento levhalarının mukavemet değerlerinin daha iyi olduğunu belirtmiştir. Küçük boyutlu yongalar kullanılarak üretilen levhalarda ise materyallerin arasındaki boşlukların daha az ve yüzeylerinin daha düzgün olduğu sonucuna varmışlardır.

Odun-çimento kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerinde yonga boyutu ve geometrisinin önemli bir etkisi vardır. Fakat bu kompozitlerde, yonga levhalarda olduğu gibi tutkal esaslı bir kimyasal bağlanma olmadığından, odun-çimento levhalarının imalatında daha büyük boyutlu yongalar kullanılabilir (Semple ve Evans, 2004; Bejo ve ark., 2005).

2.3.6 Yonga Yönlendirmesi

Ma ve ark. (2000), yönlendirilmiş yongaların kullanıldığı odun-çimento levhalarda eğilme direnç değerlerinin 2,5 kat arttığını tespit etmişlerdir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin ise 2 kat artışı gözlenmiştir. Yongaların yalnızca 1/4'lük kısmının yönlendirilmesi bile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin artışına sebep olmuştur. Stahl ve ark. (2007), çimentolu odun yünü levhalarda yönlendirmenin levha mukavemetini %25, sertliğini de %33 oranında artırdığını tespit etmiştir.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Ağaç malzeme

Deney levhalarında odun hammaddesi olarak Doğu ladini (*Picea orientalis*(L.) Link.) planya atıkları kullanılmıştır. Planya atıkları, Artvin Çoruh Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinden temin edilmiştir.

3.1.1.1 Doğu Ladini

Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link), bitkiler alemi içerisinde açık tohumlu bitkilerin altında iğne yapraklılar sınıfı, picea cinsindendir. 60 metre uzunluğa ve 1,5-2 metre çap değerine ulaşabilen Doğu ladinin gövdesi dolgun, düz ve sivri tepelidir. Kabuğu genç gövdelilerde açık renkli ve düzgün yapılıdır. Ağaç yaşlandıkça kabuk rengi koyulaşır ve çatlak oluşumu meydana gelir. Doğu ladinin dalları gövdeyi sık olarak çevrelemektedir. Dalların yeni sürgünleri ince yapılı tüylü ve açık renklidir. İğne şeklindeki yaprakların uzunluğu 6-11 mm aralığında olup uç kısımları küttür. Görüntüsü parlak koyu yeşildir. Çiçekleri erkeklerinde kırmızımsı; dişilerinde ise menekşe renginde ve kozalakçık şeklindedir. Kozalaklarının rengi bazı ağaçlarda koyu kırmızı, bazılarında ise yeşil renklidir. Kozalakların uzunluğu ise 6-9 cm civarındadır. Kozalakların olgunlaştığında şekilleri oval veya silindirik, rengi ise kiremit rengindedir. Bu ağacın büyümesi ilk yıllarda oldukça yavaş, ancak 8-10 yaşlarından itibaren büyümesi hızlanmaktadır. Ülkemizdeki doğal yayılım alanları Gürcistan sınırından başlayarak batıya, Ordu ili yakınlarındaki Melet Irmağı'na kadar devam etmektedir. Bu bölümde dağların sadece denize bakan yamaçlarında görülür (Anşin ve Özkan, 1993, Özdemir,2006). Doğu ladinin rutubeti ve yağışı seven bir tür olarak özellikle Karadeniz etkisinde bağıl nemi yüksek olan kuzeybatı ve kuzey yamaçlarında gelişiminin daha iyi olduğu gözlemlenmektedir (Şahin ve ark., 1999, Özdemir, 2006).

Doğu ladini odununun işlenmesi gayet kolay ve temizdir. Üst yüzey işlemlerine (planya, zımparalama ve cilalama vb.) uygundur. Vida ve çivi tutma özellikleri gayet

iyi olup tutkallamada da sorunsuzdur. Kağıt ve selüloz üretiminde yapısının uzun lifli oluşu sebebiyle tercih edilmektedir. Doğu ladini odunu çatı yapımında, kapı ve pencere doğramalarında, taban ve tavan yapımında, mobilya iç dekorasyon ürünlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca iskele malzemesi ve kalıp tahtası olarak da inşaat sektöründe tercih edilmektedir (Anşin, 1998, Özdemir, 2006). Doğu ladinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Doğu ladini odunun bazı özellikleri (Anşin, 1998).

Fiziksel Özellikler	
Fırın kurusu özgül ağırlık (δ_0)	0,416 g/cm ³
%12 rutubetteki özgül ağırlık (δ_{12})	0,451 g/cm
Yoğunluk değeri (y)	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 Özellikler	
Basınç dayanımı (σ_B)	390,68 kg/cm ²
Eğilme dayanımı (σ_E)	707,03 kg/cm ²
Elastikiyet Modülü (E.mod)	10528 kg/cm ²
Çekme dayanımı ($\sigma_{\text{ç}}$ //)	875,5 kg/cm ²
Makaslama dayanımı (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 yarıлма dayanımı (σ_{yr})	3,90 N/mm ²
Teğet yönde yarıлма dayanımı (σ_{yt})	4,61 N/mm ²

3.1.2 Çimento

Bu çalışmamızda Aşkale Çimento Sanayi Tic. A.Ş.'den temin edilen TS EN 197-1-2013 standartlarında, CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Tablo 4'te deney levhaları üretiminde kullanılan çimentoya ait bazı özellikler verilmektedir.

Tablo 4. Deney levhalarında kullanılan çimentoya ait bazı özellikler (URL-10)

Kimyasal İçerik%		Fiziksel özellikleri	
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	4.20	Yoğunluk (g/cm^3)	2.98
Kalsiyum oksit (CaO)	57.85	Priz Başlangıcı (dk)	155
Demir oksit (Fe_2O_3)	2.13	Priz Sonu (dk)	215
Silisyum dioksit (SiO_2)	19.60	Hacim genleşmesi (mm)	0.0
Magnezyum oksit (MgO)	1.50	İncelik, 32 mikron (%)	9,8
Kükürt trioksit (SO_3)	2.59	Blaine cm^2/g	4992
		Basınç dayanımı 2 gün MPa	18,7
		Basınç dayanımı 28 gün MPa	38,3

3.1.3 Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Çalışmada, Oyak Çimento İskenderun tesislerinden temin edilen GYFC kullanılmış olup kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 5'te verilmiştir. GYFC, çimento ağırlığının yüzdesi olarak çimento ile yer değiştirerek kullanılmıştır.

Tablo 5. GYFC'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri (URL 11)

Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	TS EN 197-1 Sınır Değerleri	Elde Değerler	Edilen
Magnezyum Oksit (MgO), %	Max. 18	6,25	
Kükürt Trioksit (SO ₃), %	Max. 2,5	0,51	
Sodyum Oksit (Na ₂ O), %	-	0,87	
Potasyum Oksit (K ₂ O), %	-	0,92	
Klorür (Cl ⁻), %	Max. 0,1000	0,0380	
Düzeltilmiş Kızdırma Kaybı, %	Max. 3,0	1,24	
CaO + MGO + SiO ₂ , %	Min. 66,67	82,5	
(CaO+MgO)/SiO ₂ , %	Min. 1,0	1,06	
Özgül Ağırlık, g/cm ³	-	2,90	
Özgül Yüzey, cm ² /g	Min. 2750	5445	
Priz Başlangıcı, Dakika	Max. (2xRef.)	230	
Priz Başlangıcı-Referans, Dakika	-	155	
Rutubet, %	Max. 1,0	0,1	
7 Günlük Aktivite, %	Min. 45	55,7	
28 Günlük Aktivite, %	Min. 70	78,6	

3.1.4 Kalsiyum Klorür (CaCl₂)

Kalsiyum klorür (CaCl₂), kalsiyum ve klorun tuz formudur ve oda sıcaklığında katı halde bulunmaktadır. Yapısal olarak iyonik yapıdaki tuzlardandır. Üretimi direkt kireç taşından olabildiği gibi, Solvay yöntemiyle yüksek oranlarda yan ürün şeklinde de elde edilmektedir. Higroskopik bir madde olduğundan havayla çok kolay etkileşime girebilmektedir. Bu sebepten kapalı ambalajlar içerisinde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Suda çözünürken ekzotermik reaksiyon gösterir. Nem tutma özelliği iyi derecededir. Ayrıca donma noktası düşüktür (URL-12). Bu çalışmada CaCl₂, sertleştirici olarak kullanılan çimento miktarının %5 oranında karışıma ilave edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Deneme Levhalarının Üretimi

Doğu ladini planya artıkları çimentolu yonga levha üretimine uygun hale getirilmesi için önce yongalanmış daha sonra ise elenmiştir. 3 mm elekten geçen ve 0,5 mm elek üzerinde kalan yongalar üretimde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Elenen yongalar, laboratuvar ortamına alınarak kuruması için temiz bir alana serilmiş ve hava kurusu rutubet oranı olan %12 seviyesine gelene kadar doğal kurumaya tabi tutulmuştur.

Karıştırma işleminde ilk olarak yongalar, karışıma ilave edilecek su miktarının yarısı ile ıslatılarak rutubet değeri %30'a çıkarılmıştır. Bu işlemde sonra GYFC çimento ile homojenize olana kadar karıştırılmış ve daha sonra yongalar ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Tablo 6'da deneme levhalarının üretiminde kullanılan parametreleri görülmektedir.

Yongalar çimentoyla karıştırılmasından sonra CaCl_2 karışıma eklenerek yeniden homojenize olana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. CaCl_2 , tüm levha grupları için çimento ağırlığının %5'i oranında kullanılmıştır.

Tablo 6. Deneme Levhalarının Üretim Parametreleri

Parametreler Değerler	
Hedeflenen Özgül Ağırlık (kg/m ³)	1200
Levha Boyutları (cm)	45x45x1
Yüzey Tabaka/Orta Tabaka Oranı	Tek tabaka
Sertleştirici (% , çimentoya oranla)	5
Su-Çimento Oranı	0,61
Odun-Çimento Oranı	1/3 -1/2
GYFC İkame Oranı (% , çimentoya oranla)	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60
Pres Basıncı (kg/cm ²)	18-20
Presleme Sıcaklığı (°C, ilk 8 saat için)	60
Pres Süresi (saat)	24

Hazırlanan karışımların serilmesinde 45x45 cm ölçülerindeki ahşap kalıp çerçevesi kullanılmıştır. 60x60 ebatındaki alüminyum pres sacı üzerine levhaların yapışmasını engellemek amacıyla yağlı kağıt serilmiş ve daha sonra yonga-çimento-su karışımı, el yardımıyla homojen bir şekilde serilerek tek tabakalı çimentolu yonga levha taslağı oluşturulmuştur. Serme işlemi tamamlandıktan sonra ön presleme yapılarak yongaların belli oranda sıkıştırılarak bağlanmaları sağlanmıştır. Kalıp çerçeveleri çıkarıldıktan sonra levhanın pres sacına yapışmasını engellemek amacıyla yağlı kâğıt serilerek üzerine ikinci alüminyum pres sacı yerleştirilmiştir. Hedef levha kalınlığı olan 10 mm kalınlığı sağlamak amacıyla prese kalınlık takozu yerleştirilerek levha taslağı sıcak preslemeye hazır hale getirilmiştir.

Her levha türünden ikişer adet olacak şekilde toplam 28 adet çimentolu yonga levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Levha taslakları, 60 °C pres sıcaklığında ve 18-20 kg/cm² basınç altında 24 saat preslenmiştir. Presleme işlemi bittikten sonra tüm levhalar, çimentonun sertleşme reaksiyonunun tamamlanması için 28 gün süreyle iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Bu işlem akabinde TS 647'ye göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem değerlerine sahip odada yaklaşık bir hafta bekletilerek klimatize edilmiştir. Son olarak levhalar, daire testere makinesinde kesilerek

standartlarda belirtilen deney boyutlarına getirilmiştir. Deneme levhalarının üretim planlaması Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7. Deneylerde Kullanılacak Levhaların Üretim Planı

Levha Kodu	Odun/Çimento Oranı	GYFC Oranı%
C3	1/3	0
C3_10		10
C3_20		20
C3_30		30
C3_40		40
C3_50		50
C3-60		60
C2	1/2	0
C2_10		10
C2_20		20
C2_30		30
C2_40		40
C2_50		50
C2-60		60

3.2.2 Deneme Levhalarına Uygulanan Testler

3.2.2.1 Rutubet İçeriği

Deney levhalarında rutubet tayin işlemi, TS EN 322 (1999) standardına göre gerçekleştirilmiştir. 50x50x10 mm ebatlarında hazırlanmış numuneler öncelikle $\pm 0,01$ g duyarlıktaki analitik terazide tartılmış, sonrasında numuneler etüvde (Şekil

12). 101-105°C’de değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Fırın kurusu ağırlıkları belirlenen numunelerin rutubet değerleri, aştıdaki 1 nolu formül ile hesaplanmıştır.

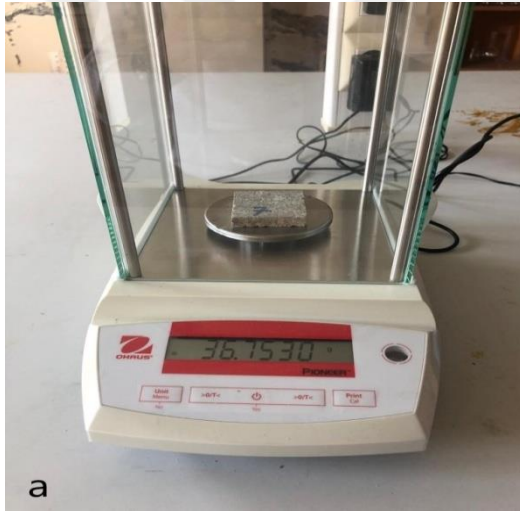
$$r = \left(\frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Bu formülde:

r : Rutubet değeri (%)

m : Numune ağırlığı (g)

m₀ : Fırın kurusu numune ağırlığı (g)



Şekil 12. a) Analitik terazi, b) Etüv.

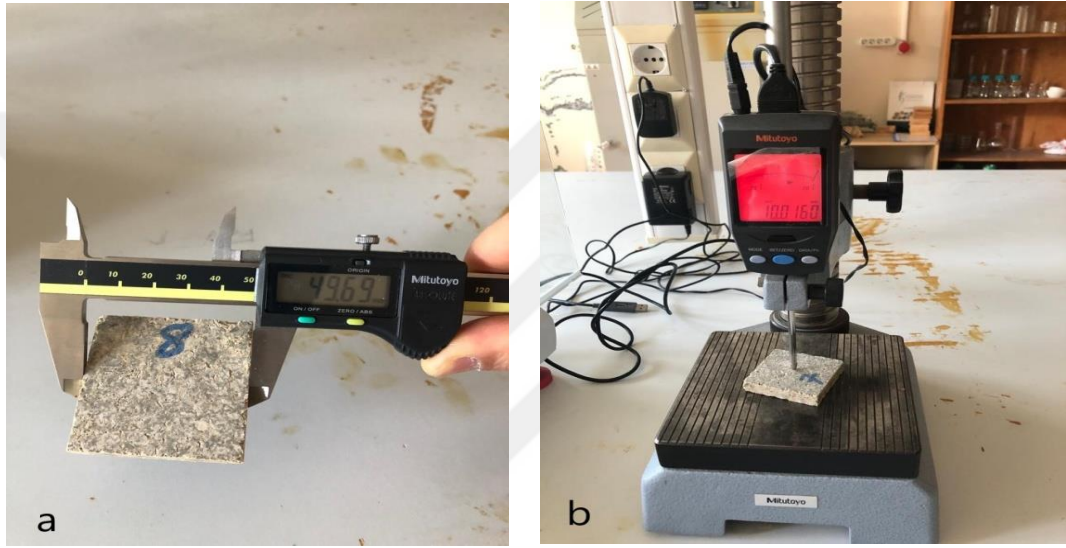
3.2.2.2 Yoğunluk

Deneme levhalarının yoğunluğu belirlenirken TS EN 323 (1999) standardında belirtilen esaslar dikkate alınmıştır. 50x50x10 mm ölçülerinde hazırlanmıştı numuneler, 18-22 °C sıcaklık ve %60-70 bağıl nemdeki klimatize odasında nihai ağırlığa ulaşılıncaya kadar tutulmuştur. Örnekler, hava kurusu ağırlığa ulaştıktan sonra analitik terazi ile ağırlık ölçümü yapılmıştır. Örneklerin kalınlıkları dijital mikrometrede; genişlikleri ise dijital kumpasta ± 0,01 mm hassasiyetle ölçülmüştür

(Şekil 13). Aşağıdaki 2 no’lu formül kullanılarak hava kurusu yoğunluk değeri hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{mr}{a_1 a_2 t} \quad (2)$$

Burada; δ : Yoğunluk değeri (g/cm³), mr : %12 rutubetteki örnek ağırlık değeri (g), a_1 : Numune genişlik değeri (mm), a_2 : Numune uzunluk değeri (mm), t : Numune kalınlık değeri (mm)’dir.



