



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**SANAYİ TESİSLERİNDE
ELDE EDİLEN ATIK
MALZEMELERİN BETON
KARIŞIMLARININ PERFORMANSINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Oğuz Kaan KARAÇALI

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**SANAYİ TESİSLERİNDE ELDE EDİLEN ATIK MALZEMELERİN
BETON KARIŞIMLARININ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Oğuz Kaan KARAÇALI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

Oğuz Kaan KARAÇALI tarafından hazırlanan “SANAYİ TESİSLERİNDE ELDE EDİLEN ATIK MALZEMELERİN BETON KARIŞIMLARININ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ali DOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Ali DOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Cahit BİLİM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Murat ÖRNEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma

Tarihi:

31/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Oğuz Kaan KARAÇALI

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

SANAYİ TESİSLERİNDE ELDE EDİLEN ATIK MALZEMELERİN BETON KARIŞIMLARININ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Oğuz Kaan KARAÇALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Beton içerisinde kullanılan çimentonun üretiminin yanı sıra tüketiminin, çevreye ve insan sağlığına olan zararları 21.yüzyılda teknolojinin gelişmesi ve bu etkilerinin gözlemlenmesiyle birlikte sağlık ve çevre açısından sorun teşkil ettiği daha net bir şekilde görülmektedir. Sera gazı olan karbondioksitin yaklaşık yüzde 6 civarı, çimento üretimi sebebiyle meydana gelmektedir. Çimento üretiminden kaynaklanan başlıca çıktı ürünler; ağır metaller, sülfür oksitler, nitrojen oksit, karbon monoksit, karbon dioksit, toz ve parçacık maddeler olarak tanzim edilebilir. Bu sebeplerden dolayı beton üretimde atık ve daha çevreci ürünlerin kullanımına olan ilgi artmış, geleneksel beton kadar iyi veya kabul edilebilir derecede yakın mühendislik özelliklerine sahip sanayi atıkları, puzolanlar ve madenler gibi alternatif ürünlerin kullanımına yönelik araştırmalar gün geçtikçe önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, Niğde bölgesinden elde edilen mikronize kalsit ile Elazığ ferrokrom tesislerinden temin edilen ferrokrom cürufunun kırma kum ve atık poliüretan lastik agregalı çimento harçları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üretilen karışımlarda su/bağlayıcı oranı, bağlayıcı miktarı ve kimyasal katkı ilavesi sabit tutulmuştur. Elazığ ferrokrom cürufu ve mikronize kalsit çimento yerine %10, %15 ve %20 oranlarında hem birlikte hem de ayrı ayrı olarak ikame edilmiştir. Agregaya yerine ise hacimce %0, %10 ve %20 oranlarında atık lastik agregası yer değiştirilerek toplamda 39 adet karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 7 ve 28 gün boyunca farklı kür koşullarına (su-hava) maruz bırakılmıştır. Taze harçta birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmış, sertleşmiş harç numuneleri üzerinde birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı bulunarak, elastisite modülü değerleri hesaplanmış ve SEM-EDS analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Elazığ ferrokrom cürufu, mikronize kalsit, poliüretan agregası
Sayfa Adedi : 115
Danışman : Doç. Dr. Ali DOĞAN

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WASTE MATERIALS OBTAINED FROM INDUSTRIAL FACILITIES ON THE PERFORMANCE OF CONCRETE MIXTURE

(M. Sc. Thesis)
Oğuz Kaan KARAÇALI

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2023

ABSTRACT

The development of technology in the 21st century and the observation of these effects more clearly show that the consumption of cement used in concrete, as well as its production, poses a health and environmental problem. About 6 percent of the greenhouse gas carbon dioxide is produced by cement production, and the main output products from cement production are; heavy metals, sulfur oxides, nitrogen oxides, carbon monoxide, carbon dioxide, dust and particulate matter. For these reasons, the interest in the use of waste and more environmentally friendly products in concrete production has increased, and research on the use of alternative products, such as industrial wastes, pozzolans, mines, whose engineering properties are as good or acceptably close as conventional concrete, has gained day by day.

In this study, the effects of micronized calcite obtained from Niğde region and ferrochrome slag obtained from Elazığ ferrochrome plants on crushed sand and waste tire aggregate cement mortars were investigated. The water/binder ratio, binder amount, and chemical additive addition were kept constant in the produced mixtures. Elazığ ferrochrome slag and micronized calcite cement were substituted for 10%, 15% and 20% both together and separately. Instead of aggregate, a total of 39 mixtures were prepared by replacing 0%, 10% and 20% of waste polyurethane aggregate by volume. The prepared mixtures were exposed to different curing performances (water-air) for 7 and 28 days. Unit volume weight values were calculated in fresh mortar, unit volume weight, ultrasound transmission velocity, pressure height, bending tendency were calculated on hardened mortar samples, and elastic modulus values were calculated and SEM-EDS analyzes were performed.

Key Words : Elazığ ferrochrome slag, micronized calcite, polyurethane aggregate
Page Number : 115
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ali DOĞAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesi, araştırılması, deney uygulamaları ve tez yazımı sırasında sahip olduğu bilgi ve tecrübeyle yardımını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ali DOĞAN'a en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım. Tüm hayatım boyunca bana desteklerini esirgemeyen ve her konuda varlığını hissettiren annem Hatice KARAÇALI ve babam Ümit KARAÇALI'ya sonsuz minnetlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ.....	18
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Malzemeler ve Özellikleri.....	34
3.1.1. Çimento.....	34
3.1.2. Mikronize kalsit (MK).....	34
3.1.3. Elazığ ferrokrom cürufu (EFC).....	35
3.1.4. Agregalar	36
3.1.5. Harç karışım ve kür suyu.....	39
3.1.6. Süper akışkanlaştırıcı (SA).....	39
3.2. Çimento Harç Karışım Tasarımı.....	39
3.2.1. Çimento harç numune üretimi.....	41
3.3. Deney Yöntemleri.....	43
3.3.1. Taze harç birim hacim ağırlık deneyi.....	43
3.3.2. Sertleşmiş harç birim hacim ağırlık deneyi	43
3.3.3. Ultrases geçiş hızı deneyi (UPV)	44
3.3.4. Eğilme dayanımı deneyi	45
3.3.5. Basınç dayanımı	47
3.3.6. Dinamik elastisite modülü tayini (DEM)	48
3.3.7. SEM analizi.....	48

3.3.8. EDS analizi	49
4. ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR	50
4.1. Taze Harç Birim Hacim Ağırlık Deneyi (THBA)	50
4.2. Sertleşmiş Harç Birim Hacim Ağırlık Deneyi (SBHA)	50
4.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi (UPV)	53
4.3.1. L0 serisi ultrases geçiş hızı deneyi	53
4.3.2. L10 serisi ultrases geçiş hızı deneyi	57
4.3.3. L20 serisi ultrases geçiş hızı deneyi	62
4.4. Eğilme Dayanımı	66
4.4.1. L0 serisi eğilme dayanımı	66
4.4.2. L10 serisi eğilme dayanımı	70
4.4.3. L20 serisi eğilme dayanımı	74
4.5. Basınç Dayanımı	78
4.5.1. L0 serisi basınç dayanımı	78
4.5.2. L10 serisi basınç dayanımı	83
4.5.3. L20 serisi basınç dayanımı	88
4.6. Dinamik Elastisite Modülü Tayini (DEM)	92
4.7. SEM-EDS Analizleri	96
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	110
KAYNAKLAR	112
DİZİN	116

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. CEM I 42.5 R çimento kimyasal analiz sonuçları	34
Çizelge 3.2. Mikronize kalsit kimyasal analiz sonuçları	34
Çizelge 3.3. EFC kimyasal analiz sonuçları	35
Çizelge 3.4. EFC granülometrisi	36
Çizelge 3.5. Doğal kırma kum agrega granülometrisi	37
Çizelge 3.6. PLA granülometrisi	38
Çizelge 3.7. 1 m ³ çimento harç numune için gerekli malzemeler (kg/m ³)	40
Çizelge 3.8. Beton kalitesi ve ultrasonik dalga hızı aralıkları (Whitehurst, 1951) ..	45
Çizelge 4.1. Taze harçların birim hacim ağırlıkları	50
Çizelge 4.2. 7 günlük suya doymun numunelerin birim hacim ağırlığı	51
Çizelge 4.3. 28 günlük suya doymun numunelerin birim hacim ağırlığı	51
Çizelge 4.4. 7 günlük hava kürüne bırakılmış numunelerin birim hacim ağırlığı ..	52
Çizelge 4.5. 28 günlük hava kürüne bırakılmış numunelerin birim hacim ağırlığı ..	52
Çizelge 4.6. L0 serisi UPV sonuçları	53
Çizelge 4.7. L0 serisi 7 günlük numunelerin UPV değerleri	54
Çizelge 4.8. L0 serisi 28 günlük numunelerin UPV değerleri	55
Çizelge 4.9. L10 serisi UPV sonuçları	57
Çizelge 4.10. L10 serisi 7 günlük numunelerin UPV değerleri	58
Çizelge 4.11. L10 serisi 28 günlük numunelerin UPV değerleri	59
Çizelge 4.12. L20 serisi UPV sonuçları	62
Çizelge 4.13. L20 serisi 7 günlük numunelerin UPV değerleri	63
Çizelge 4.14. L20 serisi 28 günlük numunelerin UPV değerleri	64
Çizelge 4.15. L0 serisi eğilme dayanımları	66

Çizelge 4.16. L0 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri.....	67
Çizelge 4.17. L0 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri.....	68
Çizelge 4.18. L10 serisi eğilme dayanımları	70
Çizelge 4.19. L10 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri.....	71
Çizelge 4.20. L10 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri.....	72
Çizelge 4.21. L20 serisi eğilme dayanımları	74
Çizelge 4.22. L20 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri.....	75
Çizelge 4.23. 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri	76
Çizelge 4.24. L0 serisi basınç dayanım değerleri	79
Çizelge 4.25. L0 serisi 7 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri	80
Çizelge 4.26. L0 serisi 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri	81
Çizelge 4.27. L10 serisi basınç dayanım değerleri	83
Çizelge 4.28. L10 serisi 7 günlük basınç dayanım değerleri.....	84
Çizelge 4.29. L10 serisi 28 günlük basınç dayanım değerleri.....	85
Çizelge 4.30. L20 serisi basınç dayanım değerleri	88
Çizelge 4.31. L20 serisi 7 günlük basınç dayanım değerleri.....	89
Çizelge 4.32. L20 serisi 28 günlük basınç dayanım değerleri.....	90
Çizelge 4.33. 7 günlük suya doymun numunelerin DEM değerleri.....	93
Çizelge 4.34. 28 günlük suya doymun numunelerin DEM değerleri.....	93
Çizelge 4.35. SEM-EDS numuneleri	96

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Stok alanlarında depolanan ferrokrom cürufları	20
Şekil 1.2. ALKAN taban fabrikasından poliüretan tabanlara ait görüntü.....	24
Şekil 3.1. Kullanılan mikronize kalsit.....	35
Şekil 3.2. Kullanılan EFC'nin elenmesi.....	36
Şekil 3.3. Doğal kırma kum ve PLA (Poliüretan lastik agrega)'ya ait görüntüler ..	37
Şekil 3.4. Doğal kırma kum agrega elek analiz grafiği.....	38
Şekil 3.5. PLA elek analiz grafiği.....	39
Şekil 3.6. Taze çimento harç görüntüsü	41
Şekil 3.7. Sarsma tablasına alınan harç kalıbı	42
Şekil 3.8. Su ve hava küründe bekleyen numuneler	42
Şekil 3.8. Sertleşmiş harç numunelerin tartılması	44
Şekil 3.9. Harç numunelerde UPV değerlerinin bulunması	45
Şekil 3.10. Eğilme deneyi yapılışı ve deney düzeneği.....	46
Şekil 3.11. Basınç deneyi yapılışı ve düzeneği.....	47
Şekil 4.1. L0 serisi numunelerin UPV grafiği	53
Şekil 4.3. L0 serisi 28 günlük numunelerin UPV grafiği.....	55
Şekil 4.4. L0 serisi MK içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği.....	56
Şekil 4.5. L0 serisi EFC içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği	57
Şekil 4.6. L10 serisi numunelerin UPV grafiği	58
Şekil 4.7. L10 serisi 7 günlük numunelerin UPV grafiği.....	59
Şekil 4.8. L10 serisi 28 günlük numunelerin UPV grafiği.....	60
Şekil 4.9. L10 serisi MK içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği.....	61
Şekil 4.10. L10 serisi EFC içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği	61

Şekil 4.11. L20 serisi numunelerin UPV grafiği	62
Şekil 4.12. L20 serisi 7 günlük numunelerin UPV grafiği	63
Şekil 4.13. L20 serisi 28 günlük numunelerin UPV grafiği	64
Şekil 4.14. L20 serisi MK içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği	65
Şekil 4.15. L20 serisi EFC içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği	65
Şekil 4.16. L0 serisi eğilme dayanım grafiği	66
Şekil 4.17. L0 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği	67
Şekil 4.18. L0 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği	68
Şekil 4.19. L0 serisi MK içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği	69
Şekil 4.20. L0 serisi EFC içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği	69
Şekil 4.21. L10 serisi eğilme dayanım grafiği	70
Şekil 4.22. L10 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği	71
Şekil 4.23. L10 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği	72
Şekil 4.24. L10 serisi MK içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği	73
Şekil 4.25. L10 serisi EFC içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği	74
Şekil 4.26. L20 serisi eğilme dayanım grafiği	75
Şekil 4.27. L20 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği	76
Şekil 4.28. L20 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği	77
Şekil 4.29. L20 serisi MK içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği	77
Şekil 4.30. L20 serisi EFC içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği	78
Şekil 4.31. L0 serisi basınç dayanım grafiği	79
Şekil 4.32. L0 serisi 7 günlük numunelerin basınç dayanım grafiği	80
Şekil 4.33. L0 serisi 28 günlük numunelerin basınç dayanım grafiği	81
Şekil 4.34. L0 serisi MK içeren numunelerin basınç dayanım grafiği	82
Şekil 4.35. L0 serisi EFC içeren numunelerin basınç dayanım grafiği	83

Şekil 4.36. L10 serisi basınç dayanım grafiği.....	84
Şekil 4.37. L10 serisi 7 günlük basınç dayanım grafiği	85
Şekil 4.38. L10 serisi 28 günlük basınç dayanım grafiği	86
Şekil 4.39. L10 serisi MK içeren numunelerin basınç dayanım grafiği.....	87
Şekil 4.40. L10 serisi EFC içeren numunelerin basınç dayanım grafiği.....	87
Şekil 4.41. L20 serisi basınç dayanım grafiği.....	88
Şekil 4.42. L20 serisi 7 günlük basınç dayanım grafiği	89
Şekil 4.43. L20 serisi 28 günlük numunelerin basınç dayanım grafiği.....	90
Şekil 4.44. L20 serisi MK içeren numunelerin basınç dayanım grafiği.....	91
Şekil 4.45. L20 serisi EFC içeren numunelerin basınç dayanım grafiği.....	92
Şekil 4.46. L0 serisi suya doymuş numunelerin DEM grafiği	94
Şekil 4.47. L10 serisi suya doymuş numunelerin DEM grafiği	94
Şekil 4.48. L20 serisi suya doymuş numunelerin DEM grafiği	95
Şekil 4.49. L0-M5-F15 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	97
Şekil 4.50. L10-M5-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	98
Şekil 4.51. L0-M10-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	99
Şekil 4.52. L0-M0-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	100
Şekil 4.53. L10-M0-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	101
Şekil 4.54. L20-M15-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	102
Şekil 4.55. L0-M5-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	103
Şekil 4.56. L10-M0-F20 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	104
Şekil 4.57. L10-M0-F10 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	105
Şekil 4.58. L10-M5-F10 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	106
Şekil 4.59. L20-M5-F10 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	107
Şekil 4.60. L20-M0-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi	108

Şekil 4.61. L20-M5-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi109



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Al_2O_3	Alüminyum oksit
C	Karbon
$CaCO_3$	Kalsiyum karbonat (Kireç taşı)
CaO	Kalsiyum oksit
$Ca(OH)_2$	Kalsiyum hidroksit
$Ca(NO_3)_2$	Kalsiyum nitrat
CO_2	Karbon dioksit
FeSi	Ferrosilisyum
Fe_2O_3	Demir oksit
K_2O	Potasyum oksit
MgO	Magnezyum oksit
Na_2O	Sodyum oksit
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
S	Kükürt
SiO_2	Silisyum dioksit
SO_3	Kükürt trioksit
cm	Santimetre
mm	Milimetre
μm	Mikrometre
s/b	Su/bağlayıcı
khz	Kilo hertz
μ	Poisson oranı
MPa	Mega pascal
GPa	Giga pascal

Kısaltmalar**Açıklamalar**

EFC	Elazığ ferrokrom cürufu
DEM	Dinamik elastisite modülü
Ed	Dinamik elastisite modülü
MK	Mikronize kalsit
PÇ	Portland çimentosu
PLA	Poliüretan lastik agrega
SA	Süper akışkanlaştırıcı katkı
SBHA	Sert birim hacim ağırlık
SEM	Scanning electron microscope
EDS	Energy dispersive spectroscopy
TBHA	Taze birim hacim ağırlık
TS	Türk Standardı

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde en çok rağbet gören yapı materyali olarak beton kendini göstermektedir. Betonun işlenebilirliği, üretiminin kolay olması, arzu edilen özellik ve dayanımlarda elde edilebiliyor olmasıyla birlikte hala en çok tercih edilen ürünlerden bir tanesi olarak günümüzde popülerliğini korumaktadır. Pozitif yönlerinin yanı sıra betonun bileşenlerinin elde edilmesinde kullanılan kaynakların, CO₂ salınımı, kaynak tüketimi ve getirdiği ekonomik külfetler gibi olumsuz sonuçları da bulunmaktadır. Bu nedenle hem çevreye verilen zararın hem de kaynak tüketiminin asgari düzeyde tutulması amacıyla betonun ana bileşenleri olan bağlayıcı maddeler ve agregalar yerine alternatif çözümler arayışına girilmiş, birçok bilimsel araştırma ve çalışmanın temelini oluşturmuştur. Beton üretmek amacıyla ikame edilen puzolanların genelinin endüstriyel sanayi atıkları veya yan ürünler olduğundan bahsedilmiştir (Erdoğan, 2003).

Puzolanlar

Puzolanlar, tek başına çok az bağlayıcılık özelliği gösteren veya hiç göstermeyen, ama çok ince taneli halde ve ortamda nem mevcudiyetinde kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) ile kimyasal reaksiyona girebilen, çimento gibi hidrolik bağlayıcı malzeme özelliklerine sahip bileşenlerin oluşumuna imkan veren, alüminli ve silisli materyallerdir. Puzolanlar, alümin ve silisin yanında, az miktarlarda kalsiyum oksit, karbon, alkaliler ve demir oksit içerebilmektedir (Erdoğan, 2007).

Puzolanların en yaygın kullanımına MÖ 300 civarı Roma döneminde görülmektedir (Vitruvius, 1914). Romalılar, bağlayıcı malzeme üretiminde kullandıkları kül içerikli toprağı “pulvis puteolanus” adıyla anmışlardır. Bu kül içerikli malzeme, daha sonraki dönemlerde “puzzolana” olarak isimlendirilmiş ve zaman içerisinde “puzolan” ismiyle anılmaya başlanmıştır (Erdoğan, 2007).

Yapılan diğer araştırmalar, puzolan özelliği gösteren malzemelerin Antik Roma’dan binlerce yıl önce keşfedildiğini göstermektedir. Araştırmacıların Güney Anadolu Platosu’ndaki Çatalhöyük’te bulunan Neolitik Çağ’a ait evler üzerinde yürüttüğü incelemeler, Anadolu’da yapılarda kullanılan harçların 8000 yıl kadar eski zamanlara ait olduğunu günyüzüne çıkarmıştır. Puzolan türleri doğal ve yapay olmak üzere iki grupta ele alınabilir.

Doğal puzolanlar

Doğal halde doğada bulunan, ince taneli formda ve nemli ortamlarda kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanabilen, alüminli ve silisli malzemelere, doğal puzolanlar ismi verilmektedir. Volkanik tüfler, volkanik camlar, traslar, diatom içerikli topraklar doğal puzolanlara örnek gösterilebilir. Volkanik kökenli malzemelerin puzolanik özellik sergileyebilmeleri için, çok ince taneli duruma getirilerek öğütülmesi gerekmektedir (Erdoğan, 2007).

Yapay puzolanlar

Yapay puzolan türleri, endüstri üretim sektörünün çıktı ürünleridir. Yapay puzolanlar da doğal puzolanlar gibi yapılarında alümin ve silis içerirler. Endüstri üretim sektörünün yan ürünü olmalarından dolayı, normal şartlar altında atık olarak görülen bu malzemelerin çimento ve beton harçlarının üretiminde kullanılması doğa ve çevre sağlığına büyük fayda sağlayacaktır.

Puzolanların beton özelliklerine etkileri

Puzolanlar, ince halde öğütülmüş olarak betona ilave edilirken, ana bağlayıcı malzeme olan portland çimentosu ile yer değiştirilerek ikame edilir. Puzolanların ikame oranı, genel olarak harç karışımı içerisindeki çimentonun %10 ile %50'si aralığındadır. Puzolanlar, ilave edildikleri betonun bir veya birkaç özelliğine olumsuz ve olumlu yönde etki edebilir. Potansiyel olumlu özellikleri; taze haldeki betonunun işlenebilirliğini artırabilme, terlemeyi ve segregasyonu azaltabilme, alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşacak genleşmeyi azaltabilme, nihai dayanımı artırabilme, sülfat ataklarına karşı dayanıklılığı artırabilme ve çok daha ekonomik bir beton elde etme kabiliyetleri olarak gösterilebilir. Potansiyel olumsuz etkileri ise; özellikle soğuk havada taze haldeki betonun prizini geciktirebilme, betonun erken yaşlarındaki dayanım kazanma hızını azaltabilmeleri olarak gösterilebilir (Salihpaşaoğlu,2017).

Ferrokrom Cürufu

Ferrokrom cürufu, endüstriyel üretim sektörünün bir yan ürünü olarak meydana gelir. Türkiye'de iki ilden ferrokrom cürufu temin edilmektedir. Elazığ Ferrokrom İşletmesi ve Antalya Ferrokrom İşletmesi cürufun elde edildiği iki işletmedir. Elde edilen cürufuların neredeyse tamamı stok alanlarında yığın olarak biriktirilmektedir (Şekil 1.1.). Ark- direnç fırınlarında 1800 °C gibi yüksek sıcaklıklarda, kromit cevheri hammaddesi ile beraber

kuvarsit, metalürjik kok gibi yardımcı malzemeler birlikte ergitilir. Ferrokrom ve silikoferrokrom üretimi sırasında indirgenemeyen oksitler ile bir miktar SiO_2 , metal yüzeyinde sıvı bir cüruf tabakası meydana getirir ve bu cüruf kalıplara dökülerek alınır. Ferrokrom cürufu, kimyasal içeriğine bakıldığında başlıca dört elementin etkisi altındadır. Bu elementler; magnezyum, alüminyum, kalsiyum ve silisyum olarak görülmektedir. Ferrokrom cürufları havada yavaş soğutulurlarsa kristal bir yapı kazanırlar. Bu durumda ferrokrom cürufu yüksek mekanik özellikler gösterir ve genellikle agrega olarak kullanılır. Yüksek fırından çıktığında ergimiş halde olan cüruf hızlı olarak soğutulur ise akışkanlığındaki bir anda azalma kristalleşmeyi önler ve camsı yapıda bir katı madde elde edilmesini sağlar. Bu yarı-kararlı camsı malzeme, bir miktar hidrolik özelliğe gösterir. Bu tip cüruflar daha çok çimento içeren sistemlerde ve beton üretiminde kullanılır. Günümüz şartlarında cüruf malzemeler genelde beton agregası, demiryolu balastı ve asfalt agregası olarak, alt temel ve yol temel malzemesi olarak, çimento sanayisinde, tuğla ve biriket üretiminde, cüruf yünü ve prefabrik elemanların imalatı gibi alanlarda kullanılmaktadır (Yılmaz ve Sutaş, 2008).



Şekil 1.1. Stok alanlarında depolanan ferrokrom cürufları

Cürufların sertleşmiş betonun dayanım özelliğine etkileri

Su ile cürufun yavaş reaksiyonu, farklı cüruf miktarları barındıran betonun erken yaşlarında düşük dayanım artışı gözlenmesine neden olur. İncelik veya kimyasal bileşim, karışım tasarımı, aktivite endeksi ve kür koşulları gibi fiziksel özellikler cüruf içerikli çimento

betonlarının dayanımını etkiler. Genellikle, cüruf içerikli betonlarda, mukavemet gelişimi erken yaşlarda yalnızca çimento içeren betona göre daha yavaş, 7 ila 28 gün arasındaki mukavemet ise yalnızca çimento içeren betona yaklaşır ve daha ilerdeki zamanlarda mukavemet yalnızca çimento içeren betondan daha yüksek seviyelere ulaşabilir. Bu durum her zaman doğru olmayabilir. Daha düşük su bağlayıcı oranında, cüruf içeren çimento beton, 1 yıl sonra dahi çimento betonuna göre daha düşük bir mukavemet gösterecektir (Ramezaniyanpour,2014). Kütlece azami olarak %60 oranına kadar cüruf içerikli beton karışımlarında, erken dayanım, klinker ayrılaşmasının inceliğiyle açıklanırken, ileri yaş dayanımı esasen cüruf ayrılaşmasının inceliğinden kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. Cüruf içeriği yüksek çimentolarda cürufun inceliği hem erken hem ileri yaşta büyük önem taşırken, bu etki düşük cüruf içeren çimentoda pek önemli değildir. Normal Portland çimentolu betonlarda da olduğu gibi cüruf barındıran çimento betonlarının mukavemeti, bağıl nem ve kürlenme sıcaklığından etkilenir. Cürufun klinkere göre düşük aktivasyon özelliği nedeniyle, kürlenme sıcaklığındaki görülecek artış cürufllu çimento betonlarının mukavemet gelişimini daha elverişli hale getirecektir. Bağıl nemin etkisi, yavaş reaksiyon gösteren cürufllu içeren betonların mukavemet gelişiminde büyük önem arz etmektedir.

Kalsit

Kalsit, kalsiyum karbonat (CaCO_3) kimyasal yapılı bir mineraldir. Mermer, tebeşir ve kireçtaşı gibi kayaçların temel minerali kalsittir. Kristal yapıda çeşitli biçimlerde bulunur. Camsı parlaklık ve saydamlığa sahiptir. Kolayca öğütülerek beyaz renkli toz haline getirilebilmektedir. Kalsit, bir mineral olup endüstride de bu isimle adlandırılmaktadır.

Kalsit minerali kuru veya ıslak işleme teknikleri ile mikronize boyutlara getirilmekte ve sanayi alanında kullanıma arz edilmektedir. Türkiye'deki üretim süreçlerinde genel olarak kuru halde kullanılan bilyeli ve karıştırmalı bilyeli değirmenler yeğlenerek mikronize kalsit elde edilmektedir (Yılmaz,2019).

Mikronize kalsitin safsızlığını belirten en önemli ölçütlerden birisi renktir. Kahverengi, gri, kırmızı, açık sarı, yeşil tonlar; demir, demir sülfid, karbon ve mangandan kaynaklanan safsızlıkları işaret eder. Mineralin beyaz rengi yüksek oranda saflığın göstergesidir. Bu durum mikronize boyutta üretim için oldukça önemlidir (Sargın,2008).

Kalsitin kalitesinin göstergesi olan faktörlerin başında; aktivasyon, özgül yüzey, aşındırma değeri, dağılma hızı, eleme, öğütme, kırma, sınıflandırma ve beyazlık gelir. Beyazlık, mineralin saflığını göstermesinin yanında ışık yansıtma özelliğinin yüzdelik cinsinden

değeridir. Saflığına göre kullanım tercihleri değişmektedir (Sarıca,2021).

Başlıca kullanım alanları olarak tarım sektörü, hayvan yemleri, seramik sanayisi, petrol rafinerisi, cam sanayisi, karpit imalatı, patlayıcı madde sanayisi gibi geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Türkiye’de kalsit minerali çok yaygın ve yüksek kaliteye sahip halde bulunmaktadır. Marmara Bölgesi’nde Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Yıldız Dağları civarında olmak üzere hemen hemen bölgenin tamamında kalsit yataklarına rastlanılmaktadır. İzmir çevresindeki kalsitin beyazlığı Marmara Bölgesi’ndekilere ve Niğde çevresine nazaran daha düşüktür. Muğla’da yüksek beyazlıkta kalsiyum karbonat bulunmaktadır. Türkiye’deki en beyaz oluşumlardan olan Niğde ve çevresi ticari işletmelerin son yıllardaki en çok tercih ettikleri bölge olmuştur. Kalsit, birçok sanayi sektörünün ana malzemesi olmakla beraber, titanyum dioksit gibi çok pahalı pigmentlerin daha az kullanılmasını sağladığı için, hem çevre sağlığı hem de ekonomik açıdan kullanımı çok görülen bir malzemedir (Akın, 2009).

Poliüretanlar

Poliüretanlar, yapı taşlarında üretan grubu ($-NH-CO-O-$) içeren polimerlerdir. Poliüretan zincirleri karbon dışında azot, hidrojen ve oksijen elementlerini içerir. Bu polimerler, üretan grubunun yanında amid, üre, eter ve ester gibi farklı fonksiyonel gruplardan birini ya da birkaçını yapılarında bulundurabilirler. Poliüretanın kimyasal formülü sentezinde kullanılan monomerlere bağlı olarak değişir (Lamba, Woodhouse, Cooper,1998). Poliüretanlar, sert ve yumuşak kısımlardan oluşan blok halinde kopolimerlerdir. Poliüretana elastomerik özelliği poliollerden oluşan yumuşak kısımlar kazandırır. Mekanik özelliklerden ise diizosiyanatların bulunduğu sert kısımlar sorumludur. Bu kopolimerler, ana zincirin yapısına ve bileşimine bağlı olarak sert kısmın yumuşak kısım içinde dağıldığı iki fazlı morfolojiye sahiptirler. Poliüretanlarda segmentler arasındaki termodinamik ve kimyasal uyumsuzluğun nedeni yumuşak ve sert kısımlar arasındaki faz ayrımıdır. Poliüretanlarda faz ayrımının derecesi polimer zincirler arasında kurulan hidrojen bağları, polarite, bileşim ve segmentlerin uzunluğu gibi faktörlere ilişkilidir. Poliüretanın mekanik ve fiziksel özellikleri sert ve yumuşak kısım arasındaki faz dağılımına ve bu iki fazın oranına bağlı olarak değişir (Piotr, 2006; Song, Xia, Yao, ve Hourstan, 2005).

Ayrıca yumuşak ve sert segmentler arasındaki faz ayrımı, poliüretanın biyouyumluluğuna da katkıda bulunur (Lamba ve diğerleri 1998). Poliüretan sentezi sırasında hidroksil grubundaki hidrojen izosiyanat grubundaki azot atomuna transfer olur. Poliüretanlar, performans özellikleri kullanım alanına uygun bir şekilde ayarlanabildiği için, farklı alanlarda kullanılabilen polimerlerdir. Poliüretanların özellikleri molekül ağırlığı, çapraz

bağlanma miktarı, monomerlerin yapısı, bileşim, yumuşak ve sert kısımların oranı kontrol edilerek geniş bir spektrumda değiştirilebilir. Poliüretanlar köpük, film ve hidrojel gibi değişik formlarda; farklı şişme oranı, su geçirgenliği ve yapısal özelliklere sahip olacak şekilde üretilebilirler (Lamba ve diğerleri 1998, Piotr,2006).

Poliüretanlar mükemmel esnekliğe ve yüksek mekanik mukavemete sahip polimerlerdir. Bu polimerler, kontrol edilebilir sertliğe sahip malzemelerdir. Uygulama alanına göre, rijit ve dayanıklı poliüretanlar ya da esnek ve yumuşak poliüretanlar üretmek mümkündür. Poliüretanlar diğer elastomerlerle kıyaslandığında yüksek bükülebilme ile ses yalıtım özelliğine, darbe dayanımına, aşınma direncine sahiptirler. En önemli özelliklerinden biri de üstün yapışma kabiliyetleridir. Sıcağa ve soğuğa karşı dayanıklı, elektriksel olarak yalıtkan materyallerdir. Ayrıca, aşınmaya, seyreltik asitlere, atmosfer şartlarına ve organik çözücülere karşı direnci yüksek malzemelerdir (Lamba ve diğerleri 1998, Piotr,2006, Akgün,2008).

Poliüretanlar, sahip oldukları özelliklerden dolayı birçok sektörde diğer polimerlerin yerini almaktadır. Otomotiv, boya ve tekstil sektöründen yapı sektörüne kadar birçok uygulama alanına sahiptir. Bu gruba ait polimerler, ısı ve ses yalıtım malzemesi, dekorasyon malzemesi, kaplama, yapıştırıcı, mobilya, fiber, elastomer üretiminde kullanılırlar (Piotr ve diğerleri 2006, Akgün 2008).

Poliüretanlar iyi mekanik, kan ve doku uyumluluğunun yanında uygun gaz geçirgenliğinden dolayı film, köpük ya da hidrojel gibi çeşitli formlarda biyomedikal alanda da uygulama alanına sahiptirler. Bükülebilme özelliğinden dolayı kardiyovasküler implantlarda kullanımı tercih edilen malzemelerdir. Ayrıca yapay organ, kontrollü ilaç salınım sistemleri, kan filtreleri, kalp kapakçıkları ve yara örtüsü gibi uygulamalarda kullanılırlar (Akgün, 2008).

Bu çalışmada Antakya Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Alkan Taban Fabrikası'nda (Şekil 1.2.) üretilen ayakkabı tabanlarından atık olarak açığa çıkan poliüretan malzeme öğütülmüş, çimento harçları içerisinde poliüretan lastik agrega (PLA) olarak, Elazığ ferrokrom cürufu (EFC) ve Mikronize kalsit (MK) ile birlikte kullanılması durumunda çimento harçlarının özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır.



Şekil 1.2. ALKAN taban fabrikasından poliüretan tabanlara ait görüntü

Betonda Kür Yöntemleri

Kür, betonun yeterli bir dönem içerisinde amaçlanan dayanıma ulaşabilmesi ve çimento hidratasyon sürekliliğini için gerekli nem ve sıcaklık şartlarının sağlandığı süreç olarak ifade edilebilir.

Su kürü uygulaması

Hazırlanan çimento harç numunelerinin kalıplara döküldükten 24 saat sonra çıkartılıp mekanik testlerinin uygulanacağı zamana kadar, 22°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) sıcaklıkta kirece doymuş su içinde bekletilmesi şeklinde uygulanan kür yöntemine su kürlemesi adı verilmektedir. Su kürlemesi yöntemiyle, çimento harç numunelerindeki kılcal boşluklarda bulunan hidratasyonun devamı için gerekli olan su buharlaşma yoluyla yitirilmemekte ve böylelikle hidratasyon reaksiyonunun sürekliliği sağlanmaktadır.

Hava kürü uygulaması

Çimento harçları kalıplardan alınıp, muhafaza edileceği yere yerleştirildikten sonra bulunduğu ortamda bırakılır. Harç numunelerindeki su açık havada kaldıkça zaman

içerisinde buharlaşarak kaybolur, böylelikle çimento hidrasyonu için gereken su miktarı giderek azalır. Su miktarının buharlaşarak azalması; havanın rölatif nemine, rüzgarın hızına, numunenin sıcaklığına ve dış faktörlere maruz kalan yüzey alanının büyüklüğüne göre değişmektedir. Çimento hidrasyonu için gerekli su miktarının az olması durumunda hidrasyon reaksiyonları yarıda kalacak ve çimento harçlarında dayanım azalmaları görülecektir. Harç numune içerisindeki bağıl neminin %75-80 miktarda muhafaza edilmesi durumunda hidrasyon reaksiyonları devam edecektir.

Bu tez çalışmasında, mikronize kalsit, ferrokrom cürufu ve atık poliüretan lastik agregasının çimento harçları içerisinde kullanılabilirliği araştırılmış ve gerek çimento üretiminin çevreye verdiği zararın azaltılması, gerekse atık halde bulunan malzemelerin beton üretim sektörüne kazandırılması amaçlanmıştır. Böylece bağlayıcı miktarı 500kg/m^3 , su/bağlayıcı oranı 0,6 ve süper akışkanlaştırıcı miktarı 2kg/m^3 seçilerek tüm karışımlarda sabit tutulmuştur. Karışımlarda, %10, %15 ve %20 oranlarında Elazığ ferrokrom cürufu ve mikronize kalsit çimento yerine ikame olarak kullanılmıştır. Bu iki malzeme hem tek başına hem de ikisi bir arada iken çimento harçları içerisinde kullanılarak harç üretimleri yapılmıştır. Bu harçlar atık poliüretan lastik agrega kullanılmadan sadece kırma kum ile, %10 poliüretan lastik agrega ile ve %20 poliüretan lastik agrega ile 3 seri halinde tekrarlanmıştır. Poliüretan lastik agrega kullanımıyla birlikte daha hafif çimento harçları üretilmiştir. Üretilen çimento harçları 24 saat sonra kalıplarından alınarak 7 ve 28 gün boyunca hem su küre hem de hava küre etkisine maruz bırakılmıştır. Toplamda 39 adet karışım üretimi yapılmış olup 468 adet numune elde edilmiştir. Bu numuneler taze harç halinde ve küreleme etkisi sonrasında tartılmış ve ağırlıkları belirlenmiştir. 7. ve 28. günlerde sertleşmiş çimento harç numunelere ultra ses geçiş hızı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı mekanik testleri ve SEM-EDS görüntüleme teknikleri uygulanmıştır. Deneylerde 3' er adet numune kullanılmış olup sonuçların aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yılmaz, Sallı Bideci ve Bideci, (2018) çalışmalarında, %25 ve %100 oranlarında kullandıkları pomza agregası, kalsiyum alüminat ve CEM I 42.5 R çimentosu ile ürettikleri hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre kalsiyum alüminatlı çimento ve pomza agregası ikameli serilerde dayanımlarda yükselme olduğunu fakat kırmataş agrega içerikli serilerin basınç dayanımlarında düşüşler meydana geldiğini gözlemlemiştir. En yüksek basınç dayanımını ise %100 kırmataş agrega ve Cem I 42.5 R çimentosu içeren beton numunelerden elde etmişlerdir.

Berkem Kara, (2020) çalışmasında, çimentonun çevreye zararlı etkisini azaltmak amacıyla, mikronize kalsiti farklı oranlarda çimentoyla birlikte ikame etmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre %10'a kadar mikronize kalsit kullanımının betonun basınç dayanımını arttırdığını ve mikronize kalsitin beton basınç dayanıma olumlu etkiler gösterdiğini, ancak betonun dayanıklılık boyutunun incelenmesi gerektiğini önermiştir.

