

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YER KAROSU ATIKLARININ BETON ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seramik Müh. Yasemin TABAK

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şenol YILMAZ

Ocak 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YER KAROSU ATIKLARININ BETON ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seramik Müh. Yasemin TABAK

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 15 / 01 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Şenol YILMAZ
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Özkan TOPLAN
Üye


Yrd. Doç. Ş. Taner YILDIRIM
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında değerli fikir ve tecrübeleri ile beni yönlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Şenol YILMAZ 'a,

Tezin hazırlanmasında, deneysel çalışmaların önemli bir kısmı TÜBİTAK-MAM'da gerçekleştirilmiştir. Gerekli olanakları sağlayan Malzeme Enstitüsü Müdürü Doç. Dr. Tarık BAYKARA'ya ve Enstitü Müdür Yardımcılarına, sağladığı imkânlar ile çalışmaların yönlendirilmesinde önemli katkıları olan, değerli fikir ve önerilerinden faydalandığım Dr. Mustafa KARA ve Dr. Esin GÜNAY'a, yardımlarından dolayı tüm TÜBİTAK-MAM Malzeme Enstitüsü çalışanlarına,

Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Taner YILDIRIM'a, Ayşen KILIÇ, Ayşegül AVİNAL, Bayise KAVAKLI VATANSEVER ile isimlerini burada sayamadığım her zaman yanımda olan arkadaşlarıma ve son olarak bu günlere gelmem de emeği geçen, bana maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yasemin TABAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ VE AMAÇ	1
---------------------	---

BÖLÜM 2.

SERAMİK MALZEMELER VE SERAMİK ATIKLARI	4
2.1. Seramik Malzemelerin Tanımı	4
2.2. Seramik Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.2.1. Pişmiş kil ürünleri	6
2.2.2. İnce ve beyaz pişen ürünler	6
2.2.3. Refrakter ürünler	7
2.2.4. Teknik seramikler	8
2.3. Seramik Malzemelerin Üretimi	9
2.4. Kullanım Alanlarına Göre Seramik Malzemelerin Sınıflandırılması	10
2.5. Duvar ve Yer Karoları İmalatı	12
2.6. Yer Karosu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	13
2.6.1. Kil	13
2.6.2. Kaolin	14

2.6.3. Feldispat	14
2.6.4. Kuvars	14
2.7. Seramik Atıkları	15
2.8. Seramik Atıklarının Betonda Agregada Olarak Kullanımına Yönelik Yapılan Çalışmalar	16

BÖLÜM 3.

BETON VE BİLEŞENLERİ.....	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. Betonun Oluşturduğu Malzemeler	20
3.2.1. Çimento	20
3.2.1.1. Türkiye’ de üretilen çimento tipleri	20
3.2.2. Agregalar.....	21
3.2.2.1. Doğal agregalar	22
3.2.2.2. Yapay agregalar	22
3.2.2.3. Normal ağırlıklı agrega, hafif agrega ve ağır agrega	23
3.2.2.4. İnce agrega ve iri agrega	23
3.2.2.5. Karışık agrega	23
3.2.2.6. Tuvenan agrega	24
3.3. Betonun Sınıflandırılması	24
3.3.1. Sertleşmiş betonların bazı özellikleri	24
3.4. Taze Beton Özellikleri.....	26
3.4.1 Betonun işlenebilirliği.....	26
3.4.2. Tanelerin ayrışması-segregasyon	26
3.4.3. Betonun terlemesi.....	27
3.5. Beton Dayanımı	27
3.5.1. Betonun basınç dayanımı	27
3.5.2. Betonun çekme dayanımı	28
3.5.3. Betonun eğilme dayanımı.....	29
3.5.4. Betonun aşınma ve darbe direnci	29

3.6. Betonda Doluluk (Komposite)	30
3.7. Betonun Dayanıklılığı	31
3.8. Betonun Geçirimsizliği.....	31

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	32
4.1. Deney Programı	32
4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	32
4.2.1. Çimento	32
4.2.2. Agrega	33
4.2.3. Su.....	34
4.2.4. Beton karışım oranları.....	35
4.2.5. Taze beton deneyleri	36
4.2.5.1. Birim ağırlık	36
4.2.5.2. Çökme deneyi.....	37
4.2.6. Üretilen numune tipleri ve kür süreleri	37
4.2.7. Sertleşmiş beton deneyleri	38
4.2.7.1. Basınç dayanımı	38
4.2.7.2. Eğilme dayanımı	39
4.2.7.3. Su emme.....	40
4.2.7.4. Aşınma mukavemetlerinin bulunması.....	41
4.2.7.5. Yüksek sıcaklık deneyi	42
4.2.7.6. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)	43
4.2.7.7. XRF analizi	43
4.2.7.8. DTA analizleri.....	44
4.2.7.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersif spektrometresi (EDS) analizi	45
4.2.7.10. Donma çözülme testi	45

BÖLÜM 5.