Şekil 13. a) Dijital Kumpas, b) Dijital Mikrometre

3.2.2.3 Su Alma

Örneklerin su alma miktarının belirlenmesinde ASTM D1037 (2006)’deki esaslar dikkate alınmıştır. 50x50x10mm ölçülerinde hazırlanan numunelerin ağırlık ölçümleri ± 0.01 gr hassasiyetteki analitik terazi kullanılarak ölçülmüştür. Ağırlıkları belirlenen örnekler, 18-22 °C’deki temiz suda, su yüzeyinin 2.5 cm altında 2 ve 24 saat bekletilmiştir. Suda bekletme işlemi tamamlandıktan sonra örneklerin ağırlıkları aynı şekilde tekrar ölçülmüştür. Bu işlem sonrasında 3 no’lu formül kullanılarak örneklerin su alma miktarı (SA) hesaplanmıştır.

$$\frac{My - Mk}{Mk} \times 100 \quad (3)$$

%SA=

Bu eşitlikte;

SA : Su alma miktarı (%)

mk : Örneğin ilk ağırlığı (g)

my : Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)

3.2.2.4 Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı

Kalınlık yönünde artış oranı tespit edilirken TS EN 317 (1999) belirtilen esaslar dikkate alınmıştır. Bu amaçla, 50x50x10 mm ölçülerinde hazırlanmış levha numunelerinin kalınlıkları $\pm 0,01$ mm hassasiyetle mikrometreyle ölçülerek tespit edilmiş ve 18-22 °C'deki temiz suda su yüzeyinin 2,5 cm altında 2 ve 24 saat bekletilmiştir. Süre sonunda sudan alınan numunelerin kalınlıkları aynı noktadan tekrar ölçülmüştür. Örneklerin kalınlık artış (KA) oranları 4 no'lu formül yardımı ile belirlenmiştir

$$\%KA = \frac{ey - ek}{ek} \times 100 \quad (4)$$

Formülde;

KA : Numune kalınlık artışı (%)

ey : Sudan çıkan örneğin kalınlık değeri (mm)

ek : Suda bekletme işleminden önceki örnek kalınlığını (mm) ifade etmektedir.

3.2.2.5 Eğilme Direnci (ED)

ED testi TS EN 317 (1999)'deki kriterlere göre universal test makinesinde yapılmıştır (Şekil 14). 250x50x10 mm boyutundaki numuneler, 20±2 °C sıcaklık ve %65±2 bağıl nem koşullarındaki klimatize odasında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve akabinde numunelerin kalınlığı dijital mikrometre ile, genişliği ise dijital kumpas ile ölçülmüştür.

Eğilme testi numunelerinin 1-2 dakikada kırılması için cihazın hızı 6 mm/dk ayarlanmıştır. Eğilme direnci değerlerinin hesaplanmasında aşağıda belirtilen 5 no'lu formül kullanılmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \times 100 \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

Formülde;

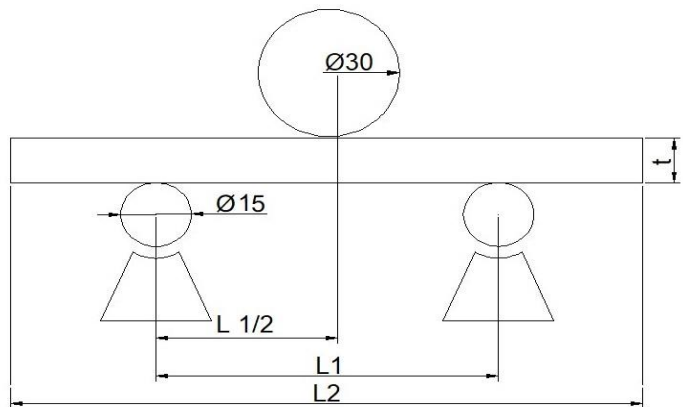
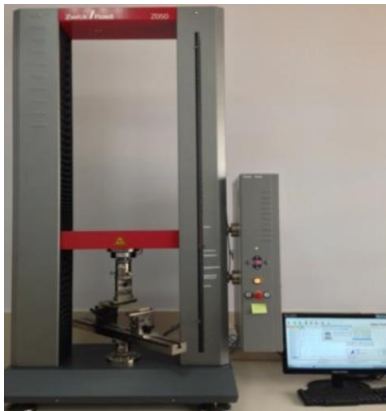
σ_e : Eğilme direnç değeri (N/mm²)

F: Maksimum kuvvet (N)

L: Mesnetler arası mesafe (mm)

d: Numune kalınlık değeri (mm)

b: Numune genişlik değeri (mm)'dir.



Şekil 14. Universal test makinesi ve eğilme test düzenek şeması

3.2.2.6 Eğilmede Elastikiyet Modülü (EEM)

EEM testi, TS EN 310 (1999)'deki kriterlere göre universal test makinesinde yapılmıştır. Bu test için 250x50x10 mm boyutlarına sahip numuneler kullanılmıştır. Test numuneleri, 20±2 °C sıcaklık ve %65±2 bağıl nem koşullarındaki klimatize odasında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve akabinde numunelerin kalınlığı dijital mikrometre ile, genişliği ise dijital kumpas ile ölçülmüştür.

Numunelerin 1-2 dakikada kırılması için cihazın hızı 6 mm/dk ayarlanmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü hesaplanırken aşağıda belirtilen 6 no'lu formül kullanılmıştır.

$$E = \frac{F \times I \alpha}{4 \times \Delta e \times b \times d a} \times 100 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

Formülde;

E : Eğilmede elastikiyet modülü değeri (N/mm²),

F : Deformasyon kuvveti (N),

I : Mesnetler arası mesafe (mm),

d : Numune kalınlık değeri (mm),

b : Numune genişlik değeri (mm),

Δe : Sehim (mm)'dir.

3.2.2.7 Yüzeye Dik Çekme Direnci (YDÇD)

YDÇD testi, TS EN 319 (1999)'da ki kriterlere göre universal test makinesinde gerçekleştirilmiştir. Bu test için 50x50x10 mm boyutlarına sahip numuneler kullanılmıştır. Test numuneleri, 18-22 °C sıcaklık ve %60-70 bağıl nem koşullarındaki klimatize odasında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve daha sonra numunelerin genişliği dijital kumpas ile ölçülmüştür.

Test numunelerinin her iki yüzeyine sıcak silikon kullanılarak standartlara uygun alüminyum takozlar yapıştırılmıştır (Şekil 15). Bu işlemten sonra numuneler iklimlendirme odasında tekrar klimatize edilerek yüzeye dik çekme testi uygulanmıştır. Levha yüzeyine yakın olan kırılmalar hesaplara dâhil edilmemiştir. Yüzeye dik çekme direnci ($\sigma_{\text{çd}}$) hesaplanırken aşağıda belirtilen 7 no'lu formül kullanılmıştır

$$\Delta\sigma_d = \frac{F_{\text{max}}}{A} \quad (7)$$

Formülde; $\Delta\sigma_d$:YDÇD (N/mm²), F_{max} : Maksimum kuvvet (N), A: Numune yüzey alanı (mm²)'dır.



Şekil 15. YDÇD deney düzeneği ve mum silikon tabancası

3.2.2.8 Vida Tutma Direnci (VTD)

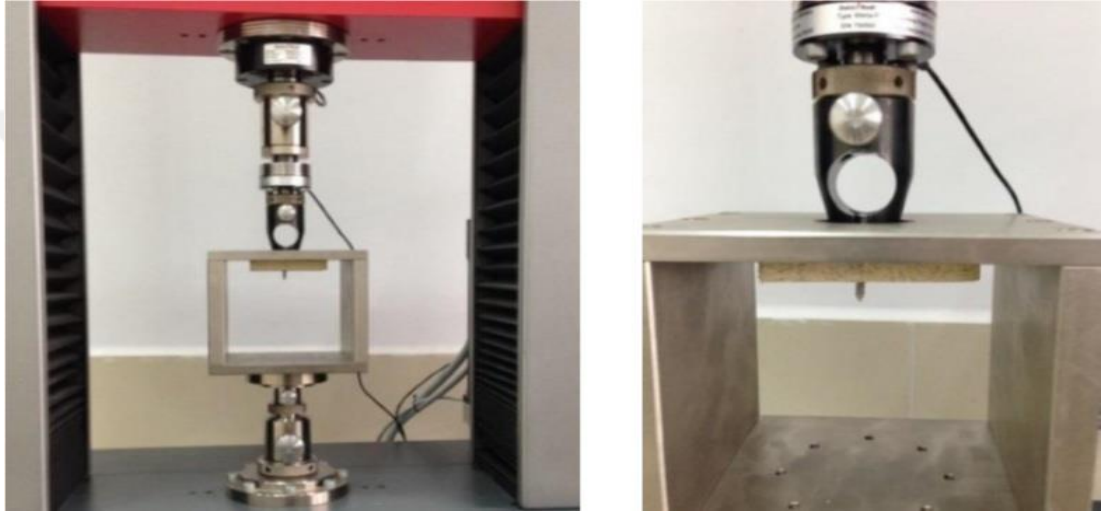
VTD testi, TS EN 320 (2011)'deki kriterlere göre universal test makinesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 16). 75x75x10 mm ebatlarında hazırlanan test numunelerinin yüzeylerine köşegenler çizilerek merkezleri tespit edilmiş ve matkap yardımıyla 2.7 mm çapında delik açılmıştır.

Sonrasında iklimlendirme odasının sıcaklığı 20±2°C ve bağıl nemi %65±5 olarak sabitlenmiş ve test numuneleri sabit ağırlığa gelene kadar burada bekletilmiştir. Daha sonra test numuneleri, anma boyutu 4,2x38 mm ve vida adımı 1,4 mm olan saç vida ile numune kalınlığını geçecek vidalanmıştır.

Sonrasında, üniversal test makinesi 10 mm/dk hıza ayarlanarak numunelerin vida tutma gücü (VTG) testleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin vida tutma gücü (VTG) değerleri aşağıdaki 8 no'lu formül kullanılarak belirlenmiştir.

$$W = \frac{F_{max}}{L} N/mm \quad (8)$$

Formülde; W: VTG (N/mm²), Fmax: Maksimum kuvvet (N), L: Numune kalınlık değeridir (mm).



Şekil 16. VTG test düzeneği

3.3 İstatistik Yöntemler

GYFC ve OÇ oranının etkisinin değerlendirilmesi amacıyla deneme levhalarının mekanik ve fiziksel test sonuçları üzerinde, SPSS 21.0 Paket Programı ile basit ve çoğul varyans analizi yapılmıştır. Levha gruplarının ortalama değerleri arasındaki farkın anlamlı olması durumunda ($p < 0,05$) Duncan homojenlik testi uygulanmıştır.

4 BULGULAR

4.1 Fiziksel Özellikler

4.1.1 Rutubet İçeriği

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait rutubet değerleri Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların rutubet miktarı değeri

Levha Türü	$\bar{X}(\%)$	S	V
C2	10,606	0,158	1,490
C2-10	10,637	0,216	2,031
C2-20	10,467	0,101	0,965
C2-30	9,405	0,124	1,318
C2-40	9,426	0,281	2,981
C2-50	8,456	0,373	4,411
C2-60	7,159	0,123	1,718
C3	10,043	0,169	1,683
C3-10	9,968	0,072	0,722
C3-20	9,57	0,267	2,790
C3-30	9,268	0,208	2,244
C3-40	9,244	0,268	2,899
C3-50	9,184	0,276	3,005
C3-60	9,121	0,570	6,249

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

GYFC ve OÇ oranının, rutubet miktarına etkisinin anlamlı olup, olmadığına tespiti için yapılmış çoğul varyans analiz (ÇVA) sonucu Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların rutubet miktarına etkisine ilişkin ÇVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	0,005	1	0,005	0,068	Ö.D.
GYFC İkame Mik(B)	82,064	6	13,677	202,015	***
A*B İnteraksiyon	31,217	6	5,203	76,845	***
Hata	8,531	126	0,068		
Toplam	12706,005	140			

***: $\alpha \leq 0,001$, Ö.D.: Önemli Değil ($\alpha > 0,05$)

ÇVA sonuçlarına göre; GYFC ikame miktarının deneme levhalarının rutubet miktarlarına etkisi %0,1 hata payı ile önemli, OÇ oranının levha rutubetine etkisi % 5 hata payı ile anlamsız, bu faktörlerin etkileşimleri ise %0.1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur. GYFC ikame miktarının deneme levhalarının rutubet miktarlarına etkisinin anlamlı olup, olmadığını tespit etmek için odun-çimento oranına göre yapılmış basit varyans analiz (BVA) sonucu Tablo 9 ve Tablo 10'da gösterilmiştir. Bu veriler ışığında, her iki odun-çimento oranında da GYFC ikame miktarının deneme levhalarının rutubet değerleri üzerindeki etkisi %0.1 hata payı ile anlamlı olduğu görülmüştür.

Tablo 10. 1/2 odun-çimento oranı ile üretilen levhalarda GYFC ikame miktarının rutubet miktarı üzerine etkisine ilişkin BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	100,189	6	16,698	355,535	***
Gruplar içi	2,959	63	0,047		
Toplam	103,148	69			

Tablo 11. 1/3 Odun/çimento oranlı deneme levhalarında GYFC ikame miktarının rutubet miktarı üzerine etkisine ilişkin BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	8,812	6	1,469	16,514	***
Gruplar içi	5,603	63	0,089		
Toplam	14,414	69			

Levha türleri arasında, rutubet miktarı değerleri bakımından homojenlik olup, olmadığını tespit etmek için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 12’de gösterilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; 1/2 OÇ oranlı levhalarda kontrol, %10 ve %20 oranında GYFC kullanılan levhalar aynı homojenlik grubundadır. %30 ve %40 GFYC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levhalar ise farklı homojenlik grubundadır. 1/3 OÇ oranlı denem levhalarında; kontrol ve %10 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda yer alırken, %20 GYFC ikameli levha grubu ise farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Diğer taraftan, %30, %40, %50 ve %60 GFYC ikameli levhalar aynı homojenlik grubundadır.

Tablo 12. Deneme levhaların rutubet değerlerine ilişkin Duncan test sonucu

1/2 OÇ Oranı		1/3 OÇ Oranı	
Levha Türü	X (%)	Levha Türü	X (%)
C2	10,606 A	C3	10,043 A
C2-10	10,637 A	C3-10	9,968 A
C2-20	10,467 A	C3-20	9,57 B
C2-30	9,405 B	C3-30	9,268 C
C2-40	9,426 B	C3-40	9,244 C
C2-50	8,456 C	C3-50	9,184 C
C2-60	7,159 D	C3-60	9,121 C

4.1.2 Yoğunluk Değeri

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait yoğunluk değerleri Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların yoğunluk değeri

Levha Türü	$\bar{X}$ (g/cm ³)	S	V
C2	1,210	0,015	1,107
C2-10	1,219	0,011	0,902
C2-20	1,243	0,008	0,644
C2-30	1,182	0,014	1,184
C2-40	1,147	0,026	2,267
C2-50	1,114	0,029	2,603
C2-60	1,075	0,017	1,581
C3	1,231	0,025	2,031
C3-10	1,262	0,021	1,664
C3-20	1,276	0,013	1,019
C3-30	1,275	0,017	1,333
C3-40	1,247	0,015	1,203
C3-50	1,222	0,011	0,900
C3-60	1,186	0,005	0,422

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

GYFC ve OÇ oranının, yoğunluk değerlerine etkisinin anlamlı olup, olmadığının tespiti için yapılmış çoğul varyans analiz (ÇVA) sonuçları Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların yoğunluk değerlerine etkisine ait ÇVA sonuçları

Varyans Kaynağı	KarelerToplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	0,183	1	0,183	605,369	***
GFYC İkame Miktarı (B)	0,240	6	0,040	132,244	***
A*B İnteraksiyon	0,045	6	0,007	24,783	***
Hata	0,038	126	0,000		
Toplam	204,209	140			

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

ÇVA sonuçlarına göre; GYFC ikame miktarı, OÇ oranı ve bu faktörlerin etkileşiminin deneme levhalarının yoğunluğuna etkisi %0.1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur. GYFC ikame miktarının deneme levhalarının yoğunluk değeri üzerindeki etkisinin anlamlı olup, olmadığını tespit etmek için odun-çimento oranına göre yapılmış basit varyans analiz (BVA) sonucu tablo 15 ve 16’da gösterilmiştir. Bu veriler ışığında, her iki odun-çimento oranında da GYFC ikame miktarının deneme levhalarının yoğunluk değerleri üzerindeki etkisi %0,1 hata payı ile önemli bulunmuştur.

Tablo 15. 1/2 O Ç oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının yoğunluk değerleri üzerine etkisine ilişkin BVA Sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	0,224	6	0,037	108,891	***
Gruplar içi	0,022	63	0,000		
Toplam	0,246	69			

Tablo 16. 1/3 OÇ oranlı deneme levhalarında GYFC ikame oranının yoğunluk değeri üzerine etkisine ilişkin BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	0,060	6	0,010	38,592	***
Gruplar içi	0,016	63	0,000		
Toplam	0,077	69			

Levha türleri arasında, yoğunluk değerleri bakımından homojenlik olup, olmadığını tespit etmek için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 17’de gösterilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; 1/2 OÇ oranlı levhalarda kontrol ve %10 GYFC ikameli levha grupları aynı homojenlik grubunda, diğer levha grupları farklı homojenlik grubundadır. 1/3 OÇ oranlı levhalarda; %10, %20 ve %30 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, %40 ve %60 GYFC ikameli levhalar farklı homojenlik grubundadır. Diğer taraftan, kontrol ve %50 GYFC ikameli levha grupları ise aynı homojenlik grubundadır.