Tuyan, Soykan,, Namal ve Çakır, (2020) çalışmalarında, kalsiyum alüminat içeren çimentoyla, yüksek fırın cürufu ve uçucu külün yer değiştirmesiyle oluşan kalsiyum alüminatlı çimento harcın termal, mekanik ve dayanıklılık özellikleri incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre yüksek fırın cürufu ve uçucu külün çimento yerine kullanılmasıyla oluşan harcın ekolojik anlamda çevreye katkı sağladığını, yüksek fırın cürufu içeren karışımların uçucu kül içeren karışımlara göre daha kötü mekanik özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Güldür, (2017) çalışmasında, uçucu kül ve mikronize kalsit mineral katkısının birlikte kullanılmasının betonun mekanik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre mikronize kalsitin erken yaş dayanımına bir miktar katkısının olduğunu ancak mineral katkı malzemesi olarak tek başına kullanılmasının uygun olmadığını ifade etmiştir.

Ünal, (2013) çalışmasında, yüksek dayanımlı kendinden yerleşen betonun üzerinde su/bağlayıcı oranı, kireç taşı tozu, silis dumanı, katkı sınıfı ve miktarının etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda silis dumanı ile 600 kg/m³ miktarın üzerinde toz

malzemenin çok daha fazla süper akışkanlaştırıcı katkı ilavesine ihtiyacı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca kireç taşı tozunun betonun işlenebilirliğine katkı sağladığı ve su/bağlayıcı oranının 0,280 ve üstü değerlerde yüksek basınç dayanımına olumlu yönde etki ettiği sonucuna varmıştır.

Akkaya ve Kesler (2012) çalışmalarında, endüstriyel atık olan mikronize boyutlarda kalsitin, puzolanik madde olan uçucu kül ve silis dumanı ile yer değiştirmesinin betonun hem erken hem de ileri yaş mekanik özelliklerinin taze harçta işlenebilirlik ve dayanıklılığına olan etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri verilere göre mikro kalsitli betonların erken yaş dayanım değerlerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bunların uçucu kül ve silis dumanı içeren betonlara göre daha geçirimli ve sülfat dayanıklılığının düşük olduğunu böylece kullanım alanlarının özenle seçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Mermer tozu ve taş unu gibi kalsit içeren mineral katkılarla ilgili yapılan araştırmalarda, söz konusu kalsit içerikli malzemelerin %10 ile %15 oranları arasında ilavesiyle beton dayanım ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirme potansiyeli olduğunu vurgulanmıştır (Tanyıldızı ve Coşkun, 2011; Aruntaş vd., 2007; Ünal ve Kibici, 2001).

Aruntaş, Dayı, Tekin, Birgül ve Şimşek, (2007) çalışmalarında atık mermer tozunun kendiliğinden yerleşen betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini deneysel çalışmalarla incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde atık mermer tozunun kendiliğinden yerleşen beton üretiminde çimento yerine %15 ile %20 oranları arasında ikame edilebilirliğini ve bu ikamenin basınç dayanımına olumlu yönde fayda sağladığını, ancak mineral katkı olarak kullanıldığında ise taze betonun kohezyonun özelliğini arttırdığını belirtmişlerdir.

Aruntaş, Gürü, Dayı ve Tekin, (2010), yürüttükleri çalışmalarında, çimento üretiminde kullanılan kalker tozunun, tane boyutlarında çeşitlilik meydana getirmesiyle tanelerin daha sıkı birleştiğini ve bu durumun erken yaştaki beton dayanımını arttırdığını ifade etmişlerdir.

Girskas ve Nagrockiene, (2017) yürüttükleri çalışmalarında, parçacık lastik agregayı ince agregayla %5 - 20 oranlarında yer değiştirerek, basınç dayanımın değerlerinde %61,3 ile 68 oranları arasında düşüş gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte parçacık lastiğin beton

içerisinde agrega olarak kullanımının birbiriyle bağlantılı boşlukları yok edip homojenliği arttırdığını saptamışlardır.

Thomas ve Gupta, (2016) yaptıkları deneysel çalışmada atıl lastiği %2,5'un katları halinde %0 ile %20 arasına kadar kum agrega ile yer değiştirmiştir. Basınç, eğilme, çekme, basınçlı su geçirimsizliği deneyleri yapılmış; basınç, eğilme, çekme ve basınçlı su geçirimsizliği deneyleri değerlerinin kontrol betona göre da kötü performans gösterdiği, aşınma ve su emme değerlerinin %10 hurda lastik kullanımına kadar kontrol betondan daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Sofi, (2017) çalışmasında hurda araç lastiklerini agrega olarak ve öğütürerek çimento dolgu malzemesi olarak kullanmıştır. Hem dolgu malzemesi olarak kullanılan sette daha fazla olmak üzere hem de agrega olarak kullanılan sette basınç dayanım değerlerinde ciddi azalmalar tespit edilmiş olup atık lastik ikamesinde ikame oranının, ince agreganın hacimce %12,5 oranda değişimi, en kabul edilebilir oran olarak belirtilmiştir. Hurda araç lastik agrega kullanılan betonlarda aşınma direnci kontrol karışımından daha yüksek bir değer gösterdiğinden dolayı bu betonların çatlak oluşum ve gevrek göçme potansiyelinin daha çok olduğu zeminler, kaldırımlar, tüneller, hidrolik yapılar, beton yollar ve baraj dolu savaklarında uygulanabilir olduğunu belirtmiştir.

Harith, (2018) yürüttüğü deneysel çalışmada beton karışımı içerisine ek olarak poliüretan bazlı köpük enjeksiyonu uygulamıştır. Bu yöntemle üretilen betonun basınç dayanımının yapısal elemanlarda kullanılabilmesi için asgari olarak 20 ile 30 MPa arasında basınç dayanımı göstermesi gerektiğini, bu durumu uçucu kül ilavesi ve su kürü etkinse maruz bırakılmasıyla sağlanabildiğinden bahsetmiştir.

Atasever ve Sevim, (2018) çalışmasında poliüretan lastik agrega ile iri kırmataş agrega hacimce %0 -25 oranları arasında %5'er oranlarda artırılarak yer değiştirmiştir. %10-15 aralığında bir poliüretan lastik agrega kullanımının beton üretiminde uygulanabilirliği ve bu şekilde tasarlanan betonların aşınmaya karşı gösterdiği direnç ve hafifliğinden dolayı çeşitli uygulama alanlarında; yapısal hafif beton üretimi, kilit parke taşları, beton bordürler, otoyol beton korkulukları gibi alanlarda kullanılabileceğinden bahsetmiştir.

Gupta, Chaudhary ve Sharma (2016) çalışmalarında atıl lastik lif kullanarak tasarladıkları betonlar için 3 farklı 0,35, 0,45 ve 0,55 su/çimento oranı kullanarak, ince agregayla lastiğin %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında yer değiştirdiği 6 adet farklı karışım hazırlamışlardır. Çalışmada ayrıca 3 farklı oranda silis duman içeriği %0, %5 ve 10% oranlarında çimento yerine ikame edilmiştir. Beton içerisinde atıl lastik lifleri ince agrega yerine kullandıklarında basınç dayanım değerlerinin azaldığını ancak silis dumanı ikamesiyle bu azalmaların nispeten engellenebileceğini, ayrıca atıl lastik lifinin beton elastikliğini yükselttiğini, deprem yükleri altında davranışa fayda edebileceğini, hava alanı döşemeleri, kaldırım, bariyer betonlarının üretiminde uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Topçu, Sarıdemir, Nohutçu (2007) çalışmalarında 0-4 mm boyutlarında değişen öğütülmüş atıl araç lastiği; 0-4 mm kum ile 1-31,5 mm tane boyutları arasında değişen kırma taş agrega kullanılarak hazırlanan beton karışımlarına basınç ve ultrases geçiş hızı deneyleri uygulamışlardır. Bu çalışmada beton içerisine ilave edilen lastiğin miktarı arttıkça basınç dayanım ve ultrases geçiş hızı değerleri azalmıştır. Bu deneylerdeki değer azalmalarının 0-1 mm'lik boyutta lastik agregalı betonlara nazaran 0-4 mm lastik agregalı betonlarda daha da fazla olduğu tespit edilmiştir.

Chen, Ma, Wang, Xie, Huang (2018) çalışmalarında beton otoyollarda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan asfaltın yerine poliüretan ilave ederek betonların buz kırma ve buzlanmama performansını araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre poliüretan kullanımıyla birlikte, poliüretan malzemenin özgül ısısının yüksek olmasında dolayı buz oluşma sürecinde artış görülmüştür. Ayrıca oluşan buzların betondan koparılma direnci poliüretan içerikli betonlarda normal betonlara göre %50 civarına yakın bir değerde azalma eğilimi göstermiştir. Bu veriler ışığında poliüretan bağlayıcı kullanılarak betonların soğuk bölgelerde trafik güvenliğini sağlamaya fayda sağlayabileceğinden bahsedilmiştir.

Topçu ve Toprak (2009) çalışmalarında uçucu külün ve atık lastik külünün beton numuneleri üzerinde uzun sürede etkisini araştırmışlardır. Yalnızca lastik külü içeren, lastik külü ve uçucu kül içeren ve sadece uçucu kül içeren karışımlar olarak 3 adet seri harç üretimi yapılmıştır. Lastik kül ve uçucu kül oranının artması çimento harçların mekanik özelliklerini, ağırlıkça su emme, ağırlık kaybı ve donma çözünme sonuçlarını olumsuz etkilemiştir. Yapılan çalışmada en yüksek değerler %10 oranında lastik külü kullanımındaki

numunelerde görülmüştür. Atıl lastiğin doğaya ve çevreye verdiği zararın hafif harç üretiminde değerlendirilmesiyle önüne geçilebileceği ifade edilmiştir.

Maraş (2013) yaptığı çalışmada; Elazığ ferrokrom cürufu ile bağlayıcı özelliğe sahip bir jeopolimer malzeme oluşturmayı amaçlamıştır. Bu kapsamda Elazığ ferrokrom cürufu çimento yerine kullanılarak farklı su/bağlayıcı oranlarında (0.30- 0.35-0.40) ve 3 adet kür koşulu etkisi altında harç numune üretimi yapılmıştır. Alkali aktivatörlerde sodyum hidroksit ve sodyum meta silikat kullanılmıştır. Jeopolimer harç numunelerinin priz süreleri, hidrasyon ısı, basınç dayanımı ve sülfat dirençleri sonuçları elde edilmiştir. Genel itibariyle jeopolimer harç numunelerin s/b oranının artışıyla basınç dayanım değerleri düşmüştür. Jeopolimer harç numuneler için en yüksek basınç dayanım değeri yaklaşık 35 MPa civarında tespit edilmiş ve jeopolimer harç numunelerin magnezyum sülfata karşı yüksek direnç göstermiş olduğu gözlenmiştir.

Kantarıcı (2013) yaptığı çalışmada; EFC'yi çimento inceliğinde öğüterek alkalilerle (Na_2SiO_3 ile NaOH) aktive etmiş ve agrega kullanarak jeopolimer beton numuneler üretmiştir. 3, 7 ve 28. günlerde bu jeopolimer beton numunelerin basınç dayanım değerleri bir kısım fiziksel özellikleri, 100°C ile 700°C aralığında 100°C 'lik periyotlarla yangın dayanım değerleri ile birlikte mikro yapısal özellikleri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen veriler, normal PÇ içerikli numunelerle kıyaslanmıştır. Elde edilen verilere göre, EFC ve aktivatör bir arada kullanılarak hazırlanan dere agregalı jeopolimer beton numunelerde 28 günlük basınç dayanım değerinin 35 MPa civarında olduğu gözlenmiştir. Bu basınç dayanım değeri aynı kür şartlarına maruz kalarak üretilen normal PÇ içerikli beton numunelerde elde edilen basınç dayanım değerinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yangın etkisi altındaki basınç dayanım değerlerinde ise kontrol numunelerine nazaran, tüm karışımlarda 100 ile 300°C sıcaklıklarda basınç dayanımı değerlerinde yükseliş olduğu tespit edilmiştir. 700°C yangın etkisinde ise tüm beton numunelerinde en düşük basınç dayanım değerleri görülmüştür.

Kalkan (2017) jeopolimer betonlarda EFC'yi bağlayıcı materyal olarak kullanmıştır. 45 mikron boyutları altında öğütülen EFC; sodyum hidroksit ve sodyum meta silikat ile birlikte aktive edilerek ve dere agregası kullanılarak jeopolimer beton karışımları üretilmiştir. Bu jeopolimer beton numunelerde 1,25-1,50 ile 1,75 silis modülleri tercih edilmiştir. Ayrıca bağlayıcı madde yerine %10 -20 oranında silis dumanı eklenerek de karışımlar üretilmiştir.

Böylece toplamda 9 seri jeopolimer karışımı üretilmiştir. Numunelerin 24, 48, 72 ve 96 saat süresince ve 23, 40, 60, 80 ile 100°C'de farklı kür sıcaklıkları etkisinde basınç dayanım değerleri bulunmuştur. Elde edilen deney verilerine göre kür sıcaklığı ve kür süreleri arttıkça basınç dayanım değerlerinin yükseldiği, fakat silis dumanının ilavesiyle birlikte yüksek kür sıcaklıklarının numune fiziki yapısını bozması sebebiyle basınç dayanım değerlerinin düştüğü ve numunelerin iç ve dış yapısında oluşan çatlakların artarak büyüdüğü gözlenmiştir. %100 EFC içerikli, 1,25 silis modülü olan ve 100°C'de 96 saat boyunca küre kalmış numunelerde 20 Mpa civarındaki en yüksek basınç dayanım değerine ulaşılmıştır.

Özcan (2018); yaptığı çalışmasında bağlayıcı malzeme yerine EFC ve yüksek fırın cürufu kullanmış ve bu yöntemle üretilen jeopolimer beton numunelerin sülfat, tuz ve asit saldırılarına karşı davranışını araştırmıştır. Bu çalışmada EFC yerine %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında yüksek fırın cürufu ikame edilerek 5 seri jeopolimer beton numune üretimi yapılmıştır. Bu jeopolimer numuneler 28 gün boyunca su kürü etkisindeki sürelerini tamamladıktan sonra 12 hafta boyunca, %5 konsantrasyona sahip hidroklorik asit, sülfürik asit, hidroflorik asit, fosforik asit, magnezyum klorür, sodyum klorür, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerine maruz bırakılmıştır. Bu süre içerisinde üretilen numunelerin ağırlık ve boy değişimleri, basınç dayanımları, UPV'leri belirlenmiş ve görsel değişimleri ile iç yapıları incelenmiştir. Elde edilen test verileri, aynı yaştaki kontrol numunelerin test verileriyle kıyaslanmıştır. Jeopolimer beton numuneler görsel olarak değerlendirildiğinde sülfat ve tuz çözeltileri içerisinde bekletilen jeopolimer numunelerde bir bozulma tespit edilmezken, asit çözeltileri içerisinde bekleyen numunelerde; hidroflorik asit ile fosforik asit çözeltilerinde bekleyen jeopolimer numunelerin yüzeylerinde çatlak oluşumu görülmüş ve yüzeylerinde bozulmalar tespit edilmiştir. Hidroklorik asit çözeltisi içerisinde bekleyen numunelerde yüzey çatlağı görülmemiş fakat bu numunelerin renginde koyulaşma tespit edilmiştir.

Keskinkılınç (2019) deneysel çalışmasında; beton üretimi için normal PÇ kullanmaktan ziyade PÇ ile aynı boyutlarda öğütülen %10, 20 ve 30 oranlarında EFC ve atıl mermer tozu ikamesi kullanarak 25, 60 ve 90°C sıcaklıklarında, alkali aktivatörlerle beton üretimi yapmıştır. Çalışmada kullanılan alkali aktivatörler 16, 18 ve 20 mol değerlerine sahip olan sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileridir. Çalışmada aktivatör/bağlayıcı oranı 0.40 olarak belirlenmiştir. Taze harç halindeki numuneler için priz başlama ve bitiş süreleri ile kıvam tayini testleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numuneler için

ise her bir sıcaklık için birim ağırlık, ultrases geçiş hızı tayini ve kapilarite deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında mikro içyapı analizleri için SEM ve XRD görüntüleme yöntemleri uygulanmıştır. Deneysel verilerinde elde edilen sonuçlara göre karışımlarda atıl mermer tozu içeriği ve mol değeri yükseldikçe numunelerin genel olarak daha erken priz aldığı ve ultrases geçiş hızlarının atıl mermer tozu oranının yükselmesiyle düştüğü; mol oranının artmasıyla da yükseldiği gözlenmiştir. Bağlayıcı olarak çimento kullanılmadan EFC ve atıl mermer tozu ile 16 MPa basınç dayanım değeri üzerinde alkali aktivatörlerle üretimler elde edilebildiği ve mol değerlerindeki yükselmeye birlikte lineer olarak basınç dayanım değerlerinin de daha yüksek değerler verme potansiyeli olduğu düşüncesine varılmıştır.

Mohabbi (2020) yaptığı çalışmada; mikro ve nano ölçekteki silis materyallerin EFC içerikli jeopolimerlere olan etkisini araştırmıştır. Alümino-silis kaynağı olarak Elazığ ferrokrom cürufu kullanılmıştır. Jeopolimere dönüşme sürecini erkene almak amacıyla silis dumanı ve Nano-silis, cüruf ağırlığının %2'şer oranlarda artarak %2 ile %10 arasında yerine ikame edilmiştir ve bu kullanılan materyallerin elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve mikro yapı görüntüleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, jeopolimer harçlara belirli miktarda ince silis malzeme ikamesiyle birlikte jeopolimerin yapılan tüm deneyler için mekanik ve mühendislik özelliklerine katkı sağladığı belirlenmiştir. EFC yerine farklı ve 15, 30 ve 45 nanometre boyutlarında ve mikro boyutlarda silis kullanımının en uygun oranı %6 olarak tespit edilmiştir. Jeopolimerler optimum değerlerde nano-silis kullanımı, SEM görüntülerindeki incelemeyle malzemeye homojenlik sağladığını ve kimyasal bağlarında iyileşme olduğunu göstermektedir. Basınç dayanım değerlerinde bahsedilen artışın, nano-silis ve silis dumanının optimum değerlerde kullanılmasıyla malzeme homojenliğinin artması ve kimyasal bağ iyileşmesindeki artıştan kaynaklandığı fikrini vermektedir.

Mısır (2021) yaptığı çalışmada, çimento yerine aynı incelikte öğütülmüş ferrokrom cürufu, %5, %10 ve %15 oranlarında mermer tozu ve % 0,5 oranında cam lifi kullanarak alkalilerle aktive edilen harç numuneler üretmiştir. Alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) çözeltileri kullanılmıştır ve NaOH/ Na_2SiO_3 oranı 1/2 olarak belirlenmiştir. Aktivatör/bağlayıcı oranı 0.35, 0.40 ve 0.45 olarak alınmış ve numunelere 24 saat boyunca 90 aktivasyon sıcaklığı uygulanmıştır. Harç numunelerine kıvam tayini, priz başlama ve bitiş süreleri tayini, basınç dayanımı, aşınma dayanımı, birim ağırlık deneyi,

kapilarite deneyi, ultrases deneyi ve ayrıca 28 günlük numunelere sülfat etkisi ve donma-çözünme deneyleri uygulanmıştır. Çalışmada mikro yapı incelemeleri için SEM analizlerinden faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çimento kullanmaksızın, Elazığ ferrokrom cürufu ile 20 MPa üzerinde alkali aktivasyonlu karışımlar elde edildiği gözlenmiştir. Alkali aktivasyonlu harçların hızlı priz probleminin çözümü için bazı katkı malzemelerinin kullanımının uygun olacağı görüşüne varılmıştır.

Taştimur (2021) yaptığı çalışmada; %10, %20 ve %30 oranında F sınıfı uçucu kül ile birlikte ferrokrom cürufu içeren birincil grup karışımlar ve %10, %20 ve %30 oranlarında C sınıfı uçucu kül ile ferrokrom cürufu içeren ikincil grup karışımlar hazırlamıştır. Ayrıca eğilme dayanımı açısından olumlu sonuçlar elde etmek için tüm karışımlarda %0,5 oranında cam lifi kullanmıştır. Alkali aktivatör olarak 16 molarite NaOH ve Na₂SiO₃ kullanılarak aktivatör/bağlayıcı oranı 0,35- 0,40-0,45 ve 0,50 olan seriler hazırlanıp 90°C aktivasyon sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. F ve C sınıfı uçucu kül içeren karışımların mekanik ve durabilite özellikleri incelenerek karşılaştırma yapılmıştır. Mikro yapı incelemeleri için SEM ve XRD analizlerinden yararlanılmıştır. F ve C sınıfı uçucu kül içeren karışımların en uygun aktivatör oranları belirlenmiş ve F sınıfı uçucu külde 36,48 MPa, C sınıfı uçucu külde 18,65 MPa basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. F sınıfı uçucu kül içeren karışımların işlenebilirliğinin C sınıfı uçucu kül içeren karışımlardan daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiş bunun yanı sıra aktivatör/bağlayıcı oranı arttıkça işlenebilirlik artmıştır. Çalışmada F sınıfı uçucu kül içeren harçların Elâzığ ferrokrom cürufu ile birlikte kullanımının daha olumlu sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1. Çimento

Bu tez çalışmasında, Kahramanmaraş çimento fabrikasına ait CEM I 42,5R portland çimentosu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimentonun özelliğini kaybetmemesine özen gösterilerek ve nem almayacak şekilde korunmuştur. Çalışmada kullanılan çimentonun blaine özgül yüzeyi $3880 \text{ cm}^2/\text{gr}$ olup özgül ağırlığı 3.15 gr/cm^3 'tür. Çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42.5 R çimento kimyasal analiz sonuçları

Oksitler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Kızdırma kaybı
% içerik	19,55	5,31	4,15	2,48	62,3	0,85	0,88	2

3.1.2. Mikronize kalsit (MK)

Tez çalışması içerisinde, Niğde ilinde etkinlik gösteren Öncü Mühendislik İnşaat San. ve Tic. A.Ş.'den elde edilen <125 mikron boyutunda, sertliği 3 mohs ve özgül ağırlığı 2.7 gr/cm^3 olan mikronize kalsit bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Mikronize kalsite ait kimyasal özellikler Çizelge 3.2.'de ve görüntü Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Mikronize kalsit kimyasal analiz sonuçları

Oksitler	Cl-	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaCO ₃
% içerik	0,01	0,01	0,02	0,2	99,6



Şekil 3.1. Kullanılan mikronize kalsit

3.1.3. Elazığ ferrokrom cürufu (EFC)

Bu deneysel çalışma kapsamında, Elazığ ferrokrom tesislerinden temin edilen ferrokrom cürufu kullanılmıştır. Kullanılan ferrokrom cürufunun özgül ağırlığı 2.86 gr/cm^3 olup, 125 mikron elekten geçen malzeme bağlayıcı olarak kullanılmıştır. EFC'ye ait kimyasal özellikler Çizelge 3.3.'te, granülometrisi Çizelge 3.4.'te ve görüntüsü Şekil 3.2.' de verilmiştir.

Çizelge 3.3. EFC kimyasal analiz sonuçları

Oksitler	SiO ₂	CaO	CR ₂ O ₃	Cr	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO
% içerik	30,08	0,85	4,68	6,83	1,95	23,93	38,17

Çizelge 3.4. EFC granülometrisi

Elek açıklığı (μm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığılımlı ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığılımlı ağırlık (%)	Elekten geçen (%)
250	0	0	0,00	100,0
125	0	0	0,00	100,0
90	3005	3005	66,38	33,6
63	962,5	3967,5	87,64	12,4
45	514,5	4482	99,01	1,0
38	32	4514	99,71	0,3
Tepsi	13	4527	100	0,0



Şekil 3.2. Kullanılan EFC'nin elenmesi

3.1.4. Agregalar

Çalışmada, doğal kırma kum agrega ve poliüretan lastik agrega kullanılmış olup kırma kum ve poliüretan lastik agrega özgül ağırlıkları TS EN 1097-6'ya (2012) göre sırasıyla $2,62 \text{ gr/cm}^3$ ve $0,55 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 3.3.'te agregalara ait görüntüler verilmiştir.

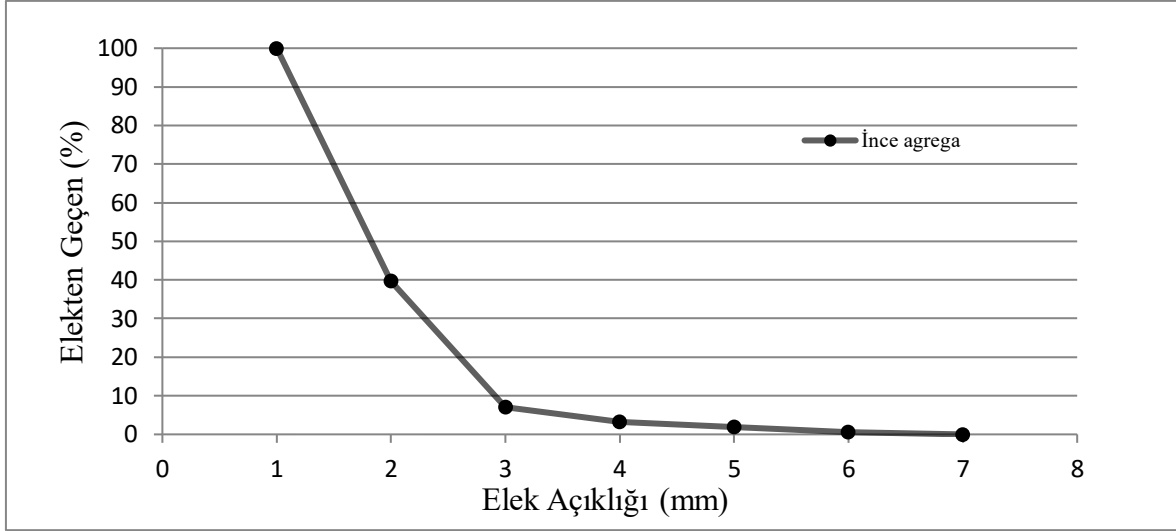


Şekil 3.3. Doğal kırma kum ve PLA (Poliüretan lastik agrega)'ya ait görüntüler

Çalışmada İskenderun bölgesinden temin edilen doğal taş kırma kum agrega kullanılmış olup Çizelge 3.5'te granülometrisi ve Şekil 3.4.'te elek analiz grafiği verilmiştir.

Çizelge 3.5. Doğal kırma kum agrega granülometrisi

Elek açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışımli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışımli ağırlık yüzdesi (gr)	Elekten geçen (%)
8	17	17	0,89	99,1
4	26,8	43,8	2,28	97,7
2	838,8	882,6	45,98	54,0
1	381,4	1264	65,85	34,1
0.5	581,5	1845,5	96,14	3,9
0.25	45,2	1890,7	98,50	1,5
Tepsi	28,8	1919,5	100	0,0

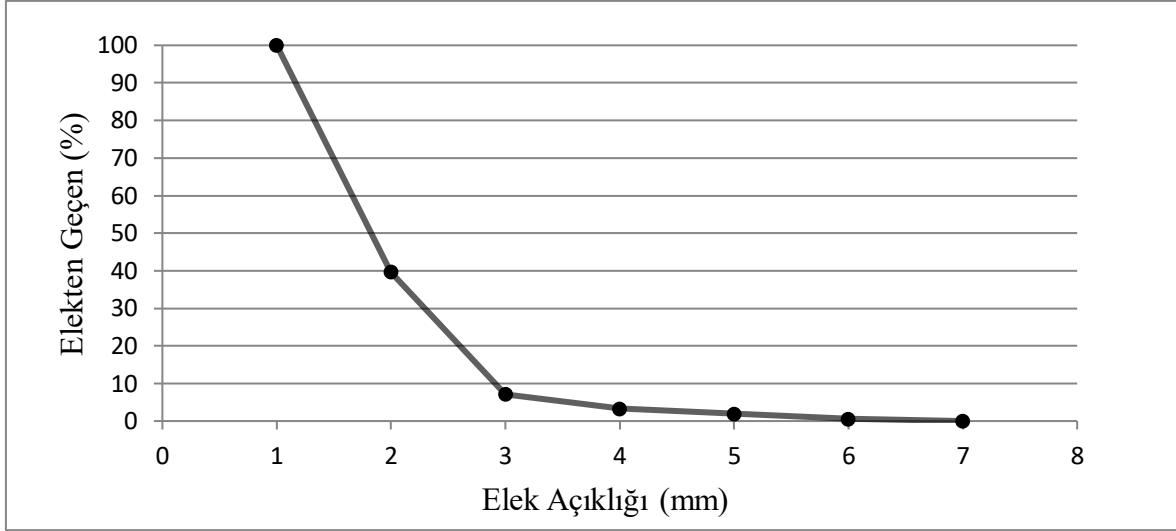


Şekil 3.4. Doğal kırma kum agrega elek analiz grafiği

Deneysel çalışmada kullanılan Antakya Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren Alkan taban fabrikasından temin edilmiş poliüretan lastik agrega kullanılmıştır. Çizelge 3.6'da granülometrisi ve Şekil 3.5.'te elek analizi grafiği verilmiştir.

Çizelge 3.6. PLA granülometrisi

Elekt açıklığı (mm)	Elekt üstünde kalan ağırlık (gr)	Elekt üstünde kalan yığışımli ağırlık (gr)	Elekt üstünde kalan yığışımli ağırlık yüzdesi (gr)	Elekten geçen (%)
8	0	0	0,00	100,0
4	289	289	60,27	39,7
2	156,5	445,5	92,91	7,1
1	18	463,5	96,66	3,3
0.5	7	470,5	98,12	1,9
0.25	6	476,5	99,37	0,6
Tepsi	3	479,5	100	0,0



Şekil 3.5. PLA elek analiz grafiği

3.1.5. Harç karışım ve kür suyu

Bu tez çalışmasında harç karışım ve kür suyu olarak İskenderun'a ait şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.6. Süper akışkanlaştırıcı (SA)

Tüm karışımlarda işlenebilirliği artırmak için yüksek oranda su azaltıcı etkili opak renkli süper akışkanlaştırıcı madde kullanılmıştır. Yoğunluğu 1,063-1,103kg/lt'dir.

3.2. Çimento Harç Karışım Tasarımı

Bu tez çalışmasında, çimento harç karışım oranlarının hesabı TS 802'de (2009) izah edilen mutlak hacim metodu uygulanarak yapılmıştır. Karışımların üretiminde kullanılan su/bağlayıcı (s/b) oranı 0.60'tır. Bağlayıcı malzeme olarak çimento haricinde EFC ve MK katkısı kullanılmış olup, EFC ve MK ikamesinin çimento ile ağırlıkça %10, %15 ve %20 oranlarında ve agrega olarak doğal kırma kum miktarının hacimce %0, %10 ve %20'sinin yerine PLA ile yer değiştirilmesi sonucu 3 sette toplam 39 farklı karışım hazırlanmıştır. Kullanılan etiketlerde ifade edilen harfler için M: mikronize kalsiti, F: ferrokrom cürufunu ve L: lastik agregayı ve yanındaki sayı ise yüzde olarak içeriğini ifade etmektedir. Üretilen karışımların su/bağlayıcı (s/b) oranı ve akışkanlaştırıcı katkısı tüm karışımlar için sabit tutularak hazırlanmıştır. Bir metreküp çimento harç numune karışımı için kullanılan malzemeler Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. 1 m³ çimento harç numune için gerekli malzemeler (kg/m³)

Karışım etiketi	Çimento	MK	EFC	Kırma kum	PLA	SU	SA
L0-M0-F0	500	0	0	1418,27	0	300	2
L0-M0-F10	450	0	50	1413,91	0	300	2
L0-M0-F15	425	0	75	1411,8	0	300	2
L0-M0-F20	400	0	100	1409,69	0	300	2
L0-M5-F5	450	25	25	1412,55	0	300	2
L0-M5-F10	425	25	50	1410,45	0	300	2
L0-M5-F15	400	25	75	1408,33	0	300	2
L0-M10-F0	450	50	0	1411,19	0	300	2
L0-M10-F5	425	50	25	1409,09	0	300	2
L0-M10-F10	400	50	50	1406,98	0	300	2
L0-M15-F0	425	75	0	1407,75	0	300	2
L0-M15-F5	400	75	25	1405,64	0	300	2
L0-M20-F0	400	100	0	1404,26	0	300	2
L10-M0-F0	500	0	0	1276,41	29,77	300	2
L10-M0-F10	450	0	50	1272,52	29,68	300	2
L10-M0-F15	425	0	75	1270,62	29,63	300	2
L10-M0-F20	400	0	100	1268,72	29,59	300	2
L10-M5-F5	450	25	25	1271,59	29,65	300	2
L10-M5-F10	425	25	50	1269,4	29,6	300	2
L10-M5-F15	400	25	75	1267,49	29,57	300	2
L10-M10-F0	450	50	0	1270,07	29,62	300	2
L10-M10-F5	425	50	25	1268,18	29,58	300	2
L10-M10-F10	400	50	50	1266,28	29,54	300	2
L10-M15-F0	425	75	0	1266,97	29,55	300	2
L10-M15-F5	400	75	25	1265,07	29,5	300	2
L10-M20-F0	400	100	0	1263,83	29,51	300	2
L20-M0-F0	500	0	0	1134,61	59,54	300	2
L20-M0-F10	450	0	50	1131,27	59,36	300	2
L20-M0-F15	425	0	75	1129,44	59,27	300	2
L20-M0-F20	400	0	100	1127,75	59,18	300	2
L20-M5-F5	450	25	25	1130	59,3	300	2
L20-M5-F10	425	25	50	1128,36	59,21	300	2
L20-M5-F15	400	25	75	1126,66	59,13	300	2
L20-M10-F0	450	50	0	1128,95	59,25	300	2
L20-M10-F5	425	50	25	1127,25	59,16	300	2
L20-M10-F10	400	50	50	1125,58	59,07	300	2
L20-M15-F0	425	75	0	1126,2	59,1	300	2
L20-M15-F5	400	75	25	1124,5	59,01	300	2
L20-M20-F0	400	100	0	1123,4	58,95	300	2

3.2.1. Çimento harç numune üretimi

Bu tez çalışması kapsamında çimento harç üretiminde 17 litrelik hacme sahip leğen ve mala kullanılarak harç üretimi yapılmıştır. Her bir karışım için $3,072 \text{ dm}^3$ hacme sahip harç üretimi yapılmıştır. Harç için gerekli olan malzemeler hassas terazi ile ölçülmüş, leğen içerisinde önce bağlayıcı malzemeler homojen bir görünüm elde edene kadar karıştırılmıştır. Sonrasında üretim için gerekli olan agregalar leğen içerisine ilave edilerek homojen bir kuru karışım görünümü elde edilene dek karıştırılmıştır. Daha önce tartılan su ve akışkanlaştırıcı katkı tek bir karışım suyu olacak hale getirilip yavaşça kuru karışım içerisine ilave edilerek aynı zamanda mala yardımıyla karıştırılmıştır. Yeterince karıştırıldıktan sonra elde edilen taze çimento harcı $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ boyutlarındaki daha önceden yüzeyi yağlanmış olan kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplar doldurulduktan sonra sarsma tablası üzerine alınarak iyice yerleşmesi ve sıkışması sağlanmıştır. 24 saat boyunca priz alması için bekletilen numuneler bu sürenin sonunda kalıplarından alınarak 7 ve 28 gün boyunca su ve hava kürü etkisine maruz bırakılmıştır. Taze harcin görüntüsü Şekil 3.6.'da, sarsma tablasına alınması işlemi Şekil 3.7.'de, su ve hava kürü işlemine bırakılması Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Taze çimento harç görüntüsü



Şekil 3.7. Sarsma tablasına alınan harç kalıbı



Şekil 3.8. Su ve hava küründe bekleyen numuneler

3.3. Deney Yöntemleri

3.3.1. Taze harç birim hacim ağırlık deneyi

Taze haldeki harç belirli bir kap içerisine doldurularak sıkıştırılır ve yerleştirilen taze harç net ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle Eş. 3.1.'e göre elde edilir.

$$TBHA = (W_1 - W_2) / V \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte,

W_1 : Taze harç ağırlığı+Kabın ağırlığı, gr

W_2 : Kabın ağırlığı, gr

V : Kabın hacmi, cm^3 'ü temsil etmektedir.

3.3.2. Sertleşmiş harç birim hacim ağırlık deneyi

Sertleşmiş haldeki çimento harçlarından 3 adedinin net ağırlıkları bulunarak sahip oldukları hacme bölünür değerlerin aritmetik ortalamaları alınır. Eş. 3.2'ye göre sertleşmiş harç birim hacim ağırlığı elde edilir. Şekil 3.9'da numune tartma işlemine ait görüntü verilmiştir.

$$SBHA = (N_t / V_t) \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte,

N_t : 3 adet numune ağırlık ortalaması

V_t : 3 adet numune hacim ortalaması



Şekil 3.8. Sertleşmiş harç numunelerin tartılması

3.3.3. Ultrases geçiş hızı deneyi (UPV)

UPV deneyi ultrasonik dalganın, çimento harcının her iki ucu arasındaki ilk varış süresini ölçmektedir. Tahribatsız uygulanan bir deneydir. Çimento harcın göreceli kalitesinin ve bazı kusurlarının (boşluklar, çatlaklar ve onarımlarının etkinliği vb.) yaklaşık olarak tahmin edilmesine imkan sağlamaktadır. UPV testleri 40x40x160 mm boyutlarında, 7 ve 28 gün boyunca hava ve su kürüne maruz bırakılmış 3'er adet harç numune üzerinde uygulanmıştır. Bu deney harcın aralarında 40 mm mesafe olan yüzeyleri üzerinde 54 kHz ses titreşim aralığında uygulanmıştır. UPV değerleri Eş. 3.3'e göre elde edilmiştir. Whitehurst (1951) tarafından betonun kalitesinin belirlenmesi amacıyla UPV değer aralıklarına göre sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırma Çizelge 3.8'de, deneyin yapılışına ait görüntü Şekil 3.9'da verilmiştir.

$$V = l / t \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

V: Sesin hızı, (km/sn)

t: Sesin varış süresi, (saniye)

l: Ölçü mesafesi, (km) olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3.8. Beton kalitesi ve ultrasonik dalga hızı aralıkları (Whitehurst, 1951)

Beton niteliği	Ses dalga hızı (m/s)
Mükemmel	>4500
İyi	3500-4500
Orta	3000-3500
Kötü	2000-3000
Çok Kötü	< 2000



Şekil 3.9. Harç numunelerde UPV değerlerinin bulunması

3.3.4. Eğilme dayanımı deneyi

Çimento harç numunelerinin eğilme dayanımları belirlenmiştir. Eğilme deneyi hem 7. günde hem de 28. günde 40x40x160 mm boyutlu numuneler üzerinde yapılmıştır. Harç numunelere uygulanan yükleme hızı 0.05 kN/s'dir. Her kür koşulu ve test yaşı için 3 adet harç numune kullanılmıştır. Eğilme dayanımları, 3 adet numuneden alınan değerlerin aritmetik ortalamasıyla elde edilmiştir. Bu deney yöntemi sayesinde eğilme deneyine tabi tutulan harç numunelerin ayrılan iki kısım deney metoduna göre basınç dayanımının tayini için

kullanılabilmektedir. Eş 3.4'e göre eğilme dayanımları bulunmuştur. Deneyin yapılışı ve deney düzeneği Şekil 3.10.'da verilmiştir.

$$\sigma_e = (3 \times P \times L) / (2 \times b \times h^2) \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte,

σ_e : Eğilme dayanımı, N/mm²

P= Yük, N

L= Mesnetler arası mesafe

b= Kiriş genişlik mesafesi, mm

h= Kiriş yükseklik mesafesi, mm'yi temsil etmektedir.