Tablo 17. Deneme levhaların yoğunluk değerlerine ait Duncan test sonuçları

1/2 OÇ Oranı		1/3 OÇ Oranı	
Levha Türü	X (%)	Levha Türü	X (%)
C2	1,210 B	C3	1,231 C
C2-10	1,219 B	C3-10	1,262 A
C2-20	1,243 A	C3-20	1,276 A
C2-30	1,182 C	C3-30	1,275 A
C2-40	1,147 D	C3-40	1,247 B
C2-50	1,114 E	C3-50	1,222 C
C2-60	1,075 F	C3-60	1,186 D

4.1.3 Su Alma Oranı

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait 2 ve 24 saatteki su alma değerleri Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların su alma değerleri

Levha Türü	2-saat			24-saat		
	$\bar{X}$	S	V	$\bar{X}$	S	V
C2	13,76	1,05	7,63	20,46	0,71	3,44
C2-10	14,24	0,49	3,44	20,35	0,41	2,09
C2-20	16,75	0,83	4,96	21,34	0,62	2,91
C2-30	21,36	0,72	3,37	25,75	0,55	2,14
C2-40	23,69	0,66	2,79	27,38	0,76	2,78
C2-50	27,58	0,53	1,92	31,67	0,49	1,55
C2-60	33,42	0,31	0,93	37,31	0,36	0,96
C3	11,35	0,30	2,64	16,03	0,37	2,31
C3-10	11,81	0,83	7,03	16,27	0,44	2,70
C3-20	12,23	0,67	5,48	16,57	0,42	2,53
C3-30	13,34	0,41	3,07	17,33	0,24	1,38
C3-40	13,46	0,48	3,57	17,51	0,21	1,20
C3-50	15,54	0,75	4,83	17,94	0,34	1,90
C3-60	18,38	0,49	2,67	20,97	0,54	2,58

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

GYFC ikame miktarı, suya daldırma süresi ve OÇ oranının, levhaların yoğunluk değerlerine etkisinin anlamlı olup, olmadığına tespiti için yapılmış çoğul varyans analiz (ÇVA) sonucu Tablo 19’da gösterilmiştir.

Tablo 19. OÇ oranı, suda bekletme süresi ve GYFC ikame miktarının deneme levhalarının su alma değerlerine etkisine ilişkin ÇVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	4792,02	1	4792,02	14677,61	***
GYFCİkameMik.(B)	4744,85	6	790,81	2422,19	***
Süre (C)	1261,76	1	1261,76	3864,67	***
A*B İnteraksiyon	1439,54	6	239,92	734,87	***
A*C İnteraksiyon	14,79	1	14,79	45,29	***
B*C İnteraksiyon	50,89	6	8,48	25,98	***
A*B*C İnteraksiyon	12,01	6	2,00	6,13	***
Hata	82,27	252	0,33		
Toplam	121771,72	280			

***: $\chi \leq 0.001$

ÇVA sonucuna göre; GYFC ikame miktarı, OÇ oranı, suda bekletme süresi ve bu faktörlerin etkileşimlerinin deneme levhalarının su alma değerlerine etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

Levha türleri arasındaki farklılığın kaynağını tespit etmek amacıyla OÇ oranı ve suda bekletme süresine göre yapılan basit varyans analiz (BVA) ve Duncan testi sonucu Tablo 20 ve Tablo 21’de gösterilmiştir. Buna göre; 1/2 OÇ oranlı levhalarda 2 ve 24 saat su alma değerleri bakımından kontrol ve %10 GYFC ikameli levha tipleri aynı homojenlik grubunda, diğer levha tipleri farklı homojenlik grubundadır. Diğer taraftan, 1/3 OÇ oranlı levhalarda 2 ve 24 saat su emme değerleri bakımından %30 ve %40 GYFC ikameli levha türleri aynı homojenlik grubunda, diğer levha türleri farklı homojenlik grubundadır.

Tablo 20. 1/2 OÇ oranlı levhaların su alma miktarına ait Duncan test sonucu

Levha Türü	Su Alma Miktarı (%) (2-saat)	Su Alma Miktarı (%) (24-saat)
C2	13,76A	20,46A
C2-10	14,24 A	20,35A
C2-20	16,75 B	21,34B
C2-30	21,36 C	25,75C
C2-40	23,69 D	27,38D
C2-50	27,58 E	31,67E
C2-60	33,42 F	37,31F

Tablo 21. 1/3 OÇ oranlı levhaların su alma miktarına ait Duncan test sonucu

Levha Türü	Su Alma Miktarı (%) (2-saat)	Su Alma Miktarı (%) (24-saat)
C3	11,35 A	16,03 A
C3-10	11,81 AB	16,27 AB
C3-20	12,23 B	16,57 B
C3-30	13,34 C	17,33 C
C3-40	13,46 C	17,51 C
C3-50	15,54 D	17,94 D
C3-60	18,38 E	20,97 E

4.1.4 Kalınlık Artımı

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait 2 ve 24 saatteki kalınlık artımı değerleri Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 22. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların kalınlık artımı değeri

Levha Türü	2-saat			24-saat		
	$\bar{X}$	S	V	$\bar{X}$	S	V
C2	5,42	0,39	7,20	8,66	0,61	7,04
C2-10	5,46	0,55	10,07	8,65	0,85	9,83
C2-20	7,51	0,43	5,73	9,30	0,55	5,91
C2-30	9,30	0,44	4,73	11,06	0,64	5,79
C2-40	9,29	0,34	3,66	11,16	0,68	6,09
C2-50	11,01	0,86	7,81	12,95	0,89	6,87
C2-60	12,55	0,83	6,61	14,27	0,80	5,61
C3	1,51	0,15	9,93	2,11	0,19	9,00
C3-10	1,77	0,16	9,04	2,84	0,32	11,27
C3-20	3,02	0,29	9,60	4,31	0,25	5,80
C3-30	3,23	0,34	10,53	4,54	0,35	7,71
C3-40	3,36	0,31	9,23	4,55	0,27	5,93
C3-50	3,39	0,33	9,73	4,76	0,32	6,72
C3-60	4,94	0,43	8,70	5,93	0,53	8,94

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

GYFC ikame miktarı, suda bekletme süresi ve OÇ oranının, levhaların kalınlık artımı değerlerine etkisinin anlamlı olup, olmadığının tespiti için yapılmış çoğul varyans analiz (ÇVA) sonucu Tablo 23’de gösterilmiştir.

Tablo 23. OÇ oranı, suda bekletme süresi ve GYFC ikame miktarının deneme levhalarının kalınlık artımı değerlerine etkisine ait ÇVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	2661,01	1	2661	9323,03	***
GYFCİkame Mik.(B)	764,35	6	127,39	446,33	***
Süre (C)	194,58	1	194,58	681,74	***
A*B İnteraksiyon	112,19	6	18,69	65,51	***
A*C İnteraksiyon	21,24	1	21,24	74,42	***
B*C İnteraksiyon	4,29	6	0,72	2,51	*
A*B*C İnteraksiyon	11,87	6	1,98	6,93	***
Hata	71,87	252	0,28		
Toplam	16321,31	280			

***: $x \leq 0,001$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$

ÇVA sonucuna göre; GYFC ikame miktarı, OÇ oranı, suda bekletme süresi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (GYFC ikame miktarı- suda bekletme süresi faktörlerinin etkileşimi hariç) deneme levhalarının kalınlık artımı (şişme) değerlerine etkisi %0.1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur. GYFC kullanım miktarı ve suda bekletme süresi faktörlerinin etkileşimlerinin, kalınlık artımına etkisi %5 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

Levha türleri arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek için OÇ oranı ve suda bekletme süresine göre yapılan basit varyans analiz (BVA) ve Duncan test sonuçları Tablo 24 ve Tablo 25'te verilmiştir. Buna göre, 1/2 OÇ oranlı levhalarda 2 saat suda bekletme nedeniyle levhalarda oluşan kalınlık artımı değerleri bakımından kontrol ve %10 GYFC ikameli levha tipleri aynı homojenlik grubunda; %30 ve %40 GYFC kullanılan levha türleri aynı homojenlik grubundadır. Diğer levha türleri ise farklı homojenlik grubundadır. 24 saat suya batırma sonucu levhaların kalınlık artımı değerleri bakımından kontrol, %10 ve %20 GYFC ikameli levha türleri aynı homojenlik grubunda, %30 ve %40 GYFC ikameli levha türleri aynı homojenlik grubunda yer almıştır. Diğer levha tipleri ise farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Diğer taraftan 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise 2 saat suda bekletme sonucu

levhalarda meydana gelen kalınlık artımı değerleri bakımından kontrol ve %10 GYFC kullanılan levha türleri aynı homojenlik grubunda yer almıştır. Hem 2 saat hem de 24 saat kalınlık artımı değerleri bakımından %30 ve %40 GYFC içeren levha türleri aynı, diğer levha türleri farklı homojenlik grubundadır.

Tablo 24. 1/2 OÇ oranlı levhalarının kalınlık artımı değerlerine ait Duncan test sonucu

Levha tipi	Su Alma Miktarı (%) (2-saat)	Su Alma Miktarı (%) (24-saat)
C2	5,42A	8,66 A
C2-10	5,46 A	8,65 A
C2-20	7,51 B	9,30 A
C2-30	9,30 C	11,06 B
C2-40	9,29 C	11,16 B
C2-50	11,01 D	12,95 C
C2-60	12,55 E	14,27 D

Tablo 25. 1/3 OÇ oranlı levhaların kalınlık artımı değerlerine ait Duncan test sonucu

Levha Türü	Su Alma Miktarı (%) (2-saat)	Su Alma Miktarı (%) (24-saat)
C3	1,51 A	2,11 A
C3-10	1,77 A	2,84 B
C3-20	3,02 B	4,31 C
C3-30	3,23 BC	4,54 CD
C3-40	3,36 BC	4,55 CD
C3-50	3,39 C	4,76 D
C3-60	4,94 D	5,93 E

4.2 Mekanik Özellikler

4.2.1 Eğilme Direnci

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait eğilme direnci değerleri Tablo 26’da gösterilmiştir.

Tablo 26. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların eğilme direnci değeri

Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S	V
C2	14,14	0,53	3,74
C2-10	12,16	0,51	4,20
C2-20	11,90	0,33	2,74
C2-30	11,86	0,20	1,7
C2-40	6,13	0,51	8,35
C2-50	4,90	0,39	7,94
C2-60	3,30	0,21	6,30
C3	9,55	0,20	2,12
C3-10	10,102	0,345	3,42
C3-20	10,202	0,279	2,74
C3-30	10,471	0,269	2,57
C3-40	9,035	0,207	2,29
C3-50	7,812	0,246	3,15
C3-60	6,339	0,208	3,28

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

GYFC ve OÇ oranının, eğilme direncine etkisinin anlamlı olup, olmadığının tespiti için yapılmış çoğul varyans analiz (ÇVA) sonucu Tablo 27’de gösterilmiştir.

Tablo 27. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların eğilme direnci etkisine ait ÇVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	0,551	1	0,551	4,812	***
GYFCİkameMiktarı(B)	957,168	6	159,528	1394,12	***
A*B İntereksiyon	280,601	6	46,767	408,69	***
Hata	14,418	126	0,114		
Toplam	1252,737	140			

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

ÇVA sonuçlarına göre; GYFC ikame miktarı, OÇ oranı ve bu faktörlerin etkileşiminin deneme levhalarının eğilme direncine etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

GYFC ikame miktarının deneme levhalarının eğilme direnci üzerindeki etkisinin anlamlı olup, olmadığını tespit etmek için odun-çimento oranına göre yapılan basit varyans analiz (BVA) sonucu Tablo 28 ve Tablo 29’te gösterilmiştir. Bu veriler ışığında, her iki odun-çimento oranında da GYFC ikame miktarının deneme levhalarının eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 28. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	1101,95	6	183,66	1123,175	***
Gruplar içi	10,30	63	0,164		
Toplam	1112,25	69			

Tablo 29. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	135,82	6	22,64	346,43	***
Gruplar içi	4,12	63	0,065		
Toplam	139,93	69			

Levha türleri arasında, eğilme direnci değerleri bakımından homojenlik olup, olmadığını tespit etmek için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 30’da gösterilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; 1/2 OÇ oranlı levhalarda %10, %20 ve %30 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levha grupları ise farklı homojenlik grubundadır. 1/3 OÇ oranlı deneme levhalarında; %10 ve %20 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levhalar ise farklı homojenlik grubundadır.

Tablo 30. GYFC Kullanımının Odun-Çimento Oranına Göre Eğilme Direnci Özelliklerine İlişkin Duncan Test Sonuçları

1/2 OÇ Oranı		1/3 OÇ Oranı	
Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)	Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)
C2	14,14A	C3	9,55C
C2-10	12,16B	C3-10	10,102B
C2-20	11,90B	C3-20	10,202B
C2-30	11,86 B	C3-30	10,471A
C2-40	6,13 C	C3-40	9,035D
C2-50	4,90 D	C3-50	7,812E
C2-60	3,30 E	C3-60	6,339F

4.2.1 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modülü (EEM) değerleri Tablo 31’de gösterilmiştir.

Tablo 31. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların EEM değerleri

Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S	V
C2	5748	342	5,95
C2-10	5280	327	6,19
C2-20	4923	307	6,24
C2-30	4625	347	7,50
C2-40	2664	250	9,38
C2-50	2157	193	8,95
C2-60	1311	110	8,39
C3	6765	359	5,31
C3-10	6810	317	4,66
C3-20	6685	283	4,23
C3-30	6350	291	4,58
C3-40	5300	330	6,23
C3-50	4752	113	2,38
C3-60	4413	173	3,92

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

GYFC ve odun-çimento oranının, levhaların eğilmede elastikiyet modülüne etkisinin anlamlı olup, olmadığının tespiti için yapılmış çoğul varyans analiz (ÇVA) sonuçları Tablo 32’de gösterilmiştir.

Tablo 32. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların eğilme direncine etkisine ait ÇVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	147432102	1	147432102	1880	***
GYFCİkameMiktarı(B)	227511074	6	37918512	483	***
A*B İntereksiyon	16376402	6	2729400	35	***
Hata	9883113	126	78437		
Toplam	3682897270	140			

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

ÇVA sonuçlarına göre; GYFC ikame miktarı, OÇ oranı ve bu faktörlerin etkileşiminin deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülüne etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

GYFC ikame miktarının deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisinin anlamlı olup, olmadığını tespit etmek için odun-çimento oranına göre yapılan basit varyans analiz (BVA) sonucu Tablo 33 ve 34’de gösterilmiştir. Bu veriler ışığında, her iki odun-çimento oranında da GYFC ikame miktarının deneme levhalarının EEM değerleri üzerindeki etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

Tablo 33. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının EEM değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	181127624	6	30187937	383	***
Gruplar içi	4960915	63	78745		
Toplam	186088538	69			

Tablo 34. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının EEM değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	62759852	6	10459975	134	***
Gruplar içi	4922199	63	78130		
Toplam	67682051	69			

Levha tipleri arasında, eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından homojenlik olup, olmadığını tespit etmek için yapılmış Duncan testi sonuçları Tablo 35'te gösterilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; 1/2 OÇ oranlı tüm levha türleri farklı homjenlik grubundadır. 1/3 OÇ oranlı deneme levhalarında; %0, %10 ve %20 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levhalar farklı homojenlik grubundadır.

Tablo 35. GYFC Kullanımının Odun-Çimento Oranına Göre EEM Özelliklerine İlişkin Duncan Test Sonucu

1/2 OÇ Oranı		1/3 OÇ Oranı	
Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)	Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)
C2	5748 A	C3	6765 A
C2-10	5280 B	C3-10	6810 A
C2-20	4923 C	C3-20	6685 A
C2-30	4625 D	C3-30	6350 B
C2-40	2664 E	C3-40	5300 C
C2-50	2157 F	C3-50	4752 D
C2-60	1311 G	C3-60	4413 E

4.2.2 Yüzeye Dik Çekme Direnci

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme direnci (YDÇD) değerleri Tablo 36'da gösterilmiştir.

Tablo 36. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların YDÇD değeri

Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S	V
C2	0,641	0,056	8,736
C2-10	0,590	0,027	4,576
C2-20	0,574	0,054	9,408
C2-30	0,513	0,041	7,992
C2-40	0,220	0,025	11,364
C2-50	0,113	0,013	11,504
C2-60	0,065	0,007	10,769
C3	0,972	0,032	3,292
C3-10	0,954	0,061	6,394
C3-20	0,940	0,043	4,574
C3-30	0,951	0,084	8,833
C3-40	0,780	0,091	11,667
C3-50	0,510	0,052	10,196
C3-60	0,374	0,038	10,160

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

GYFC ve OÇ oranının, levhaların yüzeye dik çekme direncine etkisinin anlamlı olup, olmadığının tespiti için yapılmış ÇVA sonuçları Tablo 37’de gösterilmiştir.

Tablo 37. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların YDÇD değerlerine etkisine ait ÇVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	5,461	1	5,461	1725	***
GFYC	7,017	6	1,169	369	***
İkameMik.(B)					
A*B İntereksiyon	0,212	6	0,035	11,2	***
Hata	0,399	126	0,003		
Toplam	61,08	140			

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

ÇVA sonuçlarına göre; GYFC ikame miktarı, OÇ oranı ve bu faktörlerin etkileşiminin deneme levhalarının YDÇD değerine etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

GYFC ikame miktarının deneme levhalarının YDÇD üzerindeki etkisinin anlamlı olup, olmadığını belirlemek için odun-çimento oranına göre yapılan basit varyans analiz (BVA) sonucu Tablo 38 ve 39’da gösterilmiştir. Bu veriler ışığında, her iki odun-çimento oranında da GYFC ikame miktarının deneme levhalarının YDÇD üzerindeki etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

Tablo 38. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının YDÇD değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	3,632	6	0,605	239,25	***
Gruplar içi	0,159	63	0,003		
Toplam	3,792	69			

Tablo 39. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının YDÇD değerlerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	3,597	6	0,599	157,79	***
Gruplar içi	0,239	63	0,004		
Toplam	3,836	69			

Levha türleri arasında, YDÇD değerleri bakımından homojenlik olup, olmadığını tespit etmek için yapılmış Duncan testi sonuçları Tablo 40’ta gösterilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; 1/2 OÇ oranlı levhalarda %10 ve %20 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levhalar ise farklı homojenlik grubundadır. 1/3 OÇ oranlı deneme levhalarında; %0, %10, %20 ve %30 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levha türleri farklı homojenlik grubundadır.

Tablo 40. GYFC kullanımının odun-çimento oranına göre YDÇD değerlerine ait Duncan test sonucu

1/2 OÇ Oranı		1/3 OÇ Oranı	
Levha Türü	$\bar{X}(N/mm^2)$	Levha Türü	$\bar{X}(N/mm^2)$
C2	0,641 A	C3	0,972 A
C2-10	0,590 B	C3-10	0,954 A
C2-20	0,574 B	C3-20	0,940 A
C2-30	0,513 C	C3-30	0,951 A
C2-40	0,220 D	C3-40	0,780 B
C2-50	0,113 E	C3-50	0,510 C
C2-60	0,065 F	C3-60	0,374 D

4.2.3 Vida Tutma Direnci

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ikameli ve 1/2-1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhalara ait vida tutma direnci (VTD) değerleri Tablo 41’de gösterilmiştir.

Tablo 41. GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların VTD değeri

Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)	S	V
C2	100,22	4,23	4,221
C2-10	94,10	3,67	3,900
C2-20	93,19	4,48	4,807
C2-30	86,02	4,16	4,836
C2-40	48,04	4,31	8,972
C2-50	36,64	2,79	7,615
C2-60	26,04	1,55	5,952
C3	100,15	4,48	4,473
C3-10	95,06	6,35	6,680
C3-20	94,21	6,97	7,398
C3-30	92,06	1,96	2,129
C3-40	83,64	3,45	4,125
C3-50	73,09	3,62	4,953
C3-60	53,28	3,36	6,306

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

GYFC ve OÇ oranın, VTD'ne etkisinin anlamlı olup, olmadığının tespiti için yapılmış çoğul varyans analiz (ÇVA) sonucu Tablo 42'de gösterilmiştir.

Tablo 42. OÇ oranı ve GYFC ikame miktarının deneme levhaların VTD'ye etkisine ilişkin ÇVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
OÇ Oranı (A)	8215	1	8215	465	***
GFYC	65581	6	10930	619	***
İkameMik.(B)					
A*B İntereksiyon	8668	6	1445	82	***
Hata	2225	126	16,7		
Toplam	911271	140			

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

ÇVA sonuçlarına göre; GYFC ikame miktarı, OÇ oranı ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin deneme levhalarının vida tutma direncine etkisi %0.1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

GYFC ikame miktarının deneme levhalarının vida tutma direnci üzerindeki etkisinin anlamlı olup, olmadığını tespit etmek için odun-çimento oranına göre yapılan basit varyans analiz (BVA) sonucu Tablo 43 ve 44'te gösterilmiştir. Bu veriler ışığında, her iki odun-çimento oranında da GYFC ikame miktarının deneme levhalarının vida tutma direnci üzerindeki etkisi %0.1 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

Tablo 43. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının vida tutma direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	58114	6	9685	694	***
Gruplar içi	879	63	14		
Toplam	58993	69			

Tablo 44. 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame miktarının vida tutma direnci değerleri üzerine etkisine ait BVA sonucu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Gruplar arası	16135	6	2689	126	***
Gruplar içi	1345	63	21		
Toplam	17480	69			

Levha türleri arasında, vida tutma direnci değerleri bakımından homojenlik olup, olmadığını tespit etmek için yapılmış Duncan testi sonuçları Tablo 45'te gösterilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; 1/2 OÇ oranlı levhalarda %10 ve %20 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levha türleri ise farklı homojenlik grubundadır. 1/3 OÇ oranlı deneme levhalarında; %10, %20 ve %30 GYFC ikameli levhalar aynı homojenlik grubunda, diğer levha türleri farklı homojenlik grubundadır.

Tablo 45. GYFC Kullanımının Odun-Çimento Oranına Göre VTD Özelliklerine İlişkin Duncan Test Sonuçları

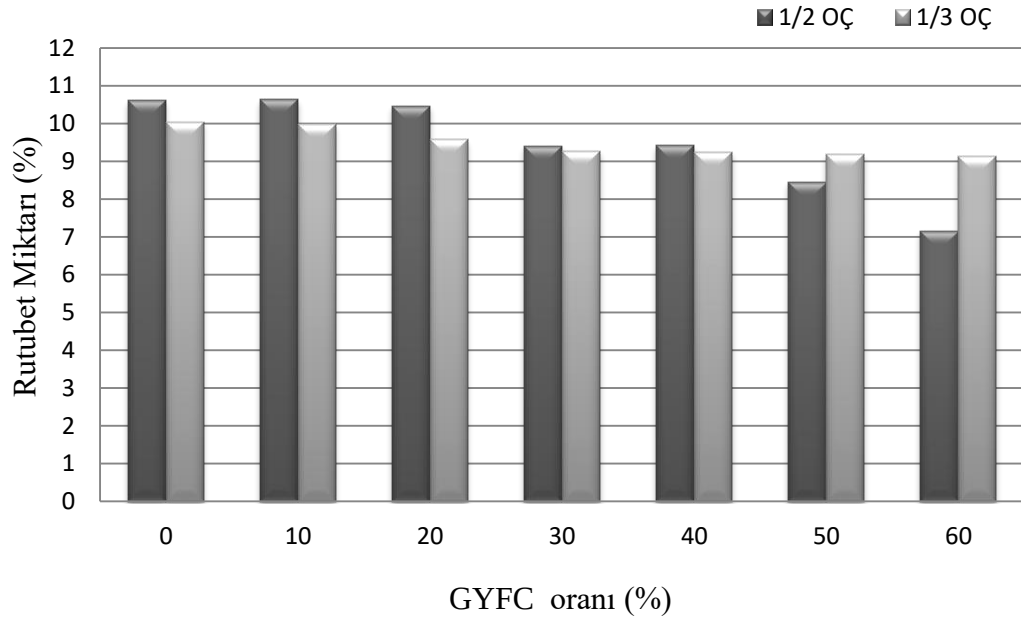
1/2 OÇ Oranı		1/3 OÇ Oranı	
Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)	Levha Türü	$\bar{X}$ (N/mm ²)
C2	100,22 A	C3	100,15 A
C2-10	94,10 B	C3-10	95,06 B
C2-20	93,19 B	C3-20	94,21 B
C2-30	86,02 C	C3-30	92,06 B
C2-40	48,04 D	C3-40	83,64 C
C2-50	36,64 E	C3-50	73,09 D
C2-60	26,04 F	C3-60	53,28 E

5 TARTIŞMA

5.1 Fiziksel Özellikleri

5.1.1 Rutubet Miktarı

GYFC kullanımının çimentolu yonga levhaların rutubet değerleri üzerine etkisi tespit edilmiş ve sonuçlar Şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17. Rutubet miktarı üzerine GYFC ikame oranının etkisi

Kontrol numuneleriyle kıyaslandığında, 1/2 OÇ oranına sahip GYFC ikameli levhaların rutubet oranında nispi bir azalma gözlemlenmiştir. En yüksek rutubet miktarı %10,63, %10 GYFC ikameli levhalarda; en düşük rutubet miktarı %7,1 ise %60 GYFC ikameli levhalarda tespit edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda en düşük rutubet miktarı (%9,1) %60 GYFC ikameli levhalardan; en yüksek rutubet miktarı %10 ise kontrol (GYFC ikamesiz) levhalarından elde edilmiştir. 1/2 ve 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame oranı arttıkça levhaların rutubet miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

GYFC camısı (amorf) bir yapıya sahip puzolanik bir malzemedir (Engin, 2015). Ayrıca ince fiziki yapısı sebebiyle boşluk doldurucu özellik gösterdiği değerlendirilmektedir. Bu durum, GYFC miktarının artmasıyla rutubet miktarının azalması arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Çimentolu yonga levhalarda rutubet miktarının 9 ± 3 olması gerektiği TS EN 312 (2012) standardında belirtilmektedir. Bu kritere göre, deney levhalarında belirlenen rutubet değerlerinin %7,1- %10,6 standartta belirtilen değerlerle uyum gösterdiği anlaşılmaktadır.

Aslan (2007) 32,5 R Portland çimentosuna %5, 10 ve 15 oranlarında içme suyu atık çamuru ikame ederek hazırladığı çimentolu yonga levhaların rutubet değerlerini tayin etmiştir. Testler sonucunda, içme suyu atık çamuru kullanım oranının artışına bağlı olarak rutubet değerinin azaldığını rapor etmiştir.

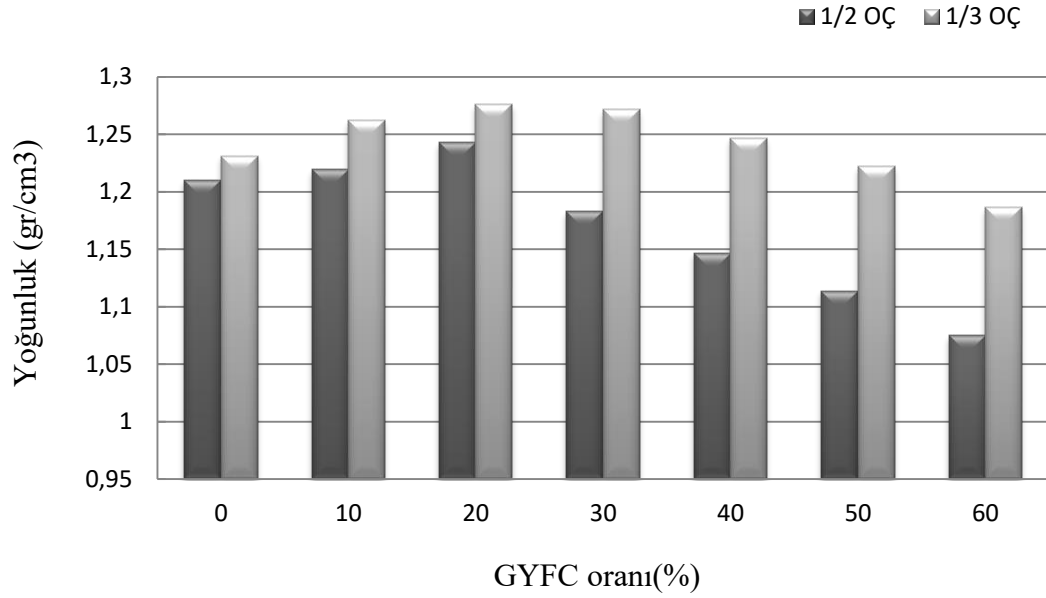
Aras (2013) %0, %10, %20 ve %30 pomza tozu ve %0, %4, %8, %12 akışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan çimentolu yonga levhalarda yaptığı rutubet tayininde %10 ve %20 pomza tozu ikameli levhalarda akışkanlaştırıcının artışına bağlı olarak nispi bir rutubet azalışını tespit etmiştir.

Yel (2015) 1/2-1/3 OÇ oranı ve çimentoya ikame olarak %10, %15, %20 silis dumanı kullanılarak göknar odunundan üretilen çimentolu yonga levhalarda, çimento miktarı ve silis dumanı ikame oranı artıkça levhaların rutubet miktarının azaldığını tespit etmiştir. Çalışmamızda elde ettiğimiz rutubet değerlerinin literatürle uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

5.1.2 Yoğunluk

GYFC kullanımının deneme levhaları üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçlarına ait bilgiler Şekil 18'de verilmiştir. Veriler irdelendiğinde; 1/2 OÇ oranına sahip levhaların 1/3 OÇ oranlı örneklerle göre daha düşük yoğunluk değeri verdiği görülmüştür. Ladin odununun yoğunluğunun çimentoya göre düşük olması 1/2 OÇ oranına sahip örneklerin daha düşük yoğunluk değerine sahip olmasına sebep olduğu değerlendirilmiştir.

Odun miktarı arttıkça çimentolu yonga levhanın yoğunluğuda azalmaktadır (Yel, 2015). Aras ve ark., (2022) çimentolu yonga levhaların yoğunluk değerlerinde genel olarak hedef yoğunluğa yakın değerler elde edilmekle birlikte 1/2 odun-çimento oranlı levha grubunda yoğunluk değerlerinde geri yaylanmadan kaynaklanan azalmanın daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Hem 1/2 hem de 1/3 OÇ oranlı levhalarda en yüksek yoğunluk değeri %20 GYFC ikameli levhalardan elde edilirken; en düşük yoğunluk değeri ise %60 GYFC ikameli levhalardan elde edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda %40'a kadar GYFC kullanımı levhaların yoğunluk değerini artırmış, daha fazla kullanımda ise yoğunluğu azalttığı gözlenmiştir. 1/2 OÇ oranlı levhalarda ise %20'ye kadar GYFC kullanımında levhaların yoğunluk değeri artmış; daha yüksek kullanımda ise levhaların yoğunluk değerinin azaldığı gözlenmiştir. GYFC, çimento hidratasyon ürünü olan CaOH ile tepkimeye girerek C-S-H jeli meydana getirmekte ve bu da levhadaki bağ kuvvetini artırmaktadır (Siddique, 2008; Çiftçi, 2020). Bu nedenle, farklı odun-çimento oranlarında belirli bir miktara kadar kullanılan GYFC, levhadaki C-S-H miktarını artırarak levhada daha kuvvetli bir iç bağlanmaya neden olmuş olabilir. Bu durum levhanın geri yaylanmasını azalttığından dolayı, levhalarda belirli bir orana kadar GYFC kullanımı levha yoğunluğunda artışa neden olmuş olabilir. Diğer taraftan, yüksek oranda GYFC kullanımıyla levhalarda yoğunluk azalmasının sebebi ise kullanılan çimento miktarının azalması ve GYFC'nin reaksiyona gireceği yeterli kalsiyum hidroksitin (CaOH) bulunmaması olabilir. Bu durum, levhanın iç bağlanma kuvvetini düşürmekte ve geri yaylanmayı artırmaktadır. Dolayısıyla, levha yoğunluğunda geri yaylanmadan kaynaklı bir azalma söz konusu olduğu söylenebilir.



Şekil 18. Levhaların yoğunluk değeri üzerine GYFC miktarının etkisi

Gomes ve ark. (2022), çimentoya %10 oranında ikame edilen biokömür katkısının referans numuneye kıyasla yoğunluğu bir miktar azalttığını rapor etmiştir. Çam (2019), YFC ikameli (%0, %25, %50, %75, %100) beton örneklerinde 28. gün sonunda yapmış olduğu testlerde, YFC'nin karışımdaki oranının artmasıyla beton örneklerinin yoğunluk değerinin azaldığını tespit etmiş ve bu azalmanın, YFC özgül ağırlığının karışıma ilave edilen kırma kumun özgül ağırlığına oranla daha düşük olmasından kaynaklandığı ifade etmiştir.

Bunun haricinde betonun içerisindeki boşluklarda belirli hacim kaplayan havanın da birim hacim ağırlığına etkisinin olduğunu rapor etmiştir. Yel (2015), 1/2 OÇ oranlı levhaların 1/3 OÇ oranlı levhalara nazaran yoğunluk değerlerinin daha az olduğunu belirtmiştir. Buna çimentoya göre daha düşük yoğunluğa sahip odunun, karışımdaki artışının sebep olduğu bildirilmektedir.