Şekil 3.10. Eğilme deneyi yapılışı ve deney düzeneği

3.3.5. Basınç dayanımı

Çimento harç numunelerinin basınç dayanımları tayininde, eğilme dayanımını belirlemek için kullanılan 40x40x160mm boyutlarındaki numunelerden elde edilen iki parça da kullanılarak, her bir karışımın 7. ve 28. günlerde hava ve su kürü için ayrı ayrı 6'şar adet numuneden toplamda 12 adet basınç değeri elde edilmiştir. Basınç dayanımı tayininde çimento harç numunelere sabit olarak 2.4 kN/s yükleme hızı uygulanmıştır. Maksimum gerilmeler MPa cinsinden elde edilmiştir. Ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak numunelerin basınç dayanımları belirlenmiştir. Eş. 3.5'e göre basınç dayanımları bulunmuştur. Deneyin yapılışı ve deney düzeneği Şekil 3.11.'de verilmiştir.

$$\sigma_b = P / A \quad (3.5)$$

σ_b = Basınç dayanımı, N/mm²

P= Kırılma anında uygulanan yük, N

A= Basınç uygulanan yüzeyin alanı, mm²



Şekil 3.11. Basınç deneyi yapılışı ve düzeneği

3.3.6. Dinamik elastisite modülü tayini (DEM)

Deneysel çalışmalar neticesinde 7 ve 28 gün boyunca farklı kür koşullarına maruz bırakılan harç numunelerden elde edilen Sertleşmiş harç birim hacim ağırlıkları ve ultrases geçiş hızı test sonuçları baz alınarak Eş. 3.6'ya göre dinamik elastisite modülü tayini yapılmıştır.

$$E_d = (V^2 n (1 + \mu) (1 - 2\mu)) / (1 - \mu) \times (10^{-6}) \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte,

E_d = Dinamik elastisite modülü, (MPa)

V = Puls hızı, (m/sn)

n = Sertleşmiş harç birim hacim ağırlık, (kg/m^3)

μ = Poisson oranı

Poisson oranı yüksek kalitedeki beton numuneler için 0,15, düşük kalitedeki beton numuneler için 0,3 olarak kabul edilmiştir. Bu tez çalışmasında poisson oranı $\mu = 0,2$ olarak kabul edilmiştir.

3.3.7. SEM analizi

Taramalı elektron mikroskobu veya SEM (scanning electron microscope), odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu tipidir. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. Elektron demeti raster tarama ile yüzeyi tarar ve demetin konumu, algılanan sinyalle eşleştirilerek görüntü oluşturulur. SEM ile 1 nanometreden daha yüksek çözünürlüğe ulaşılabilir.

SEM'de görüntü oluşturmak için en çok, elektron demeti tarafından uyarılan numune atomlarının yaydığı ikincil elektronlardan (SE) faydalanılır. Numunenin farklı bölgelerinden kopan ikincil elektronların sayısındaki değişim öncelikle demetin yüzeye buluşma açısına, yani yüzeyin topografisine bağlıdır. İkincil elektronların yanında geri saçılan elektronlar (BSE), karakteristik X-ışınları, ışık (elektron demeti) (CL), numune akımı ve aktarılan elektronlarla da numuneden çeşitli sinyaller elde edilerek amaca uygun topografi ve kompozisyon analizleri yapılır.

3.3.8. EDS analizi

Energy dispersive spectroscopy analizinin çalışma prensibi, numune yüzeyine gönderilen elektron demetlerinin bahsedilen bu iç kabuktaki elektronlara çarparak yerinden çıkarması ve burada bir boşluk oluşmasına dayanır. Yer değiştiren bu elektronun bıraktığı boşluğa daha yüksek enerji seviyesine ait olan kabuktan bir elektron yerleşir ve bu esnada yeni konumuna yerleşen elektron bu iki kabuk arasındaki enerji farkını X-Işını olarak serbest bırakır. Bu karakteristik X-Işını malzemeye özgüdür ve malzeme karakterizasyon tekniklerinde spesifik tanımlamalar yapmak için kullanılmaktadır. Bu işlem sırasında oluşturulan X-Işınları sinyali ölçen ve yazılım sayesinde analiz edebilen bir silikon sürüklenme detektörü tarafından toplanır. Temel olarak kimyasal bilgiler nokta veya hat tarama şeklinde görselleştirilebilir. Bu yöntem ile bir numunede bulunan her bir elementi tanımlamak için karakteristik X-ışınları kullanılmış olur.

4. ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR

4.1. Taze Harç Birim Hacim Ağırlık Deneyi (THBA)

Harç karışımında çimento yerine % 10, 15 ve 20 oranlarında EFC ve MK ikame edilerek %0, 10 ve 20 PLA agregalı 3 adet serideki harçların TBHA'ları bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de verilen değerler her sette 3 numune dikkate alınarak, setlerin ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 4.1. Taze harçların birim hacim ağırlıkları

%0 PLA	TBHA (kg/m ³)	%10 PLA	TBHA (kg/m ³)	%20 PLA	TBHA (kg/m ³)
L0-M0-F0	2328	L10-M0-F0	2249	L20-M0-F0	2119
L0-M0-F10	2306	L10-M0-F10	2180	L20-M0-F10	2099
L0-M0-F15	2290	L10-M0-F15	2137	L20-M0-F15	2096
L0-M0-F20	2284	L10-M0-F20	2129	L20-M0-F20	2091
L0-M5-F5	2313	L10-M5-F5	2197	L20-M5-F5	2097
L0-M5-F10	2307	L10-M5-F10	2198	L20-M5-F10	2089
L0-M5-F15	2305	L10-M5-F15	2179	L20-M5-F15	2082
L0-M10-F0	2302	L10-M10-F0	2172	L20-M10-F0	2084
L0-M10-F5	2293	L10-M10-F5	2171	L20-M10-F5	2081
L0-M10-F10	2239	L10-M10-F10	2155	L20-M10-F10	2079
L0-M15-F0	2288	L10-M15-F0	2154	L20-M15-F0	2075
L0-M15-F5	2297	L10-M15-F5	2146	L20-M15-F5	2071
L0-M20-F0	2278	L10-M20-F0	2128	L20-M20-F0	2054

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere taze çimento harçlarda yalnızca çimento ve %20 PLA kullanımıyla yaklaşık %9 oranında ağırlıklarda azalma görülürken, %20 MK ve %20 PLA kullanılan harçlarda %11,75'a varan bir ağırlık azalması görülmüştür.

4.2. Sertleşmiş Harç Birim Hacim Ağırlık Deneyi (SBHA)

7 ve 28 günlük suya doygun numunelerin birim hacim ağırlıkları sırasıyla Çizelge 4.2 ile Çizelge 4.3'te ve hava kürüne maruz bırakılmış olan numunelerin birim hacim ağırlıkları sırasıyla Çizelge 4.4 ile 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. 7 günlük suya doymun numunelerin birim hacim ağırlığı

%0 PLA	SBHA (kg/m ³)	%10 PLA	SBHA (kg/m ³)	%20 PLA	SBHA (kg/m ³)
L0-M0-F0	2282	L10-M0-F0	2126	L20-M0-F0	2085
L0-M0-F10	2208	L10-M0-F10	2076	L20-M0-F10	2079
L0-M0-F15	2203	L10-M0-F15	2045	L20-M0-F15	2077
L0-M0-F20	2176	L10-M0-F20	2067	L20-M0-F20	2067
L0-M5-F5	2287	L10-M5-F5	2098	L20-M5-F5	2002
L0-M5-F10	2233	L10-M5-F10	2128	L20-M5-F10	2068
L0-M5-F15	2255	L10-M5-F15	2141	L20-M5-F15	2033
L0-M10-F0	2203	L10-M10-F0	2142	L20-M10-F0	2033
L0-M10-F5	2244	L10-M10-F5	2073	L20-M10-F5	2029
L0-M10-F10	2196	L10-M10-F10	2118	L20-M10-F10	2025
L0-M15-F0	2200	L10-M15-F0	2167	L20-M15-F0	2057
L0-M15-F5	2272	L10-M15-F5	2117	L20-M15-F5	1974
L0-M20-F0	2175	L10-M20-F0	2120	L20-M20-F0	2059

Çizelge 4.3. 28 günlük suya doymun numunelerin birim hacim ağırlığı

%0 PLA	SBHA (kg/m ³)	%10 PLA	SBHA (kg/m ³)	%20 PLA	SBHA (kg/m ³)
L0-M0-F0	2286	L10-M0-F0	2141	L20-M0-F0	2052
L0-M0-F10	2260	L10-M0-F10	2102	L20-M0-F10	2001
L0-M0-F15	2192	L10-M0-F15	2055	L20-M0-F15	2053
L0-M0-F20	2180	L10-M0-F20	2081	L20-M0-F20	202
L0-M5-F5	2295	L10-M5-F5	2116	L20-M5-F5	2065
L0-M5-F10	2285	L10-M5-F10	2164	L20-M5-F10	2016
L0-M5-F15	2274	L10-M5-F15	2142	L20-M5-F15	205
L0-M10-F0	2233	L10-M10-F0	2151	L20-M10-F0	2021
L0-M10-F5	2232	L10-M10-F5	2116	L20-M10-F5	202
L0-M10-F10	2237	L10-M10-F10	2169	L20-M10-F10	2020
L0-M15-F0	2203	L10-M15-F0	2186	L20-M15-F0	2000
L0-M15-F5	2272	L10-M15-F5	2201	L20-M15-F5	2020
L0-M20-F0	2180	L10-M20-F0	2239	L20-M20-F0	2012

Çizelge 4.4. 7 günlük hava kürüne bırakılmış numunelerin birim hacim ağırlığı

%0 PLA	SBHA (kg/m ³)	%10 PLA	SBHA (kg/m ³)	%20 PLA	SBHA (kg/m ³)
L0-M0-F0	2168	L10-M0-F0	2030	L20-M0-F0	1936
L0-M0-F10	2155	L10-M0-F10	1998	L20-M0-F10	1998
L0-M0-F15	2098	L10-M0-F15	1978	L20-M0-F15	1901
L0-M0-F20	2175	L10-M0-F20	2075	L20-M0-F20	1894
L0-M5-F5	2154,	L10-M5-F5	1979	L20-M5-F5	1928
L0-M5-F10	2204	L10-M5-F10	2042	L20-M5-F10	1956
L0-M5-F15	2131	L10-M5-F15	2008	L20-M5-F15	1985
L0-M10-F0	2098	L10-M10-F0	2061	L20-M10-F0	1938
L0-M10-F5	2117	L10-M10-F5	2026	L20-M10-F5	1916
L0-M10-F10	2114	L10-M10-F10	2125	L20-M10-F10	1904
L0-M15-F0	2149	L10-M15-F0	2068	L20-M15-F0	1936
L0-M15-F5	2151	L10-M15-F5	2065	L20-M15-F5	1946
L0-M20-F0	2119	L10-M20-F0	2096	L20-M20-F0	1940

Çizelge 4.5. 28 günlük hava kürüne bırakılmış numunelerin birim hacim ağırlığı

%0 PLA	SBHA (kg/m ³)	%10 PLA	SBHA (kg/m ³)	%20 PLA	SBHA (kg/m ³)
L0-M0-F0	2194	L10-M0-F0	2054	L20-M0-F0	1939
L0-M0-F10	2127	L10-M0-F10	1981	L20-M0-F10	1869
L0-M0-F15	2108	L10-M0-F15	1953	L20-M0-F15	1903
L0-M0-F20	2144	L10-M0-F20	2020	L20-M0-F20	1936
L0-M5-F5	2178	L10-M5-F5	1981	L20-M5-F5	1881
L0-M5-F10	2171	L10-M5-F10	1942	L20-M5-F10	1892
L0-M5-F15	2132	L10-M5-F15	1946	L20-M5-F15	1924
L0-M10-F0	2172	L10-M10-F0	1982	L20-M10-F0	1938
L0-M10-F5	2102	L10-M10-F5	2038	L20-M10-F5	1910
L0-M10-F10	2087	L10-M10-F10	2052	L20-M10-F10	1907
L0-M15-F0	2126	L10-M15-F0	2052	L20-M15-F0	1852
L0-M15-F5	2151	L10-M15-F5	2053	L20-M15-F5	1870
L0-M20-F0	2065	L10-M20-F0	2050	L20-M20-F0	1876

Çimento harçlarında PLA agrega kullanımıyla birlikte TBHA ve SBHA değerlerinin düşmesi beklenen bir durumdur. MK ve EFC, çalışmada kullanılan çimentoya göre daha

düşük özgül ağırlığa sahip olduğundan dolayı da birim hacim ağırlıklarda düşüşler meydana gelmiştir. %20 PLA içerikli çimento harçlarda su kürü etkisinde 2000,781 kg/m³'e kadar hava kürü etkisinde ise 1852,734 kg/m³'e kadar SBHA'larda düşüş meydana gelmiştir. PLA'nın %20 oranında kullanılmasıyla, hava kürü etkisinde %14,5 oranında, su kürü etkisinde ise %12 oranında harç numunelerin hafiflediği gözlenmiştir.

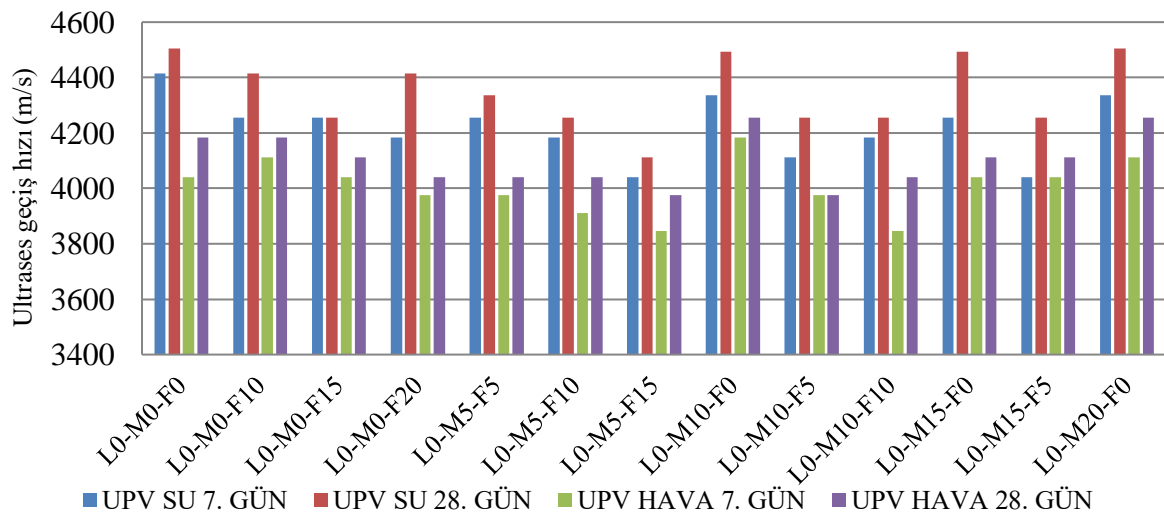
4.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi (UPV)

4.3.1. L0 serisi ultrases geçiş hızı deneyi

%0 PLA içeren harç numunelere ait UPV değerleri Çizelge 4.6.'da ve UPV sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. L0 serisi UPV sonuçları

Karışım etiketi	UPV su kürü		UPV hava kürü	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L0-M0-F0	4414	4504	4040	4183
L0-M0-F10	4255	4414	4112	4183
L0-M0-F15	4255	4255	4040	4112
L0-M0-F20	4183	4414	3975	4040
L0-M5-F5	4255	4335	3975	4040
L0-M5-F10	4183	4255	3911	4040
L0-M5-F15	4040	4112	3846	3975
L0-M10-F0	4335	4494	4183	4255
L0-M10-F5	4112	4255	3975	3975
L0-M10-F10	4183	4255	3846	4040
L0-M15-F0	4255	4494	4040	4112
L0-M15-F5	4040	4255	4040	4112
L0-M20-F0	4335	4504	4112	4255



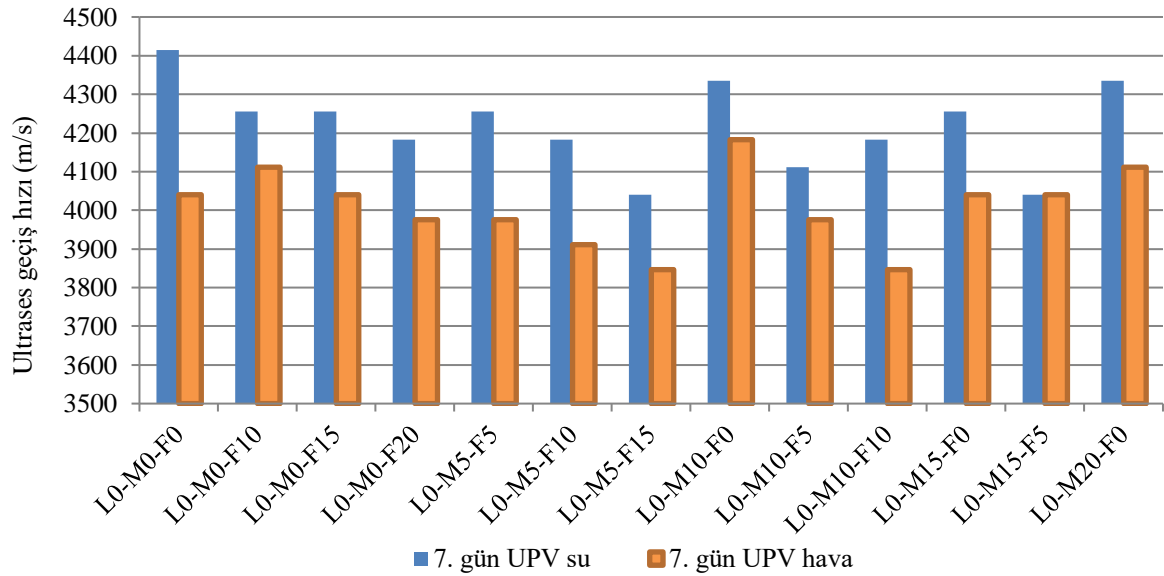
Şekil 4.1. L0 serisi numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.1. incelendiğinde tüm karışımlar için su küründe bekleyen numunelerin hava küründe bekleyen numunelere göre daha yüksek UPV değerleri verdiği görülmektedir. Bu durumun başlıca sebebi olarak harç içerisindeki boşlukların su ile dolması gösterilebilir.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin UPV değerleri Çizelge 4.7.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. L0 serisi 7 günlük numunelerin UPV değerleri

Karışım etiketi	7. gün UPV su kürü	7.gün UPV hava kürü
L0-M0-F0	4414	4040
L0-M0-F10	4255	4112
L0-M0-F15	4255	4040
L0-M0-F20	4183	3975
L0-M5-F5	4255	3975
L0-M5-F10	4183	3911
L0-M5-F15	4040	3846
L0-M10-F0	4335	4183
L0-M10-F5	4112	3975
L0-M10-F10	4183	3846
L0-M15-F0	4255	4040
L0-M15-F5	4040	4040
L0-M20-F0	4335	4112



Şekil 4.2. L0 serisi 7 günlük numunelerin UPV grafiği

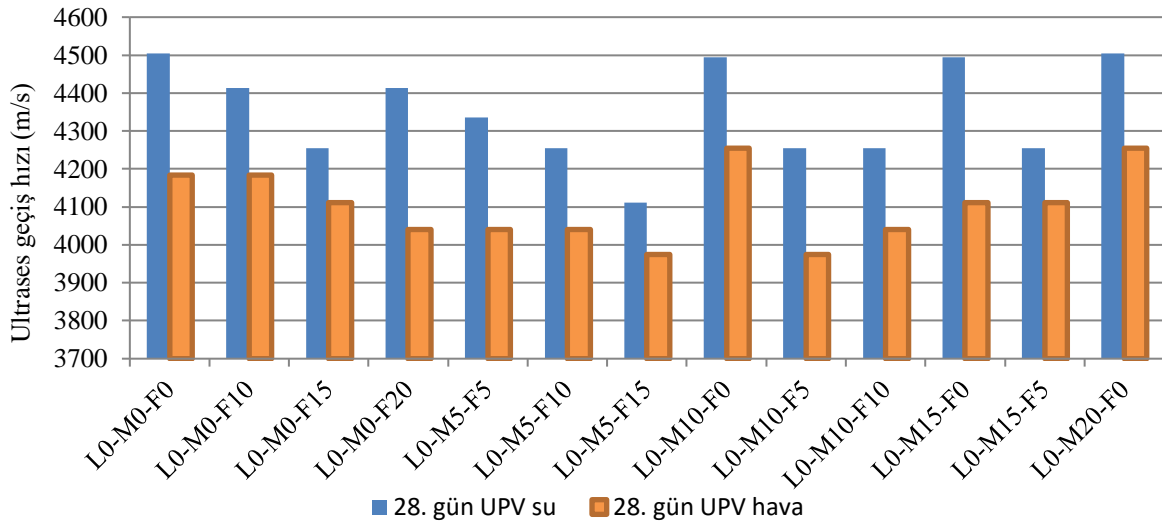
Şekil 4.2.'de 7 günlük UPV verileri incelendiğinde EFC katkısının, UPV sonuçlarını su ve hava kürü numunelerinde düşürdüğü görülmüştür. Hava kürü etkisinde %10 EFC içerikli numuneler, şahit numuneden daha yüksek değer verirken, EFC ikame oranının artmasıyla

UPV değerlerinde azalma görülmüştür. Hava kürü etkisindeki numunelerde en yüksek UPV sonucu %10 MK ikamesinde elde edilmiş, bununla beraber ikame oranının artmasıyla UPV değerlerinde azalmalar görülmüştür. En düşük UPV değerleri MK ile EFC'nin bir arada ikame edildiği numunelerde kaydedilmiştir.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin karşılaştırması Çizelge 4.8.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. L0 serisi 28 günlük numunelerin UPV değerleri

Karışım etiketi	28. gün UPV su kürü	28. gün UPV hava kürü
L0-M0-F0	4504	4183
L0-M0-F10	4414	4183
L0-M0-F15	4255	4112
L0-M0-F20	4414	4040
L0-M5-F5	4335	4040
L0-M5-F10	4255	4040
L0-M5-F15	4112	3975
L0-M10-F0	4494	4255
L0-M10-F5	4255	3975
L0-M10-F10	4255	4040
L0-M15-F0	4494	4112
L0-M15-F5	4255	4112
L0-M20-F0	4504	4255

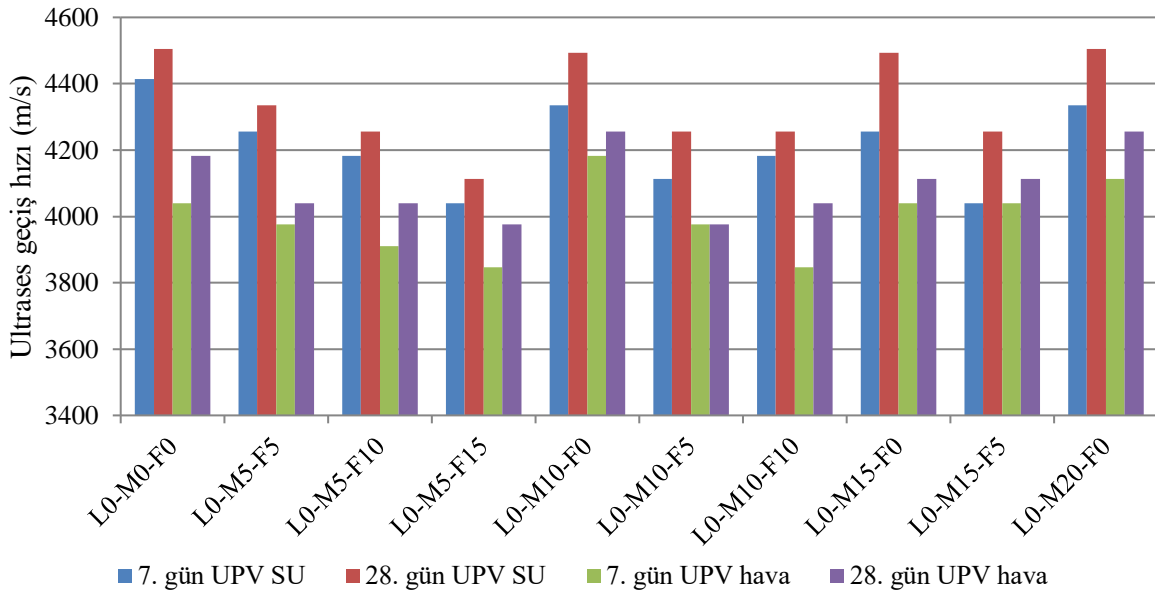


Şekil 4.3. L0 serisi 28 günlük numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.3. incelendiğinde, su kürü etkisindeki sadece MK ikameli numunelerin, şahit numune ile yakın UPV değerleri verdiği gözlenmiştir. 7 günlük numunelerde olduğu gibi EFC ikame

oranının %10'u aşması neticesinde hava kürü numunelerinin UPV değerlerinde lineer bir azalma görülmüstür. Hava kürü etkisinde MK ikamesinin UPV değerlerini arttırabileceği tespit edilmiştir. Genel olarak EFC kullanımı su kürü etkisindeki numunelerde UPV sonuçlarını ciddi oranda d ş rm st r. En düşük UPV değerleri 7 günlük numunelerde de olduğu gibi EFC ile MK ikamesinin bir arada kullanıldığı harçlarda elde edilmiştir.

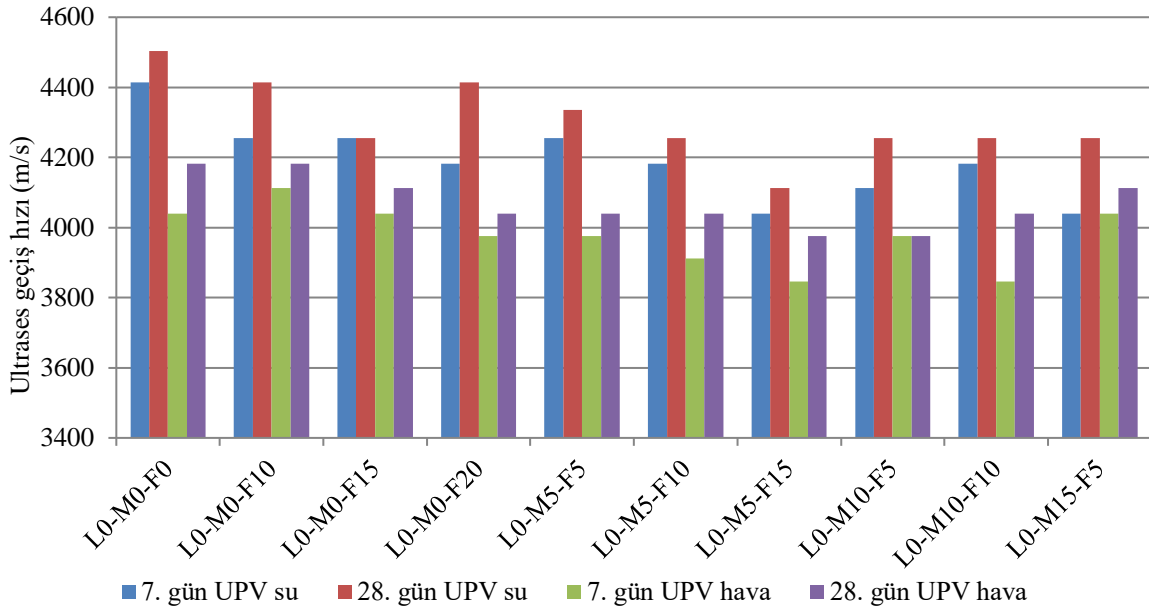
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük UPV değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. L0 serisi MK içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği

Şekil 4.4. incelendiğinde, tek başına MK içeren numunelerin UPV sonuçlarının su kürü etkisinde şahit numuneye yakın sonuçlar verdiği ve %10 MK ikamesiyle hava küründe, şahit numuneye göre daha yüksek UPV değerleri elde edildiği görülmüstür. MK ile birlikte EFC ikame edilen numunelerde EFC ikame oranının artmasıyla birlikte UPV değerlerinde lineer bir azalma görülmüstür.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük UPV değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. L0 serisi EFC içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği

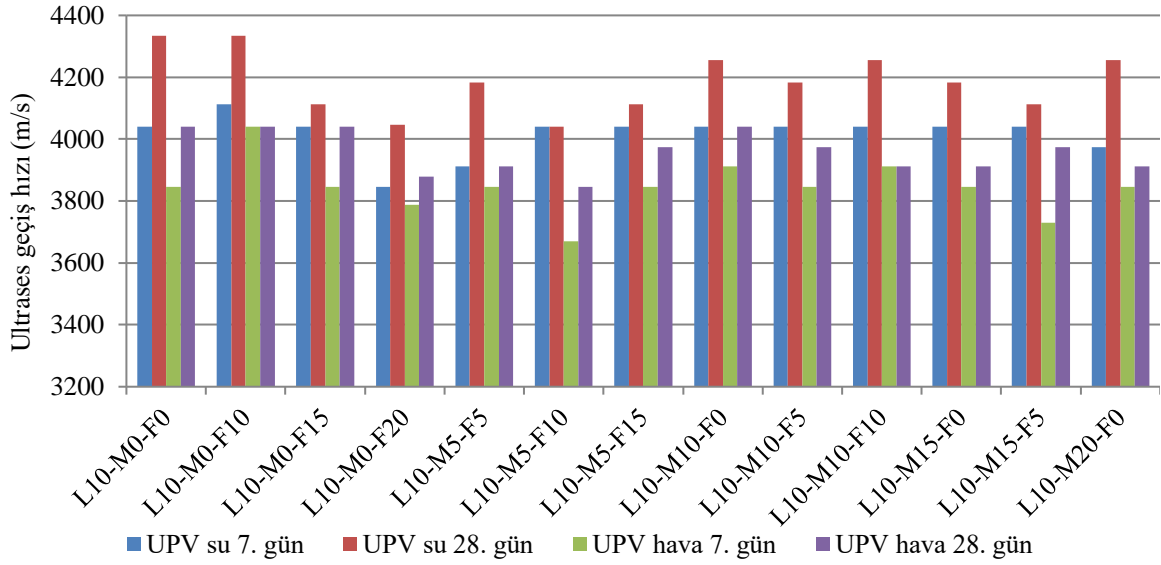
Şekil 4.5 incelendiğinde, yalnızca EFC içeren numunelerde EFC ikame oranının artmasıyla birlikte hem hava hem de suru kürü etkisindeki numunelerde UPV sonuçlarının azaldığı tespit edilmiştir. Aynı durum EFC'nin MK ile birlikte kullanıldığı numunelerde de gözlemlenmiştir.

4.3.2. L10 serisi ultrases geçiş hızı deneyi

%10 PLA içeren harç numunelere ait UPV değerleri Çizelge 4.9.'da ve UPV sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. L10 serisi UPV sonuçları

Karışım etiketi	UPV su kürü		UPV hava kürü	
	7. gün	28. gün	7. gün	28. gün
L10-M0-F0	4040	4335	3846	4040
L10-M0-F10	4112	4335	4040	4040
L10-M0-F15	4040	4112	3846	4040
L10-M0-F20	3846	4047	3787	3878
L10-M5-F5	3911	4183	3846	3911
L10-M5-F10	4040	4040	3670	3846
L10-M5-F15	4040	4112	3846	3975
L10-M10-F0	4040	4255	3911	4040
L10-M10-F5	4040	4183	3846	3975
L10-M10-F10	4040	4255	3911	3911
L10-M15-F0	4040	4183	3846	3911
L10-M15-F5	4040	4112	3729	3975
L10-M20-F0	3975	4255	3846	3911



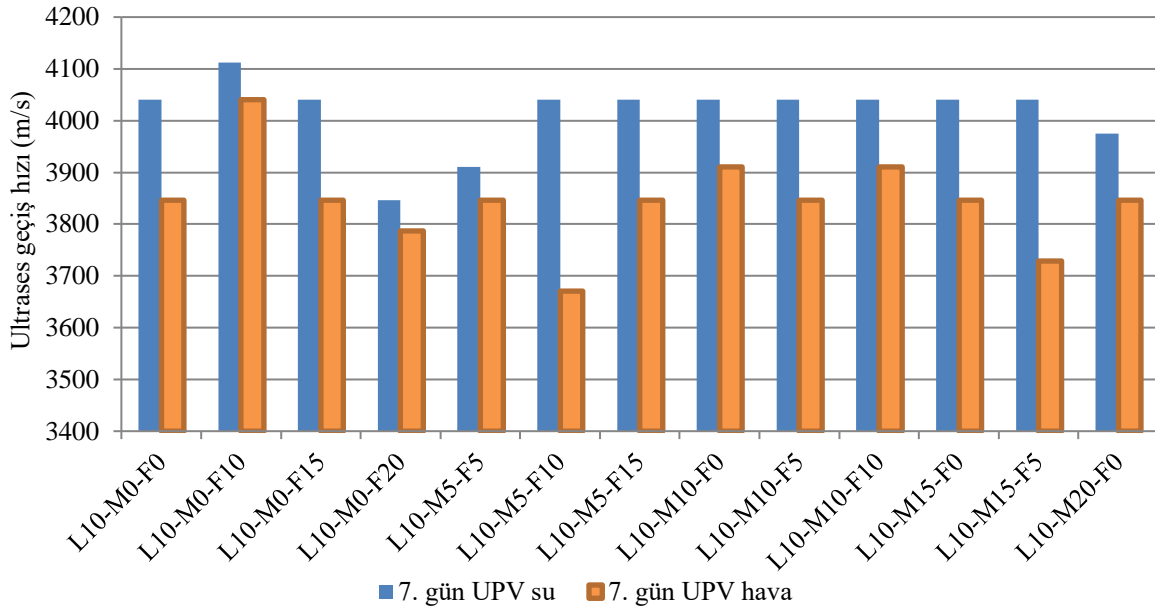
Şekil 4.6. L10 serisi numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.6 incelendiğinde, %10 EFC kullanılan numunelerin 7. günde yalnızca çimento kullanılan numunelere göre daha yüksek, 28. günde ise hemen hemen aynı UPV değerlerini verdiği görülmüş olup, yüzdece EFC kullanımının artmasıyla birlikte UPV değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Su kürüne maruz bırakılan numunelerin UPV değerlerinin hava kürüne maruz bırakılan numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

7 günlük numunelerin UPV değerleri Çizelge 4.10.'da, UPV sonuçlarının karşılaştırma grafiği ise Şekil 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. L10 serisi 7 günlük numunelerin UPV değerleri

Karışım etiketi	7. gün UPV su kürü	7. gün UPV hava kürü
L10-M0-F0	4040	3846
L10-M0-F10	4112	4040
L10-M0-F15	4040	3846
L10-M0-F20	3846	3787
L10-M5-F5	3911	3846
L10-M5-F10	4040	3670
L10-M5-F15	4040	3846
L10-M10-F0	4040	3911
L10-M10-F5	4040	3846
L10-M10-F10	4040	3911
L10-M15-F0	4040	3846
L10-M15-F5	4040	3729
L10-M20-F0	3975	3846



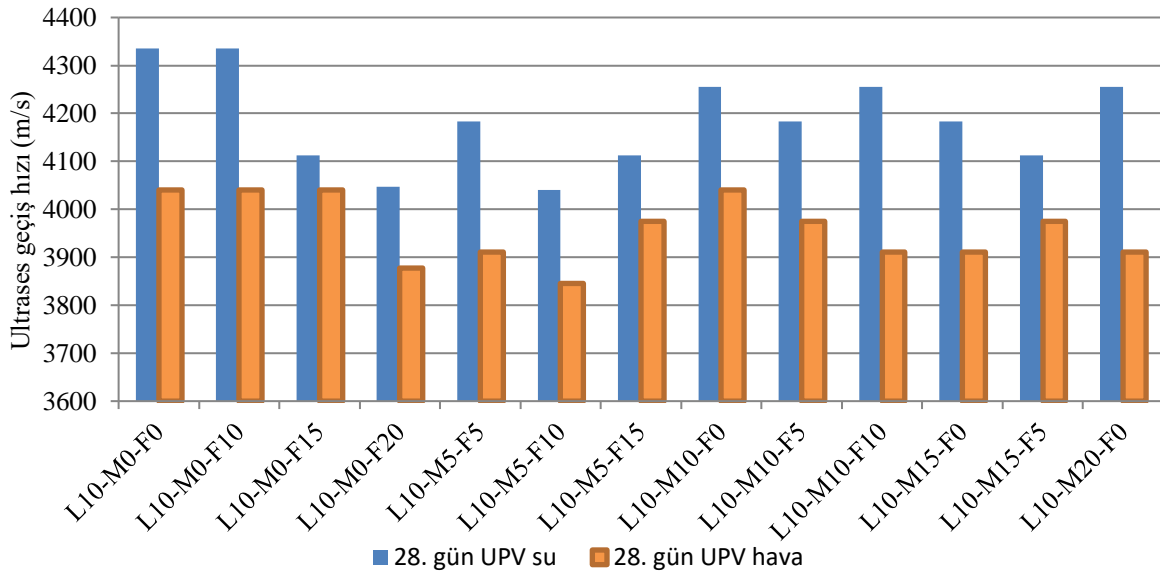
Şekil 4.7. L10 serisi 7 günlük numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.7.'ye göre %10 EFC katkısının, tüm kür koşullarında en yüksek UPV değerlerini verdiği fakat %15 ve %20 oranda kullanılmasının EFC içeriğinin artışıyla UPV değerlerini düşürdüğü açıkça görülmektedir. İçeriğinde yalnızca MK bulunan numuneler %20 ikame oranına kadar su küründe hemen hemen aynı UPV değerlerine sahipken, hava kürü etkisinde EFC ile birlikte ikame edilmesi durumunda ikame oranı arttıkça UPV değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

28 günlük numunelerin UPV değerleri Çizelge 4.11.'de, UPV sonuçlarının karşılaştırma grafiği ise Şekil 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. L10 serisi 28 günlük numunelerin UPV değerleri

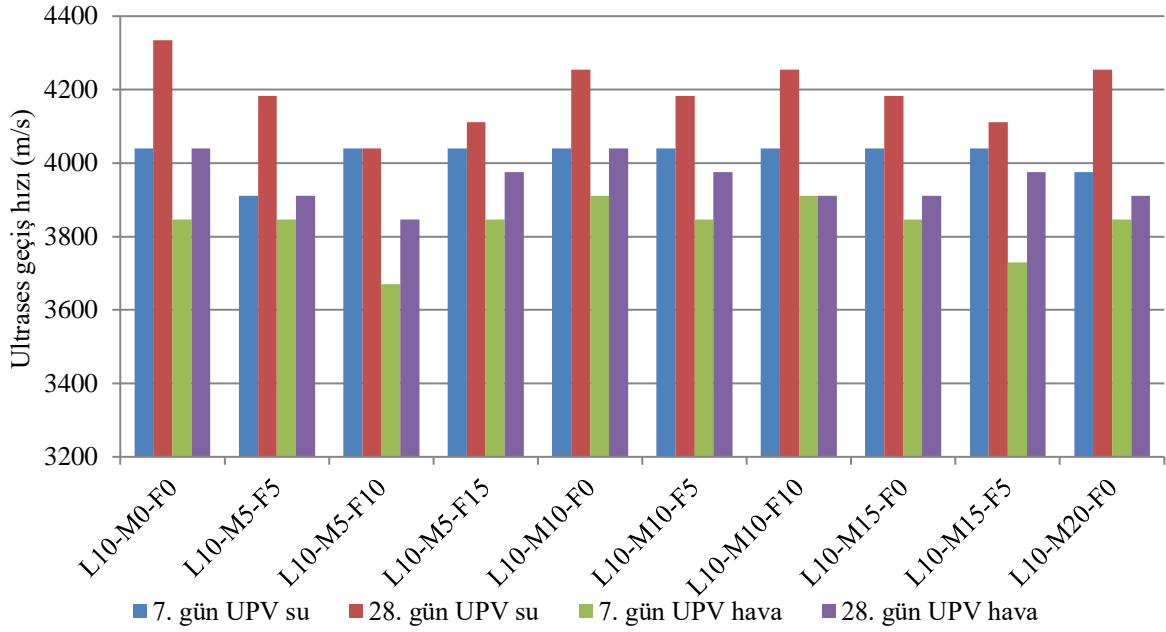
Karışım etiketi	28. gün UPV su kürü	28. gün UPV hava kürü
L10-M0-F0	4335	4040
L10-M0-F10	4335	4040
L10-M0-F15	4112	4040
L10-M0-F20	4047	3878
L10-M5-F5	4183	3911
L10-M5-F10	4040	3846
L10-M5-F15	4112	3975
L10-M10-F0	4255	4040
L10-M10-F5	4183	3975
L10-M10-F10	4255	3911
L10-M15-F0	4183	3911
L10-M15-F5	4112	3975
L10-M20-F0	4255	3911



Şekil 4.8. L10 serisi 28 günlük numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.8. incelendiğinde, su kürü etkisindeki numuneler için EFC ikamesinin %10 oranında kullanımının, yalnızca çimento içeren numunelerle hava ve su küründe eşit UPV değerleri verdiği, EFC oranının %10'dan fazla oranda ikame edilmesi durumunda UPV değerlerinin düştüğü görülmüştür. Su kürü etkisindeki MK ikameli 7 günlük numuneler, yalnızca çimento kullanılan numunelerle aynı UPV değerlerini verirken bu durum 28. günde değişmiş ve MK ikameli numunelerin UPV değerleri şahit numuneye göre daha düşük kalmıştır. Böylece MK ikamesinin, numune yaşı arttıkça UPV değerlerini iyileştirme etkisini yitirdiği görülmektedir. Hava kürü etkisindeki numunelerde ise yalnızca % 15 EFC ikame oranına kadar elde edilen UPV değerleri ile yalnızca %10 MK ikame oranına kadar elde edilen UPV değerlerinin, şahit numune ile eşit olduğu görülmüştür. En düşük UPV değerleri MK ile EFC'nin bir arada ikame edildiği numunelerde gözlenmiştir.