Ayrıca, kavak ve ladin odunun aksine göknar odunundan üretilen çimentolu yonga levhalarda çimentoya ikame olarak silis dumanı kullanımı artıkça, levhaların yoğunluk değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

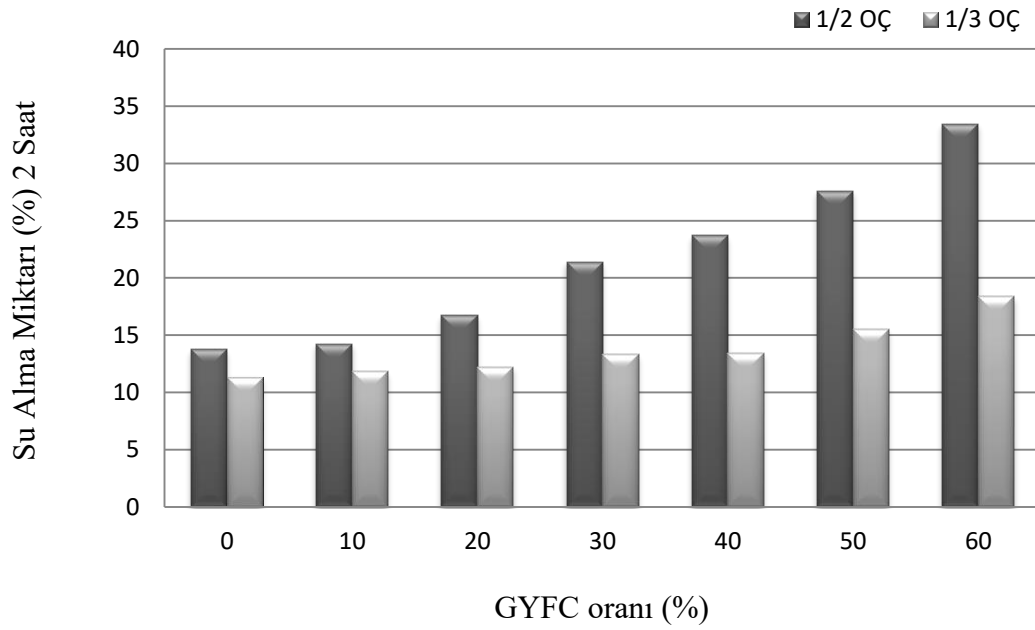
Odunun çimento hidratasyonunu engellenmesi ve silis dumanın CaOH ile yeterince reaksiyona girememesi, levhada zayıf bir iç bağlanmaya neden olmuştur. Bu durum, levhanın geri yaylanmasına ve dolayısıyla yoğunluğunun düşmesine neden olduğu ifade edilmiştir.

Topgül (2016), geri kazanılmış agreganın her iki tipteki doğal agregayla ikame edilmesi ve yüksek fırın cürufu oranının artması sonucunda taze beton yoğunluğunun azaldığını bildirmektedir. Bu yoğunluk düşüşünün; geri kazanılmış agrega yoğunluğunun, doğal agreganın yoğunluğundan az olması ve çimentoya ikame edilen yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından daha az olmasından kaynaklandığı rapor edilmektedir. Ürün (2021), uçucu kül kullanımının çimentolu yonga levhaların yoğunluk değerini düşürdüğünü ve bunun çimentoya (2,8 g/cm³) göre uçucu kül (2,4 g/cm³) yoğunluğunun daha düşük olmasından kaynaklandığı ifade etmiştir.

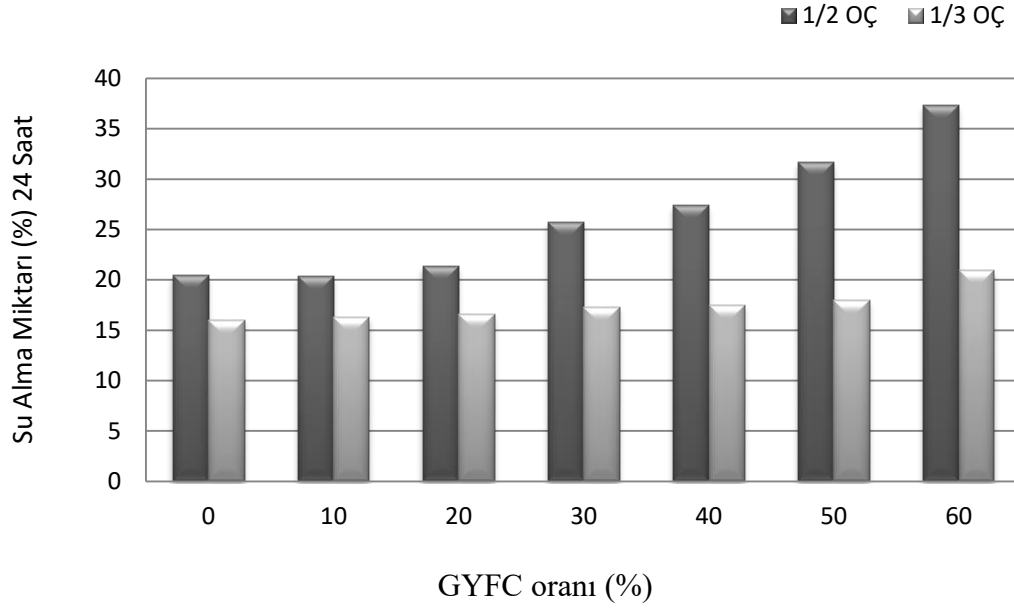
5.1.3 Su Alma Miktarı

GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların 2 ve 24 saatteki su alma miktarları belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 19 ve 20’de verilmiştir. 2 ve 24 saat suya batırma sonunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde; tüm levha türlerinde 1/2 OÇ oranına sahip levhaların 1/3 OÇ oranlı levhalara göre daha fazla su absorbe ettiği görülmüştür. 1/2 OÇ oranlı levhalarda; 2 saat sonunda su alma miktarı %13,76-%33,42 iken, 24 saat sonunda su alma miktarı ise %20,46-%37,31 arasında tespit edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda; 2 saat suda bekletme sonrası su alma miktarı %11,35-%18,38 iken, 24 suda bekletme sonrası su alma miktarı %16,03- %20,97 olarak elde edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda hem 2 saat hem de 24 saat suya batırma sonrası en az su alma oranı kontrol (GYFC ikamesiz) levhalarından elde edilirken, en yüksek su alma miktarı ise %60 GYFC ikameli levhalarda bulunmuştur. 1/2 OÇ oranlı levhalarda 2 saat sonunda en düşük su alma miktarı kontrol levhalarında, en yüksek su alma miktarı ise %60 GYFC ikameli levhalarda gerçekleşirken; 24 saat sonunda ise en düşük su alma miktarı %10 GYFC ikameli levhalarda, en yüksek su alma miktarı %60 GYFC ikameli levhalarda elde edilmiştir.

Deneme levhalarında GYFC miktarının artması genel olarak su alma miktarında da artışa sebep olmuştur. Diğer taraftan, 1/3 OÇ oranlı levhalara göre 1/2 OÇ oranlı levhaların daha fazla su absorbe ettiği görülmüştür. 1/2 OÇ oranlı levhaların daha yüksek su alma oranına sahip olmasına, 1/3 OÇ oranlı levhalara göre daha fazla ladin odunu içermesinin sebep olduğu düşünülmektedir. Gao ve ark. (2019), YFC'nin beton içerisindeki toplam boşluk miktarını önemli derecede artırdığını rapor etmiştir. Çam (2019), GYFC oranının artmasıyla betonun su alma miktarının artmasını GYFC'nin beton içerisindeki boşluklu yapıyı artırmasıyla açıklamaktadır.



Şekil 19. 2 Saatteki su alma miktarı üzerine GYFC miktarının etkisi



Şekil 20. 24 Saatteki su alma miktarı üzerine GYFC miktarının etkisi

Yel (2015), silis dumanı ve OÇ oranı ile odun ve sertleştirici türlerinin çimentolu yonga levhalarda su alma miktarına etkisini araştırmıştır. Çalışmada; 1/2 OÇ oranıyla üretilen levhaların 1/3'e nazaran daha fazla su absorpladığı ve ağaç türleri arasında (kavak, ladin ve göknar) ise en yüksek su alma değerlerinin kavak odunundan üretilen levhalardan elde edildiğini rapor edilmiştir.

Hussain ve ark. (2017), çimentoya ikame olarak %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranında uçucu kül ve odun külü kullanarak ürettikleri beton numunelerinin su alma özelliklerini belirlemiştir. Çalışmada; uçucu kül ve odun külünün beton numunelerinin su absorbesini artırdığı, özellikle uçucu külün odun külüne oranla daha fazla su absorbe ettiği ve bununla uçucu külün betondaki gözenekliliği daha fazla artırmasından kaynaklandığını rapor edilmiştir.

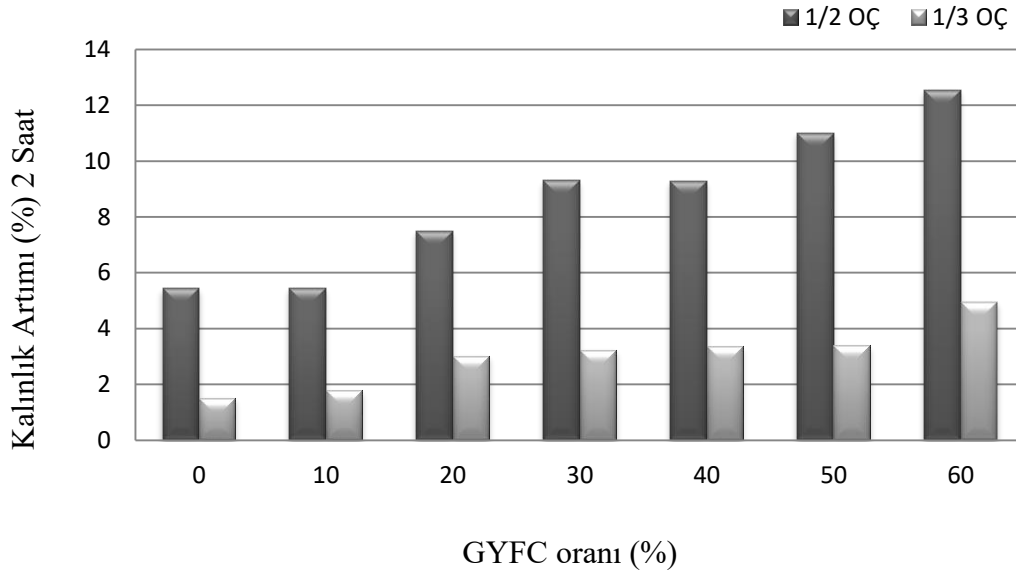
Aras ve ark. (2022), bakır, krom, arsenik CCA ile emprenyeli sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) planya artıkları kullanılarak 3 farklı odun-çimento oranı 1/2, 1/2.5 ve 1/3 ve 2 farklı pres sıcaklığı uygulayarak ürettikleri çimentolu yonga levhaların su alma değerlerini araştırmıştır.

Çalışmada; çimento oranı azaldıkça ve suda bekletme süresi arttıkça (odun miktarı azaldıkça) levhaların su alma miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

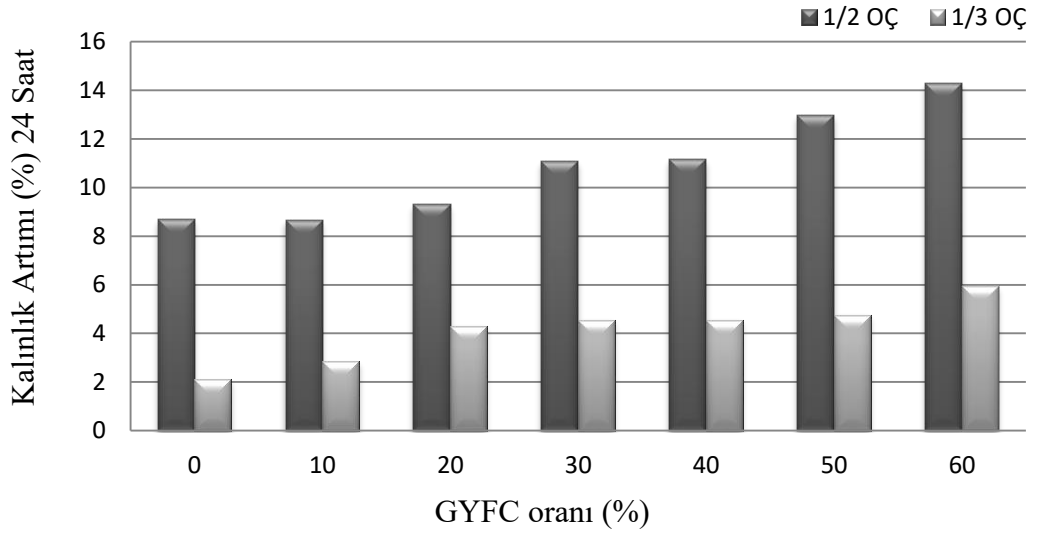
Ashori ve ark. (2012), 40:60, 60:40 ve 70:30 OÇ oranı ile üretilen çimentolu yonga levhaların 2 ve 24 saat sonundaki su absorplama miktarlarının sırasıyla %10-%20 ve %14-%29 olduğunu rapor etmiştir. Levhalardaki odun miktarı ve suda bekletme süresi arttıkça su alma miktarının da arttığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda test levhalarında elde edilen su alma miktarı verileri literatür ile uyumluluk göstermektedir.

5.1.4 Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı

GYFC ikame oranının çimentolu yonga levhaların kalınlık artımı değerlerine etkisi belirlenmiş ve sonuçlar 21 ve 22’de verilmiştir.



Şekil 21. 2 Saatteki kalınlık artımı oranı üzerine GYFC miktarının etkisi



Şekil 22. 24 Saatteki kalınlık artımı oranı üzerine GYFC miktarının etkisi

Şekil 21 ve 22 incelendiğinde; GYFC ikame miktarı artıkça 2 ve 24 saat sonundaki kalınlık artım miktarında doğru orantılı, değişken ivmeli bir artış gözlemlenmiştir. Tüm levhalarda 1/2 OÇ oranlı levhaların 1/3 OÇ oranlı levhalara nazaran daha fazla kalınlık artımı değeri vermiştir. Levhaların suda bekletme süresi ve odun içeriği artıkça kalınlık artımı değeri de artış göstermiştir. Birçok araştırmacı da benzer sonuçlar elde etmiştir (Ashori ve ark., 2012; Yel, 2015; Aras ve ark., 2022). 1/2 OÇ oranlı levhalarda 2 saat sonunda kalınlık artımı %5,42-%12,55 iken; 24 saat sonundaki kalınlık artımı miktarı ise %8,66-%14,27 arasında tespit edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda 2 saat suda bekletme sonrası kalınlık artımı değeri %1,51-%4,94 iken; 24 suda bekletme sonrası kalınlık artımı değeri %2,11-%5,93 arasında elde edilmiştir. 1/3 ve 1/2 OÇ oranlı levhalarda hem 2 saat hem de 24 saat suda bekletme sonrası en düşük kalınlık artımı değeri kontrol (GYFC ikamesiz) levhalarından elde edilirken; en yüksek kalınlık artımı değeri ise %60 GYFC ikameli levhalardan elde edilmiştir. GYFC'nin boşluk miktarını artırması ve daha fazla su absorplaması nedeniyle levhaların kalınlık artım oranını artırdığı düşünülmektedir (Çam, 2019; Gao ve ark., 2019). Özellikle %20'nin üzerindeki GYFC kullanımının da levhalardaki kalınlık artış oranında daha belirgin artışlar meydana gelmiştir. Bu durum, GYFC ikamesi ile levhadaki çimento miktarının azalması ve düşük puzolanik

aktivite nedeniyle levhalardaki iç bağlanmanın zayıflamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. TS EN 634-2 (2009)'a göre, çimentolu yonga levhaların kalınlık artım değerleri 24 saat sonunda maksimum %1,5 olarak belirlenmiştir. Bu kritere göre, tüm levha grupları standart değeri karşılamamış olup, standardın üzerinde değerler vermiştir.

Köse (2016), değişik lignoselülozik atıklar ikamesiyle üretilen lif takviyeli çimentolu kompozit örneklerinin 2, 24, 48, 72 ve 96 saat suda bekletme sonunda kalınlık artımıyla ilgili olarak elde ettiği verilerde; 2 saat sonunda en az kalınlık artımı %0,93 atık su arıtma çamuru katkılı örneklerden elde edilirken, en fazla kalınlık artımı %4,44 ise mobilya fabrikası atığı eklenen örneklerden elde edilmiştir. Ayrıca, 96 saat sonunda ise en iyi sonucun pirinç kavuzu ikameli örneklerden elde edildiği rapor edilmiştir.

Çavdar ve ark. (2017), kâğıt fabrikası arıtma suyu çamur türlerinin (aerobik ve anaerobik) çimento bağlayıcılı kompozit panellerin bazı teknolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır.

Organik ve inorganik içeriklerine göre, aerobik (gri) ve anaerobik (siyah) çamurlar ayrı ayrı %5, %10, %15, %20 ve birlikte (karışımları) %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranında doğu ladini planya artıkları ve Portland çimentosuna ikame olarak çimentolu kompozit panellerde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, aerobik (gri) çamurun tek başına ve anaerobik (siyah) çamur ile birlikte kullanımı arttıkça levhaların kalınlık artımını değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

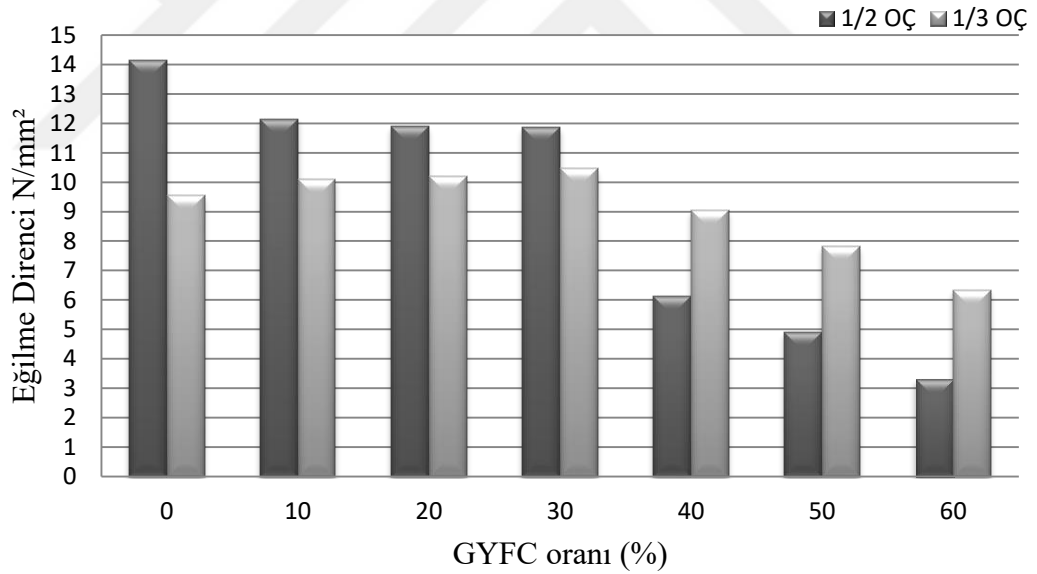
Çiftçi (2020), GYFC ikameli çimentoların bazı özellikleri ve hacimsel değişimini tespit ettiği çalışmasında, yüksek klinker oranlı yüksek fırın cürufu içeren örneklerinin uzunluk yönünde 0,5 mm bir hacim artışının görüldüğünü bildirmiştir.

Acar (2019), 24 saat suda bekletme sonunda çimentolu yonga levhada; atık elma yongası miktarının artışına bağlı olarak kalınlık artımı ve su alma oranının da doğru orantılı olarak arttığını, en yüksek kalınlık artımının 1/3 OÇ oranlı, %100 elma yongası ikameli levha grubundan %17,56, en düşük oranın ise 1/2 OÇ oranı ile elma yongası ikamesiz, %100 kızılçam yongalı levha grubundan %4,53 elde edildiğini bildirmiştir. Çalışmamızda test levhalarında elde edilen kalınlık artımı değerleri literatür ile uyumluluk göstermektedir.

5.2 Mekanik Özellikler

5.2.1 Eğilme Direnci

GYFC ikame miktarının çimentolu yonga levhaların eğilme direnci üzerine etkisi belirlenerek sonuçlar Şekil 23'te verilmiştir.



Şekil 23. Levhaların eğilme direnci üzerine GYFC miktarının etkisi

Şekil 24 incelendiğinde 1/2 OÇ oranına sahip örneklerde en yüksek eğilme direnci GYFC ikamesiz kontrol numunelerde 14,14 N/mm² belirlenirken; en düşük eğilme direnci 3,3 N/mm² %60 GYFC ikameli örneklerde bulunmuştur. 1/3 OÇ oranlı levhalarda en yüksek eğilme direnci 10,47 N/mm² %30 GYFC ikameli levhalarda

belirlenirken, en düşük değer 6,33 N/mm² %60 GYFC ikameli levhalarda bulunmuştur. 1/2 OÇ oranlı levhalarda GYFC kullanımı arttıkça, levhaların eğilme direncinin azaldığı gözlenmiştir. Ancak; %10, %20 ve %30 GYFC ikameli levhaların eğilme direnç değerleri arasındaki fark, istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Çimento olarak %30'un üzerinde GYFC kullanımında levhaların eğilme direncinde keskin düşüşler meydana gelmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda %30'a kadar GYFC kullanımı arttıkça, levhaların eğilme direnci değerleri de artmıştır. %30'un üzerindeki kullanımlarda ise GYFC levha direncini düşürmüştür. GYFC, çimento hidratasyonu sonucu oluşan CaOH ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat jelini meydana getirmekte ve dolayısıyla levhada direnç artışına neden olmaktadır (Ayim-Mensah ve Radosavljevic, 2022). GYFC ikame miktarının artışıyla, 1/2 OÇ oranlı levhaların eğilme direnç kaybının 1/3 OÇ oranlı levhalardan fazla olması, bağlayıcı özellikte olan çimentonun karışımındaki oransal azalışına bağlı olduğu düşünülmektedir. 1/2 OÇ oranlı levhalara göre, 1/3 OÇ oranlı levhadaki yüksek çimento miktarına bağlı olarak daha fazla kalsiyum hidroksit (CaOH) meydana gelmekte ve dolayısıyla 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC, CaOH ile daha fazla reaksiyon gerçekleştirebilmektedir. Bu nedenle, 1/3 OÇ oranlı levhalarda; GYFC ikame oranı artmasıyla çimento miktarındaki azalışa rağmen, CaOH ve GYFC reaksiyonu sonucu meydana gelen C-S-H jeli miktarının artmasından dolayı, çimentoya ikame olarak GYFC'nin %30'a kadar kullanımı levha direncini artırmıştır. %30'un üzerindeki GYFC ikamesinde levha direncindeki azalmanın sebebinin ise levhadaki çimento miktarının azalması, GYFC'nin reaksiyona girebileceği kalsiyum hidroksitin (CaOH) miktarının yetersiz olması ve düşük puzolanik aktivite nedeniyle levhalardaki iç bağlanmanın zayıflaması olduğu düşünülmektedir. TS EN 634-2 (2009)'e göre, ÇYL'lerin minimum eğilme direnci 9 N/mm² olmalıdır. 1/2 OÇ oranlı levhalarda %30, 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise %40'a kadar GYFC kullanarak üretilen tüm levhalar, standart üzerinde eğilme direnci değeri vermiştir. Ancak bu oranların üzerinde GYFC içeren levha gruplarının standart değeri karşılamadığı görülmüştür.

Mensah ve Radosavljevic (2022), çimentoya ikame olarak %0, %20, %40, %60, %75, %90 oranında GYFC kullanarak üretmiş olduğu ultra yüksek performanslı lifli

çimentolu kompozitlerde en yüksek eğilme direncinin %40 GYFC, en düşük eğilme direncinin ise %60 GYFC kullanılmış örneklerden elde edildiğini rapor etmiştir.

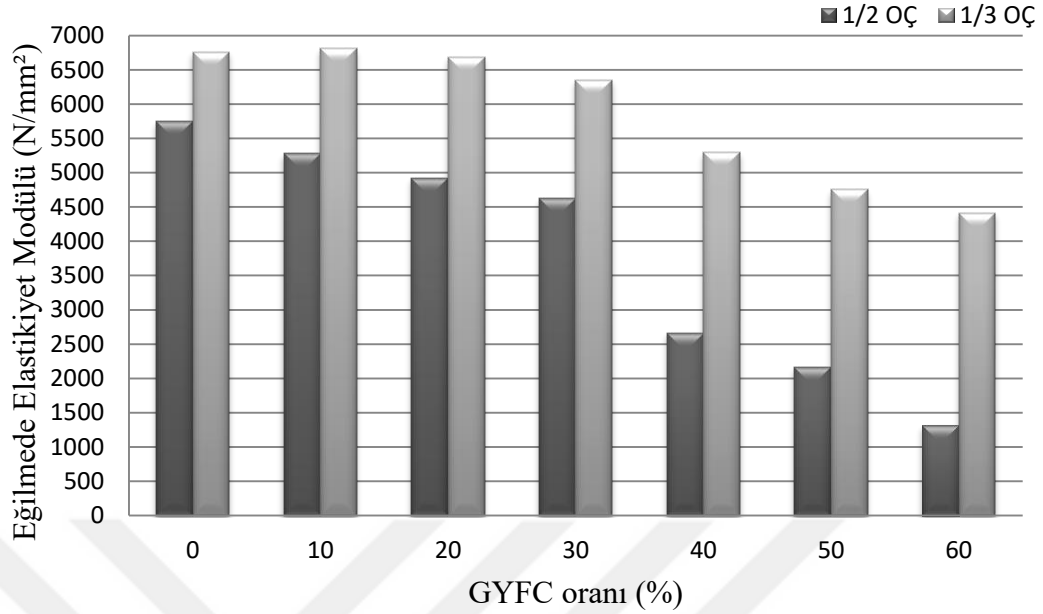
Caprai ve ark. (2019), katı atıkların yakılmasıyla ortaya çıkan dip külünün çimentolu odun yünü levhalarda (ÇOYL) çimentoya ikame olarak kullanılmasıyla ilgili yaptıkları çalışmada, %30'a kadar dip külü ikamesinin levhanın eğilme direncini artırdığını bildirmiştir. Bunun sebebi olarak, artan bağlayıcı hacminin oluşturduğu daha az gözenekli yapı sayesinde ÇOYL'in eğilme direnci üzerinde olumlu bir etki yapması gösterilmiştir.

Restuccia ve ark. (2020), çimentolu kompozitlerde çimentoya ikame malzeme olarak biokömür kullanımıyla ilgili çalışmada, %2-%2,5 biokömür kullanımının eğilme direnci üzerine olumlu bir etkisinin olduğunu rapor etmiştir.

Akinyemi ve Dai (2020), %10'a kadar çimentoya odun külü ikamesinin muz lifi takviyeli çimento kompozitlerin eğilme direncini artırdığı, ancak yüksek kül dozajında ise küllerin daha çok bir dolgu görevi gördüğü ve puzolanik etkide gecikmeye neden olduğunu rapor etmiştir. Literatür verileri incelendiğinde çalışmamızla uyumluluk gösterdiği görülmüştür.

5.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

GYFC ikame miktarının çimentolu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü (EEM) değerine etkisi belirlenerek sonuçlar Şekil 24'te verilmiştir



Şekil 24. Levhaların EEM üzerine GYFC miktarının etkisi

Deneme levhalarının EEM değerleri incelendiğinde; 1/2 OÇ oranlı levhalarda en yüksek değer GYFC ikamesiz levhalarda 5748 N/mm², en düşük değer ise %60 GYFC ikameli levhalarda 1311 N/mm², bulunmuştur. 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise en yüksek EEM değeri %10 GYFC ikameli levhalarda 6810 N/mm², en düşük EEM değeri ise %60 GYFC ikameli levhalarda 4413 N/mm², bulunmuştur. 1/2 OÇ oranlı levhalarda; GYFC kullanım oranının artmasıyla çimentolu yonga levha örneklerinin referans numune değerlerine kıyasla, eğilmede elastikiyet modülü değerinin düştüğü görülmüştür. 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise; %0, %10 ve %20 GYFC ikameli levhalar arasında istatistiksel olarak bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. %20'nin üzerinde GYFC kullanımı artıkça, levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri de düşmüştür. TS EN 634-2 (2009)'e göre, çimentolu yonga levhaların minimum EEM değeri 4500 N/mm² olmalıdır. Bu kritere göre; 1/3 OÇ oranlı tüm levhaların (%60 GYFC ikameli levhalar hariç) standart değeri karşıladığı, 1/2 OÇ oranlı örneklerde ise sadece %10, 20 ve 30 GYFC ikameli levhaların standart değeri karşıladığı görülmüştür. 1/2 OÇ oranlı levhalara göre, 1/3 OÇ oranlı levhaların daha yüksek EEM değeri vermesi; çimentonun oduna kıyasla daha katı, kararlı ve stabil (rijit) bir malzeme özelliği göstermesinden kaynaklanmış olabilir.

Cahyani ve Rusdianto (2020), çimentoya GYFC ikamesinin %0, %30, %50 ve %70 betonun performans değerlerine etkisini araştırdığı çalışmada, kontrol numunelerine göre, betonun elastikiyet modülü değerinde %30 GYFC ikamesinde %1.44, %50 GYFC ikamesinde ise %3,02 oranında bir azalma meydana geldiğini bildirmiştir.

Aslan (2007), çimentoya ikame olarak içme suyu arıtma çamuru %5, %10, %15 kullanımının, kontrol levhasına göre, çimentolu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerinde sırasıyla %2, %9, %16 oranında bir düşüşe neden olduğunu bildirmiştir.

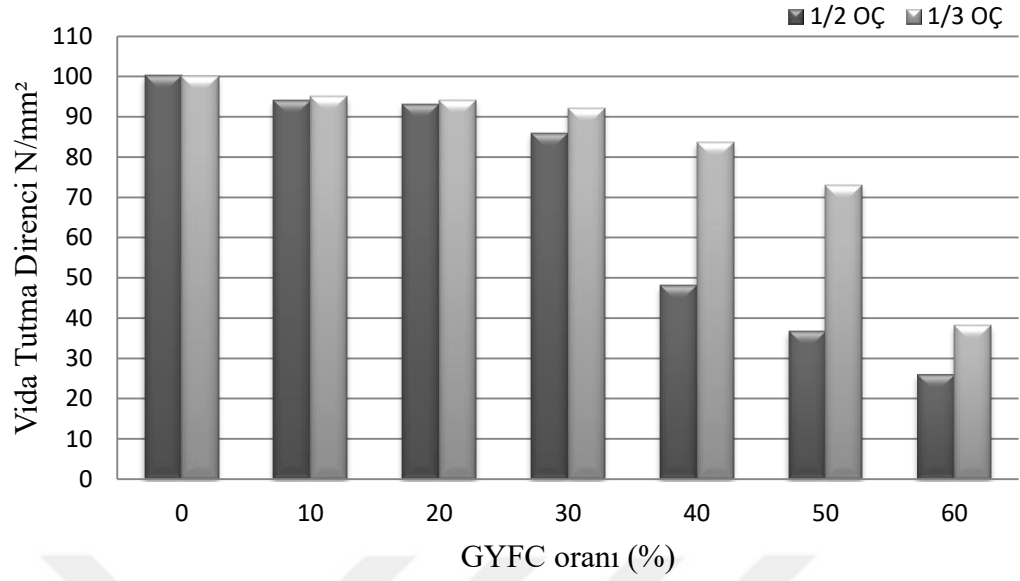
Yel (2015), 1/3 OÇ oranlı çimentolu yonga levhaların 1/2 OÇ oranlı olanlara göre yüksek EEM değeri verdiğini rapor etmiştir. Ayrıca, oduna kıyasla çok daha rijit olan çimentonun, levhada kullanım oranı arttıkça levhaların EEM değerlerini artırdığını ifade etmiştir.

Akinyemi ve Dai (2020), muz lifi takviyeli çimentolu kompozitlerde çimentoya %10'a kadar odun külü ikamesinin optimum düzeyde eğilmede elastikiyet modülü değeri verdiğini ve odun külü oranının artmasıyla eğilmede elastikiyet modülü değerinin de azaldığını rapor etmiştir.

Vu ve ark. (2019), odun külü ikamesinin çimentolu yonga levhaların bazı özellikleri üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, odun külü ikame oranının artmasına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülünün azaldığını ve optimum eğilmede elastikiyet modülünün, 28 günlük nemli kürlemenin ardından %30 odun külü ikameli levhalarda elde edildiğini bildirilmiştir.

5.2.3 Vida Tutma Direnci (VTD)

GYFC ikame miktarının çimentolu yonga levhaların VTD üzerine etkisi belirlenerek sonuçlar Şekil 25'te verilmiştir



Şekil 25. VTD üzerine GYFC ikame miktarının etkisi

Deneme levhalarının VTD değerleri incelendiğinde; 1/2 ve 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame oranı arttıkça, levhaların VTD'nin azaldığı görülmüştür. 1/2 OÇ oranlı levhalarda; en düşük VTD 26,04 N/mm² %60 GYFC ikameli levhalarda C2-60, en yüksek değer 100,22 N/mm² ise kontrol levhalarında C2'de elde edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise en düşük değer 38,28 N/mm² %60 GYFC ikameli levhalarda C3-60, en yüksek değer 100,15 N/mm² ise kontrol levhalarda C3'te elde edilmiştir. 1/2 OÇ oranlı levhalarda %30, 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise %50'nin üzerinde GYFC ikamesi; levhaların VTD değerlerinde çok yüksek direnç kaybına neden olmuştur. GYFC'nin karışımdaki oransal artışının vida tutma direncini düşürmesi pozitif etkisinin düşük olmasıyla ilişkili olabilir. Çimento oranının azalması CaOH miktarını düşürmekte, bu da GYFC'nin CaOH ile reaksiyona girmesini olumsuz yönde etkileyerek iç bağlanma direncini düşürmektedir.

Vu ve ark. (2019), çimentoya ikame olarak %30'a kadar odun külü kullanımının levhaların vida tutma direncinde, referans numuneye göre, kademeli bir azalmaya sebep olduğunu ve %30 üzeri odun külü ikamesinin ise VTD değerini çok daha fazla düşürdüğünü rapor etmiştir.

Aslan (2007), çimentoya ikame olarak içme suyu arıtma çamuru kullanarak üretmiş olduğu çimentolu yonga levhalarda, en yüksek VTD değerinin kontrol levhalarından elde edildiğini ve içme suyu atık çamuru ikame oranının artışına paralel olarak vida tutma dirençlerinde düşüş meydana geldiğini rapor etmiştir.