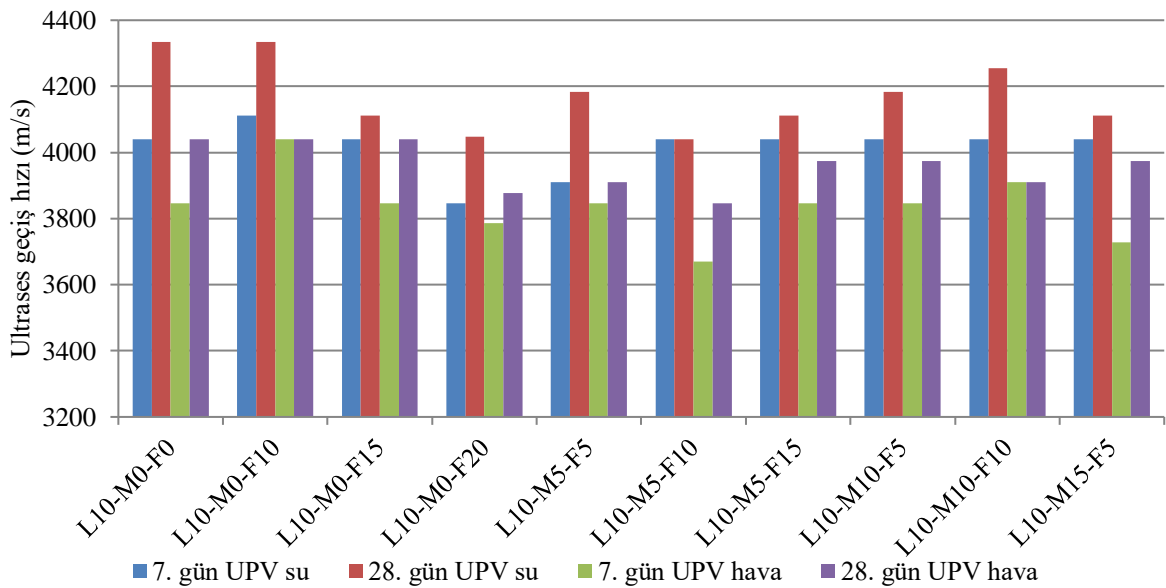
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük UPV değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. L10 serisi MK içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği

Şekil 4.9.'a göre MK içerikli numunelerin, sadece çimento içeren numunelere göre, tüm kür koşulları ve 7-28. günlerde % 10 ikame oranında yakın değerler verdiği fakat hem MK ikame oranının hem de EFC ile birlikte kullanımının artmasıyla birlikte UPV değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük UPV değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. L10 serisi EFC içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği

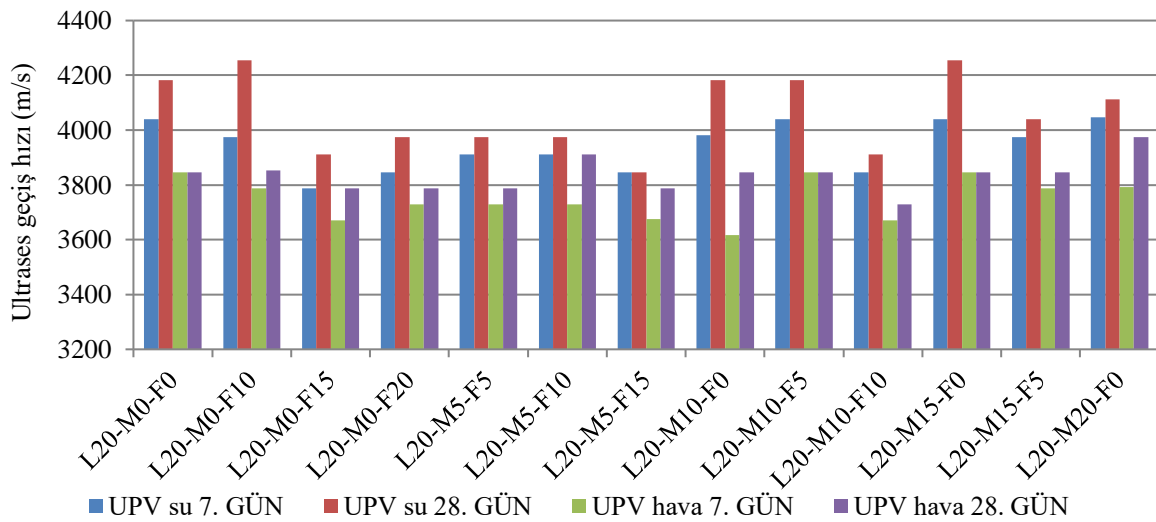
Şekil 4.10. incelendiğinde, %10 EFC ikameli numunelerde, sadece çimento kullanılan numunelere göre 7. günde daha yüksek UPV değerlerine, 28. günde ise eşit UPV değerlerine sahip olduğu, yalnızca EFC ikame edilen numunelerde ikame oranının artmasıyla birlikte UPV değerlerinde azalmalar olduğu gözlenmiştir. EFC içeren numunelerde en düşük UPV değerleri MK ile birlikte kullanılmasıyla elde edilmiştir. Böylece EFC ile MK'nin bir arada ikamesinin UPV değerlerinin düşürdüğü görülmüştür.

4.3.3. L20 serisi ultrases geçiş hızı deneyi

% 20 PLA içeren harç numunelere ait UPV değerleri Çizelge 4.12.'de ve UPV sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. L20 serisi UPV sonuçları

Karışım etiketi	UPV su kürü		UPV hava kürü	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L20-M0-F0	4040	4183	3846	3846
L20-M0-F10	3975	4255	3787	3852
L20-M0-F15	3787	3911	3670	3787
L20-M0-F20	3846	3975	3729	3787
L20-M5-F5	3911	3975	3729	3787
L20-M5-F10	3911	3975	3729	3911
L20-M5-F15	3846	3846	3675	3787
L20-M10-F0	3982	4183	3616	3846
L20-M10-F5	4040	4183	3846	3846
L20-M10-F10	3846	3911	3670	3729
L20-M15-F0	4040	4255	3846	3846
L20-M15-F5	3975	4040	3787	3846
L20-M20-F0	4047	4112	3793	3975



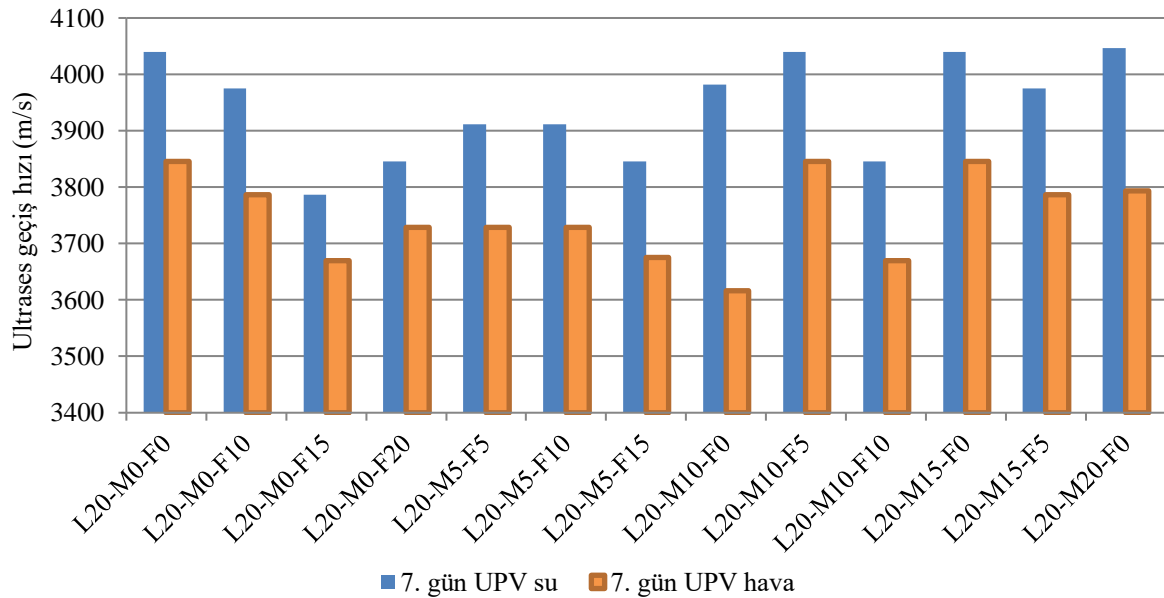
Şekil 4.11. L20 serisi numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.11.'e göre, tüm kür koşullarında numune yaşı ilerledikçe UPV değerlerinde artış gözlenmiştir. Su kürü etkisindeki numuneler, hava küründeki numunelere göre daha yüksek UPV değerleri vermiştir. MK ikamesinin %15' e kadar ikame edildiği numunelerde yer yer artışlar gözlenmiştir. EFC'nin %10 miktarına kadar ikamesinin UPV değerlerinin artışına olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin UPV değerleri Çizelge 4.13.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. L20 serisi 7 günlük numunelerin UPV değerleri

Karışım etiketi	7. gün UPV su kürü	7. gün UPV hava kürü
L20-M0-F0	4040	3846
L20-M0-F10	3975	3787
L20-M0-F15	3787	3670
L20-M0-F20	3846	3729
L20-M5-F5	3911	3729
L20-M5-F10	3911	3729
L20-M5-F15	3846	3675
L20-M10-F0	3982	3616
L20-M10-F5	4040	3846
L20-M10-F10	3846	3670
L20-M15-F0	4040	3846
L20-M15-F5	3975	3787
L20-M20-F0	4047	3793



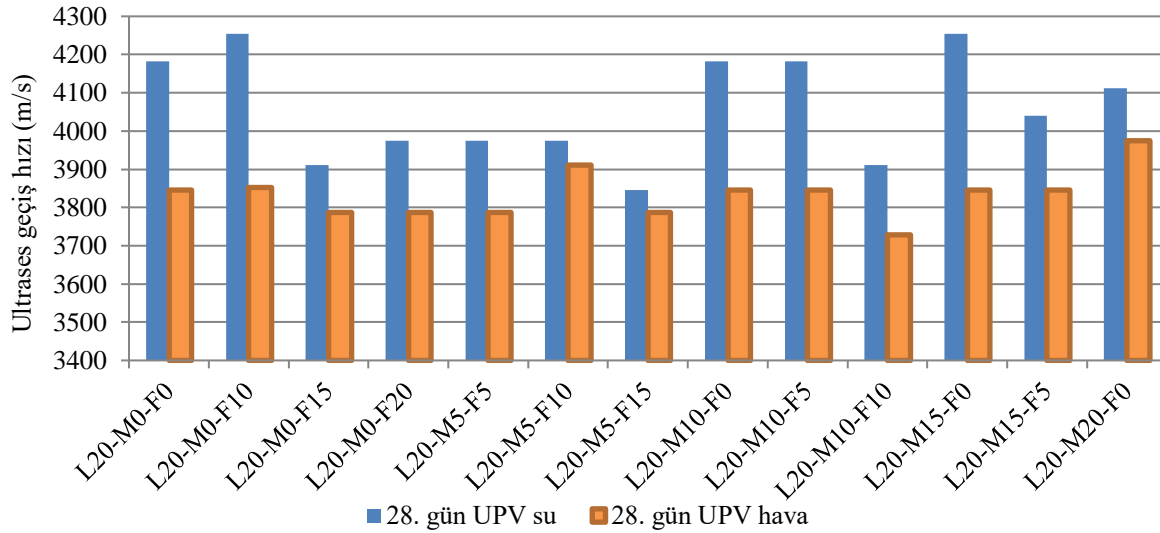
Şekil 4.12. L20 serisi 7 günlük numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.12. incelendiğinde EFC'nin tek başına veya MK ile ikamesinde, EFC ikame oranının artışıyla hem su hem de hava küründeki numunelerin UPV değerlerinde genel olarak azalma olduğu söylenebilmektedir. MK içerikli numunelerden genel olarak EFC içeren numunelere göre daha yüksek UPV sonuçları elde edilmiştir.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin UPV değerleri Çizelge 4.14.'te ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.13.'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. L20 serisi 28 günlük numunelerin UPV değerleri

Karışım etiketi	28. gün UPV su kürü	28. gün UPV hava kürü
L20-M0-F0	4183	3846
L20-M0-F10	4255	3852
L20-M0-F15	3911	3787
L20-M0-F20	3975	3787
L20-M5-F5	3975	3787
L20-M5-F10	3975	3911
L20-M5-F15	3846	3787
L20-M10-F0	4183	3846
L20-M10-F5	4183	3846
L20-M10-F10	3911	3729
L20-M15-F0	4255	3846
L20-M15-F5	4040	3846
L20-M20-F0	4112	3975

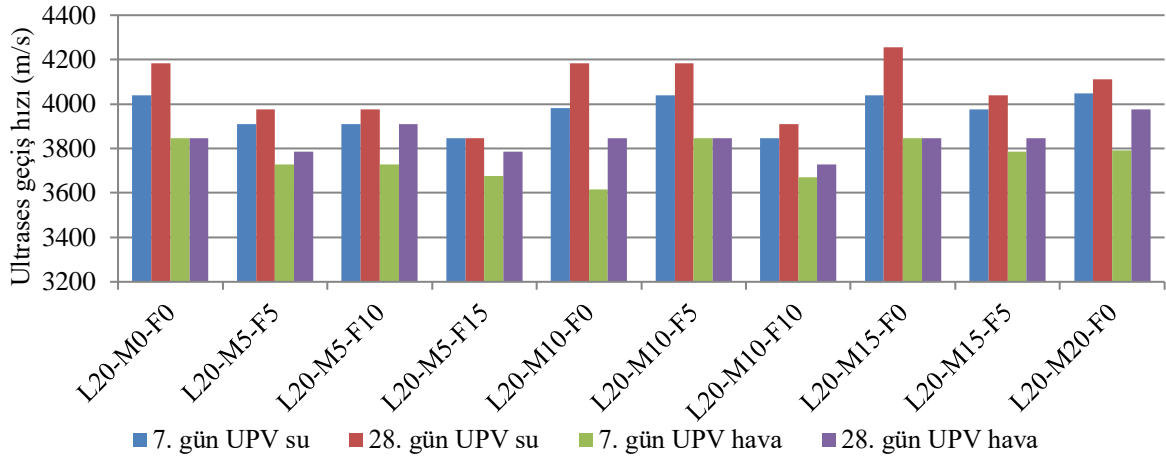


Şekil 4.13. L20 serisi 28 günlük numunelerin UPV grafiği

Şekil 4.13. incelendiğinde, %10 oranında EFC ikamesinin UPV değerlerini artırdığı görülmüştür. Aynı durum % 15 MK içeren numuneler içinde geçerli olmuştur. Hava kürü

etkisindeki numuneler için M5-F10 ve M20-F0 etiketli karışım numuneleri UPV sonuçlarında artışın gözlenmesine neden olmuştur.

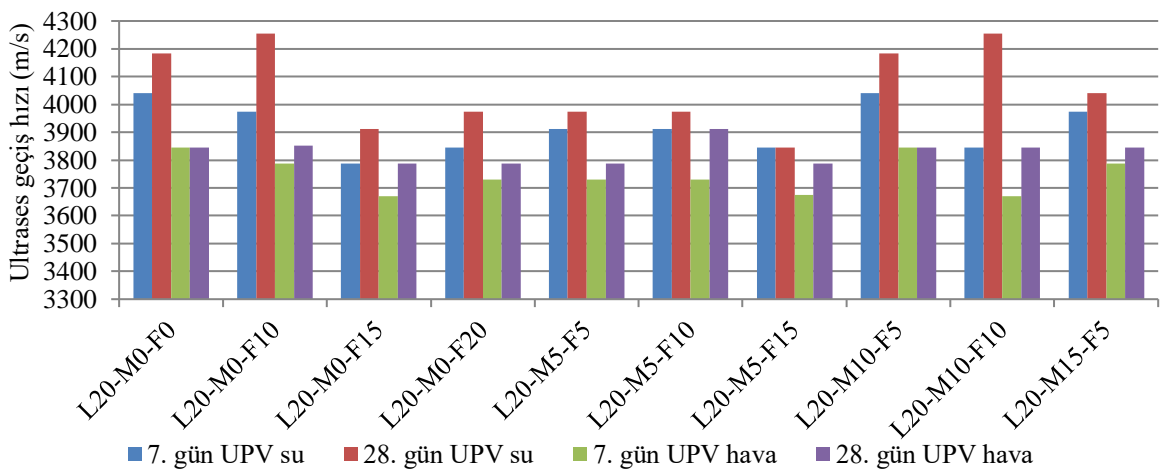
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük UPV değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. L20 serisi MK içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği

Şekil 4.14. incelendiğinde, MK ikameli harçlarda en yüksek UPV değerleri %10 ve %15 aralığında MK ikamesiyle elde edilmiştir.

İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük UPV değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. L20 serisi EFC içeren numunelerin 7 ve 28 günlük UPV grafiği

Şekil 4.15. incelendiğinde, %10 oranında EFC ikamesinin hem tek başına hem de MK ile beraber kullanımının UPV değerlerinde 28 günlük su kürü etkisindeki numunelerde, sadece

çimento kullanılan numunelere göre olumlu etkisi olduğu ve UPV değerlerini yükselttiği görülmüştür.

4.4. Eğilme Dayanımı

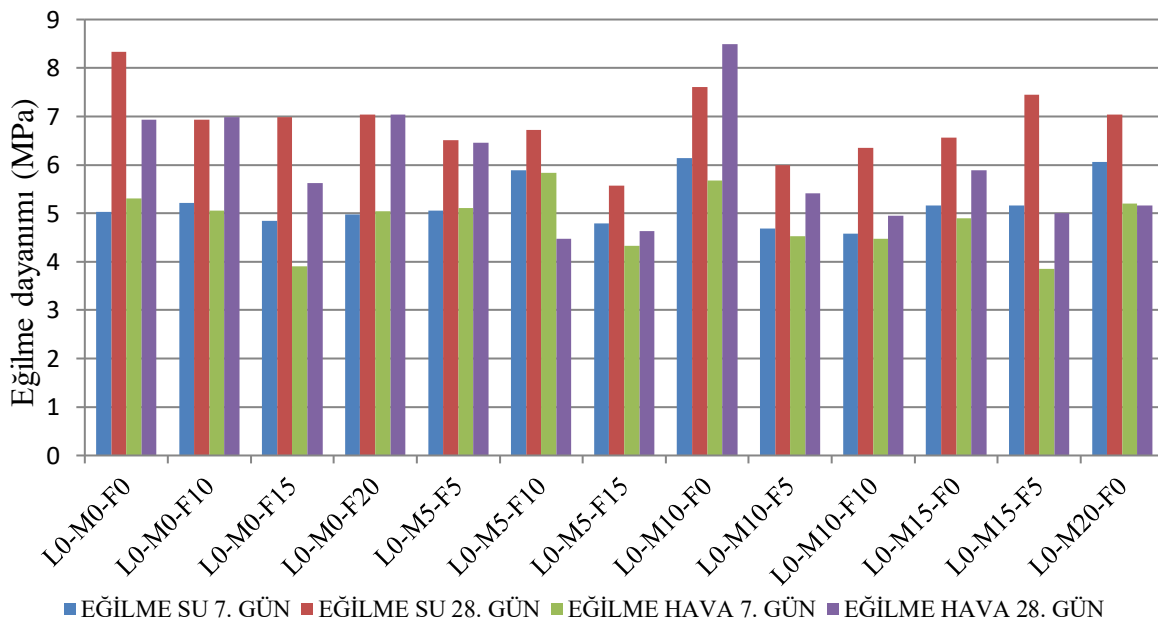
4.4.1. L0 serisi eğilme dayanımı

%0 PLA içeren harç numunelere ait eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.15.'te ve eğilme dayanım sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.15. L0 serisi eğilme dayanımları

Karışım etiketi	Eğilme dayanımı su kürü (MPa)		Eğilme dayanımı hava kürü (MPa)	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L0-M0-F0	5,023	8,333	5,312	6,926
L0-M0-F10	5,208	6,926	5,050	6,978
L0-M0-F15	4,843	6,978	3,906	5,625
L0-M0-F20	4,976	7,031	5,046	7,0312
L0-M5-F5	5,051	6,510	5,103	6,458
L0-M5-F10	5,885	6,718	5,833	4,478
L0-M5-F15	4,791	5,572	4,322	4,635
L0-M10-F0	6,145	7,603	5,676	8,489
L0-M10-F5	4,687	5,989	4,531	5,416
L0-M10-F10	4,583	6,353	4,478	4,947
L0-M15-F0	5,156	6,562	4,895	5,885
L0-M15-F5	5,156	7,447	3,853	5
L0-M20-F0	6,062	7,0312	5,202	5,152

Şekil 4.16. L0 serisi eğilme dayanım grafiği

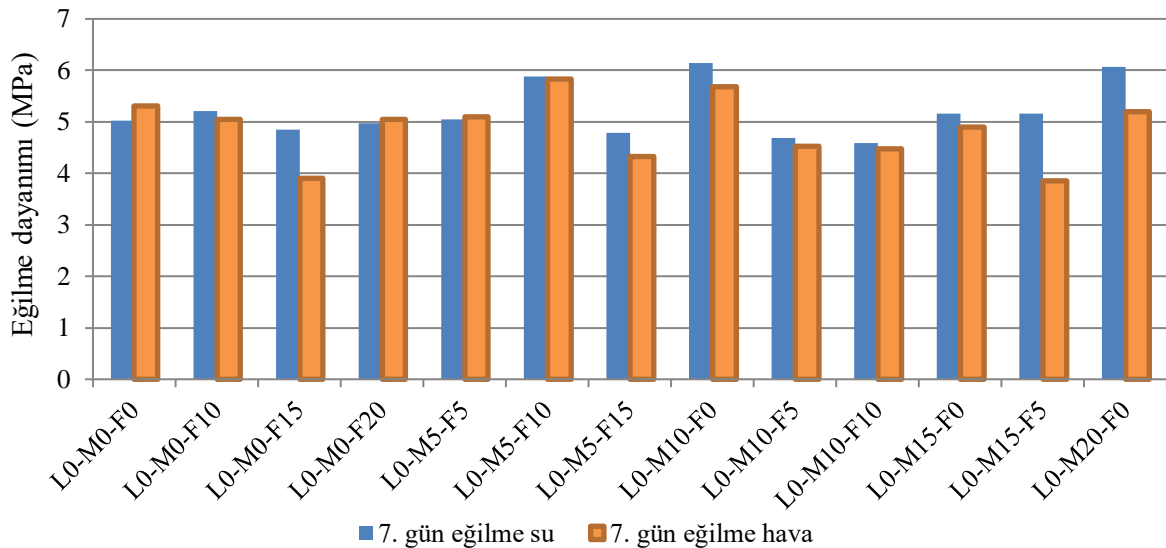


Şekil 4.16. incelendiğinde, MK içeren numunelerin su kürü etkisi altında EFC içeren numunelere göre daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Özellikle hava kürü etkisinde %10 MK içeren numunelerde, yalnızca çimento kullanılan harçlara göre daha yüksek eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.16.'da ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.17.'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. L0 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri

Karışım etiketi	7. gün eğilme dayanımı su kürü (MPa)	7. gün eğilme dayanımı hava kürü (MPa)
L0-M0-F0	5,023	5,313
L0-M0-F10	5,208	5,050
L0-M0-F15	4,844	3,906
L0-M0-F20	4,976	5,046
L0-M5-F5	5,052	5,104
L0-M5-F10	5,885	5,833
L0-M5-F15	4,791	4,323
L0-M10-F0	6,146	5,677
L0-M10-F5	4,688	4,531
L0-M10-F10	4,583	4,479
L0-M15-F0	5,156	4,896
L0-M15-F5	5,156	3,854
L0-M20-F0	6,063	5,203



Şekil 4.17. L0 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği

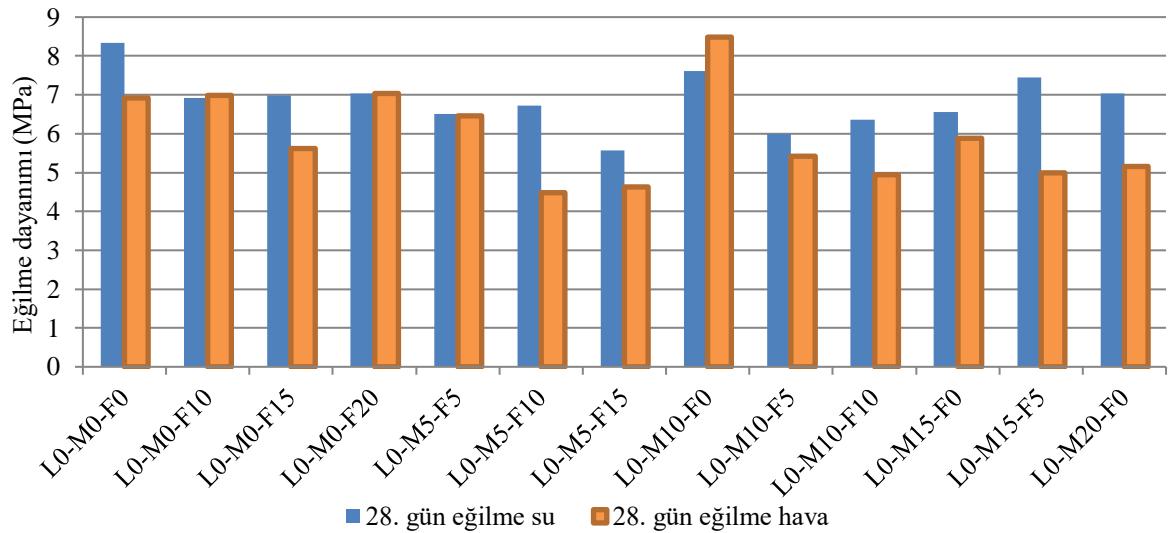
Şekil 4.17. incelendiğinde, su kürü etkisinde tek başına MK ikamesinin eğilme dayanım değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca %10 oranında EFC ikamesinin çimento yerine

kullanıldığında erken yaş dayanımını az da olsa artırdığı görülmüştür. Hava kürü etkisindeki numunelerde ise MK ikamesinin dayanım değerlerinin artırabileceği görülmüştür.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.17.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.18.'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. L0 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri

Karışım etiketi	28. gün eğilme dayanımı su kürü (MPa)	28. gün eğilme dayanımı hava kürü (MPa)
L0-M0-F0	8,333	6,927
L0-M0-F10	6,927	6,979
L0-M0-F15	6,979	5,625
L0-M0-F20	7,031	7,031
L0-M5-F5	6,510	6,458
L0-M5-F10	6,719	4,479
L0-M5-F15	5,573	4,635
L0-M10-F0	7,604	8,489
L0-M10-F5	5,989	5,416
L0-M10-F10	6,354	4,948
L0-M15-F0	6,563	5,885
L0-M15-F5	7,448	5,000
L0-M20-F0	7,031	5,156

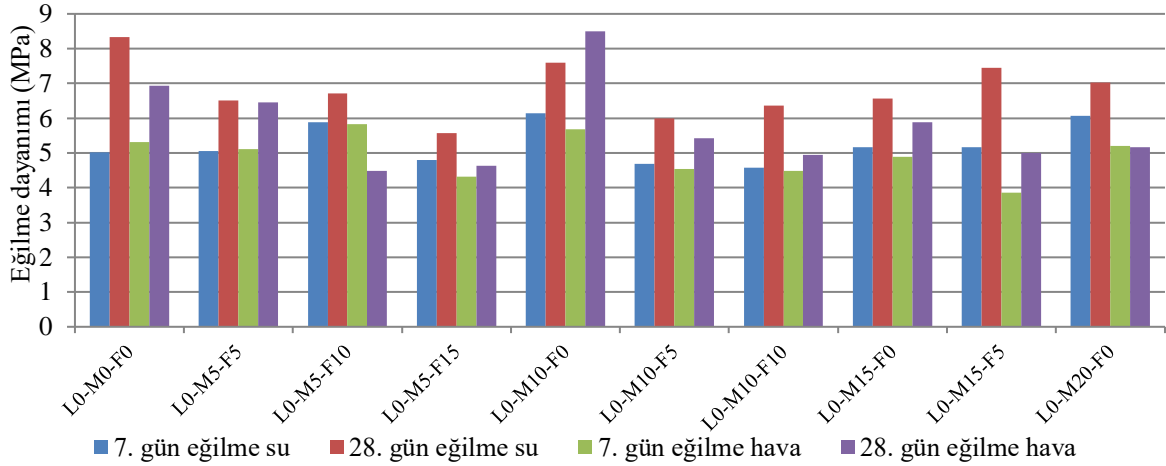


Şekil 4.18. L0 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.18. incelendiğinde 7 günlük numunelerde MK ikamesinin sağladığı dayanım artışının etkisinin azaldığı görülmüştür, yalnızca %10 MK içeren numuneler için hava kürü etkisinde en yüksek dayanım elde edilmiştir. Hava kürü etkisinde, EFC ikameli numunelerin,

sadece çimento kullanılan numunelerle hemen hemen eşit eğilme dayanım değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

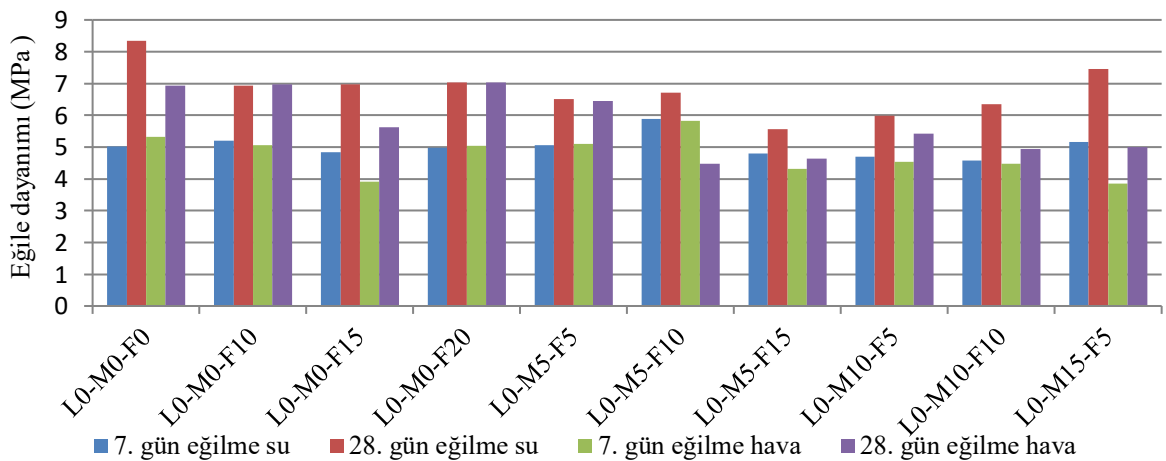
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. L0 serisi MK içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.19. incelendiğinde, MK ikameli numuneler için hava kürü etkisinde %10 oranında tek başına MK kullanımının eğilme dayanım değerlerini artırmaya katkı sağladığı görülmüştür. EFC ile birlikte ikamesinde ise 28 günlük eğilme dayanım değerleri azalmıştır. Su kürü etkisinde en yüksek eğilme dayanım değer şahit numuneye ait olurken, en yakında değer %10 MK ikame edilen numunelerde elde edilmiştir.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. L0 serisi EFC içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği

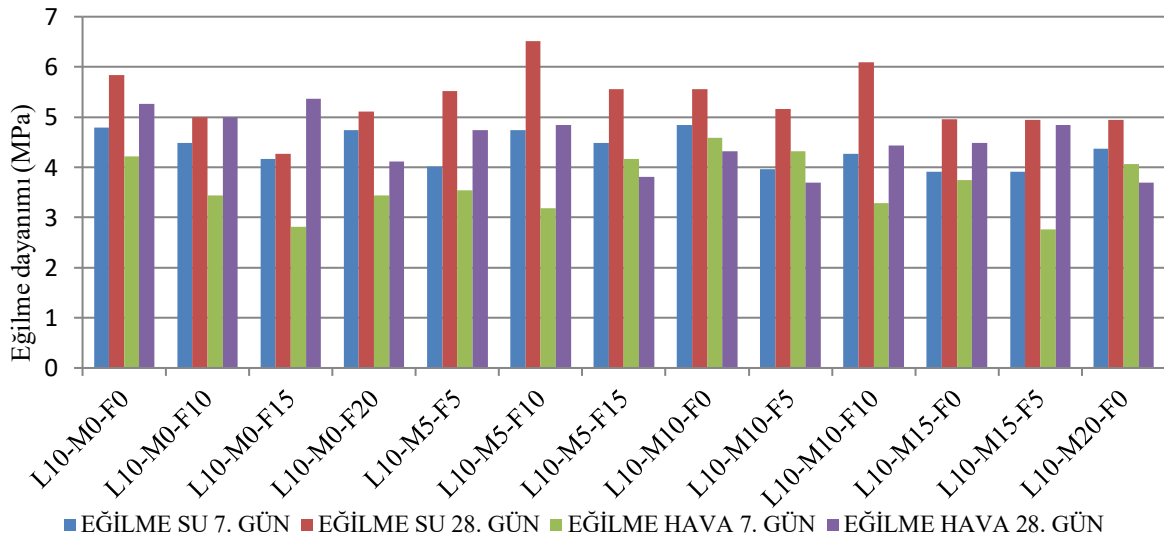
Şekil 4.20. incelendiğinde, EFC ikamesinin su kürü etkisinde hem tek başına hem MK ile birlikte kullanımının eğilme dayanım değerlerini yükseltme anlamında bir faydası olmadığı görülmüştür. Hava kürü etkisinde ise %10 ve %20 oranlarında EFC ikamesinde şahit numuneye çok yakın eğilme dayanım değerleri elde edilmiştir. Böylece hava kürü etkisinde EFC'nin eğilme dayanımı için belli oranlarda çimento yerine kullanılabileceği düşünülmektedir.

4.4.2. L10 serisi eğilme dayanımı

%10 PLA içeren harç numunelere ait eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.18.'de ve eğilme dayanım sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. L10 serisi eğilme dayanımları

Karışım etiketi	Eğilme dayanımı su kürü (MPa)		Eğilme dayanımı hava kürü (MPa)	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L10-M0-F0	4,792	5,833	4,219	5,261
L10-M0-F10	4,479	5,000	3,438	5,000
L10-M0-F15	4,167	4,271	2,813	5,364
L10-M0-F20	4,739	5,104	3,438	4,114
L10-M5-F5	4,011	5,521	3,542	4,739
L10-M5-F10	4,739	6,511	3,177	4,844
L10-M5-F15	4,479	5,552	4,167	3,802
L10-M10-F0	4,844	5,552	4,583	4,323
L10-M10-F5	3,958	5,156	4,323	3,698
L10-M10-F10	4,271	6,094	3,281	4,427
L10-M15-F0	3,906	4,961	3,750	4,479
L10-M15-F5	3,906	4,948	2,761	4,844
L10-M20-F0	4,375	4,948	4,063	3,698



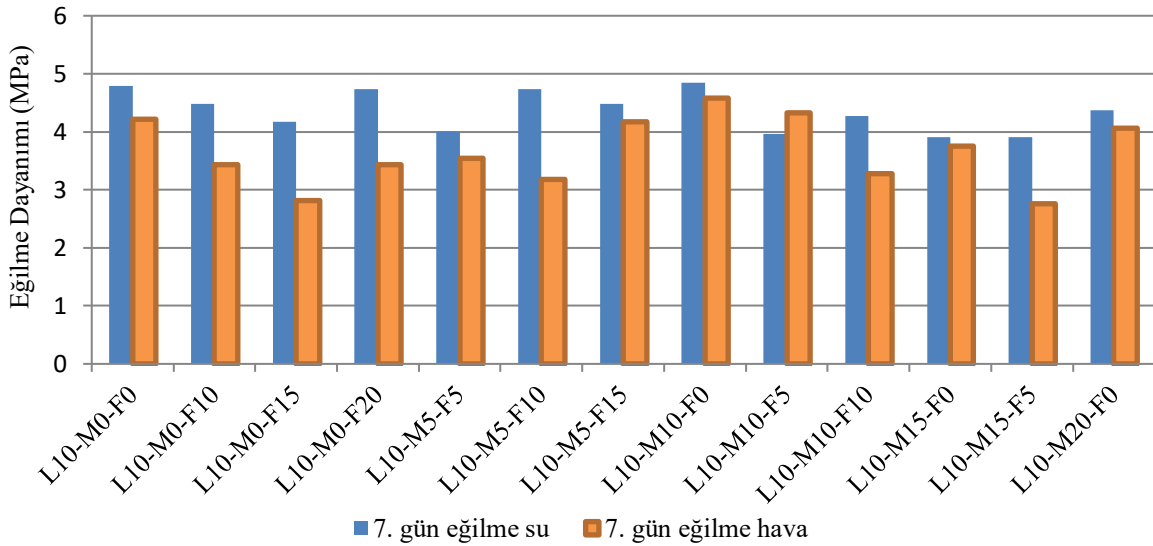
Şekil 4.21. L10 serisi eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.21. incelendiğinde, su kürü etkisinde EFC ve MK ikamesinin bir arada belirli oranlarda kullanımının eğilme dayanım değerlerini yükseltme eğilimi olduğu görülmüştür. Hava kürü etkisinde ise en yüksek eğilme dayanım değeri % 15 oranında EFC ikameli numunelerde elde edilmiştir.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.19.'da ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.22.'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. L10 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri

Karışım etiketi	7. gün eğilme dayanımı su kürü (MPa)	7. gün eğilme dayanımı hava kürü (MPa)
L10-M0-F0	4,792	4,219
L10-M0-F10	4,479	3,438
L10-M0-F15	4,167	2,813
L10-M0-F20	4,739	3,438
L10-M5-F5	4,011	3,542
L10-M5-F10	4,739	3,177
L10-M5-F15	4,479	4,167
L10-M10-F0	4,844	4,583
L10-M10-F5	3,958	4,323
L10-M10-F10	4,271	3,281
L10-M15-F0	3,906	3,750
L10-M15-F5	3,906	2,761
L10-M20-F0	4,375	4,063



Şekil 4.22. L10 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği

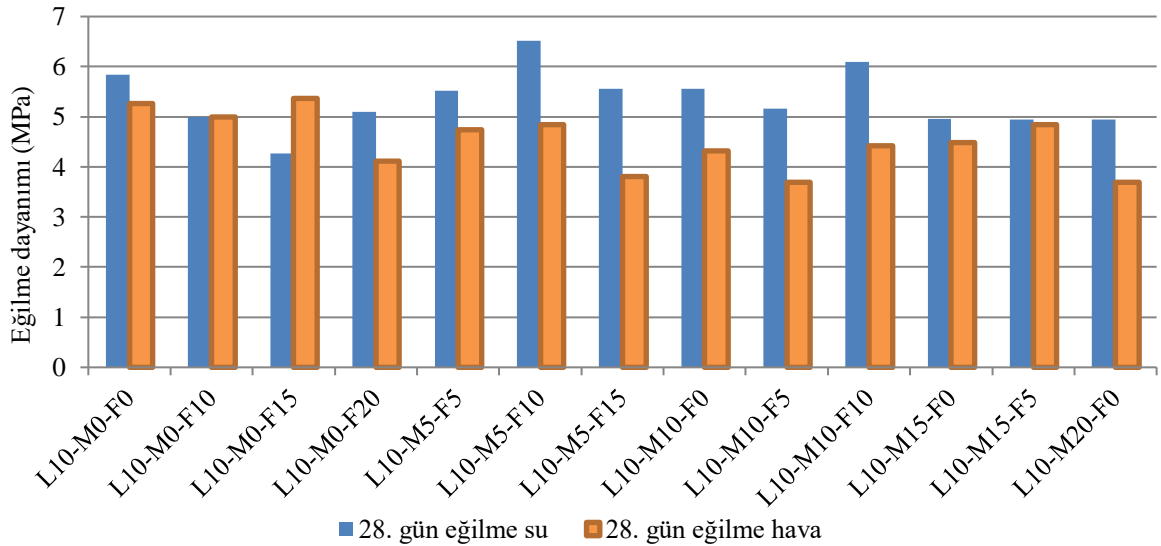
Şekil 4.22. incelendiğinde, tek başına EFC ikamesi kullanılan harçlarda eğilme dayanımlarında düşüşler meydana gelmiştir. Bu durumun yanı sıra %10 oranında MK ikame

edilen numunelerde eğilme dayanım değerlerinde artış tespit edilmiştir. MK ile EFC ikamesinin birlikte kullanıldığı numunelerde EFC ikame oranının artmasıyla eğilme dayanım değerlerinde azalma eğilimi gözlenmiştir.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.20.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.23.'te verilmiştir.

Çizelge 4.20. L10 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri

Karışım etiketi	28. gün eğilme dayanımı su kürü (MPa)	28. gün eğilme dayanımı hava kürü (MPa)
L10-M0-F0	5,833	5,261
L10-M0-F10	5,000	5,000
L10-M0-F15	4,271	5,364
L10-M0-F20	5,104	4,114
L10-M5-F5	5,521	4,739
L10-M5-F10	6,511	4,844
L10-M5-F15	5,552	3,802
L10-M10-F0	5,552	4,323
L10-M10-F5	5,156	3,698
L10-M10-F10	6,094	4,427
L10-M15-F0	4,961	4,479
L10-M15-F5	4,948	4,844
L10-M20-F0	4,948	3,698

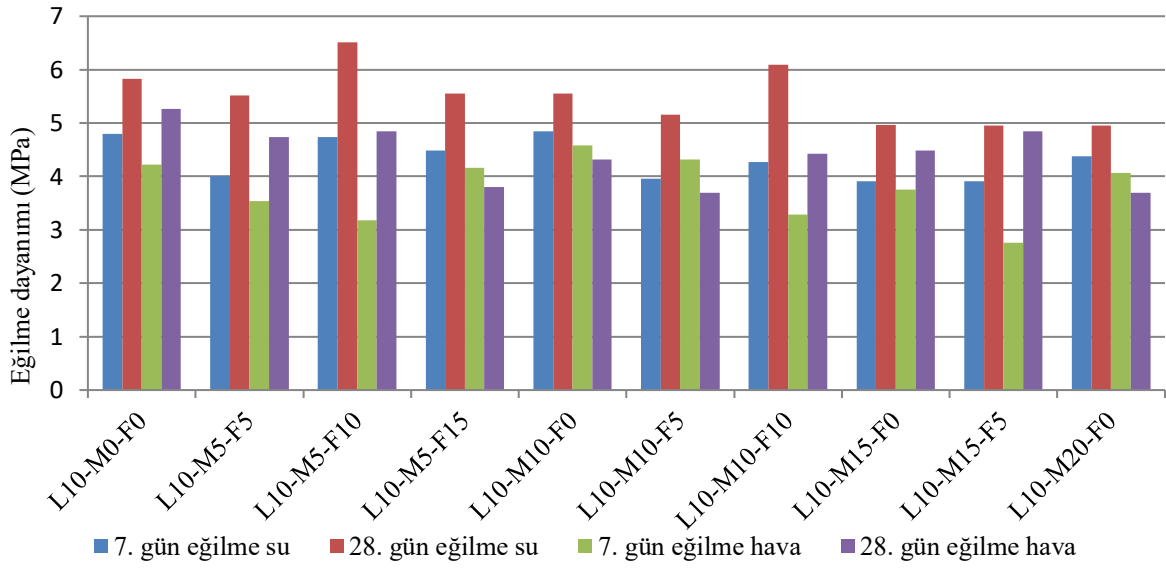


Şekil 4.23. L10 serisi 28 numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.23. incelendiğinde hava kürü etkisindeki numunelerde % 15 oranında EFC ikamesinin eğilme dayanımına katkı sağlayabildiği gözlenmektedir. Ayrıca su kürü etkisinde de EFC ile MK ikamesinin birlikte kullanıldığı numunelerde eğilme dayanım

artışları görülebilmektedir. Böylece MK ve EFC ikamesinin bir arada kullanılabilir olduğu görülmektedir. Yalnızca EFC ikameli numunelerin 7. günden 28. güne kadar beklemesiyle farklı kür koşulları altında ki dayanım farkı azalmış, su kürüne olan ihtiyacın etkisini yitirdiği görülmüştür.

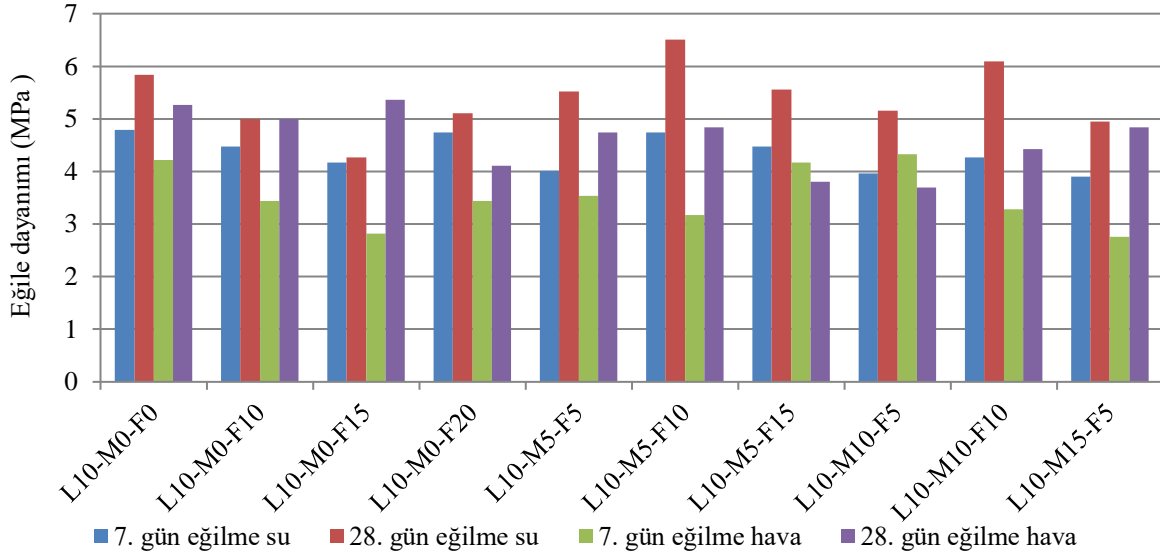
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. L10 serisi MK içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.24. incelendiğinde, su kürü etkisindeki MK içeren numunelerin %10 EFC ile birlikte ikamesinin eğilme dayanımını artırdığı, sadece çimento içeren numunelere göre daha yüksek eğilme dayanım değerleri elde edildiği gözlenmiştir. Hava kürü etkisinde erken yaş eğilme dayanım değerlerini %10 MK ikamesinde artırsa da ilerleyen yaşlarda bu etkisini yitirdiği görülmektedir.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.25.'te verilmiştir.



Şekil 4.25. L10 serisi EFC içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği

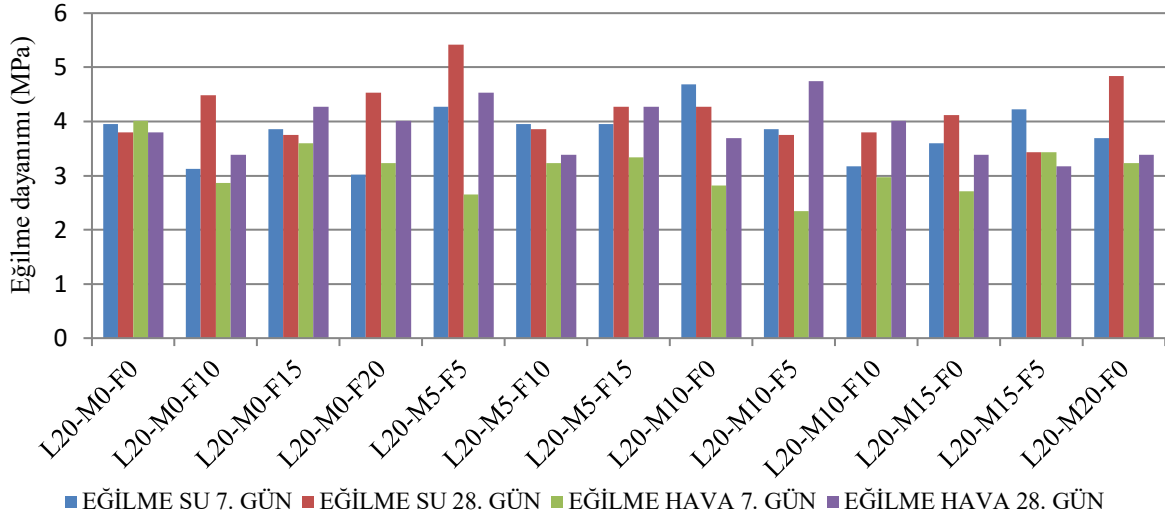
Şekil 4.25. incelendiğinde, hava kürü etkisinde tek başına EFC içeren numunelerde %15 oranında EFC ikamesinin eğilme dayanımını artırdığı tespit edilmiştir. Su kürü etkisinde yalnızca MK veya EFC ikamesi eğilme dayanım artışı sağlamazken, ikisinin bir arada ikamesinin eğilme dayanım değerlerini artırabilir nitelikte olduğu görülmüştür.

4.4.3. L20 serisi eğilme dayanımı

%20 PLA içeren harç numunelere ait eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.21.'de ve eğilme dayanım sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.21. L20 serisi eğilme dayanımları

Karışım etiketi	Eğilme dayanımı su kürü (MPa)		Eğilme dayanımı hava kürü (MPa)	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L20-M0-F0	3,958	3,802	4,011	3,802
L20-M0-F10	3,125	4,479	2,864	3,386
L20-M0-F15	3,854	3,750	3,594	4,271
L20-M0-F20	3,021	4,531	3,229	4,011
L20-M5-F5	4,271	5,417	2,656	4,531
L20-M5-F10	3,958	3,854	3,229	3,386
L20-M5-F15	3,958	4,271	3,333	4,271
L20-M10-F0	4,688	4,271	2,813	3,698
L20-M10-F5	3,854	3,750	2,344	4,739
L20-M10-F10	3,177	3,802	2,969	4,011
L20-M15-F0	3,594	4,114	2,708	3,386
L20-M15-F5	4,219	3,438	3,438	3,177
L20-M20-F0	3,698	4,844	3,229	3,386



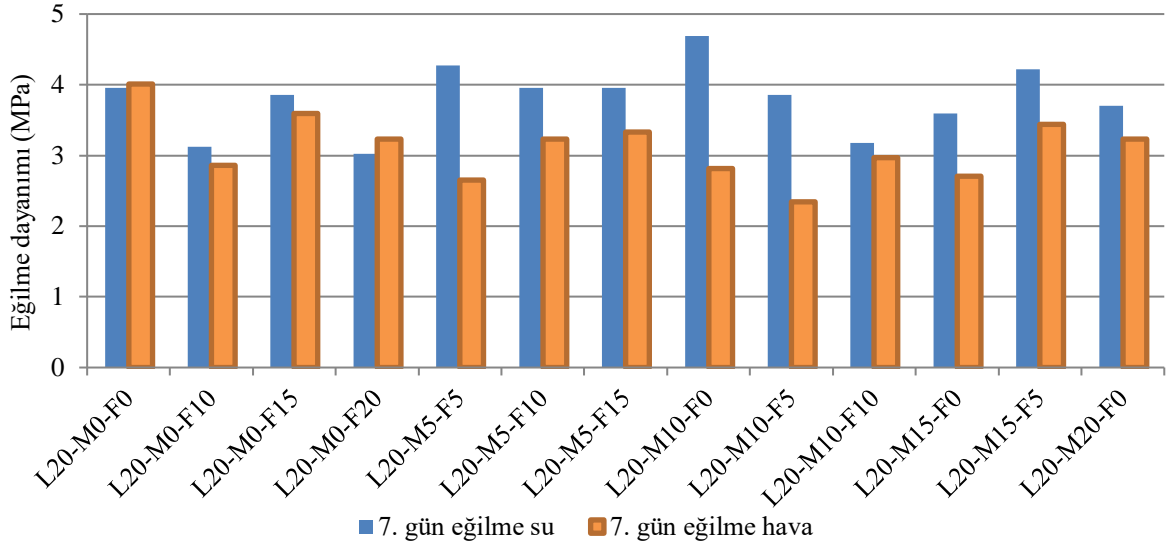
Şekil 4.26. L20 serisi eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.26. incelendiğinde, sadece çimento kullanılan numunelerde 7 günlük dayanımların 28 günlük dayanımlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun başlıca sebebi olarak hidrasyon ısısının artması ve bu sebeple bağlayıcıyla agrega arasında çatlaklar oluştuğu düşünülmektedir. Cürufkların hidrasyon ısısını düşürdüğü bilinmektedir. Şekil 4.26'ya göre EFC katkısıyla bu durumun tersine çevrildiği, 28 günlük dayanımların 7. güne göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Böylece %20 PLA agrega kullanılan harçlarda EFC kullanımının elzem olduğu tespit edilmiştir.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.22.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.27.'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. L20 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri

Karışım etiketi	7. gün eğilme dayanımı su kürü (MPa)	7. gün eğilme dayanımı hava kürü (MPa)
L20-M0-F0	3,958	4,011
L20-M0-F10	3,125	2,864
L20-M0-F15	3,854	3,594
L20-M0-F20	3,021	3,229
L20-M5-F5	4,271	2,656
L20-M5-F10	3,958	3,229
L20-M5-F15	3,958	3,333
L20-M10-F0	4,688	2,813
L20-M10-F5	3,854	2,344
L20-M10-F10	3,177	2,969
L20-M15-F0	3,594	2,708
L20-M15-F5	4,219	3,438
L20-M20-F0	3,698	3,229



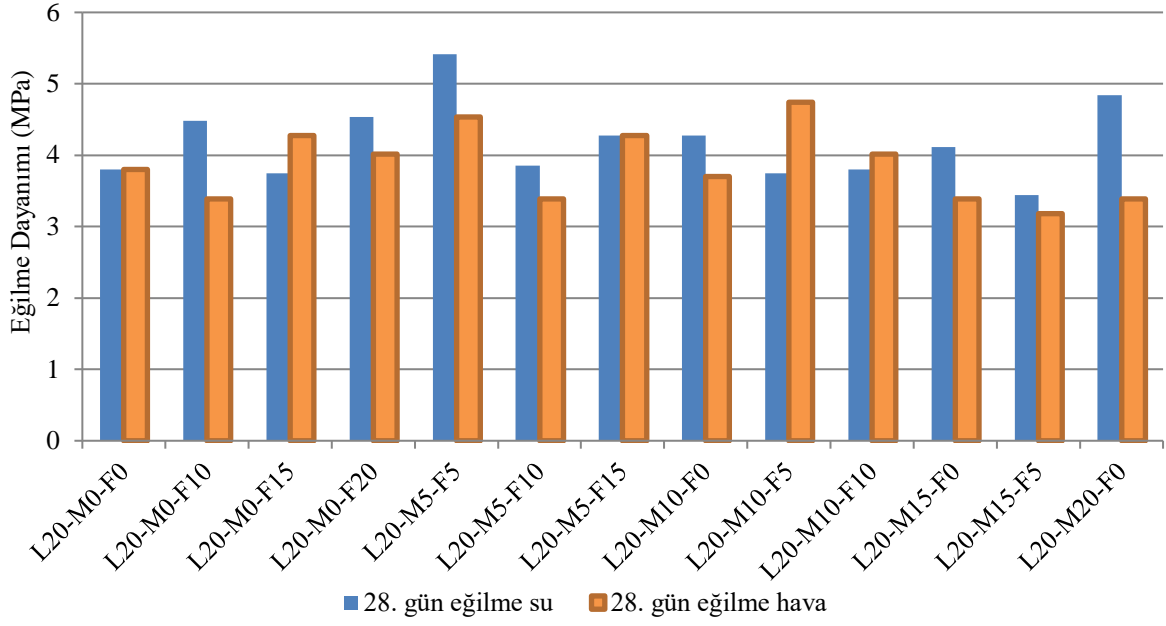
Şekil 4.27. L20 serisi 7 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.27 incelendiğinde, su kürü etkisinde %10 MK içerikli numunelerin en yüksek eğilme dayanım sonuçlarını verdiği, erken yaşlarda %10 MK ikamesinin eğilme dayanımına katkı sağladığı görülmüştür. EFC ikamesinin erken yaşta eğilme dayanım değerlerini düşürdüğü fakat MK ile birlikte ikame edildiğinde dayanım değerlerinde artış eğilimi olabileceği görülmektedir.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.23.'te ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.28.'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. 28 günlük numunelerin eğilme dayanım değerleri

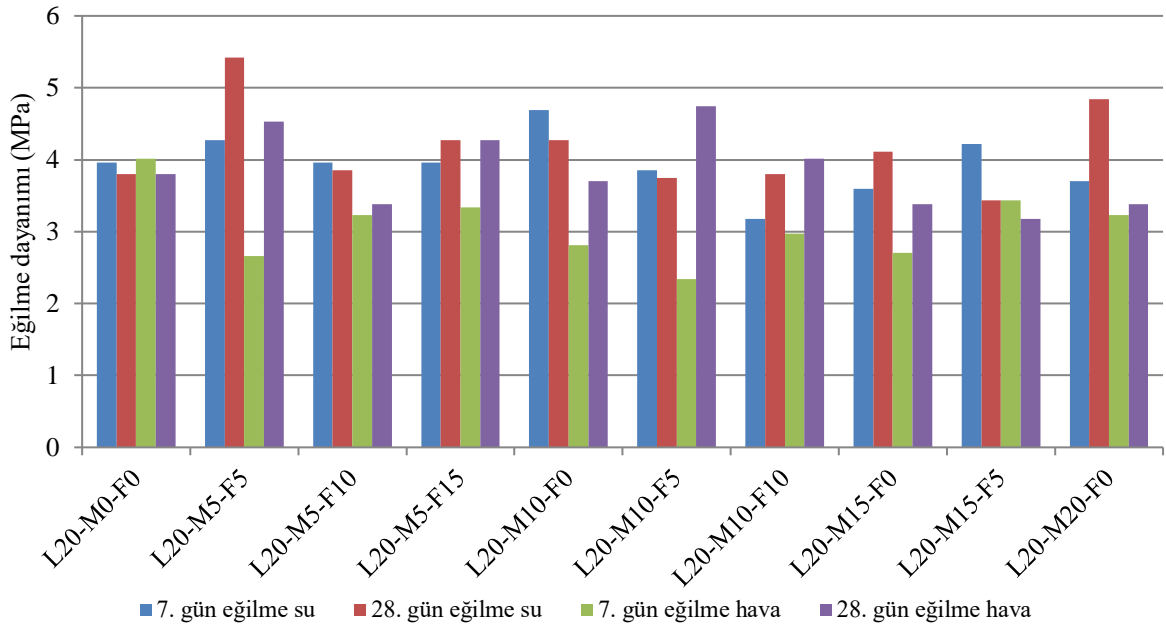
Karışım etiketi	28. gün eğilme dayanımı su kürü (MPa)	28. gün eğilme dayanımı hava kürü (MPa)
L20-M0-F0	3,802	3,802
L20-M0-F10	4,479	3,386
L20-M0-F15	3,750	4,271
L20-M0-F20	4,531	4,011
L20-M5-F5	5,417	4,531
L20-M5-F10	3,854	3,386
L20-M5-F15	4,271	4,271
L20-M10-F0	4,271	3,698
L20-M10-F5	3,750	4,739
L20-M10-F10	3,802	4,011
L20-M15-F0	4,114	3,386
L20-M15-F5	3,438	3,177
L20-M20-F0	4,844	3,386



Şekil 4.28. L20 serisi 28 günlük numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.28 incelendiğinde, EFC ikamesinin 7 günlük numunelerin aksine hava kürü etkisinde eğilme dayanım değerlerini artırdığı görülmektedir. MK ve EFC'nin bir arada kullanıldığı numunelerde sadece çimento kullanılanlara göre daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir.

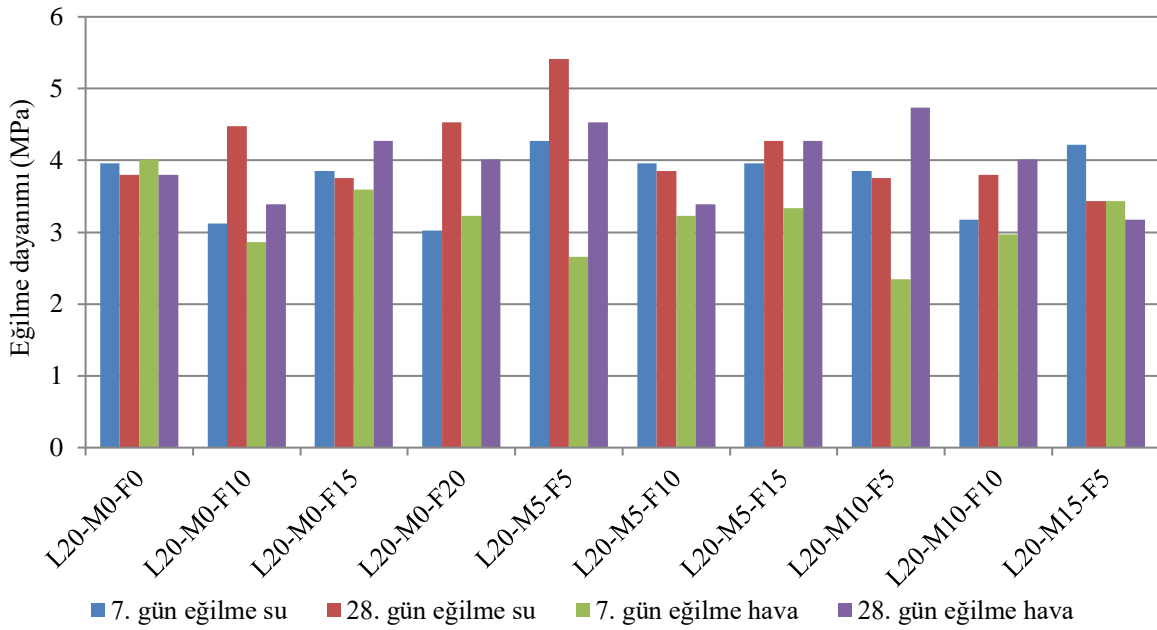
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29. L20 serisi MK içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.29. incelendiğinde, 28 günlük eğilme dayanımlarında MK ikamesinin hava kürü etkisinde eğilme dayanıma katkı sağlamadığı fakat EFC ile birlikte ikamesinin dayanım değerlerini artırdığı görülmüştür. 7 günlük numunelerde erken yaş dayanımını yükseltmek amacıyla, tek başına MK ikamesinin %10 oranında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.30.'da verilmiştir.



Şekil 4.30. L20 serisi EFC içerikli numunelerin eğilme dayanım grafiği

Şekil 4.30. incelendiğinde, EFC ikamesinin erken yaş dayanımını olumsuz yönde etkileyerek dayanımı düşürdüğü, ileriki yaşlarda yalnız çimento kullanılan numunelere göre daha yüksek dayanım sağlayabildiği görülmüştür. MK ile birlikte ikamesi 28 günlük numunelerde dayanım artışı sağlayabilmektedir.

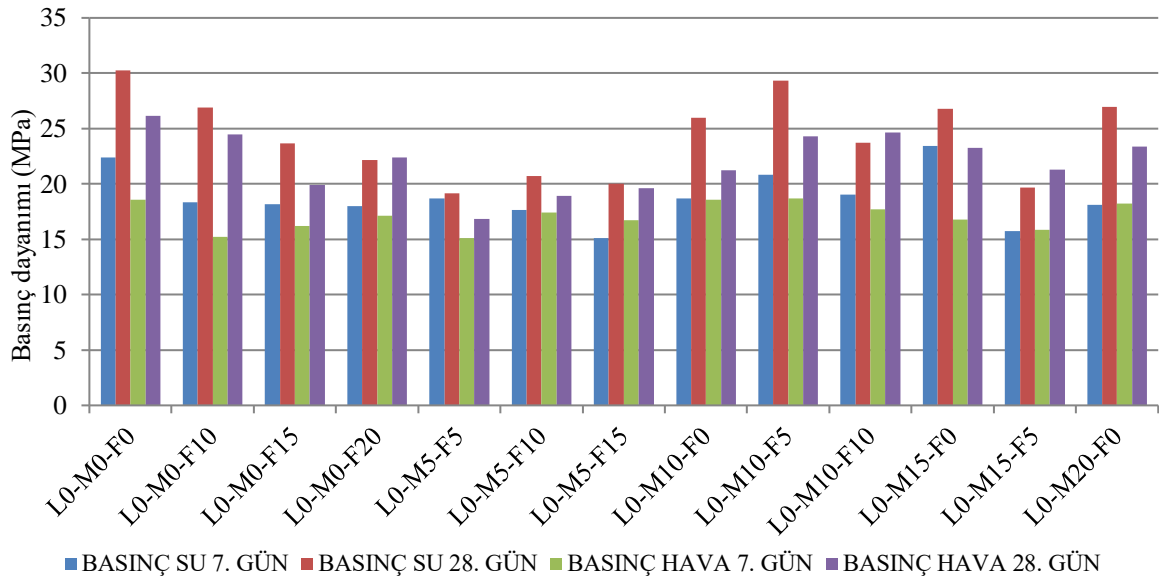
4.5. Basınç Dayanımı

4.5.1. L0 serisi basınç dayanımı

% 0 PLA içeren harç numunelere ait basınç dayanım değerleri Çizelge 4.24.'de ve basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. L0 serisi basınç dayanım değerleri

Karışım etiketi	Basınç dayanımı su kürü (MPa)		Basınç dayanımı hava kürü (MPa)	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L0-M0-F0	22,405	30,27	18,562	26,145
L0-M0-F10	18,333	26,885	15,208	24,46
L0-M0-F15	18,183	23,645	16,197	19,885
L0-M0-F20	17,987	22,166	17,156	22,416
L0-M5-F5	18,697	19,156	15,115	16,833
L0-M5-F10	17,635	20,728	17,4	18,937
L0-M5-F15	15,103	20,03	16,718	19,592
L0-M10-F0	18,708	25,989	18,583	21,229
L0-M10-F5	20,833	29,312	18,676	24,322
L0-M10-F10	19,03	23,697	17,697	24,676
L0-M15-F0	23,41	26,791	16,77	23,239
L0-M15-F5	15,77	19,656	15,885	21,291
L0-M20-F0	18,128	26,979	18,228	23,364



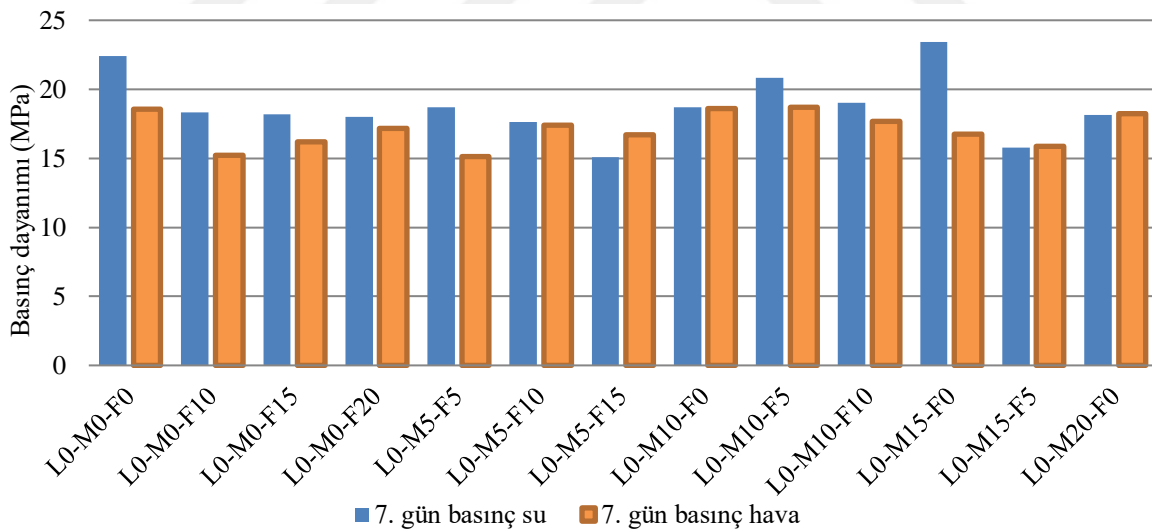
Şekil 4.31. L0 serisi basınç dayanım grafiği

Şekil 4.31. incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımı değerleri yalnızca çimento kullanılan numunelerden elde edilmiştir. EFC ikame oranının artmasıyla birlikte basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. % 15 oranında MK ikamesinin 7 günlük dayanıma katkı sağladığı ve en yüksek erken yaş basınç dayanım değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Literatürde de bu bulguya rastlanmıştır (Tanyıldızı ve Coşkun, 2011; Aruntaş vd., 2007; Ünal ve Kibici, 2001), kalsit içerikli malzemelerin %10 ile %15 oranları arasında ilavesiyle beton dayanım ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirme potansiyeli olduğunu ifade edilmiştir.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.25.'te ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.32.'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. L0 serisi 7 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri

Karışım etiketi	7. gün basınç dayanımı su kürü (MPa)	7. gün basınç dayanımı hava kürü (MPa)
L0-M0-F0	22,405	18,562
L0-M0-F10	18,333	15,208
L0-M0-F15	18,183	16,197
L0-M0-F20	17,987	17,156
L0-M5-F5	18,697	15,115
L0-M5-F10	17,635	17,4
L0-M5-F15	15,103	16,718
L0-M10-F0	18,708	18,583
L0-M10-F5	20,833	18,676
L0-M10-F10	19,03	17,697
L0-M15-F0	23,41	16,77
L0-M15-F5	15,77	15,885
L0-M20-F0	18,128	18,228



Şekil 4.32. L0 serisi 7 günlük numunelerin basınç dayanım grafiği

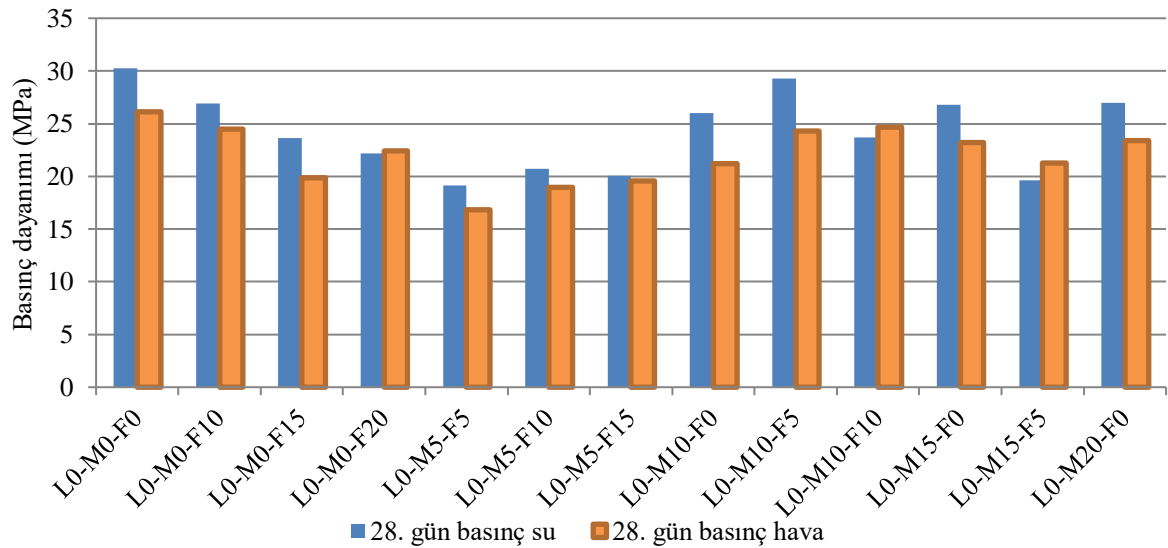
Şekil 4.32. incelendiğinde, su kürü etkisindeki 7 günlük numunelerde EFC ikame oranı arttıkça basınç dayanım değerleri azalmıştır. En yüksek basınç dayanımı %15 MK ikame edilen numunelerde elde edilmekle birlikte literatürde de %10-15 oranlarında kalsit içerikli malzemelerin erken yaş dayanımına katkı sağlayabileceğinden bahsedilmektedir. Hava kürü etkisinde ise %10 MK'nin tek başına ikamesinin yanı sıra %5 EFC ile birlikte kullanılmasıyla şahit numuneye göre daha yüksek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir.

Ayrıca hava kürü etkisinde EFC ikamesi, erken yaşlarda basınç dayanımını düşürse de ikame oranının artmasıyla dayanım artışına sebebiyet verdiği gözlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda MK ikamesinin erken yaş dayanımına katkı sağlayabildiği tespit edilmiştir. EFC ikame oranının artmasıyla birlikte genel olarak su kürüne ihtiyacın azaldığı düşünülmektedir.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.26.'da ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.33.'te verilmiştir.

Çizelge 4.26. L0 serisi 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri

Karışım etiketi	28. gün basınç dayanımı su kürü (MPa)	28. gün basınç dayanımı hava kürü (MPa)
L0-M0-F0	30,27	26,145
L0-M0-F10	26,885	24,46
L0-M0-F15	23,645	19,885
L0-M0-F20	22,166	22,416
L0-M5-F5	19,156	16,833
L0-M5-F10	20,728	18,937
L0-M5-F15	20,03	19,592
L0-M10-F0	25,989	21,229
L0-M10-F5	29,312	24,322
L0-M10-F10	23,697	24,676
L0-M15-F0	26,791	23,239
L0-M15-F5	19,656	21,291
L0-M20-F0	26,979	23,364

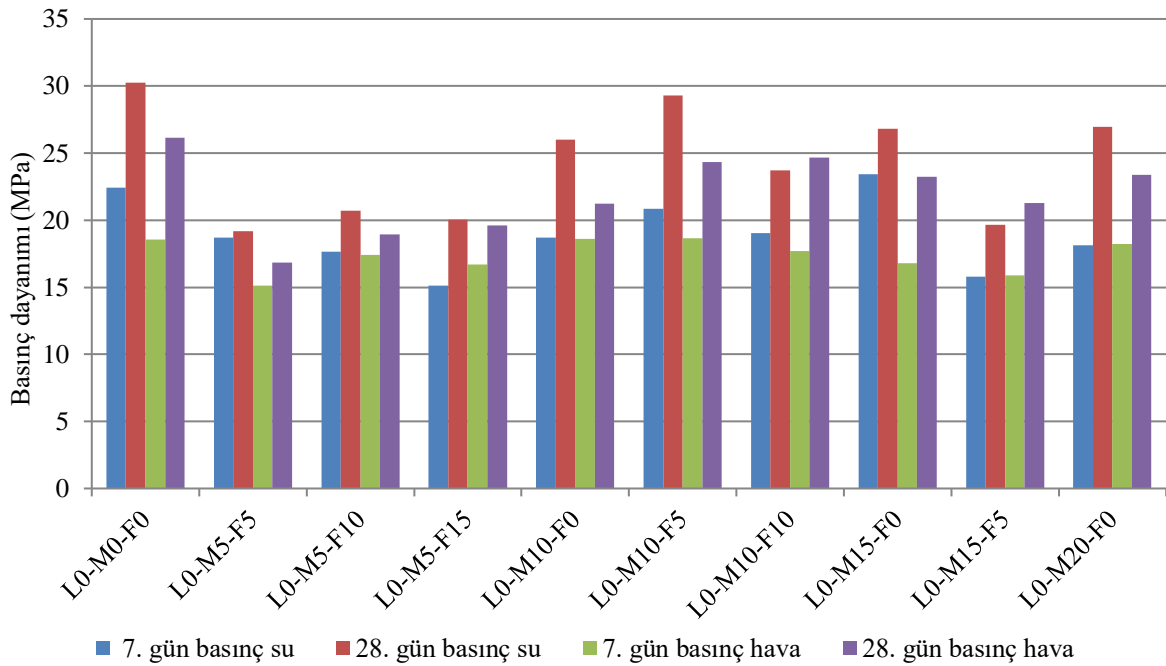


Şekil 4.33. L0 serisi 28 günlük numunelerin basınç dayanım grafiği

Şekil 4.33. incelendiğinde, su kürü etkisinde EFC'nin tek başına ikame oranı arttıkça basınç dayanımı azalma eğilimi gösterirken, şahit numuneden sonra en yüksek basınç dayanım %

10 MK ve % 5 EFC'nin bir arada ikame edildiği numunede görülmüştür. Hava kürü etkisindeki numunelerde en yüksek basınç dayanım değeri şahit numunede elde edilmiş olup karışımlar içerisinde en yakın sonuçlar %10 oranında EFC'nin tek başına ve %10 MK ile birlikte kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir.

İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34. L0 serisi MK içeren numunelerin basınç dayanım grafiği

Şekil 4.34. incelendiğinde, çimento yerine %10-15 oranında MK ikamesinin erken yaş dayanımını yükseltebileceği fakat ilerleyen yaşlarda bu avantajını kaybederek şahit numuneye göre daha düşük basınç dayanım değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 28 günlük numunelerde ise her kür koşulunda en yüksek basınç dayanımı şahit numuneye ait olurken en yakın sonuçlar su kürü etkisinde %5 EFC ile %10 MK'nın bir arada kullanıldığı numunede, hava kürü etkisinde ise iki malzemenin de %10'ar oranlarla birlikte ikame edildiği numunelerde gözlenmiştir. Bu durum iki malzemenin bir arada çimento yerine ikame edilebileceği düşündürmüştür.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.35.'te verilmiştir.



Şekil 4.35. L0 serisi EFC içeren numunelerin basınç dayanım grafiği

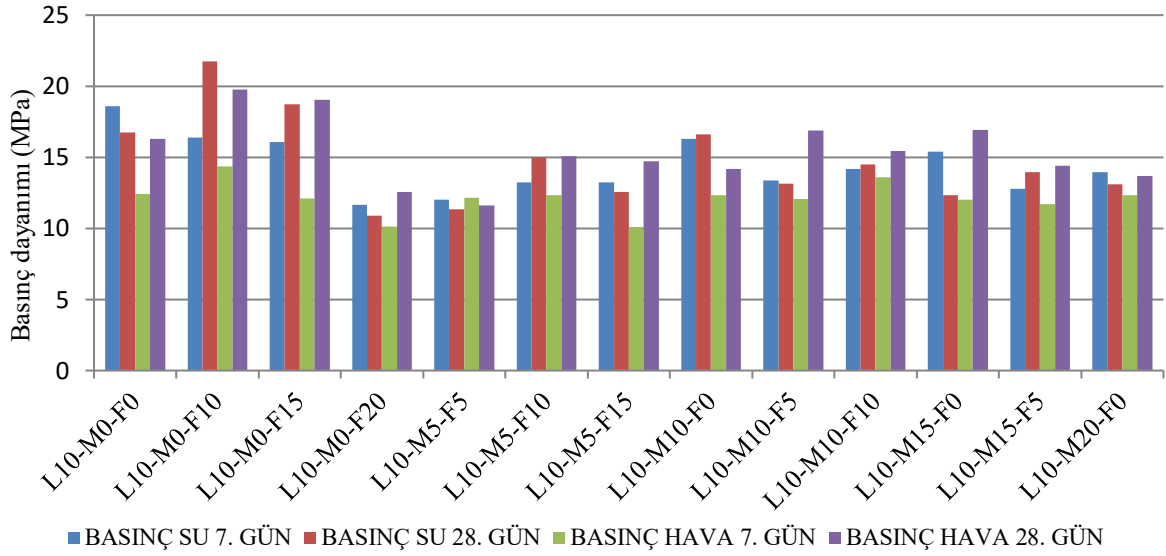
Şekil 4.35. incelendiğinde, çimento yerine yalnızca EFC kullanılan numunelerde ikame oranının artmasıyla dayanımlarda düşüş meydana gelmiştir. EFC ikameli numunelerde su kütüne olan ihtiyaç azalmış ve ikame oranının artmasıyla hava kütüne etkisindeki numunelerde dayanım değerleri su kütündeki numunelere yaklaşmış hatta daha yüksek sonuç verebildiği gözlenmiştir. Dayanım açısından EFC ikamesinde en yüksek basınç dayanım değerleri MK ile birlikte ikame edildiği numunelerde elde edilmiştir.

4.5.2. L10 serisi basınç dayanımı

% 10 PLA içeren harç numunelere ait basınç dayanım değerleri Çizelge 4.27.'de ve basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.27. L10 serisi basınç dayanım değerleri

Karışım etiketi	Basınç dayanımı su kütüne (MPa)		Basınç dayanımı hava kütüne (MPa)	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L10-M0-F0	18,614	16,761	12,406	16,306
L10-M0-F10	16,406	21,734	14,375	19,75
L10-M0-F15	16,073	18,74	12,114	19,062
L10-M0-F20	11,646	10,885	10,146	12,573
L10-M5-F5	12,042	11,343	12,166	11,604
L10-M5-F10	13,229	14,99	12,333	15,073
L10-M5-F15	13,25	12,552	10,094	14,739
L10-M10-F0	16,296	16,635	12,339	14,198
L10-M10-F5	13,375	13,156	12,062	16,864
L10-M10-F10	14,198	14,51	13,594	15,458
L10-M15-F0	15,404	12,323	12,021	16,927
L10-M15-F5	12,771	13,979	11,708	14,385
L10-M20-F0	13,969	13,094	12,354	13,667



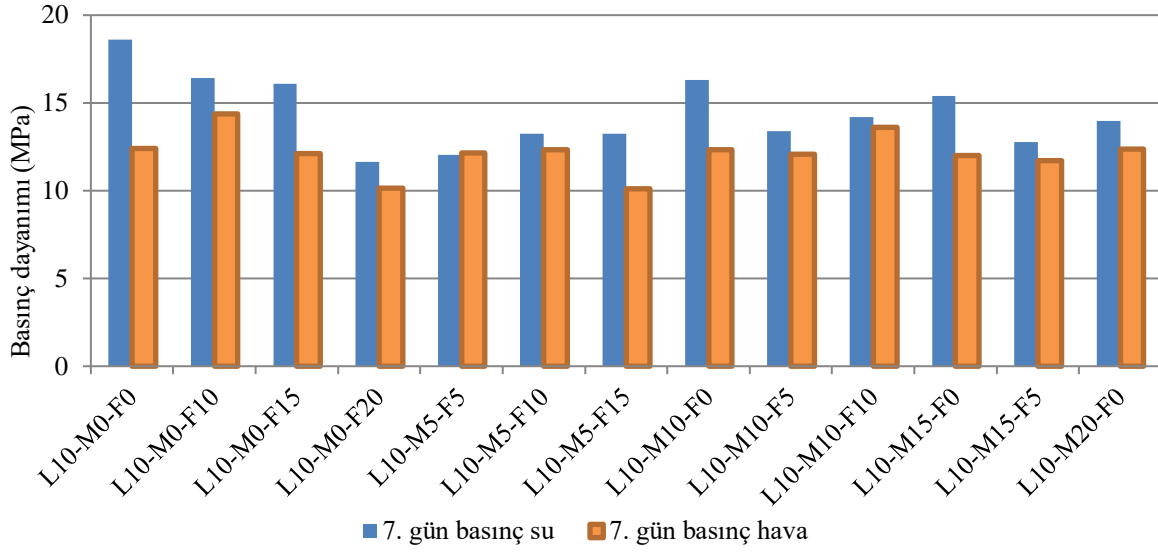
Şekil 4.36. L10 serisi basınç dayanım grafiği

Şekil 4.36. incelendiğinde, EFC ikamesinin %15'e kadar ikamesinin tüm kür koşulları altında 28 günlük basınç dayanım değerlerini yalnızca çimento kullanılan numuneye göre artırdığı görülmüştür. Hava kürü etkisinde MK ikamesinin %15 oranında kullanımı 28 günlük numunelerde basınç dayanımını yükseltse de ciddi bir artış gözlenmemiştir.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.28.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.37.'de verilmiştir.

Çizelge 4.28. L10 serisi 7 günlük basınç dayanım değerleri

Karışım etiketi	7. gün basınç dayanımı su kürü (MPa)	7. gün basınç dayanımı hava kürü (MPa)
L10-M0-F0	18,614	12,406
L10-M0-F10	16,406	14,375
L10-M0-F15	16,073	12,114
L10-M0-F20	11,646	10,146
L10-M5-F5	12,042	12,166
L10-M5-F10	13,229	12,333
L10-M5-F15	13,25	10,094
L10-M10-F0	16,296	12,339
L10-M10-F5	13,375	12,062
L10-M10-F10	14,198	13,594
L10-M15-F0	15,404	12,021
L10-M15-F5	12,771	11,708
L10-M20-F0	13,969	12,354



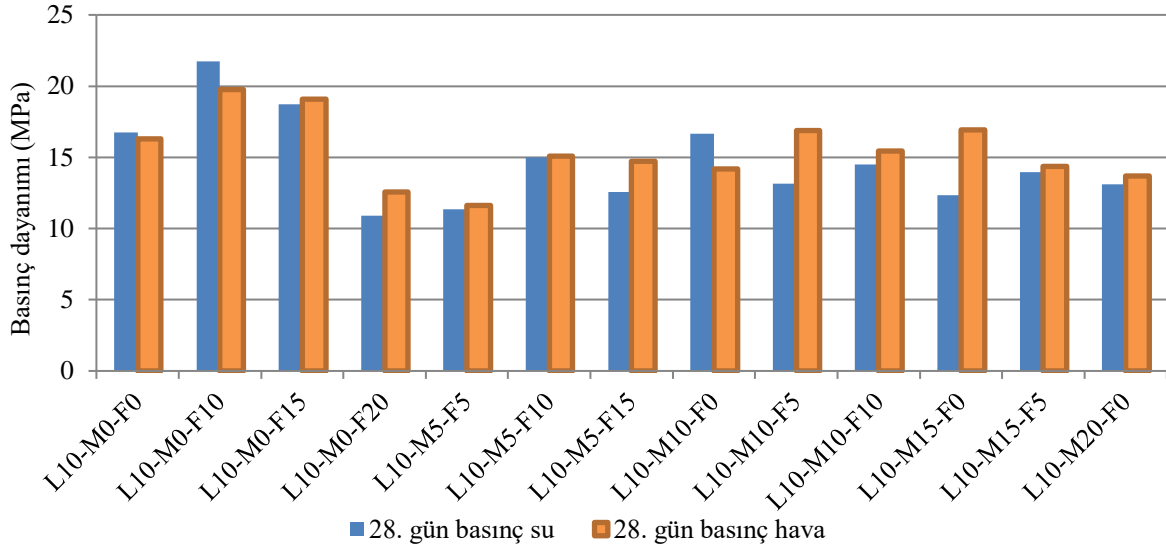
Şekil 4.37. L10 serisi 7 günlük basınç dayanım grafiği

Şekil 4.37. incelendiğinde, su kürü etkisinde en yüksek dayanım sadece çimento kullanılan numunelerde elde edilirken, MK ve EFC'nin tek başına ayrı ayrı olarak %10 oranında ikamesinin şahit numuneye en yakın değerlere sahip olduğu fakat ikame oranı arttıkça basınç dayanım değerlerinin düştüğü görülmektedir. Hava kürü etkisinde ise en yüksek dayanım değerleri EFC ikamesinin %10 oranında kullanıldığı numunelerde görülmüş ve ikame oranı arttıkça dayanım değerleri düşüş göstermiştir. Bu durumun yanı sıra yalnızca MK ikamesi kullanılan numunelerde basınç dayanım artışı gözlenmemiştir.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.29.'da ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.38.'de verilmiştir.

Çizelge 4.29. L10 serisi 28 günlük basınç dayanım değerleri

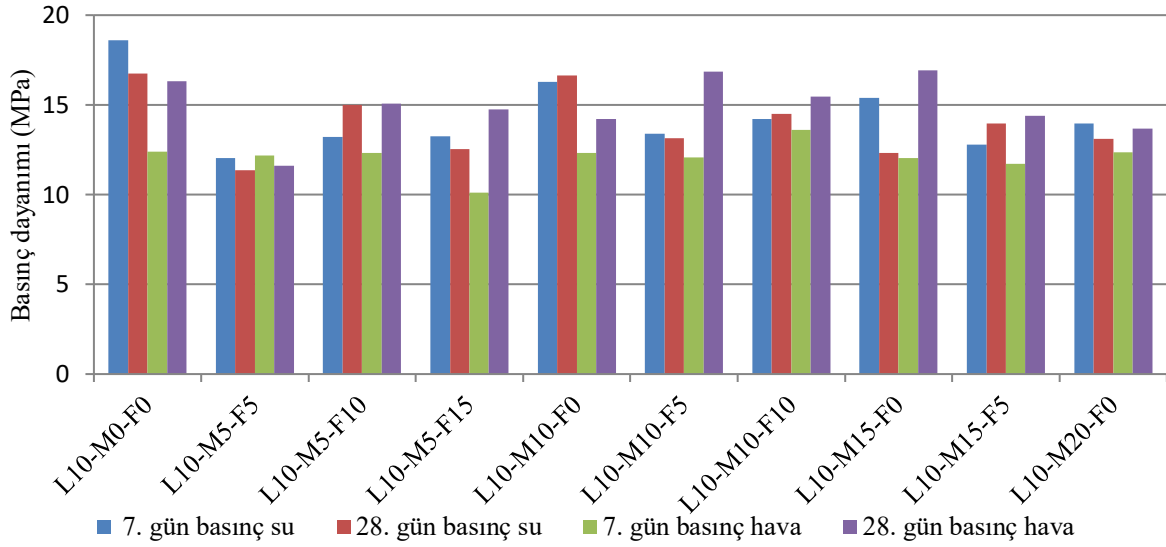
Karışım etiketi	28. gün basınç dayanımı su kürü (MPa)	28. gün basınç dayanımı hava kürü (MPa)
L10-M0-F0	16,761	16,306
L10-M0-F10	21,734	19,75
L10-M0-F15	18,74	19,062
L10-M0-F20	10,885	12,573
L10-M5-F5	11,343	11,604
L10-M5-F10	14,99	15,073
L10-M5-F15	12,552	14,739
L10-M10-F0	16,635	14,198
L10-M10-F5	13,156	16,864
L10-M10-F10	14,51	15,458
L10-M15-F0	12,323	16,927
L10-M15-F5	13,979	14,385
L10-M20-F0	13,094	13,667



Şekil 4.38. L10 serisi 28 günlük basınç dayanım grafiği

Şekil 4.38. incelendiğinde, su kürü etkisinde şahit numunenin 7 günlük basınç dayanımının 28. günden daha yüksek olduğu ve numune yaşı ilerledikçe dayanım kaybı yaşandığı görülmektedir. Bu durumun başlıca nedeninin su kürüne maruz kalan numunelerin içyapısında kimyasal bozulmalar, boşluklar ve çatlakların meydana gelişi olduğu düşünülmektedir. % 15'e kadar EFC ikame oranının her kür koşulunda ciddi bir basınç dayanımı artışı sağladığı görülmektedir. EFC ikame oranı arttıkça dayanım değerleri düşse de su kürüne olan ihtiyaç azalmış, hava küründe bekleyen numunelerin genel olarak basınç dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Hava kürü etkisinde MK ikamesinin nihai dayanıma, % 15 ikame oranında kullanımının haricinde katkı sağlamadığı gözlenmiştir.

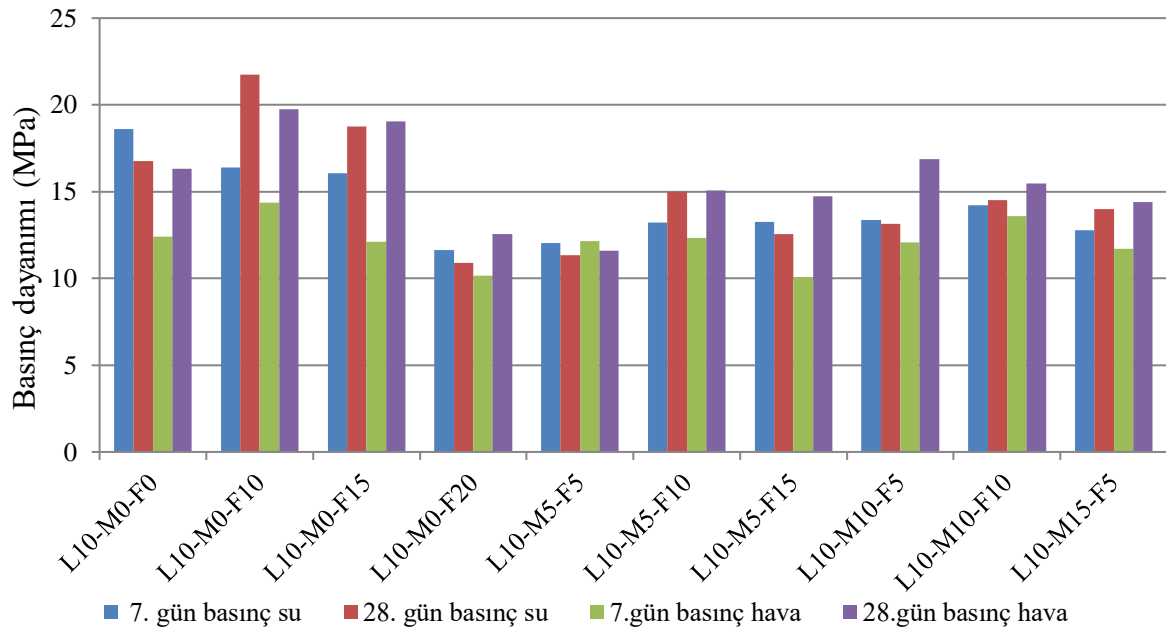
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.44'te verilmiştir.



Şekil 4.39. L10 serisi MK içeren numunelerin basınç dayanım grafiği

Şekil 4.39. incelendiğinde, su kürü etkisinde %10, hava kürü etkisinde %15 oranında MK ikamesinin yalnızca çimento kullanılan numunelere göre erken yaş dayanımında en yakın değerlere sahip olduğu ve ikame oranı arttıkça dayanım değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.40.'ta verilmiştir.



Şekil 4.40. L10 serisi EFC içeren numunelerin basınç dayanım grafiği

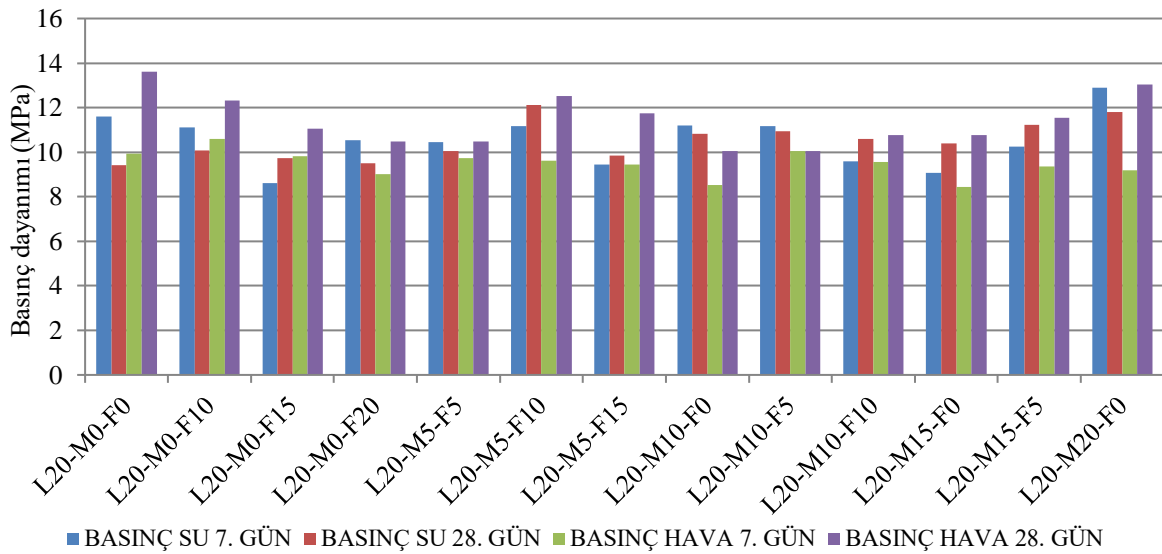
Şekil 4.40. incelendiğinde, her kür koşulunda %15 oranına kadar EFC ikamesinin 28 günlük dayanıma katkı sağladığı ve çimento yerine kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. MK ile birlikte ikamesinin istisnalar olsa da genel olarak dayanıma katkı sağlamamıştır.

4.5.3. L20 serisi basınç dayanımı

% 20 PLA içeren harç numunelere ait basınç dayanım değerleri Çizelge 4.30.'da ve basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. L20 serisi basınç dayanım değerleri

Karışım etiketi	Basınç dayanımı su kürü (MPa)		Basınç dayanımı hava kürü (MPa)	
	7. GÜN	28. GÜN	7. GÜN	28. GÜN
L20-M0-F0	11,594	9,427	9,937	13,625
L20-M0-F10	11,125	10,083	10,604	12,333
L20-M0-F15	8,604	9,719	9,804	11,052
L20-M0-F20	10,542	9,51	9	10,489
L20-M5-F5	10,437	10,052	9,719	10,479
L20-M5-F10	11,166	12,125	9,625	12,51
L20-M5-F15	9,437	9,854	9,448	11,75
L20-M10-F0	11,208	10,823	8,521	10,042
L20-M10-F5	11,167	10,927	10,041	10,052
L20-M10-F10	9,583	10,594	9,552	10,781
L20-M15-F0	9,083	10,395	8,448	10,781
L20-M15-F5	10,26	11,24	9,364	11,552
L20-M20-F0	12,906	11,792	9,187	13,041



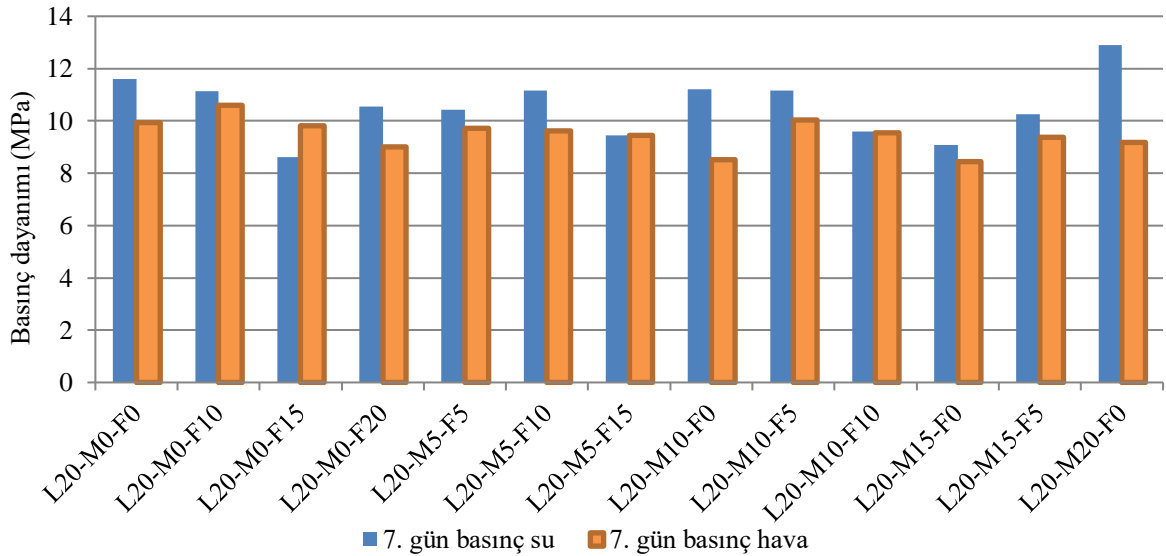
Şekil 4.41. L20 serisi basınç dayanım grafiği

Şekil 4.41. incelendiğinde, L10 serisinde yaşanan 7 günlük su kürü etkisindeki numunelerin 28. günden daha yüksek basınç dayanım değerlerine sahip olma durumu L20 serisinde de görülmektedir. Yalnızca EFC ikamesinin kullanıldığı numunelerde ikame oranının artmasıyla numunelerde dayanım kaybı meydana geldiği görülmektedir. Hava kürü etkisinde yalnızca MK ikamesi kullanılan 28 günlük numunelerde ikame oranının artmasıyla basınç dayanımlarının da doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir.

Farklı kür koşulları altında 7 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.31.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.42.'de verilmiştir.

Çizelge 4.31. L20 serisi 7 günlük basınç dayanım değerleri

Karışım etiketi	7. gün basınç dayanımı su kürü (MPa)	7. gün basınç dayanımı hava kürü (MPa)
L20-M0-F0	11,594	9,937
L20-M0-F10	11,125	10,604
L20-M0-F15	8,604	9,804
L20-M0-F20	10,542	9
L20-M5-F5	10,437	9,719
L20-M5-F10	11,166	9,625
L20-M5-F15	9,437	9,448
L20-M10-F0	11,208	8,521
L20-M10-F5	11,167	10,041
L20-M10-F10	9,583	9,552
L20-M15-F0	9,083	8,448
L20-M15-F5	10,26	9,364
L20-M20-F0	12,906	9,187



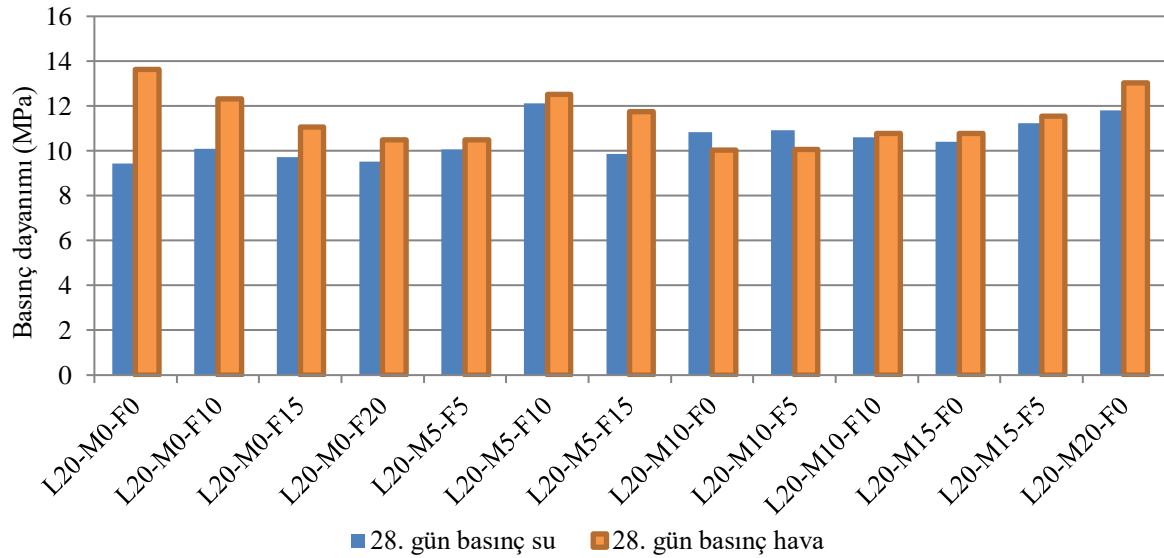
Şekil 4.42. L20 serisi 7 günlük basınç dayanım grafiği

Şekil 4.42. incelendiğinde, %10 oranında EFC ikamesinin hava kürü etkisindeki numunelerde en yüksek dayanımın elde edilmesine imkan verdiği, EFC ikame oranı artışıyla birlikte dayanımlarda azalma meydana geldiği görülmektedir. Hava kürü etkisindeki yalnızca MK kullanılan numuneler MK ikame oranı arttıkça basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. %20 oranında MK ikamesinin su kürü etkisi altında basınç dayanımına katkı sağladığı belirlenmiştir.

Farklı kür koşulları altında 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.32.'de ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.43.'te verilmiştir.

Çizelge 4.32. L20 serisi 28 günlük basınç dayanım değerleri

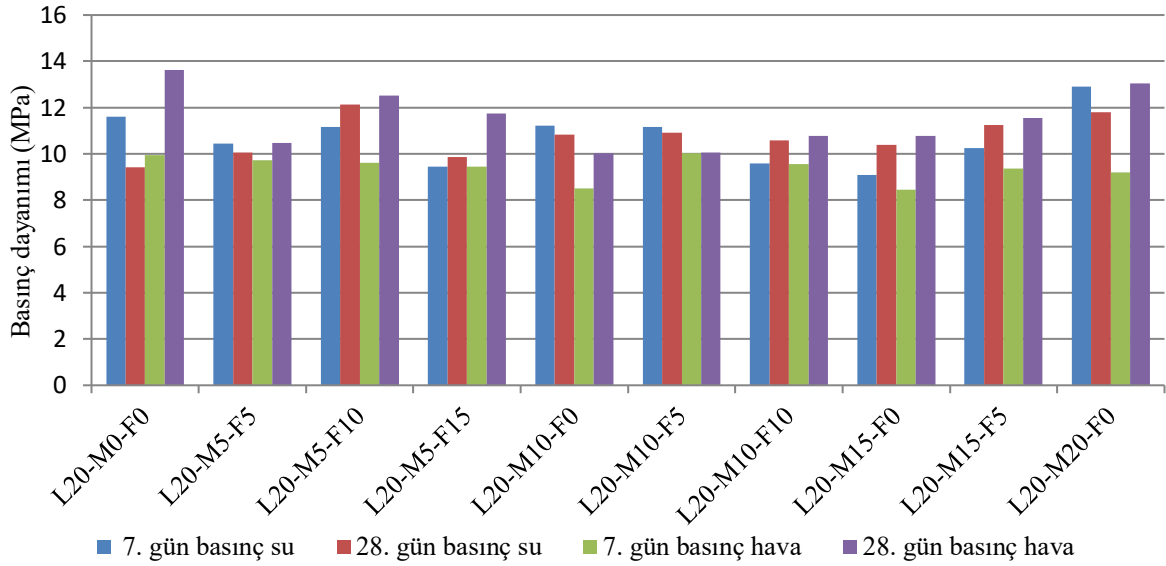
Karışım etiketi	28. gün basınç dayanımı su kürü (MPa)	28. gün basınç dayanımı hava kürü (MPa)
L20-M0-F0	9,427	13,625
L20-M0-F10	10,083	12,333
L20-M0-F15	9,719	11,052
L20-M0-F20	9,51	10,489
L20-M5-F5	10,052	10,479
L20-M5-F10	12,125	12,51
L20-M5-F15	9,854	11,75
L20-M10-F0	10,823	10,042
L20-M10-F5	10,927	10,052
L20-M10-F10	10,594	10,781
L20-M15-F0	10,395	10,781
L20-M15-F5	11,24	11,552
L20-M20-F0	11,792	13,041



Şekil 4.43. L20 serisi 28 günlük numunelerin basınç dayanım grafiği

Şekil 4.43. incelendiğinde, %20 oranında PLA kullanımıyla birlikte hava küründe bekleyen numunelerin nihai dayanımda, su küründe bekleyen numunelere göre daha yüksek basınç dayanım değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun yanı sıra su kürü etkisine maruz kalan numunelerde en düşük 28 günlük basınç dayanımı yalnızca çimento içeren numuneye aittir. Kür koşulları arasındaki dayanım farkı bariz bir şekilde görülmektedir. EFC ikame oranının artmasıyla hava kürü numunelerinde genel olarak dayanım azalırken, MK ikamesinde dayanım artmıştır.

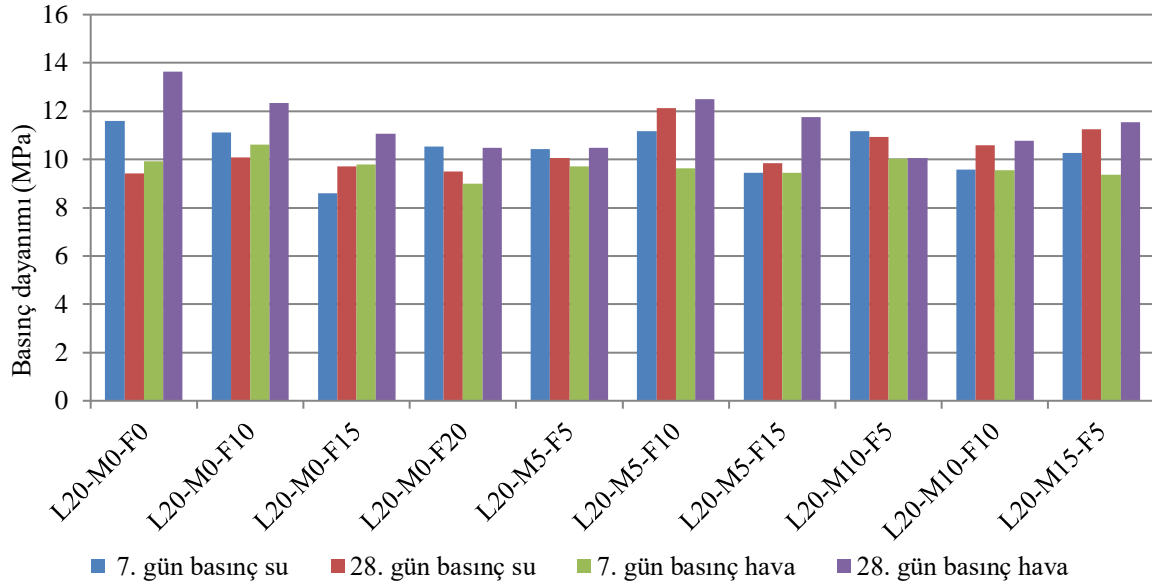
İçeriğinde MK barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.44'te verilmiştir.



Şekil 4.44. L20 serisi MK içeren numunelerin basınç dayanım grafiği

Şekil 4.44. incelendiğinde, su kürü etkisinde MK ikamesinin hem tek başına hem de EFC ile birlikte kullanımın nihai basınç dayanımına katkı sağlayabileceği görülmüştür. Hava kürü etkisinde hem tek başına hem de EFC ile birlikte ikame edildiğinde dayanım artışları tespit edilmiştir.

İçeriğinde EFC barındıran numunelerin tüm kür koşulları ve 7-28 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.45'te verilmiştir.



Şekil 4.45. L20 serisi EFC içeren numunelerin basınç dayanım grafiği

Şekil 4.45. incelendiğinde, EFC'nin tek başına kullanıldığı numunelerde ikame oranı arttıkça basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. Su kürü etkisinde MK ile birlikte ikame edilmesinin dayanım artışı sağlayabileceği görülmektedir.

4.6. Dinamik Elastisite Modülü Tayini (DEM)

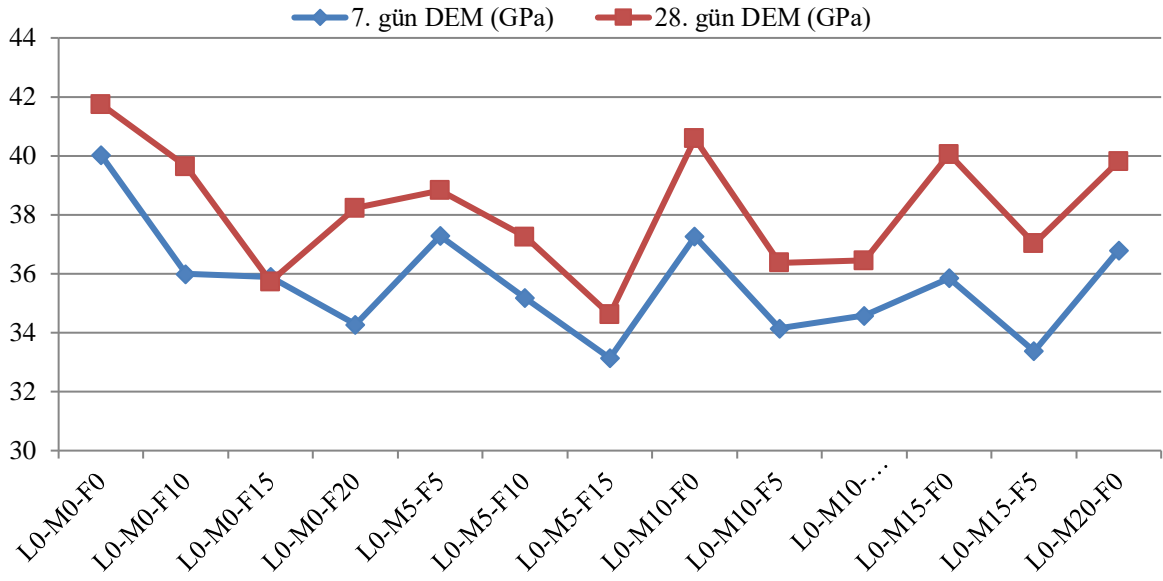
7 ve 28 gün boyunca su kürü etkisine maruz bırakılan çimento harç numunelerden elde edilen SBHA ve UPV sonuçları ışığında dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır. 7 ve 28 günlük suya doymun numunelerin dinamik elastisite modülleri sırasıyla Çizelge 4.33. ile Çizelge 4.34.'te verilmiştir. L0 serisine ait DEM değerleri grafiği Şekil 4.46.'da, L10 serisine ait DEM değerleri Şekil 4.47.' de ve L20 serisine ait dinamik elastisite modülü değerleri grafiği Şekil 4.48.'de verilmiştir.