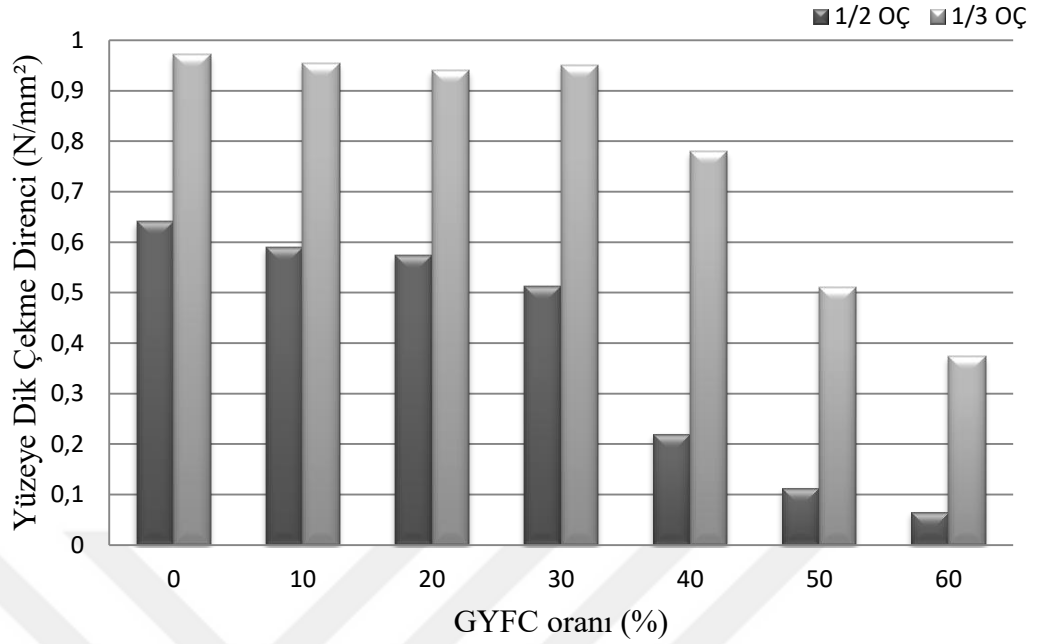
Yel (2015), ladin yongası, alüminyum sülfat sertleştiricisi ve çimentoya ikame olarak silis dumanı kullanılarak üretilen çimentolu yonga levhalarda silis dumanı ikame oranı artıkça levhaların vida tutma direnci değerlerinin düştüğünü belirlemiştir. Ayrıca çalışmada, 1/2 OÇ oranlı levhalara kıyasla 1/3 OÇ oranlı levhaların daha yüksek VTD değeri verdiğini rapor edilmiştir.

Ürün (2021), uçucu kül ikame oranının artışıyla çimentolu yonga levhaların vida tutma direncinde azalma meydana geldiğini ifade etmiştir. Ayrıca, en yüksek VTD kontrol levhalarından ve en düşük VTD ise %20 uçucu kül ikameli levhalardan elde edildiğini rapor edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumluluk göstermiştir.

5.2.4 Yüzeye Dik Çekme Direnci

GYFC ikame oranının çimentolu yonga levhaların yüzeye dik çekme direncine (YDÇD) etkisi belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 26'da gösterilmiştir. Deneme levhalarının YDÇD değerlerine bakıldığında, en yüksek değer kontrol (referans) örneklerinde elde edildiği anlaşılmaktadır. 1/2 OÇ oranlı levhalarda en düşük YDÇD 0,065 N/mm² %60 GYFC ikameli levhalarda; en yüksek değer ise 0,641 N/mm² GYFC ikamesiz kontrol levhalarında elde edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda en düşük değer 0,374 N/mm² %60 GYFC ikameli levhalarda, en yüksek değer 0,972 N/mm² ise GYFC ikamesiz kontrol levhalarında elde edilmiştir. 1/3 OÇ oranlı levhalarda %30'a kadar GYFC ikamesinin levhaların YDÇD üzerinde istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Fakat %30'un üzerindeki kullanımlarda ise levhaların YDÇD'de ciddi kayıplar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 26. YDÇD üzerine GYFC ikame miktarının etkisi

TS EN 634-2 (2009)'a göre, minimum YDÇD 0,5 N/mm² olmalıdır. 1/2 OÇ oranlı levhalarda %30'a kadar GYFC ikamesinin standart değerleri karşıladığı; 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise %50'ye kadar GYFC ikamesinin standart değeri karşıladığı anlaşılmaktadır. Genel olarak, 1/3 OÇ oranlı örneklerin 1/2 OÇ oranlı örneklerle kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. GYFC ikamesinin YDÇD'ye etkileri irdelendiğinde, genel mekanik özelliklere etkisine paralel bir sebep-sonuç ilişkisinin olduğu değerlendirilmektedir. Akinyemi ve Dai (2020), çimentoya ikame edilen odun külü miktarının artışına bağlı olarak çimentolu kompozitlerdeki çekme direnci değerinin düştüğünü ve külün basınç direncinden daha fazla çekme direncini olumsuz yönde etkilediğini ifade etmiştir. Bu direnç kaybının külün kompozit içinde topaklanması ve fazla kullanılan külün yeterince reaksiyona girememesi nedeniyle dolgu görevi üstlenmesinden kaynaklandığını rapor etmiştir.

Ürün (2021), farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) çimentoya ikame uçucu kül kullanılarak üretilen tüm çimentolu yonga levha gruplarında, YDÇD değerlerinin referans levhaya göre azaldığını bildirmiştir.

Aslan (2007); PÇ 42,5R Portland çimentosu ve ladin odunundan ürettiği çimentolu yonga levhalarda, %5, %10 ve %15 oranında PÇ ikame olarak su arıtma çamuru kullanmıştır. Su arıtma çamurunun levhaların YDÇD'yi düşürdüğü ve en yüksek değerin kontrol levhalarında, en düşük değerin ise %5 su arıtma çamuru katkılı levhalardan elde edildiğini rapor etmiştir.

Yel ve ark. (2022), üre formaldehit tutkalı ile üretilmiş atık yonga levharın çimentolu yonga levhalarda kullanımını araştırdıkları çalışmada 1/3 OÇ oranlı ÇYL üretmiştir. Yapılan mekanik testlerde, atık yonga levha ikamesinin yüzeye dik çekme direncini büyük ölçüde azalttığını rapor etmişlerdir. Elde edilen yüzeye dik çekme direnci değerleri literatür ile uyumluluk göstermektedir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmamızda, demir-çelik üretiminde yüksek fırınlarda demir cevherinin işlenmesi esnasında atık olarak ortaya çıkan granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) çimentolu yonga levha üretiminde çimentoya ikame malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimentoya ikame olarak farklı oranlarda (%10, %20, %30, %40, %50 ve %60) GYFC, 1/2-1/3 odun-çimento oranı, %5 CaCl₂ sertleştiricisi ve doğu ladini planya atığı kullanılarak 1200 kg/m³ hedef yoğunluğa sahip 45 cm x 45 cm x 1 cm boyutunda çimentolu yonga levhalar üretilmiş ve üretilen bu levhalar fiziksel ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- 1/2 ve 1/3 OÇ oranlı levhalarda GYFC ikame oranı arttıkça levhaların rutubet değerleri azalmıştır. Elde edilen rutubet değerleri (%7,1- %10,6) TS EN 312 standardında belirtilen limit değerleri (%9±3) karşılamıştır.
- 1/3 OÇ oranlı levhalarda %40, 1/2 OÇ oranlı levhalarda ise %20'ye kadar çimentoya GYFC ikamesi, çimentolu yonga levhaların yoğunluk değerlerinde artışa neden olmuştur. GYFC'nin CaOH ile reaksiyona girmesi ve küçük tane boyutu nedeniyle daha kompakt bir levha meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, bu oranları aşan kullanımlarda ise levhaların yoğunluk değerlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bu durumun, azalan çimento miktarı ve fazla GYFC'nin yeterince reaksiyona girememesi nedeniyle levhada meydana gelen geri yaylanmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Levhaların 2 ve 24 saatteki su alma miktarları değerlendirildiğinde, daha fazla odun yongası içermesi nedeniyle 1/2 OÇ oranlı örneklerin 1/3 OÇ oranlı örneklerle kıyasla daha yüksek değer verdiği görülmüştür. En düşük su alma değerleri GYFC ikamesiz kontrol örneklerinde, en yüksek su alma değerleri ise %60 GYFC ikameli örneklerde elde edilmiştir. GYFC'nin levha içindeki boşluk miktarını artırması nedeniyle GYFC kullanım oranı arttıkça levhanın su alma değerleri artmıştır.
- GYFC ikame oranı arttıkça levhaların kalınlık artım oranı artmıştır. Özellikle %20'nin üzerindeki GYFC kullanımında levhalardaki kalınlık artış oranında daha belirgin artışlar meydana gelmiştir. Bu durum, GYFC ikamesi ile

levhadaki çimento miktarının azalması ve düşük puzolanik aktivite nedeniyle levhalardaki iç bağlanmanın zayıflamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca 1/2 OÇ oranlı levhaların kalınlık artımı miktarları 1/3 OÇ oranlı levhalara göre daha fazla olmuştur.

- Çimentoya ikame olarak %30'a kadar GYFC ikamesi, 1/3 OÇ oranlı levhaların eğilme direnci değerlerinde önemli bir artışa neden olmuştur. 1/2 OÇ oranlı levhalarda ise GYFC miktarı artıkça levhaların eğilme direnci değerlerinde (özellikle %30'un üzerinde GYFC kullanımında) azalma meydana gelmiştir. 1/2 OÇ oranlı levhalarda %30, 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise %40'a kadar GYFC kullanılarak standardın üzerinde eğilme direnci değerleri elde edilmiştir.
- Çimentoya %20 oranına kadar GYFC ikamesi, 1/3 OÇ oranlı levhaların EEM değerleri üzerine istatistiksel bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak 1/2 OÇ oranlı levhalarda ise GYFC kullanım oranı artıkça levhaların EEM değerlerinde azalma meydana gelmiştir. 1/2 OÇ oranlı levhalarda %30, 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise %50'ye kadar GYFC kullanılarak üretilen levhaların tamamı TS EN 634-2 (2009) standardında belirtilen minimum eğilmede elastikiyet modülü değerinin (4500 N/mm^2) üzerinde EEM değeri vermiştir.
- GYFC ikamesi artıkça levhaların VTD değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. %30'a kadar GYFC kullanımında levhaların vida tutma direncinde önemli bir azalma gözlenmezken, bu oranı üzerindeki kullanımlarda ise ciddi düşüşler tespit edilmiştir.
- 1/3 OÇ oranlı levhalarda %30'a kadar GYFC kullanımının, levhaların YDÇD değerleri üzerinde istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. 1/2 OÇ oranlı levhalarda ise GYFC ikame oranı artıkça levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Her iki OÇ oranlı levhalarda da %30'un üzerinde GYFC ikamesi levhaların YDÇD değerlerinde ciddi düşüşlere neden olmuştur. 1/2 OÇ oranlı levhalarda %30, 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise %50'ye kadar GYFC ikameli levhaların TS EN 634-2 (2009)'de belirtilen standart değeri karşıladığı anlaşılmaktadır.

- Çimentolu yonga levha üretiminde çimentoya ikame olarak granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) 1/2 OÇ oranlı levhalarda %30, 1/3 OÇ oranlı levhalarda ise %50'ye kadar kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu oranların üzerinde GYFC kullanılan çimentolu yonga levhaların mekanik özellikleri standart değeri karşılamamaktadır.
- Ağaç türü, su/çimento oranı, sertleştirici türü, pres sıcaklığı, çimento türü gibi diğer faktörlerinin GYFC ikameli çimentolu yonga levhaların özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi için daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir.
- Bir endüstriyel atık olarak ortaya çıkan GYFC'nin çimentoya ikame olarak çimentolu yonga levha üretiminde değerlendirilmesi; çevre kirliliğinin azaltılması, GYFC'nin ekonomik değerinin yükselmesi, daha ucuz ve kaliteli çimentolu yonga levhaların üretilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdullahi, M., 2006. Characteristics of wood ASH/OPC concrete, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, January-June, 8, 9-16
- Acar, K., 2019. Atık elma dallarından üretilen çimentolu yonga levhanın mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Acda N. M., 2010. Waste chicken feather as reinforcement in cement-bonded composites, *Philippine Journal of Science* 139, 2, 161-166.
- Akça, U., 2022. Yüksek fırın cürufu ile birlikte bazik pomza kullanılan alkali ile aktive edilmiş harçların özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Akinyemi, A.B., Daib, C. 2020. Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars *Construction and Building Materials* 241 118041
- Anşin, R., 1998, Tohumlu Bitkiler, Gymnospermae (Açık Tohumlular), Cilt 1, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No: 112/15, Trabzon.
- Anşin, R., Özkan Z.C., 1993, Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta), *K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın* No:19, Trabzon.
- Aras, U., 2013. Pomza tozu ve akışkanlaştırıcı kullanımının çimentolu yongalevhaların bazı özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aras, U., Yel, H. Kalaycıoğlu, H. Kuştaş S. 2022. CCA ile emprenyeli sarıçam planya artıklarından üretilen çimentolu yonga levhaların bazı teknolojik özelliklerinin incelenmesi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 23(1):65-73.
- Aro, M., 2008, Wood strand cement board, 11th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference, November 5-7 Madrid, İspanya.
- Ashori, A., Tabarsa, T., Sepahvand, S. 2012. Cement-bonded composite boards made from poplar strands, *Construction and Building Materials* 26:131–134.
- Aslan, M., 2007. İçme suyu atık çamurunun çimentolu yonga levha 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.
- Ayim-Mensah G., Radosavljevic M., (2022) Influence of Ground Granulated Blast Furnace Slag on the compressive strength and ductility of Ultra High-performance fibre reinforced cementitious composites, *Cement* 8: 100030
- 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.
- Balwaik S. A , Raut S. P., 2013. Utilization of paper waste pulp by partial replacement of cement in concrete, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 1(2):300-309.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Tosun, K., Aydın, S., Yabancı, M.Y., Topal, A., Öztürk, A.T. 2002. Beton. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları* No: 334, İzmir, 49-51 s

- 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): 1618
- Beycioğlu, A., Başığit, C., Kılınçarslan, Ş., 2010. Pomza agregalı hafif beton özelliklerine silis dumanının etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14-2, 200-205.
- Bıblıs Ej, L. C., 1968. Sugars and other extractives: effect on the setting of southern pine-cement mixtures, *For Products Journal*, 18(8): 28-34.
- Bilim, C., Atış, D.C., 2011. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren harçların aşınma ve mukavemet özellikleri, *Politeknik Dergisi Cilt:14 Sayı: 2 s. 101-107*,
- Bostancı, C.,Ş., 2021. Beton Üretiminde Alternatif Sürdürülebilir Bağlayıcı: Çimento Yerine Odun Külü Kullanımı, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 31 (Ek Sayı 1), S. 594-608*.
- Cabangon, R.J., Eusebio, D.A., Soriano, F.P., Cunningham, R.B., Donnelly, C., ve Evans, P.D., 2000. Effect of Post-Harvest Storage on the Suitability of Acacia mangium for the Manufacture of Wood-Wool Cement Boards, *Pacific Rim Bio-based Composites Symposium, Australian National University*, 47-56.
- Cahyani and Y Rusdianto 2020 IOP Conf. Ser. *Materials Science and Engineering* 771: 012-062.
- Çam, A., 2019. İnce Agregaya Yerine Kullanılan Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Çiftçi, M., 2020. Nano boyutlu taneciklerin kullanımıyla yüksek hacimde yüksek fırın cürufu içeren katkılı çimento tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Dayı, M., 2006, Doğal ve yapay puzolanların kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Demirbaş, A. ve Aslan, A., 1998. Effects of ground hazelnut shell, wood and tea waste on the mechanical properties of cement, *Cement and Concrete Research*, 28,8 1101–1104
- Dewitz, K., Kuschy, B. ve Otto, T., 1984. Stofftransporte Bei der Abbindung Zementge bundener Holzwerkstoffe, *Holztechnologie* , 3, 151-154.
- Doğan, C., 2019 Mermer tozu ve endüstriyel atık içeren harçların mekanik özelliklerinin deneysel yöntemlerle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon
- Dönmez Çavdar, A., H. Yel, S. Boran, E. Pesman, 2017. Cement type composite panels manufactured using paper mill sludge as filler, *Construction And Building Materials* ,142: 410-416.
- Dönmez Çavdar, A., Yel, H., Kalaycıoğlu, H., ve Aras, U., 2012. Kâğıt fabrikası arıtma suyu çamuru ile üretilen çimentolu yonga levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı*, 69-73.
- Elten, G.V., 2006, Production of wood wool cement board and wood strand cement board (eltoboard) on one plant and applications of the products, 10th Int. Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference, Sao Paulo, Brazil.

- Engin, Y., 2015. Yüksek fırın cürufu ve yüksek fırın cürufu çimento: Özellikleri, üretimi ve etkileri, <https://www.betonvecimento.com/surdurulebilirlik/curuf-el-kitabi/> (24 Nisan 2023, 17:00)
- Erdoğan, S. T., Erdoğan, T. Y., 2007. Puzolanik mineral katkılar ve tarihi geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, s.263-274.
- Eroğlu, H. ve Usta, M. 2004. Kâğıt ve Karton Üretim Teknolojisi, KTÜ, Trabzon.
- Felekoğlu T., K., 2005. Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, “Ders Notları. <http://kisi.deu.edu.tr/kâmile.tosun/>
- Fernandez, E. C., Lamason, C.R.G. ve Delgado, T.S., 2000. Cement-bonded boards from waste water s of a recycled paper mill., wood–cement composites in the Asia–Pacific Region Proceedings of a workshop held at Rydges Hotel, 2000, Canberra, Avusturalya.
- Gao, D., Meng, Y., Yang, L, Tang, J., Lv, M. (2019). Effect of ground granulated blast furnace slag on the properties of calcium sulfoaluminate cement, *Construction and Building Materials* 227:116665. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.08.046>
- 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.
- Givi, A. N., Rashid, S. A., Nora, F., Aziz, A., Amran, M., & Salleh, M., 2010. Contribution of rice husk ash to the properties of mortar and concrete: A Review, *Journal of American Science*, c. 6, sayı 3, ss. 157-165,.
- Gomesa, C. S., Zhoua, L. J., Zengb, X, Long, G. (2022) Water treatment sludge conversion to biochar as cementitious material in cement composite *Journal of Environmental Management* 306/114463
- 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., Moslemi A.A., 1989. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives, *Forest Prod. J.*, 39(6), 55-58.
- 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
- Hızal, A., 2021. Betonda uçucu kül kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Hofstrand, A. D. 1984. Curing characteristics of wood particles from nine Northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement. *For Prod J*, 34(2), 57-61.
- Hozan, C. M., 2006. İnşaat Sektörünün Ekonomideki Yeri Ve Önemi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Huang, C. ve Cooper, P.A., 2000. Cement-bonded particleboard using CCA-treated wood removed from service, *Forest Products Journal*, 50,6 49-56.
- Hussain, Z., Maqsood, M., Din, I.M., Khan, M.S., Shahnaz, A., Rashid, M., Ameen, S. 2017. Enhanced Mechanical Properties Of Wood Ash And Fly Ash As Supplementary Cementitious Materials, *Advances in Applied Ceramics*, 116:7,355-361 <https://doi.org/10.1080/17436753.2017.1321274> (08 Mart 2023)

- Hwang, C.L., Chandra, S. 1996. Waste Materials Used in Concrete Manufacturing Elsevier ISBN 978-0-8155-1393-3 Copyright © 1996 Noyes Publications. Published by Elsevier Inc. All rights reserved Pages 184-234
- Hwang, C.L., Wu, D.S. 1989. Properties of cement paste containing rice husk ash. special publication, 114, 733-762. <https://doi.org/10.14359/2368>
- İşbilir, B. 2012. PİRİNÇ kabuğu külü ikameli çimento numunelerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Jorge, F.C., Pereira, C. & Ferreira, J.M.F. 2004. Wood–cement composites: A review. Holz als Roh und Werkstoff, 62(5), 370-377.
- Kalaycıoğlu H. 2006, Yonga levha endüstrisi basılmamış ders notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon.
- Kalaycıoğlu H., 1991. Sahil çamı (Pinus Pinaster) odunlarının yonga levha üretiminde kullanılması imkanları, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kalaycıoğlu, H. ve Özen, R. 2012. Yonga levha endüstrisi ders notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Kalaycıoğlu, H., 1996. Çimento yapıştırıcılı odun levhaları üretiminde yenilikler, Bahar Yarıyılı Seminerleri, Seminer serisi-2, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kalaycıoğlu, H., Yel H., Dönmez Ç. A., 2012. Çimentolu Odun Yünü Kompozitleri ve Kullanım Alanları, *Journal of Forestry Faculty of Kastamonu University*, 12 (1), 122-133.
- Karade, S. R., Irle, M., Maher, K., 2003. Assessment of wood-cement compatibility: A New Approach. Holzforschung, 57(6), 672-680.
- Kasai, Y., Kawamura, M. ve Zhou, J.D., 1998. Study on wood chip concrete with used timber. In: Malhotra VM, editor. Recent advances in concrete technology: Proceedings: Fourth CANMET/ACI/JCI International Conference, SP 179, Tokushima, Japonya, 905–928.
- Köse, H., 2016. Farklı Lignoselülozik Atıklar Eklenecek Lif Takviyeli Çimentolu Kompozit Levha Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- 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.
- Lee, A., Hong, Z., 1994, Compressive Strength of Cylindrical Samples as an Indicator of Wood-Cement Compatibility, *Forest Products J.*, 36 (11-12), 59-62.
- 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.
- Ling, F.M., Yamauchi, H., Pulido, R.O., Tamura, Y., Sasaki, H. ve Kawai, S., 2000. Manufacture of cement-bonded boards from wood and other lignocelluloses materials: relationships between cement hydration and mechanical properties of cement-bonded boards wood-cement composites in the Asia-Pacific region proceedings, Canberra, Avustralya.

- 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.
- Maloney, 1996; Youngquist, 1999, Çimento bağlayıcılı odun kompozitleri: genel özellikler, <http://www.turkchem.net/cimento-baglayicili-odun-kompozitleri-genel-ozellikler.html> (04.Mayıs, 2023).
- 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 (2011) 67–72.
- 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, Canberra, Australia, 148-152.
- Moslemi, A. A., 1999. Emerging technologies in mineral-bonded wood ve fiber composites. *Advanced Performance Materials*, 6(2): 161-179.
- Moslemi, A.A., Pflster S.C.,1987. The Influence of Cement/Wood Ratio and Cement Type on Bending Strength and Dimensional Stability of Wood-Cement Composite Panels, *Wood and Fiber Science*,19(2), 165-175.
- Neville, A.M., 1981, Properties of concrete, 3rd Edi., Pitman Books Limited, Great Britain, Longman Scientific&Technical, 5 th edition,1-28-66.
- Neville, A.M., 1995, Properties of Concrete, 3rd Edi., Pitman Books Limited, Great Britain, Longman Scientific&Technical, 6 th edition,1-28-66
- Olorunnisola, A.O., Adefisan, O.O., 2002. Trial production and testing of cementbonded particleboard from rattan furniture waste, *Wood Fibre Science*, 34,1 116–124.
- Ören, H. O., 2017. Granüle yüksek fırın cürufunun köpük beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Örs, Y., As, N., Baykan, İ., Akbulut, T., (2000). Asma saplarının yonga levha üretimine uygunluğu, *İstanbul üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 50(2): 77-92.
- Özdemir, İ., 2020 Pirinç kabuğu külü ikameli çimento harçlarının hidrasyon gelişiminin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Özdemir, M., 2006. Artvin-Tütüncüler ve Madenler yörelerinde Doğu Ladini (*picea orientalis* l. Link.) yaz dikimi denemeleri: birinci yıl sonuçları, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Özgür, S., 1996. Türkiye çimento sanayi ve üretilen çimento türleri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD, Balıkesir.
- Pablo, A., Geimer, R.L. ve Wood, J.E., 1997. Proceedings, Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials, Forest Products Society, Madison, Wis., 5 98102.
- 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): 517518.

- Papadopoulos, N.A., 2007. An investigation of the suitability of some Greek wood species in wood-cement composites manufacture, *Holz Roh Werkst*, 65. 245–246
- 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.
- 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*, 26 509–515.
- Restuccia L., Ferro G.A., Riera D.S., Sirico A., Bernardi P., Belletti B. Malcevski A. 2020. Mechanical characterization of different biochar-based cement composites *Procedia Structural Integrity* 25 226–233
- Sancak, E., Özkan, Ş., 2014. Atık mermer tozu ikameli çimentoların bazı özelliklerine sodyum sülfat çözeltisinin etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi *International Technologic Science* Vol. 6, No2, pp.36-49
- Sanderman, 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.
- Sandermann, W., Brendel, M., 1956. Studien über mineral gebundene Holzwerkstoffe Zweite Mitteilung: Die “zementvergiftende” Wirkung von Holzinhaltsstoffen und ihre Abhängigkeit von der chemischen Konstitution. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 14(8): 307-313.
- Saran, G. A., 2007. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun betonun durabilite özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Semple, K. E., Cunningham, R. B., Evans, P. D., 2002. The suitability of five Western Australian mallee eucalypt species for wood–cement composites. *Industrial crops and products*, 16(2), 89-100.
- 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.
- Semple, K.E., Evans, P.D., 2000. Adverse effects of heartwood on the mechanical properties of wood-wool cement boards manufactured from radiata pine wood, *Wood Fibre Science*, 32,1 37-43.
- Siddique, R., 2008. Waste materials and by-products in concrete. *Waste Materials and By-Products in Concrete*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74294-4>
- Simatupang, M.H. & Geimer, R.L. 1990. Inorganic binder for wood composites: feasibility and limitations. *Wood adhesive symposium proceedings*, May 1618, Madi-son, 169–176.
- Simatupang, M.H., 1979.ater requirement for the production of cement-bonded particleboard, *Holz Roh-und Werkstoff*, 37: 379-382.
- Soroushian, P., Aouadi, F., Chowdhury, H., Nossoni, A. ve Sarwar, G., 2004. Cementbonded straw board subjected to accelerated processing. *Cement and Concrete Composites*, 26(7): 797-802.

- 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.
- Sundi, R., Chew, L.T. ve Ong, C.L., 1989. Storage effects of rubber wood on cement bonded particle board, *Journal of Tropical Forest Science*, 1,4, 365-370.
- Sümer, B., Sarıbıyık, M., 2013. Betonda silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*.17.Cilt,2.s.217-224
- Şafak, A., 2014. Çimento minerolojisinin ve petrografisinin çimento teknolojisine katkısı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Şahan, A. M., 2006. Cem I 42,5 çimentolu düşük dozajlı betonlarda yüksek fırın cürufunun etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, H.A., Ayan, S., Çetiner, Ş., 1999, Enso Tipi Tüplü Doğu Ladini fidanlarının arazi performanslarının değerlendirilmesi, Türkiye’de tüplü fidan üretimi ve ağaç ıslahı tekniklerinin ve çalışmalarının geliştirilmesi projeleri sempozyumu, 8-10 Kasım, Marmaris.
- Şapaloğlu, A. 2015, Pirinç üretim-tüketim zincirinde pazarlama kanallarının yapısı ve pirinç pazarlama marjları, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Şeker, O., 2019. Granüle yüksek fırın cürufunun kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Targan, Ş., 2002, Kula cürufu, bentonit, kül ve kolomanit atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Taylor, P. C., Kosmatka, S. H., Voigt, G. F., 2006. Integrated materials and construction practices for concrete pavement: A state-of-the-practice manual, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, 69104.
- 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.
- Tokyay ve Erdoğan, 2003, Cüruflar ve cürüflü çimentolar’, TÇMB/AR-GE, Ankara, 9758136-03-08, 2003.
- Topçu, İ. B., 2009. “ Effect of waste marble dust content as filler on properties of self- compacting concrete” *Construction and Building Materials*, 23: 1947-1953.
- Topgül, S.S., 2016. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun geri kazanılmış agregalı betonların özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TS 1351, 1973. Yonga ve talaş imalatında kullanılan odun, 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 içerisinde 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.
- Tunçez, D. F.,2021. Sürdürülebilir çimento üretiminde çevre yönetimi yasal bileşenleri, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 4(1): 41-56
- Ulugöl, H. 2015. Granüle yüksek fırın cürufunun çimentonun mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ural, N., Karakurt, C., ve Cömert, A. T., 2010. “Bilecik mermer ocağı atıklarının zemin iyileştirme ve beton üretiminde kullanımı.” Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu.
- URL-1.<https://www.stendustri.com.tr/agir-sanayi-cozumleri/turkcimento-cimento-uretimi-789-milyon-tona-ulasti-h117337.html> (23 Nisan 2013, 15:40).
- URL-2.<https://www.eltomation.com/eng/wood-cement-boards/wood-wool-cement-board/pictures-ÇOYL-applications/#gallery-15> (07 Haziran 2023, 10:55).
- URL-3. <https://rivagips.com/tr/cimentolu-yonga-levha/> (04 Mart 2023, 22:00).
- URL-4. <https://www.betopan.com.tr/tr/kurumsal/hakkimizda-1>. (04 Mart 2023, 23:00).
- URL-5.<https://www.eltomation.com/eng/wood-cement-boards/cement-bonded-particle-board/pictures-cbpb-applications/#gallery-9> (07 Nisan 2023, 11:00).
- URL-6.<https://www.eltomation.com/eng/wood-cement-boards/cement-bonded-particle-board/pictures-cbpb-applications/#gallery> (07 Nisan 2023, 11:20).
- URL-7<https://connect.buildnext.in/top-10-ways-to-use-cement-fiber-boards-in-your-construction-project/> (09 Haziran 2023, 09:30).
- URL-8 [http:// http://www.sksv.org/index.html](http://http://www.sksv.org/index.html) (10 Mart 2023, 10:30).
- URL-9.<https://www.betonvecimento.com/wp-content/uploads/2015/02/Y%C3%BCksek-F%C4%B1r%C4%B1n-C%C3%BCrufu-El-Kitab%C4%B1.pdf>(04Nisan 2023,15:20)
- URL-10http://www.askalecimento.com.tr/storage/app/media/Urun-Analiz-Belgeleri/Erzincan_%C3%A7imento%20tipik%20analiz%20de%C4%9Ferleri.xlsx (20 Temmuz 2023, 23:40)
- URL-11<https://assets.oyakcimento.com/contents/pdf/202175/16159708047842330851615970835029488.pdf> (17 Temmuz 2023, 18:00)
- URL-12. <https://www.kalsiyum.gen.tr/kalsiyum-klorur.html> (30 Mart 2023, 17:00).
- Ürün, E. 2021. Uçucu kül kullanımının çimentolu yonga levhaların bazı özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

- V. Caprai, F. Gauvin, K. Schollbach, H.J.H. Brouwers, S. 2019. MSWI bottom ash as binder replacement in wood cement composites Construction and Building Materials 196 672–680
- Van Elten, E.J., Cement Bonded Particleboard (CBPB) and Wood Strand Cement Board (eltoboard): Production, Properties and Applications, 10th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), 15-18 Ekim 2006, São Paulo, Brezilya, 1-10
- Van Elten, G.J. (2006). Production of wood wool cement board and wood strand cement board (eltoboard) on one plant and applications of the products. Proceedings 10th Int. Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference, Sao Paulo-Brazil, 1–12.
- Van Elten, G.J., (2010). New developments in the field of wood cement products, applications and production technologies, 10th International Inorganic-bonded Fiber Composites Conferences (IIBCC), 21-24 Eylül 2010, Aalborg, Danimarka, 260-270.
- Vu, A.V., Cloutier A., Bissonnette B., Blanchet P., Duchesne D. 2019. The Effect of wood ash as a partial cement replacement material for making wood-cement panels <https://doi.org/10.3390/ma12172766> (07.06.2023, 10:05)
- Warden, P.E.G., Savastano, H., ve Coutts, R. S. P., 2000. Fibre-cement composites from Brazilian agricultural and industrial waste materials, wood-cement composites in the Asia-Pacific region, Canberrai Avusturalya, 55-61
- Weatherwax, R.C. ve Tarkow, H., 1964. Effect of wood on the setting of portland cement, *Forest Products Journal* 14, 12 (1964) 567-570.
- Wolfe, R.W. ve Gjinolli, A., 1996. Cement-Bonded Wood Composites as an Engineering Material. In: Proceedings of the Conference on the Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Madison, Wisconsin, 84– 91.
- Yeğınbolu, A., 2004. Çimento-yeni bir çağın malzemesi. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı-Ankara.
- Yeğınobalı, A., 2001 Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Ankara.
- Yel, H., 2015. Bazı üretim faktörlerinde çimentolu yonga levhaların özellikleri üzerine etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yel, H., 2022. Effect of alkaline pre-treatment and chemical additives on the performance of wood cement panels manufactured from sunflower stems, *Journal of Building Engineering* 52 (2022)104465.
- Yel, H., Aras, U., Kalaycıoğlu, H., 2022. Çimentolu yonga levha üretiminde üre formaldehit tutkalı bağlayıcılı atık yonga levhaların kullanımı, ITESDES- 2. International Technology Sciences and Design Symposium, Giresun, Cilt I, s. 411-424.
- Yel, H., Dönmez Çavdar, A., Kalaycıoğlu, H., 2011. Mechanical and physical properties of cement-bonded particleboard made from tea residues and hardboards, *Key Engineering Materials*, 471-472:572-577.
- Yel, H., Ürün, E., 2022. Performance of cement-bonded wood particleboards produced using fly ash and spruce planer shaving, maderas. ciencia y tecnología (24): 44, 1-10
- Yıldız, Ö. ve Eskikaya, Ş. 1995.“Afyon mermer toz atıklarının değerlendirilmesi.” Türkiye I. Mermer Sempozyum Bildiriler Kitabı, Ankara, 45-52.

- Yıldız, S., Balaydın, İ., & Ulucan, Z. Ç. 2007. Pirinç kabuğu külünün beton dayanımına etkisi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, sayı 1, ss. 85-91.
- Yun C. M., Rahman Md. R., Phing C. Y. W., Chie A.W.M., Bakri M. K. B., 2020. The curing times effect on the strength of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) mortar, *Construction and Building Materials* Volume 260, 10 November 2020, 120622.
- Zhengtian, L., Moslemi, A. A., 1986. Effect of western larch extractives on cement setting, *Forest Products Journal* 36(1): 53-54.



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

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

Eğitim

Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Lisans

Muğla Üniversitesi

06.06.2008

Teknik Eğitim Fakültesi

Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği

Yayınlar

.....

.....