Çizelge 4.33. 7 günlük suya doymun numunelerin DEM değeri

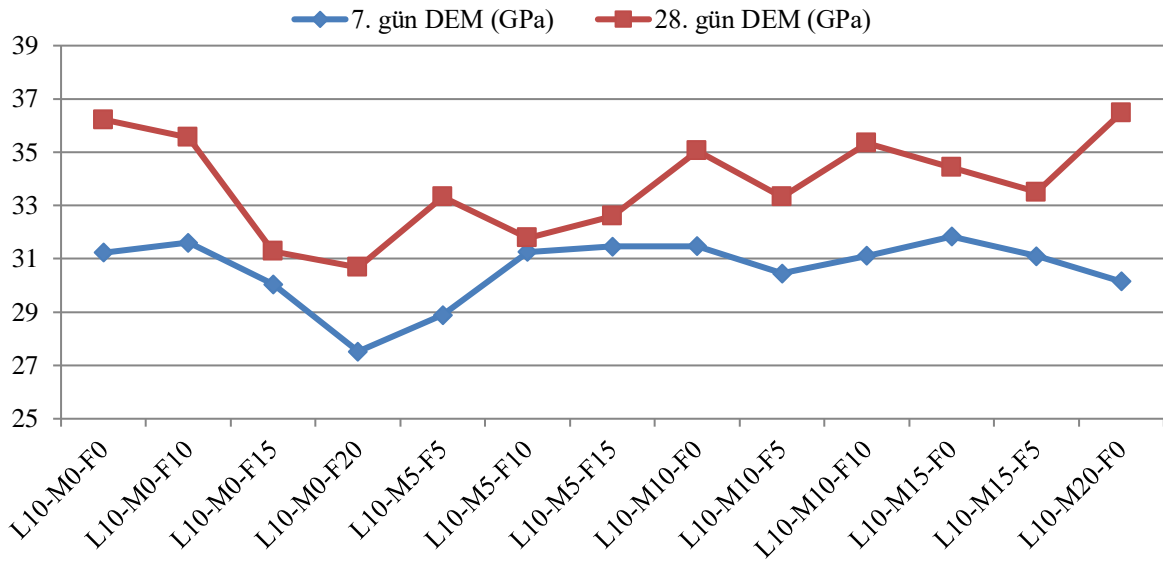
%0 PLA	DEM (GPa)	%10 PLA	DEM (GPa)	%20 PLA	DEM (GPa)
L0-M0-F0	40,028	L10-M0-F0	31,232	L20-M0-F0	30,641
L0-M0-F10	35,994	L10-M0-F10	31,606	L20-M0-F10	29,573
L0-M0-F15	35,899	L10-M0-F15	30,050	L20-M0-F15	26,813
L0-M0-F20	34,282	L10-M0-F20	27,525	L20-M0-F20	27,525
L0-M5-F5	37,280	L10-M5-F5	28,888	L20-M5-F5	27,570
L0-M5-F10	35,174	L10-M5-F10	31,261	L20-M5-F10	28,474
L0-M5-F15	33,137	L10-M5-F15	31,462	L20-M5-F15	27,067
L0-M10-F0	37,261	L10-M10-F0	31,473	L20-M10-F0	29,015
L0-M10-F5	34,151	L10-M10-F5	30,458	L20-M10-F5	29,809
L0-M10-F10	34,584	L10-M10-F10	31,118	L20-M10-F10	26,963
L0-M15-F0	35,854	L10-M15-F0	31,835	L20-M15-F0	30,228
L0-M15-F5	33,378	L10-M15-F5	31,100	L20-M15-F5	28,080
L0-M20-F0	36,799	L10-M20-F0	30,152	L20-M20-F0	30,362

Çizelge 4.34. 28 günlük suya doymun numunelerin DEM değeri

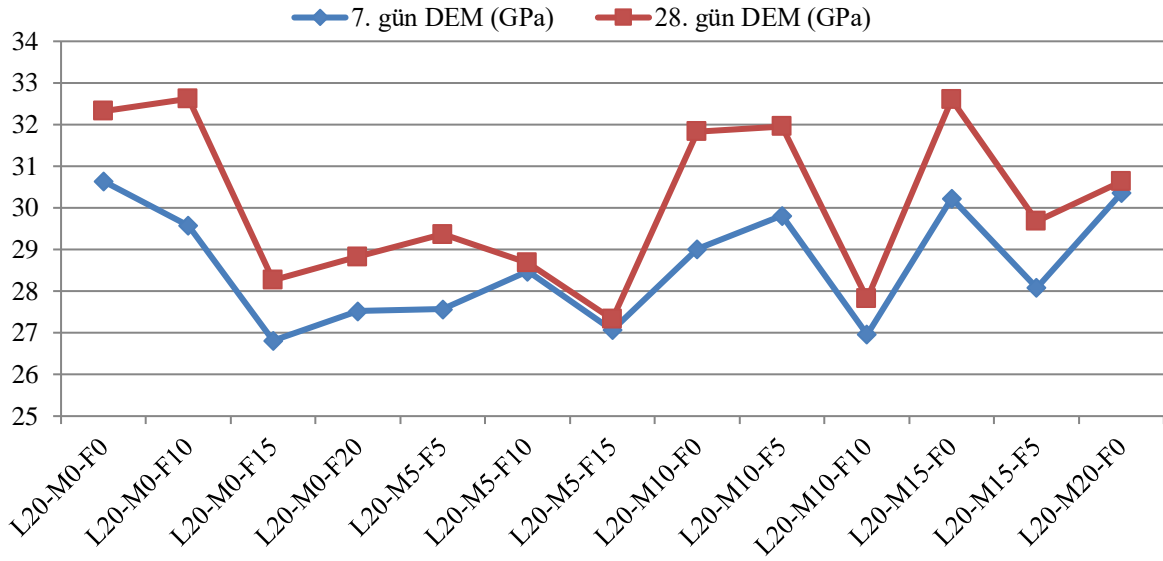
%0 PLA	DEM (GPa)	%10 PLA	DEM (GPa)	%20 PLA	DEM (GPa)
L0-M0-F0	41,750	L10-M0-F0	36,224	L20-M0-F0	32,326
L0-M0-F10	39,646	L10-M0-F10	35,557	L20-M0-F10	32,621
L0-M0-F15	35,727	L10-M0-F15	31,279	L20-M0-F15	28,269
L0-M0-F20	38,235	L10-M0-F20	30,678	L20-M0-F20	28,830
L0-M5-F5	38,827	L10-M5-F5	33,322	L20-M5-F5	29,369
L0-M5-F10	37,248	L10-M5-F10	31,789	L20-M5-F10	28,680
L0-M5-F15	34,614	L10-M5-F15	32,605	L20-M5-F15	27,327
L0-M10-F0	40,592	L10-M10-F0	35,052	L20-M10-F0	31,834
L0-M10-F5	36,376	L10-M10-F5	33,329	L20-M10-F5	31,957
L0-M10-F10	36,453	L10-M10-F10	35,345	L20-M10-F10	27,818
L0-M15-F0	40,059	L10-M15-F0	34,430	L20-M15-F0	32,602
L0-M15-F5	37,025	L10-M15-F5	33,509	L20-M15-F5	29,683
L0-M20-F0	39,817	L10-M20-F0	36,484	L20-M20-F0	30,632



Şekil 4.46. L0 serisi suya doymun numunelerin DEM grafiği



Şekil 4.47. L10 serisi suya doymun numunelerin DEM grafiği



Şekil 4.48. L20 serisi suya doygun numunelerin DEM grafiği

Dinamik elastisite modülleri için grafik ve şekiller incelendiğinde hem 7 günlük hem de 28 günlük numunelerde, L0, L10 ve L20 serileri için genel olarak en yüksek DEM sonuçları EFC için %10 olarak görülmüş ve ikame oranı arttıkça DEM değerleri düşüş göstermiştir. MK ikameli numunelerde ise %10-15 arasında MK ikamesi kullanımında elde edilen DEM değerleri en yüksek sonuçları vermiştir. Böylece mekanik test sonuçlarına yakın veriler ve yorumlar elde edilmiş olup birbirini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür. Ayrıca PLA oranının artışıyla birlikte mekanik testlerde olduğu gibi DEM değerleri azalmaktadır.

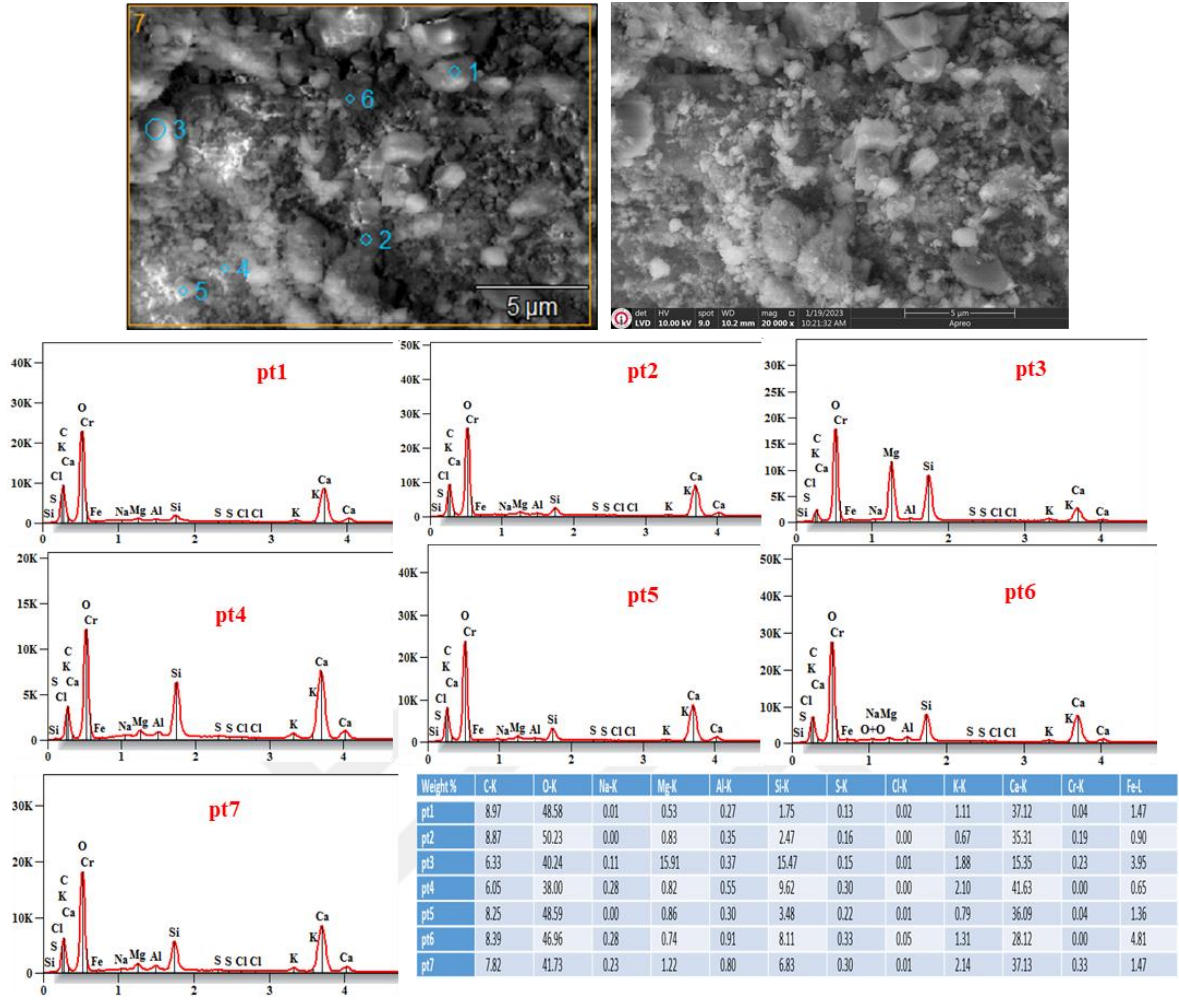
4.7. SEM-EDS Analizleri

İskenderun Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan Thermo Fisher Scientific marka SEM cihazı ile PLA, EFC ve MK karışımından elde edilen basınç ve eğilme dayanım değerlerinde artış veya azalma gösteren 13 adet çimento harç numune üzerinde SEM (scanning electron microscope) analizleri ile numunelerin morfolojik incelenmesi ve EDS (energy dispersive spectroscopy) sistemi ile elementel analizleri yapılmıştır. SEM analizleri 10.000 ve 20.000 büyütme, 10 kV voltaj, 0,08 µm görüntü piksel boyutu ve 512 X 340 görüntü çözünürlüğü ile alınmıştır. Çimento harç numunelerin seçim nedenlerine ait tablo Çizelge 4.35.'te verilmiştir.

Çizelge 4.35. SEM-EDS numuneleri

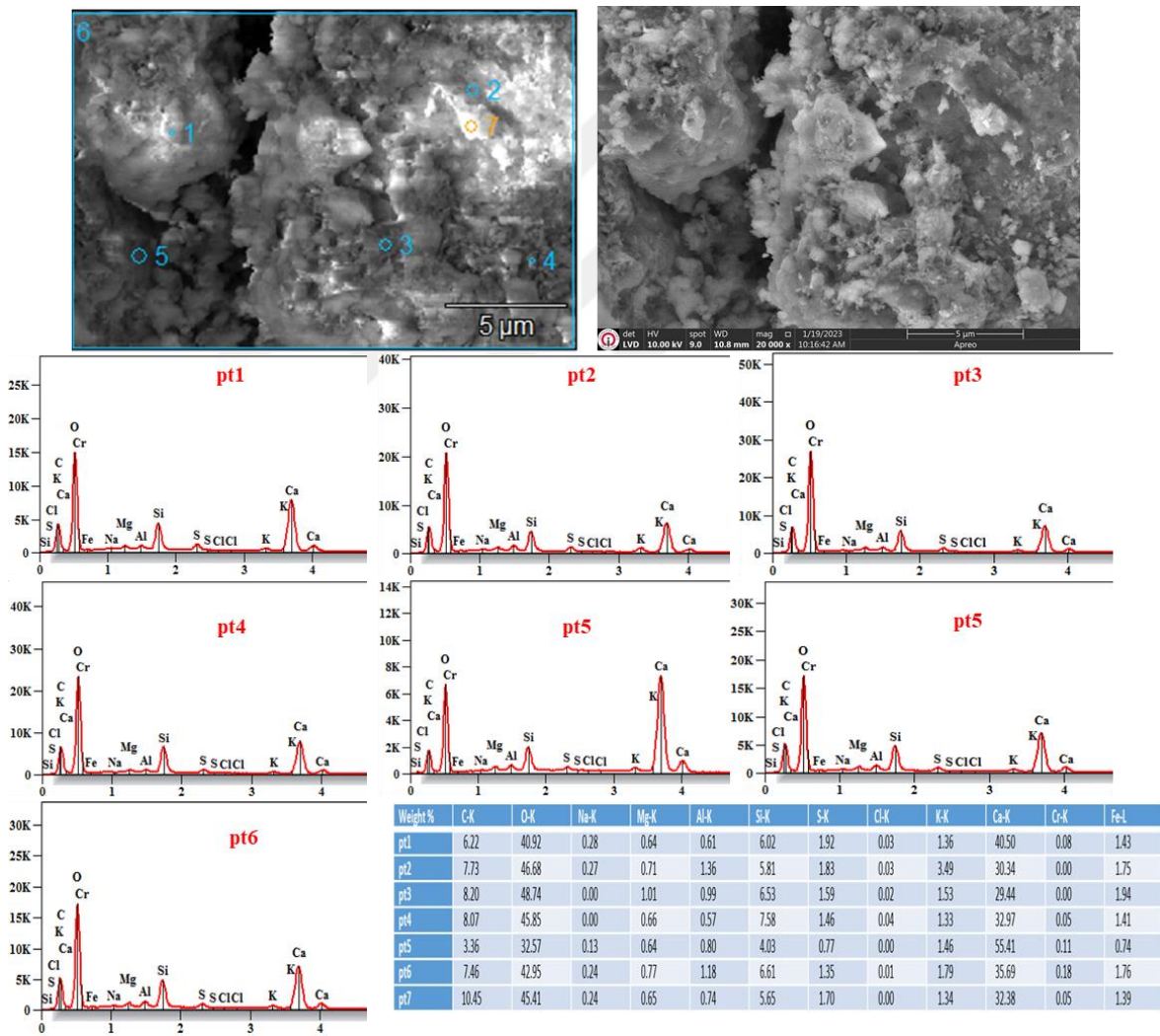
Karışım etiketi	Dayanım cinsi	Seçim sebebi
L0-M5-F15	Eğilme	Düşük eğilme dayanımı
L10-M5-F5	Basınç	Düşük basınç dayanımı
L0-M10-F0	Eğilme	Yüksek eğilme dayanımı
L0-M0-F0	-	-
L10-M0-F0	-	-
L0-M5-F5	Basınç	Düşük basınç dayanımı
L10-M0-F20	Basınç	Düşük basınç dayanımı
L10-M0-F10	Basınç	Yüksek basınç dayanımı
L10-M5-F10	Eğilme	Yüksek eğilme dayanımı
L10-M0-F10	Basınç	Yüksek basınç dayanımı
L20-M5-F10	Basınç	Yüksek basınç dayanımı
L20-M0-F0	-	-
L20-M5-F5	Eğilme	Yüksek eğilme dayanımı

Şekil 4.49'da içerisinde %5 mikronize kalsit ve %15 ferrokrom cürufu bulunan harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Beton örnek üzerinde farklı şekil ve boyutlarda C-H yapıları ve bu yapılar üzerinde C-S-H jeli görülmektedir. Ana çimento hamuru üzerindeki fazların uniform olmadıkları ve bu yüzden düşük eğilme dayanımına sahip olduğu söylenebilir (Şekil 4.18.). EDS analizleri incelendiğinde numune yüzeyinde ferrokrom cürufunun bölgesel olarak, mikronize kalsitin ise daha geniş alana dağılmış olduğu görülmektedir.



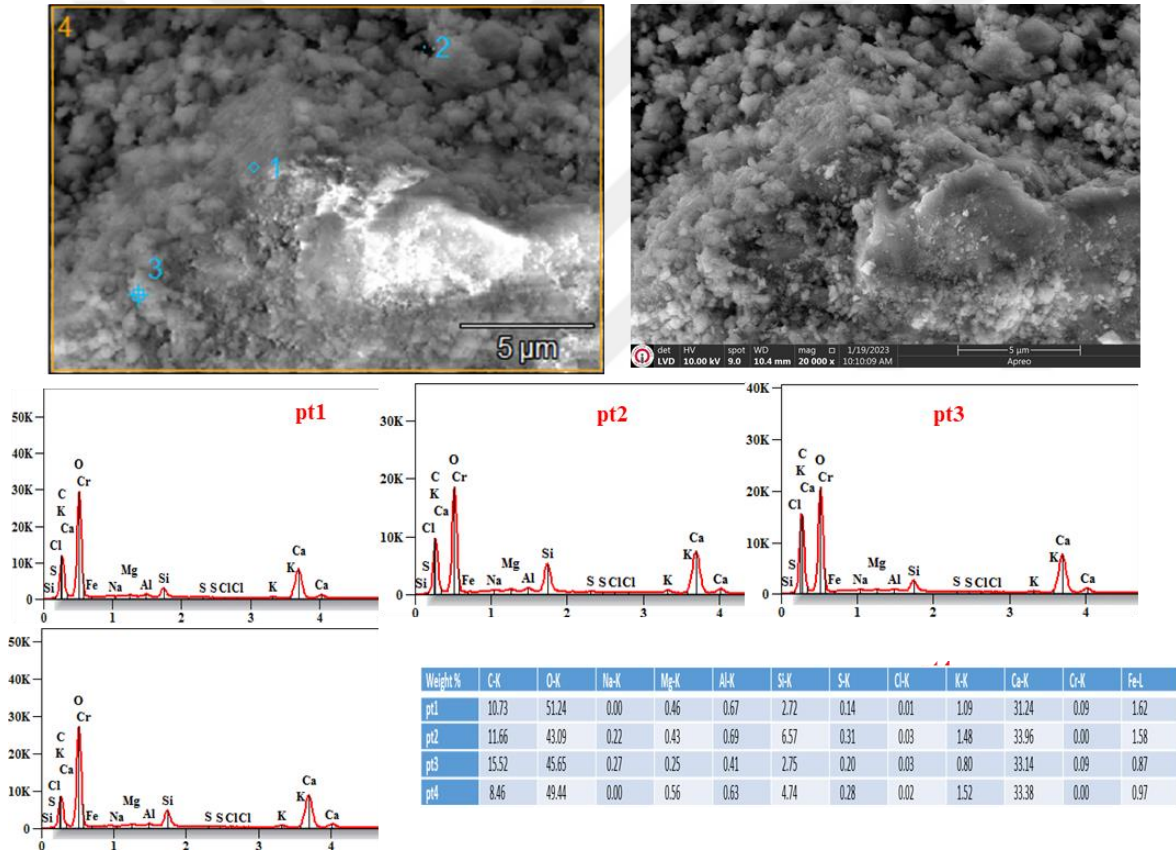
Şekil 4.49. L0-M5-F15 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.50'de içerisinde %10 poliüretan lastik agrega, %5 mikronize kalsit ve %5 ferrokrom curufu bulunan harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Harç örnek üzerinde mikro çatlak etrafında lastik yapısının üstünde blok halinde dağılmış C-S-H mikronize kalsit faz yapıları görülmektedir. PLA üzerinde oluşan bu yapılar ile agrega üzerinde oluşan hidrasyon jelinin mikro çatlaklar ile heterojen bir oluşum ile ayrıldığı ve bu nedenle harç numunesinin düşük basınç dayanımına sahip olacağı sonucu çıkarılabilir (Şekil 4.38.). EDS analizlerine bakıldığında kalsit taneciklerinin hidrasyon jeli ile birlikte yapının dış üzerinde homojen olarak dağıldığı ancak, ferrokrom cüruf taneciklerinin daha derin bölgelerde kaldığı görülmektedir.



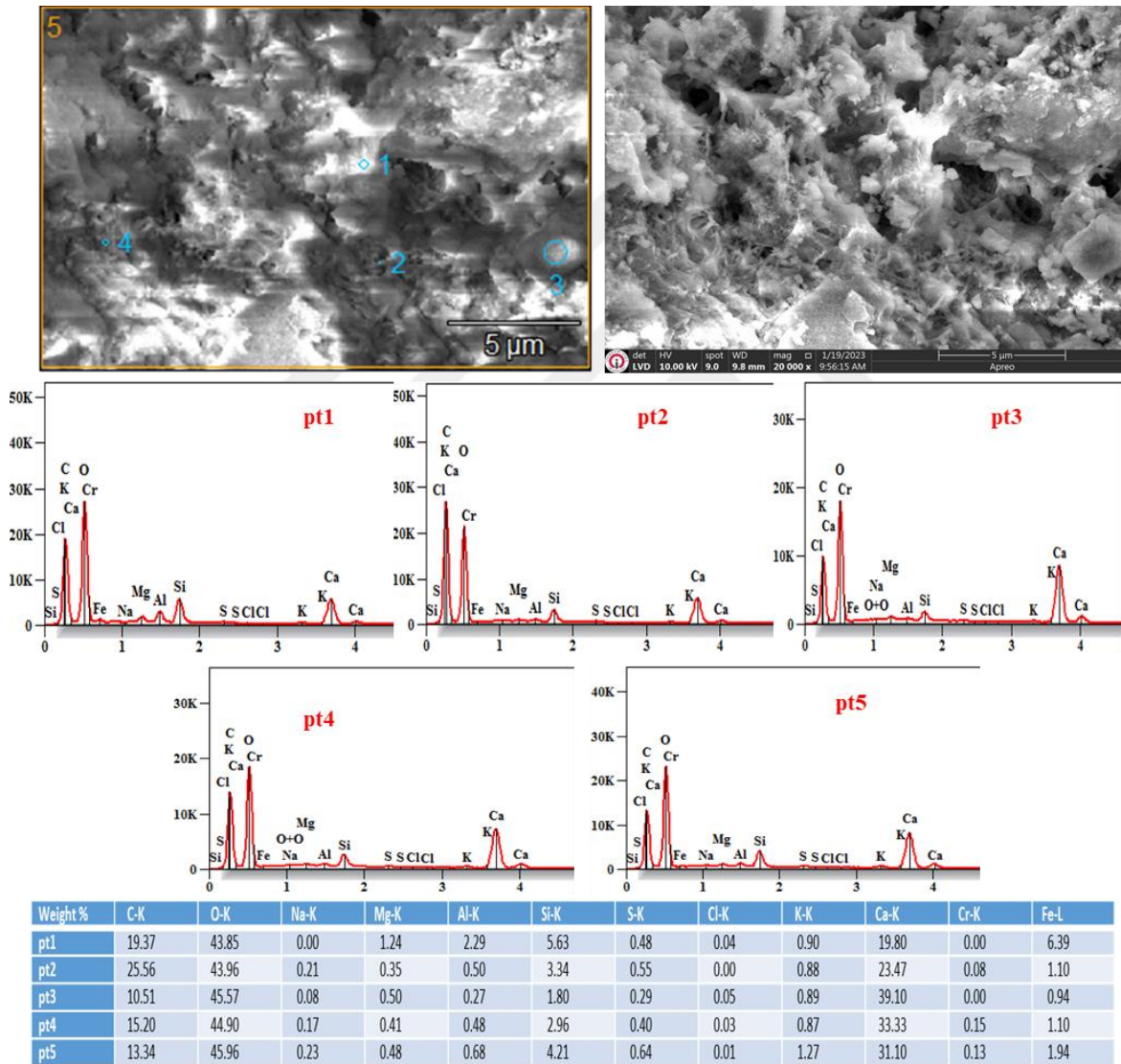
Şekil 4.50. L10-M5-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.51.'de içerisinde %10 mikronize kalsit bulunan harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Numune üzerinde hidrate olmuş çimento hamuru ve bunun etrafında uniform olarak dağılmış C-S-H jel yapılarının kümelendiği görülmektedir. Betonun içyapısında görülen morfolojik partiküllerin birbiri ile sıkı bir şekilde tutunması malzemenin mekanik özelliklerini de etkilemiş bu numunede yüksek bir eğilme dayanımı elde edilmiştir (Şekil 4.18.). Beton numunesi üzerinde yapılan EDS analizlerini incelediğimizde mikronize kalsit ve ferrokrom bileşiminden oluşan morfolojik yapının numune yüzeyinde hidratasyon ürünleri ile birlikte agrega temas noktaları arasını doldurarak kompakt bir yapı oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca C-S-H jelleri daha belirgin ve içyapıyı büyük ölçüde kapladığı belirlenmiştir.



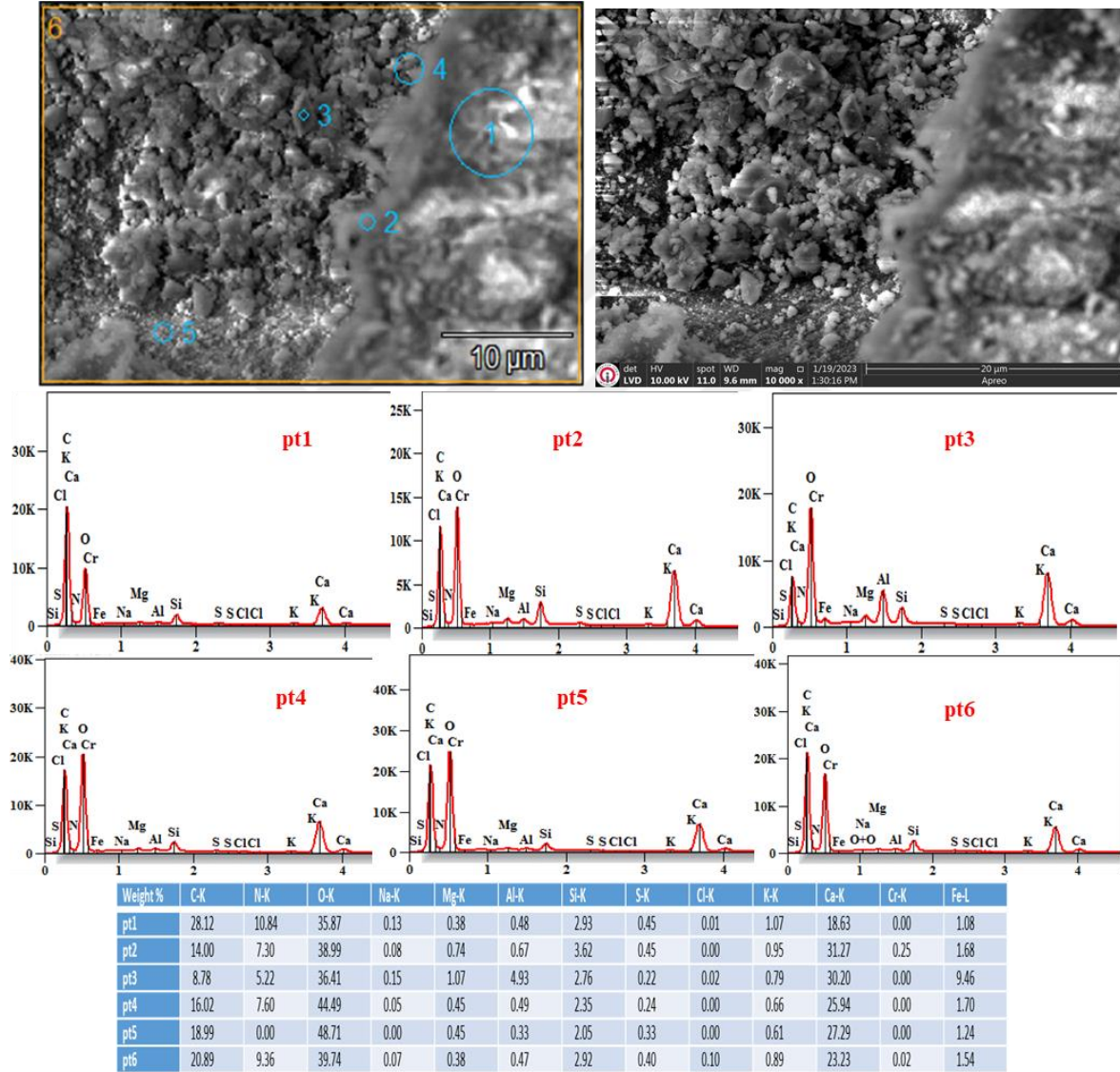
Şekil 4.51. L0-M10-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.52.'de çimento ve agregadan oluşan harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Yapılan SEM analizinde harç numune yüzeyinde yoğun bir şekilde C-S-H hidratasyon ürünleri ve bu ürünler arasında uzun ince iğnemsî görünümlü etrenjit yapıları görülmüştür. C-S-H'nin morfolojik yapısı, zayıf kristalin liflerden ağsı bir yapıya değişkenlik göstermektedir. Hidratasyon jel yapıları arasında C-H bileşimleri de gözlenmiştir. EDS analizleri ele alındığında hidrate çimento hamurunun yoğun bir şekilde oluştuğu tespit edilmiştir.



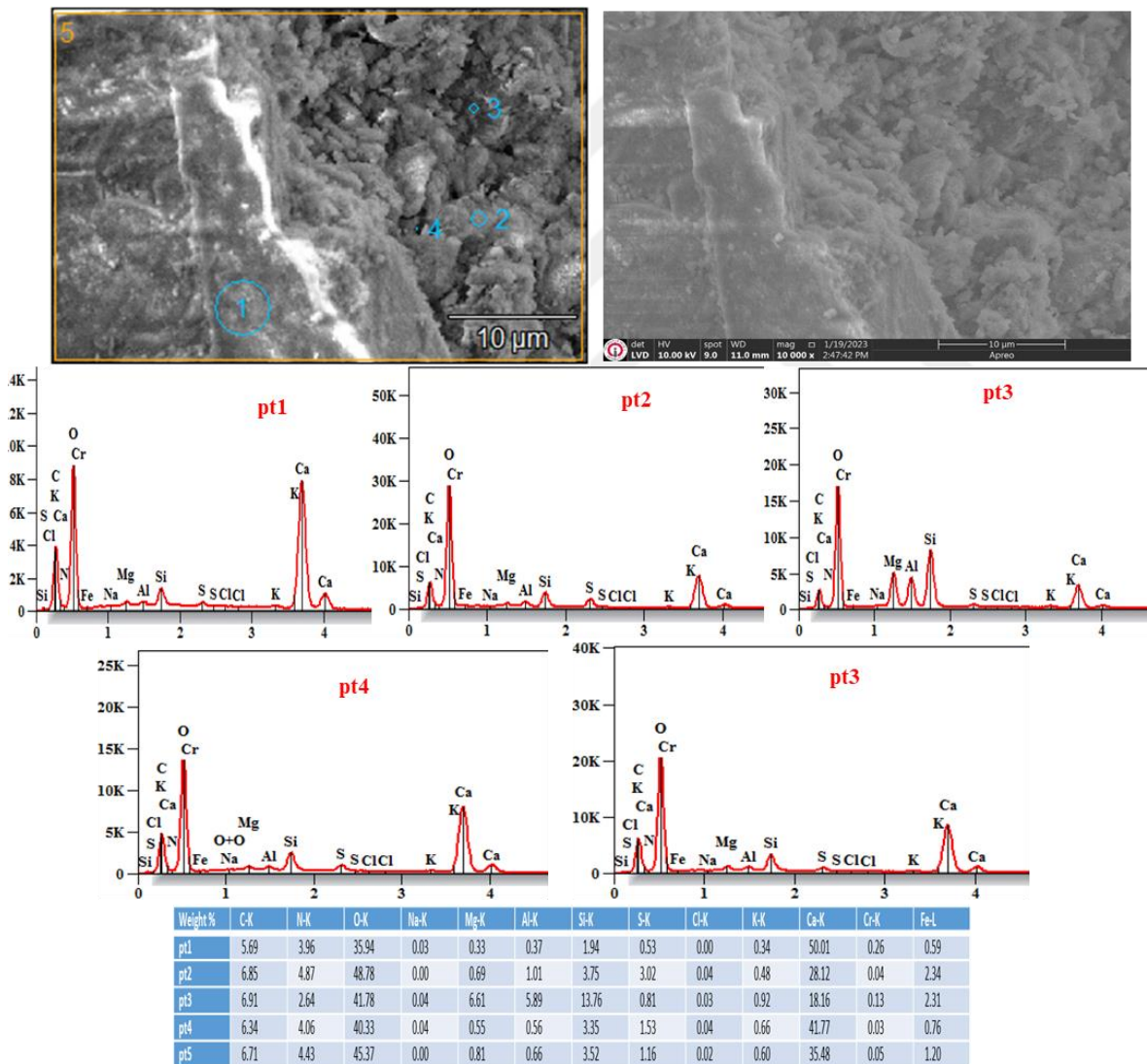
Şekil 4.52. L0-M0-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.53.'de içerisinde %10 poliüretan lastik agrega bulunan (şahit) harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Numune üzerinden alınan SEM görüntüsünde lastik taneleri ile hidrate çimento hamurunun temas noktalarında ara boşlukların çok az olduğu ve hamur içinde C-S-H jel yapısının olduğu gözlenmiştir. EDS analizleri incelendiğinde lastik gözeneklerinin üstünde çimento hamurunun yayıldığı ve bir bütünlük oluşturduğu belirlenmiştir.



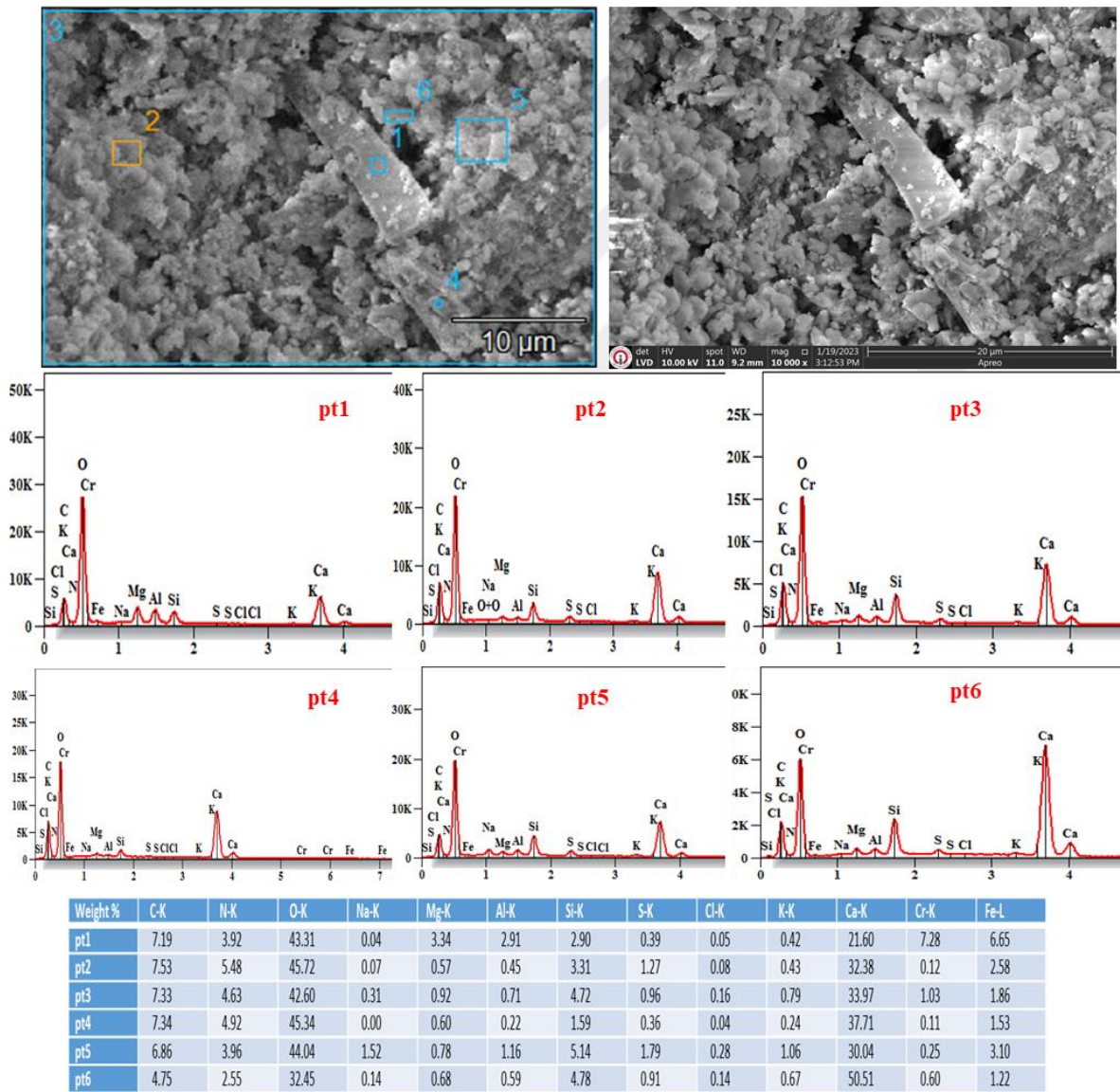
Şekil 4.53. L10-M0-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.54.'de içerisinde %20 poliüretan lastik agrega, %15 mikronize kalsit ve %5 ferrokrom curufu bulunan harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Numune SEM analizleri incelendiğinde çimento hamur formasyonu üzerinde belirgin C-H yapıları gözlemlenmiştir. Formasyonlar arası ara boşluklar hidrasyon ürünü ile dolmuştur. EDS analizleri incelendiğinde C-S-H jelinin hidrate hamur üzerinde uniform olarak dağıldığı belirlenmiştir. Ferrokrom ve mikronize kalsit bileşiklerinin bu morfolojinin oluşmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ancak beton dokusundaki kompakt morfolojinin eğilme dayanımı (Şekil 4.28.) üzerinde olumlu etkisinin olmamasının sebebi jel boşluklarının içerisinde etrenjit oluşumlarının olmaması gösterilebilir.



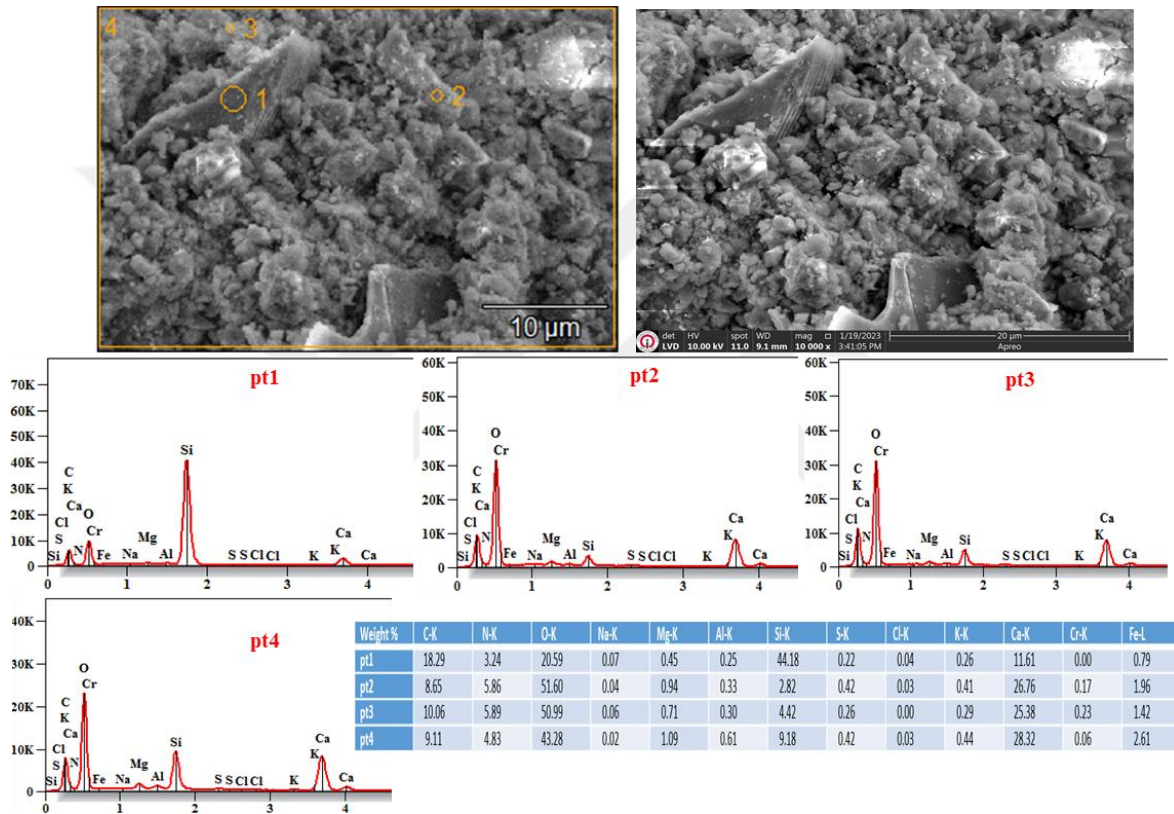
Şekil 4.54. L20-M15-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.55’de içerisinde, %5 mikronize kalsit ve %5 ferrokrom cürufu bulunan harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Harç numune üzerinde SEM resimleri incelendiğinde C-S-H jel oluşumlarının rastlanıldığı bünyesinde mikronize kalsit ve ferrokrom curuf yapılarının da görüldüğü hidrate olmuş çimento hamurunun içerisinde gömülü durumda C-H morfolojisi gözlemlenmiştir. Formasyonlar arasında mikro düzeyde boşluklar görülmektedir. Numunenin düşük basınç dayanımına sahip olmasının nedeni (Şekil 4.33.) formasyon dokuları arasında C-S-H morfolojik kristal bağlantılarının olmaması olabilir. Çimento hamuru üzerindeki formasyon fazlarını taneler üzerinde yapılan EDS analizleri desteklemektedir.



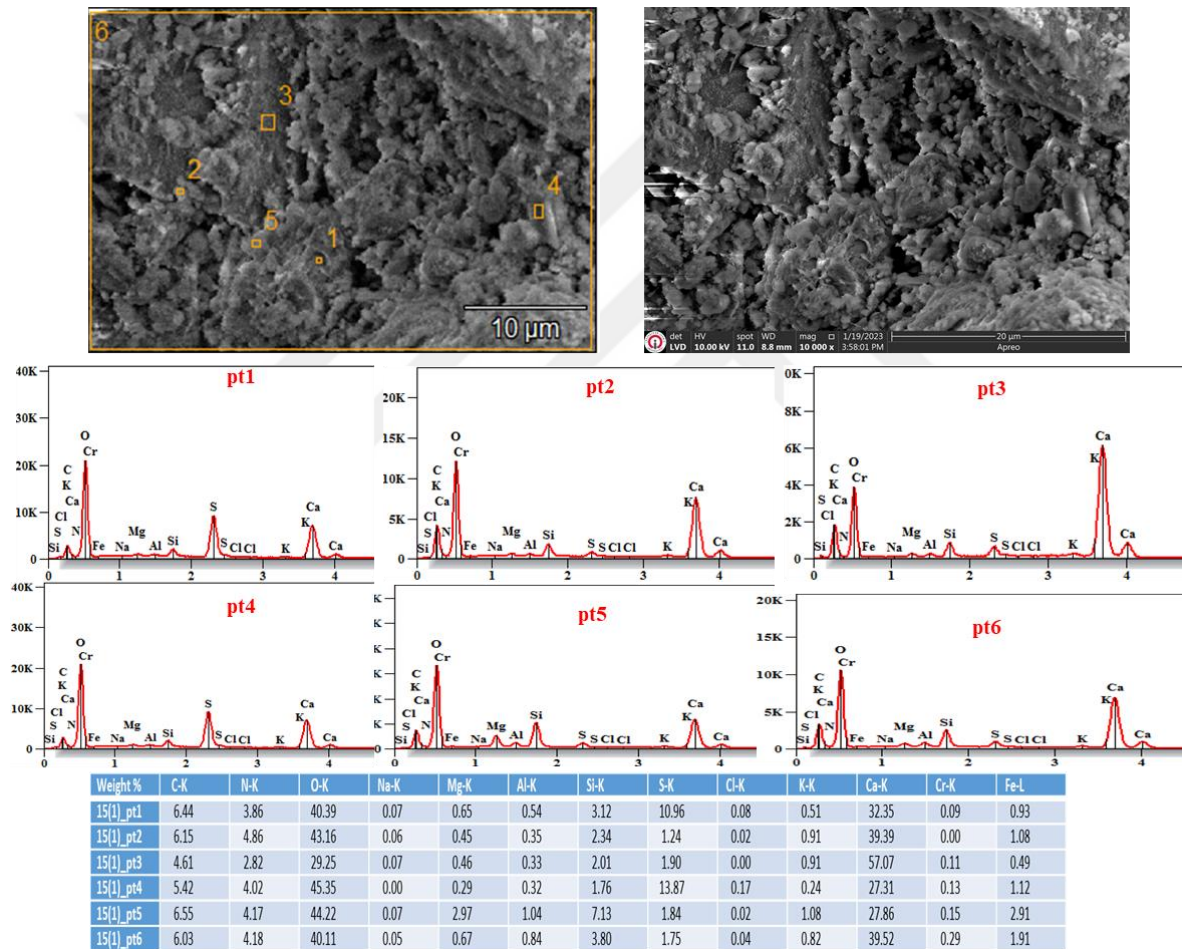
Şekil 4.55. L0-M5-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.46.'da içerisinde %10 poliüretan lastik agrega ve %20 ferrokrom cürufu bulunan beton numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Numune üzerinde SEM resimleri incelendiğinde poliüretan lastik agrega ve ferrokrom cüruf tanelerinden oluşan çimento hamuru içerisinde C-S-H oluşumlarına rastlanmıştır. Bu formasyon hamuru içerisinde C-H morfolojisindeki büyük plakaların bulunduğu belirlenmiştir. EDS element analizleri ele alındığında portlandite ve hidratasyon jeli arasında etrenjit yapılarına rastlanamamıştır bu durum da basınç dayanımının (Şekil 4.38.) düşük çıkmasına sebep olmuştur.



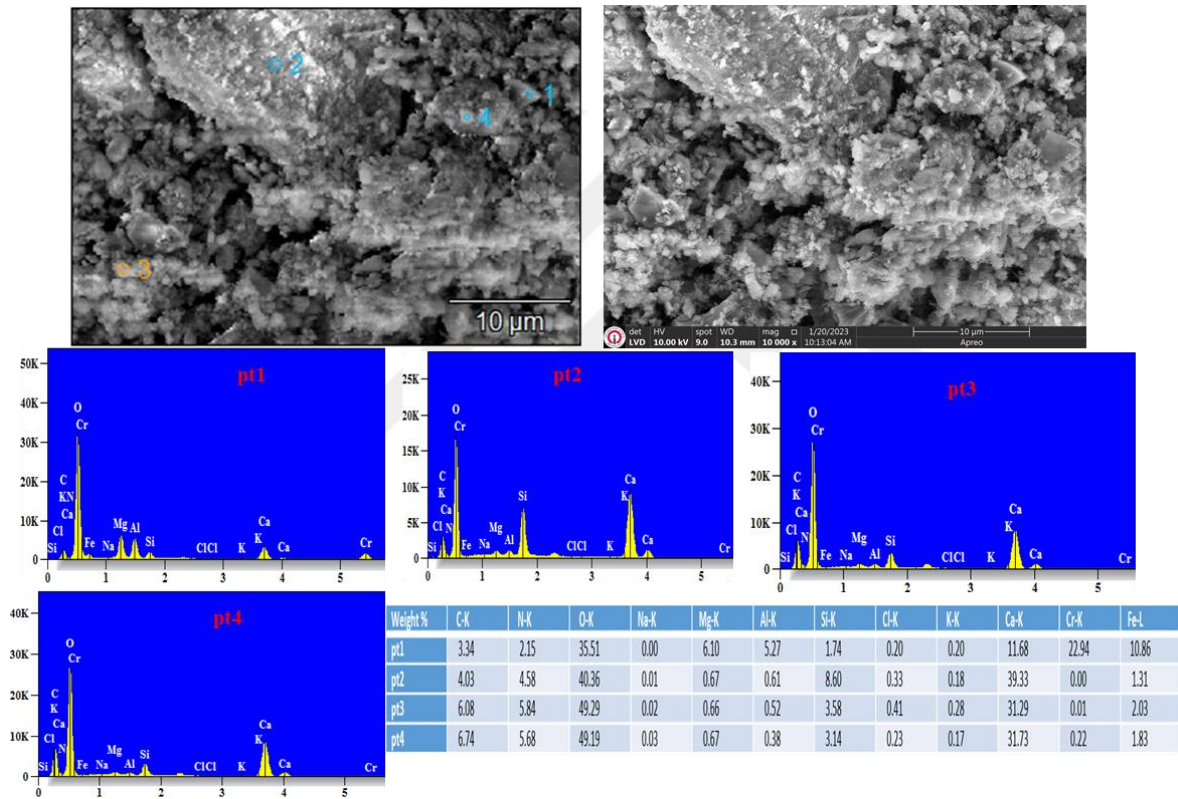
Şekil 4.56. L10-M0-F20 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.57.'de içerisinde %10 poliüretan lastik agrega ve %10 ferrokrom cürufu bulunan beton numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Beton numune üzerinde SEM resimleri incelendiğinde poliüretan lastik agrega ve ferrokrom cüruf taneciklerinin bağ yaptığı hidrate çimento hamuru morfolojisinin homojen bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Numunenin yüzey morfolojisi ve EDS analizleri ele alındığında iğnemsî kristal etrenjit oluşumlarının çimento hamuru boşlukları arasında rastlanılmamasına rağmen düzenli bir mikro yapı morfolojisinde hidratasyon jellerinin numune yüzeyi üzerinde düzgün dağılımı basınç dayanım mukavemetinin yüksek çıkmasına sebep olmuştur (Şekil 4.38.).



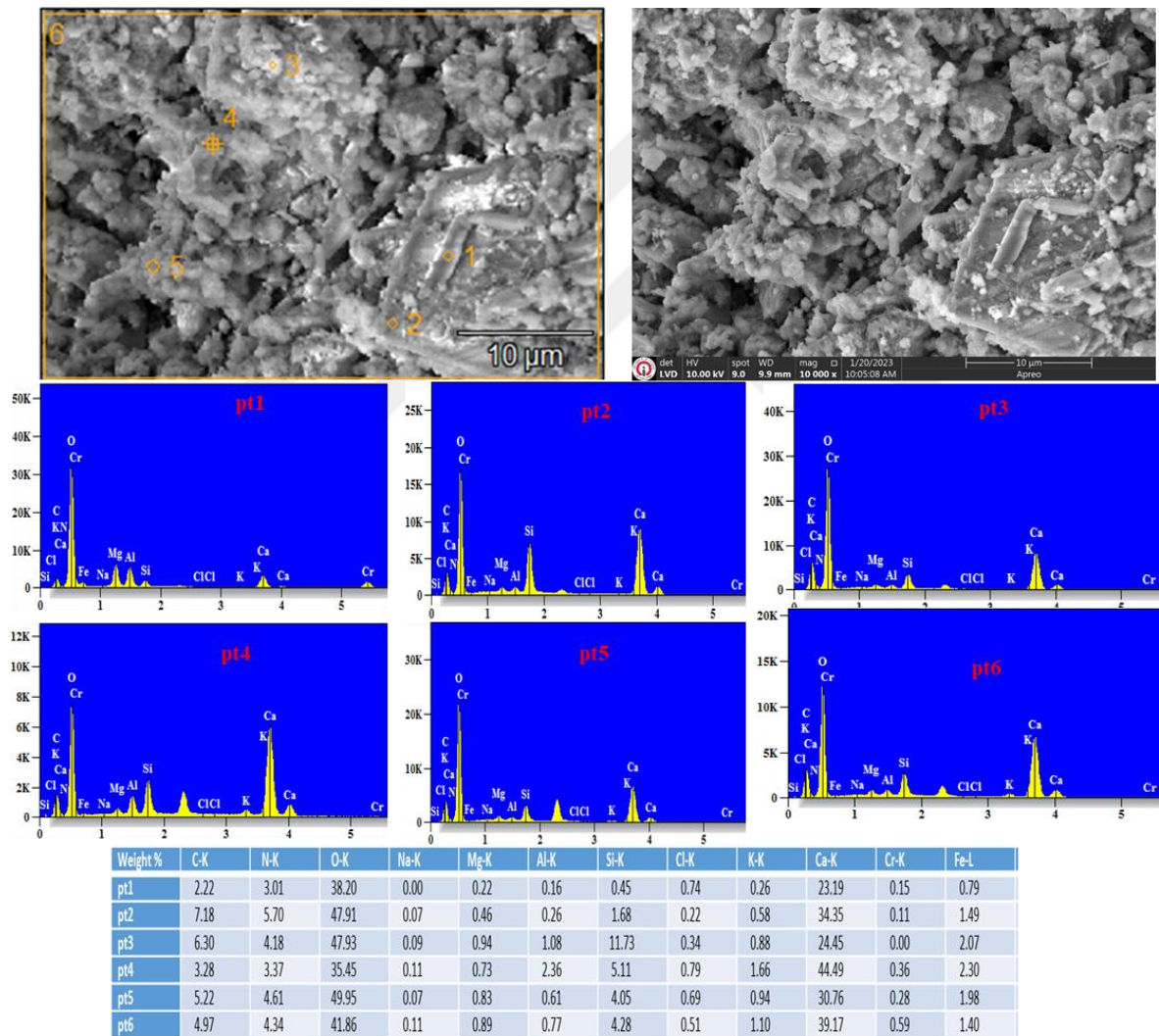
Şekil 4.57. L10-M0-F10 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.58.'de içerisinde %10 lastik, %5 mikronize kalsit ve %10 ferrokrom curufu bulunan beton numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Numune üzerinde SEM resimleri incelendiğinde poliüretan lastik agrega ve ferrokrom taneciklerinden oluşan çimento hamuru içerisinde taneler arasındaki boşlukların hidrasyon jel formasyonu ile dolduğu ve tanelerin birbirleri ile daha sıkı bağlandıkları gözlenmiştir. Beton numunesi yüzeyindeki taneler arası bağların güçlü olmasından dolayı eğilme dayanımının yüksek çıktığı görülmektedir (Şekil 4.23). Çimento hamuru içerisinde oluşan bu morfolojik yapı EDS analizleri ile teyit edilmiştir.



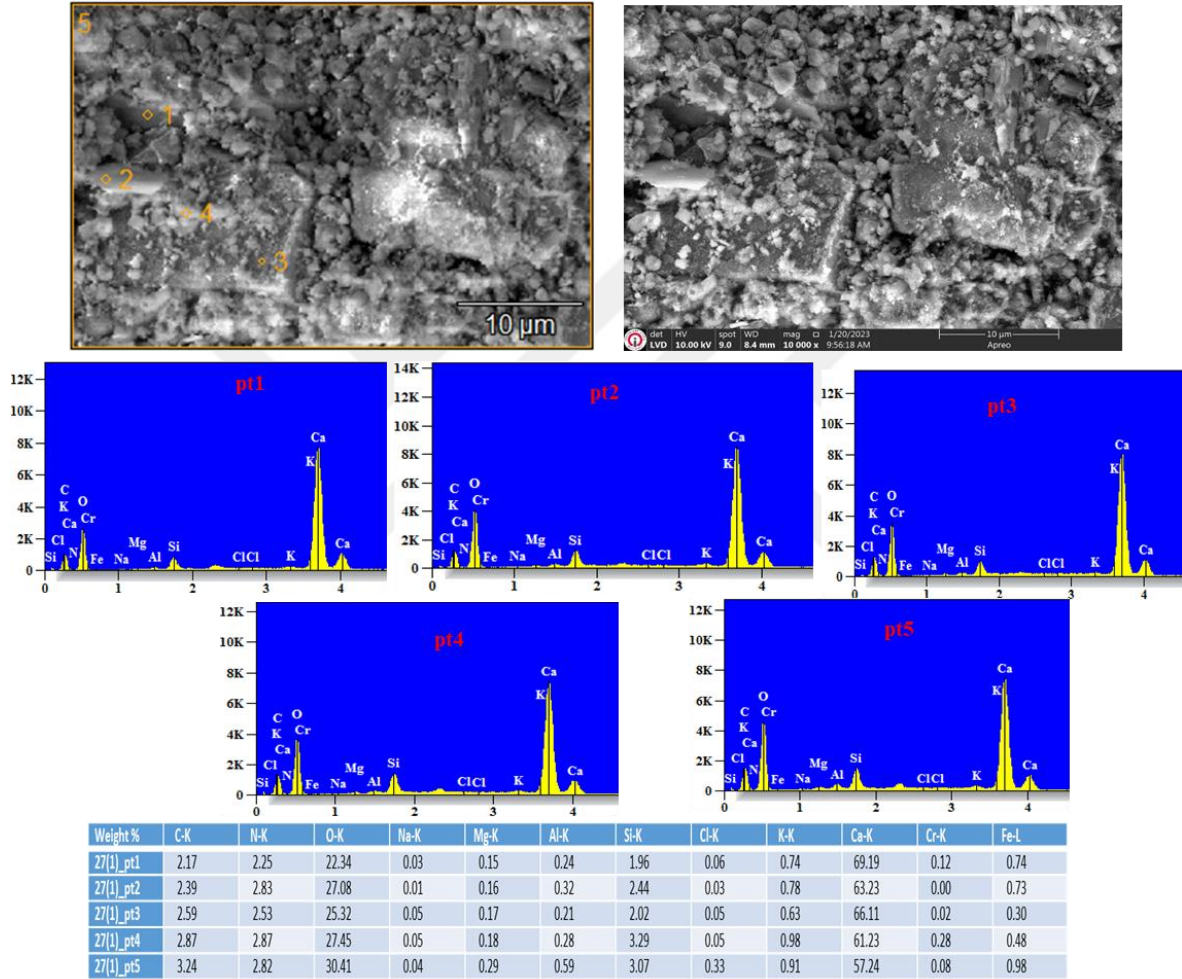
Şekil 4.58. L10-M5-F10 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.59’da içerisinde %20 poliüretan lastik agrega, %5 mikronize kalsit ve %10 ferrokrom cürufu bulunan beton numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Beton numune üzerinde SEM resimleri ele alındığında poliüretan lastik agrega, mikronize kalsit ve ferrokrom cüruf taneciklerinin bağ yaptığı çimento hamuru içerisinde mikro çatlaklar olduğu, bu çatlaklar arasında C-H ve hidratasyon jel yapılarına rastlanılmıştır. Bu boşlukların arasının hidratasyon ürünleri ile dolmasından dolayı numunenin yüksek basınç dayanımına (Şekil.4.43.) sahip olduğu belirlenmiştir. EDS element analizleri bu formasyondaki yapıların C-H ve hidratasyon jel olduğu gözlenmiştir.



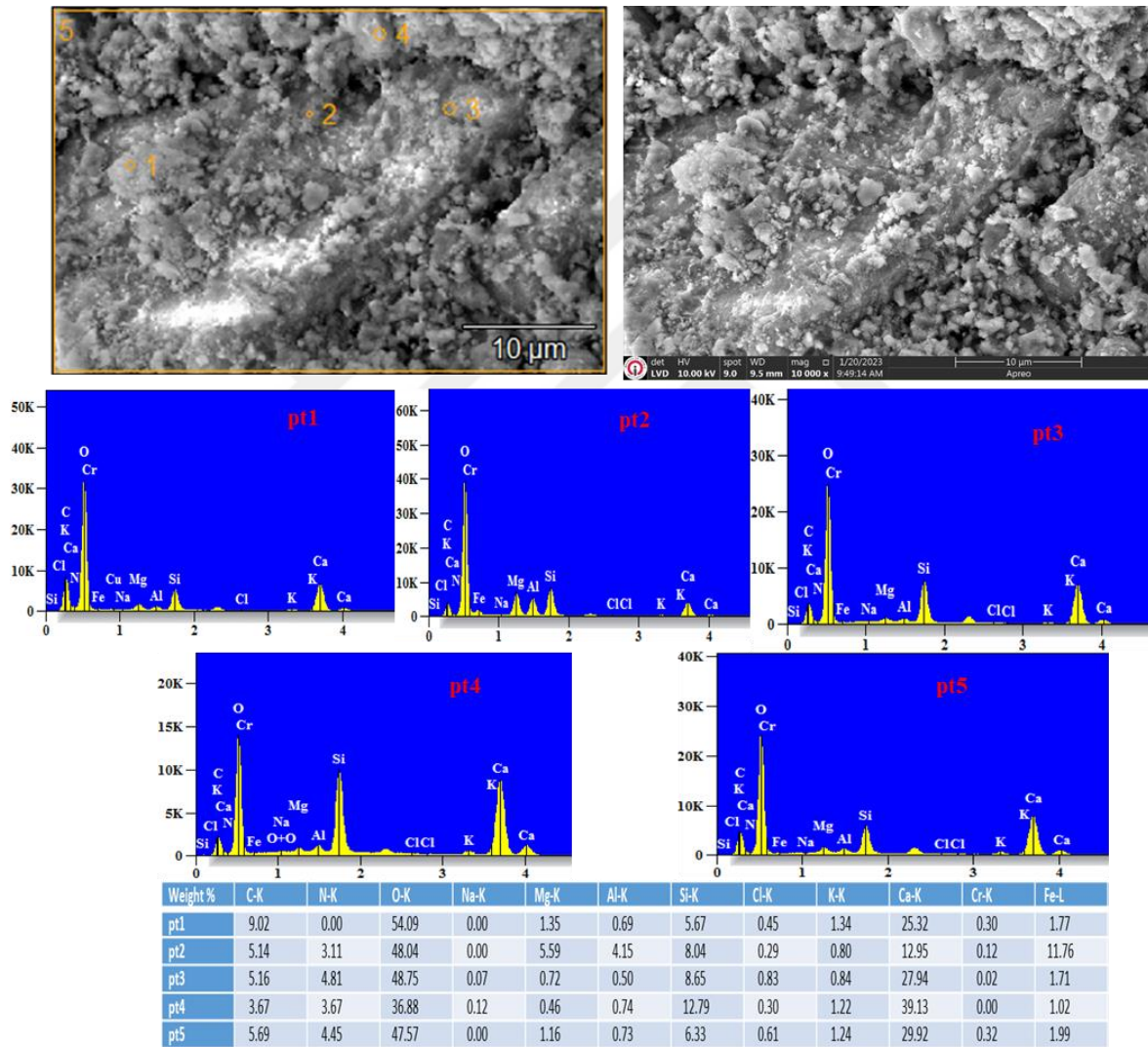
Şekil 4.59. L20-M5-F10 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.60'da içerisinde %20 poliüretan lastik agrega bulunan beton numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Numune üzerindeki SEM resimlerinde lastik malzemesinden oluşan çimento hamuru içerisinde büyük plaka görümlü C-H morfolojisinin olduğu belirlenmiştir. EDS analizleri incelendiğinde bu portlandit yapının üzerinde hidrasyon jel yapılarının oluşmaya başladığı gözlenmiştir. Çimento hamuru üzerinde üniform olmayan bir morfolojiye rastlanmıştır.



Şekil 4.60. L20-M0-F0 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.61.'de içerisinde %20 poliüretan lastik agrega, %5 mikronize kalsit ve %5 ferrokrom cürufu bulunan harç numunesine ait SEM resmi görülmektedir. Beton numune üzerinde SEM resimleri ele alındığında mikronize kalsit ve ferrokrom cüruf taneciklerinin bağ yaptığı çimento hamuru üzerinde C-S-H jel yapılarına rastlanılmıştır. Büyük hidrate olmuş çimento hamuru arasındaki boşluklar mikronize kalsit taneciklerinin bağ yaptığı hidrasyon ürünleri ile dolmasından dolayı numunenin yüksek eğilme dayanımına (Şekil 4.28.) sahip olduğu belirlenmiştir. EDS element analizleri ile bu faz yapıları gösterilmiştir.



Şekil 4.61. L20-M5-F5 harç numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, bağlayıcı miktarı, su/bağlayıcı oranı ve süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit tutularak poliüretan lastik agregası (PLA) miktarına göre 3 seri çimento harç numune üretimi yapılmıştır. Bu seriler %0, %10 ve %20 oranında PLA kullanılarak hazırlanmış, sırasıyla L0, L10 ve L20 isimlerini almıştır. Her bir seri için %10,%15 ve 20 oranlarında Elazığ ferrokrom cürufu (EFC) ve mikronize kalsit (MK) malzemesi hem tek başına hem de bir arada çimento yerine ikame edilmiştir. Böylece PLA, MK ve EFC'nin farklı kombinasyonlarda çimento harçlar içerisinde kullanımının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Yürütülen deney çalışmaları neticesinde elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda belirtilmektedir.

- Birim hacim ağırlık tayini yapılan numunelerde, %20 PLA ve %20 MK ikamesiyle yalnızca çimento ve doğal kırma kum kullanılan harçlara göre hava küründe %14,5, su küründe ise %12 daha hafif numuneler elde edilebilirken bu durumun yanı sıra su küründe % 61, hava küründe %50,1'e varan basınç dayanımlarında düşüş görülmüştür.
- PLA kullanım oranının artmasıyla birlikte TBHA, SBHA, UPV, eğilme dayanımı ve basınç dayanım değerlerini azaltmış, MK ve EFC'nin çimento yerine ikamesiyle de hafif beton elde edilmesi hususunda katkı sağlamıştır.
- PLA içermeyen karışımlarda, %15 oranında MK ikamesinin 7 günlük numunelerde basınç dayanımını artırma potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. 28 günlük numunelerde ise %10 MK ve %5 EFC'nin bir arada kullanıldığı numunelerde şahit numuneye göre %3 dayanım kaybı yaşanmıştır. L10 serisinde 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10 -15 EFC ikamesinin basınç dayanımlarını %29,6 oranına kadar artırdığı görülmüştür. L20 serisinde su kürü etkisi altında en düşük basınç dayanımının yalnızca çimento kullanılan numunelere ait olduğu tespit edilmiştir. EFC ikame oranının artmasıyla tüm serilerde basınç dayanımları düşüş eğilimi göstermiştir.
- %10 oranında MK ikamesinin özellikle 7 günlük dayanımda tüm seriler için eğilme dayanımını artırma potansiyeli olduğu görülmüştür. Lastik agregalı numunelerde en yüksek nihai eğilme dayanımları MK ile EFC'nin bir arada ikame edildiği karışımlarda görülmüş ve bu iki malzemenin bir arada kullanılmasıyla eğilme dayanım değerlerinin artabileceği tespit edilmiştir.

- UPV sonuçlarına göre, 7 günlük su kürü etkisindeki numunelerin MK ikamesiyle birlikte yüksek değerlere sahip olduğu ve bu durumun dayanım deneyleriyle paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.
- %20 PLA içeren karışımlarda hava kürü etkisindeki dayanım değerlerinin, su kürü etkisine bırakılan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. PLA içeriğinin artışıyla birlikte su kürüne olan ihtiyaç azalmış hatta bir dezavantaja dönüşmüştür.
- Genel olarak MK ve EFC'nin %10-15 oran aralığında kullanımıyla yalnızca çimento kullanılan harçlara göre daha iyi dayanım performansının elde edilebileceği görülmüştür.
- EFC'nin tek başına ikame oranının artışıyla birlikte tüm deney sonuçlarında numunelerin performansı azalmıştır.
- Bu çalışmanın farklı s/b oranı, bağlayıcı dozajı ve farklı ikame oranları kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.
- Yüzdece MK ile EFC oranları %10 ve altında değerler kullanılması ve s/b oranının düşürülmesi durumunda nihai dayanımlarda artış görülebileceği, boşluk miktarlarının azalabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgün, H. “Poliüretan-karbon fiber kompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu”, Yüksek lisans tezi, (Haziran 2008).
- Akın, M., “Kalsit katkılı betonların geçirimsizlik ve durabilite deneyleri”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2009).
- Akkaya, Y. ve Kesler, Y. E., “Mikrokalsit katkısının betonun işlenebilirliğine, mekanik özelliklerine ve dayanıklılığına etkisi”, İMO Teknik Dergi, 384, 6051- 6061, (2012).
- Aruntaş, H. Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R. ve Şimşek, O., “Kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine atık mermer tozunun etkisi”, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, 173-180, (2007).
- Aruntaş, H. Y., Gürü, M., Dayı, M. ve Tekin, İ., “Utilization of waste marble dust as an additive in cement production”, *Materials and Design*, 31(8):4039-4042 (2010).
- Atasever, M., “Ayakkabı sanayi poliüretan taban atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi İSTE Lisansüstü eğitim enstitüsü, İskenderun, (2018).
- Bekem Kara, İ., “Kalsitin çimento ile ikame malzemesi olarak kullanımının basınç dayanımına etkisi”, *Journal of Investigations on Engineering & Technology Dergisi*, 3(1): 10-16, (2020).
- Chen, J., Ma, X., Wang, H., Xie, P, Huang, W. “Experimental study on anti-icing and deicing performance of polyurethane concrete as road surface layer”, *Construction and Building Materials* 161, 598–605, (2018).
- Coşkun, A. Ve Tanyıldızı, H., “Elazığ yöresi vişne mermer tozu katkılı hafif betonun basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliğinin araştırılması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 150-154, (2011).
- Erdoğan, T.Y., *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, (2003).
- Erdoğan, T.Y., “Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun On bin Yıllık Tarihi”, ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, (2007).
- Girskas, G. And Nagrockiene, D. (2017). “Crushed rubber waste impact of concrete basic properties” B. and Glasser F.P., 2007. The role calcium carbonate in cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 37, 551-558.
- Gupta, T., Chaudhary, S., Sharma, R. K. “Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume”, *Journal of Cleaner Production* 112, 702-711, (2016).

- Güldür, Ş.E. “Mikronize kalsit ve uçucu kül katkısının beton özelliklerine etkisinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi NOHÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, (2017).
- Harith, I. K. “Study on polyurethane foamed concrete for use in structural applications” Case Studies in Construction Materials 8, 79–86, (2018).
- Kalkan, Y., “Farklı Kür Şartlarının Elazığ Ferrookrom Cürufundan Üretilen Geopolimer Betonların Mekanik Özellikleri Ve Mikro Yapısı Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, (2017).
- Kantarıcı, F., “Elazığ Ferrookrom Cürufundan Alkali Aktivasyon Metoduyla Üretilen Geopolimer Çimentolu Betonların Yangın Dayanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, (2013).
- Keskinkılınç, M.K., “Alkali Aktive Edilmiş Harç Üretiminde Krom Cürufu Ve Atık Mermer Tozunun Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, (2019).
- Lamba, N.M.K., Woodhouse, K.A. and Cooper, S.L., “Polyurethanes in Biomedical Applications”, CRC, New York, (1998).
- Maraş, M. M., “Elazığ Ferrookrom Cürufundan Üretilen Geopolimer Çimentolu Betonların Sülfat Direncinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, (2013).
- Mısır, M. N., “Elazığ Ferrookrom Cürufu ile Alkali Aktive Edilmiş Cam Lifi ve Atık Mermer Tozu Katkılı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, (2021).
- Mohabbi, M., “Nano Silica and Micro Silica Effect on Mechanical Attributes of Ferrochrome Slag Based Geopolymer”. Düzce University Journal of Science & Technology, 8 347-362, (2020).
- Özcan, A., “Ferrookrom Cürufu ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılarak Üretilen Geopolimer Betonların Asit, Tuz ve Sülfat Etkilerine Karşı Dayanıklılığının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, (2018).
- Piotr, K. “Synthesis methods, chemical structures and phase structures of linear polyurethanes. Properties and application of linear polyurethanes in polyurethanes elastomers, copolymers and ionomers”, 919-928, Progress in Materials Science, 52,915-1015, (2006).
- Ramezaniapour, A. A. “Cement replacement materials”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, (2014).
- Salihpaşaoğlu, F., “Ferrookrom cüruf agregasının betonun mekanik özelliklerine etkisi”, Yüksek lisans tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2017),
- Sargın, Ş. O “Presipite Kalsiyum Karbonat (PCC) üretim Yönteminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008),

- Sarıca M., “Türkiye’de mikronize kalsit üretim tesisi yer seçimi için çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle bir uygulama” Yüksek Lisans tezi, (2021),
- Sofi A. ,“Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review”, *Ain Shams Engineering Journal*, (2017).
- Song, M., Xia, H.S., Yao, K.J. and Hourstan, D.J. “A study on phase morphology and surface properties of polyurethane/organoclay nanocomposite,” *European Polymer Journal*, 41, 259-266, (2005).
- Tanyıldızı, H. ve Coşkun, A., “Elazığ yöresi vişne mermer tozu katkılı hafif betonun basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliğinin araştırılması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2):150-154 (2011).
- Taştimur O., “Uçucu Kül Ve Cam Lifi İçeren Cüruflla Alkali Aktive Edilmiş Harçların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, (2021).
- Thomas, B. S. and Gupta, R. C. “Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber”, *Journal of Cleaner Production*, 113, 86-92, (2016).
- Topçu, İ. B. ve Toprak, M. U.,“Lastik Küllü Harçların Özellikleri” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11, 1, (2009).
- Topçu, İ. B., Sarıdemir, M., Nohutçu, H. “Lastikli beton özelliklerinin yapay sinir ağları ve bulanık mantıkla Belirlenmesi” *Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 2, 1, (2007).
- TS 802, Beton Karışım Hesapları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- TS EN 1097-6, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2013)
- Tuyan, M., Soykan, K. S., Namal, İ. ve Andiç Çakır, Ö., “Mineral katkı içeren kalsiyum alüminat çimento esaslı harçların mekanik, dayanıklılık, termal ve içyapı özelliklerinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 23 (2): 311-320, (2020).
- Ünal, O. ve Kibici, Y., “Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması”, *Türkiye III. Mermer sempozyumu*, Afyon, (2001).
- Ünal, O., "Yüksek Dayanımlı Kendiliğinden Yerleşen Beton Dayanımına Su/Ç Oranı ve Katkıların Etkisi." *AKÜ Fen Bil. Dergisi* 13, Sayı.2, (2013).
- Vitruvius, Pollio, “The ten books on architecture “(Translated by Morris Hicky Morgan). Press, Harvard University Cambridge, United Kingdom, (1914).
- Whitehurst, E.A., “Soniscope Test Concrete Structures” *Journal of American Concrete Institute*, Proceeding, 47, 443-444, (1951).

- Yılmaz, A., Süttaş, İ. “Ferrokrom cürufunun yol temel malzemesi olarak kullanımı”, İMO Teknik Dergi 294, 4455-4470, (2008).
- Yılmaz, E. B. D., “Kalsit, Talk ve Pomzanın Karıştırmalı Bilyalı Değirmende Yüzey Modifikasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2019),
- Yılmaz, H., Sallı Bideci, Ö. ve Bideci, A., “Pomza agregalı hafif beton özelliklerine kalsiyum alüminat çimentosunun etkisi”, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(1): 154-160, (2018).



DİZİN

A

Agrega, iv
ağır metaller, iv
atık, iv, 2, 6, 8, 10, 11, 12, 95

B

bağıl nem, 4
bağlayıcı, iv, xv, 1, 2, 4, 8, 9, 12,
13, 14, 15, 16, 17, 18, 22, 24,
93, 94
basınç dayanımı, iv, viii, 8, 11,
13, 15, 16, 61, 62, 63, 64, 65,
66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74,
79
Beton, iv, ix, 1, 12, 28, 79, 82,
88, 89, 90, 92, 95, 97
birim hacim ağırlık, iv, vii, xvi,
26, 31

Ç

çevre, iv, 2, 5
çimento, iv, ix, xi, 1, 2, 3, 4, 6, 7,
8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 22,
23, 24, 26, 27, 30, 33, 36, 41,
43, 44, 45, 49, 50, 52, 53, 56,
58, 60, 61, 62, 65, 66, 67, 68,
70, 71, 74, 75, 79, 82, 83, 84,
85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92,
93, 94, 95, 97

D

DEM, vii, viii, x, xiii, xvi, 31, 75,
76, 77, 78

E

EDS, iv, v, vii, viii, x, xiii, xiv,
xvi, 8, 32, 79, 80, 81, 82, 83,
84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91,
92
eğilme dayanımı, iv, viii, 8, 16,
49, 50, 51, 53, 54, 55, 57, 58,
59, 79, 82, 85, 93

elastisite modülü, iv, vii, xvi, 15,
31, 75

F

faz, 5, 81, 92
ferrokrom cürufu, iv, vii, xvi, 2,
6, 8, 13, 15, 16, 18, 79, 86, 87,
88, 90, 92, 93

H

Harç, vii, viii, xi, 7, 15, 22, 24,
28, 33, 81, 86, 96
Hava kürü, 7, 37, 39, 43, 47, 51,
53, 54, 56, 63, 65, 67, 68, 69,
72, 73, 74
hidrasyon, 7, 8, 13, 58, 81, 82,
83, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92

İ

ikame, iv, 1, 2, 8, 9, 10, 11, 12,
14, 15, 33, 37, 38, 39, 40, 42,
43, 44, 45, 46, 47, 52, 55, 59,
62, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70,
72, 73, 74, 75, 78, 93, 94, 95

K

karbon dioksit, iv
karbon monoksit, iv
kıırma kum, iv, ix, xi, 8, 19, 20,
21, 22, 93
kimyasal katkı, iv
kür, iv, vii, 4, 7, 13, 14, 22, 28,
31, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 46,
47, 48, 50, 51, 52, 54, 55, 56,
58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 67,
68, 69, 70, 71, 72, 73, 74

L

lastik agrega, xi, xvi, 6, 8, 11, 19,
20, 21, 81, 84, 85, 87, 88, 89,
90, 91, 92, 93

M

mikronize kalsit, iv, xi, 4, 8, 9,
17, 18, 79, 81, 82, 85, 86, 89,
90, 92, 93, 97
MPa, xv, 11, 13, 15, 16, 30, 31,
49, 50, 51, 53, 54, 55, 57, 58,
59, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 71,
72, 73

N

nitrojen oksit, iv
numune, vii, ix, 8, 13, 14, 22, 23,
24, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 38, 43,
46, 69, 79, 82, 83, 86, 88, 90, 92,
93

P

poliüretan, iv, xi, 6, 7, 8, 11, 12,
19, 21, 81, 84, 85, 87, 88, 89,
90, 91, 92, 93, 95
puzolan, 1, 2

R

reaksiyon, 4

S

SEM, iv, v, vii, viii, x, xiii, xiv,
xvi, 8, 15, 16, 31, 79, 80, 81,
82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89,
90, 91, 92
sertleşmiş harç, iv, 26
Su kürü, 7, 43, 46, 52, 57, 75
sülfür oksitler, iv

T

Taze harç, vii, 14, 26

U

ultrases geçiş hızı, iv, viii, 12, 15,
36, 40, 45



TEKNOVERSİTE





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE