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	47
5.1. Taze Beton DeneY Sonuçları ve Değerlendirilmesi	47
5.2. Sertleşmiş Beton Testleri	48
5.2.1. Su emme.....	48
5.2.2. Basınç dayanımı	48
5.2.3. Eğilme dayanımı	49
5.2.4. Aşınma mukavemetlerinin bulunması.....	50
5.2.5. Yüksek sıcaklık deneyi	51
5.2.5.1. Hammaddelerin X-ışınları difraksiyon analizi.....	52
5.2.5.2. Üretilen numunelerin X-ışınları difraksiyon analizi	56
5.2.6. XRF analizi	66
5.2.7. Diferansiyel termal analiz	66
5.2.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersif spektrometresi (EDS) analizi.....	70
5.2.8.1. YK+YKT betonlarında SEM ve EDS analizleri	70
5.2.8.2. YK betonlarında SEM ve EDS analizi.....	73
5.2.8.3. REF betonlarda SEM ve EDS analizi	76
5.2.9. Donma çözülme testi.....	83

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
6.1. Sonuçlar.....	84
6.2. Öneriler	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C30/37	:	TSE standartlarındaki hazır beton tipi
CEM I 42.5 R	:	Portland çimento tipi
XRF	:	X-ışınları floresans
EDS	:	Enerji dispersif spektrometresi
DTA	:	Diferansiyel termal analiz
SEM	:	Taramalı elektron mikroskop
XRD	:	X-Ray difraktometresi
REF	:	Referans beton
YK+YKT	:	Yer karosu ve yer karosu tozu kullanılarak üretilen beton
YK	:	Yer karosu kullanılarak üretilen beton

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Refrakter malzemelerin sınıflandırılması	8
Şekil 4.1. Kullanılan agregalar	34
Şekil 4.2. Kür banyosunda numunelerin bekletilmesi	37
Şekil 4.3. Basınç testi uygulanmakta olan bir küp numune	39
Şekil 4.4. Eğme dayanımı testi uygulanmakta olan bir kiriş numune.....	40
Şekil 4.5.Su emme numunelerinin kür havuzundan alınması	41
Şekil 4.6. Aşınma Test Cihazı.....	41
Şekil 4.7.(a) Yüksek sıcaklık testinde kullanılan çelik kafesin görünümü ; (b) Yüksek sıcaklık fırını.....	43
Şekil 4.8. DTA alındığında oluşan endotermik ve ekzotermik pikler	44
Şekil 5.1. Üretilen Betonların Görünümü	47
Şekil. 5.2. Üretilen betonun basma dayanım sonuçları.....	49
Şekil 5.3. Üretilen betonun eğme dayanım sonuçları.....	50
Şekil 5.4. Üretilen beton numunelerinin aşınma mukavemetleri	51
Şekil 5.5.Yer karosu kullanılarak üretilen betonların (YK) numunelerinin yüksek sıcaklık basma mukavemetlerinin standart basma mukavemeti ile karşılaştırılması.....	52
Şekil 5.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan yer karosu tozunun XRD analizi.....	53
Şekil 5.7. Deneysel çalışmalarda kullanılan 1 nolu mıcırın XRD analizi.....	54
Şekil 5.8. Deneysel çalışmalarda kullanılan 2 nolu mıcırın XRD analizi.....	54
Şekil 5.9. Deneysel çalışmalarda kullanılan çimentonun XRD analizi.....	55
Şekil 5.10. Deneysel çalışmalarda kullanılan taştözünün XRD analizi	55
Şekil 5.11. Deneysel çalışmalarda kullanılan deniz kumunun XRD analizi.....	56
Şekil 5.12. YK+YKT toz karışımına ait XRD analizi	58
Şekil 5.13. 2 gün kürlenmiş YK+YKT betonuna ait XRD analizi.....	59
Şekil 5.14. 7 gün kürlenmiş YK+YKT betonuna ait XRD analizi.....	59
Şekil 5.15. 28 gün kürlenmiş YK+YKT betonuna ait XRD analizi.....	60

Şekil 5.16. YK+YKT betonuna ait çakıştırılmış XRD analizi.....	60
Şekil 5.17. YK toz karışımına ait XRD analizi	61
Şekil 5.18. 2 gün kürlenmiş YK betonuna ait XRD analizi	61
Şekil 5.19. 7 gün kürlenmiş YK betonuna ait XRD analizi	62
Şekil 5.20. 28 gün kürlenmiş YK betonuna ait XRD analizi	62
Şekil 5.21. YK betonuna ait çakıştırılmış XRD analizi	63
Şekil 5.22. REF toz karışımına ait XRD analizi	63
Şekil 5.23. 2 gün kürlenmiş REF betonuna ait XRD analizi	64
Şekil 5.24. 7 gün kürlenmiş REF betonuna ait XRD analizi	64
Şekil 5.25. 28 gün kürlenmiş REF betonuna ait XRD analizi	65
Şekil 5.26. REF betonuna ait çakıştırılmış XRD analizi.....	65
Şekil 5.27. YK+YKT betonları DTA analizi	67
Şekil 5.28. YK betonları DTA analizi.....	68
Şekil 5.29. REF betonları DTA analizi	69
Şekil 5.30. Deneysel çalışmalarda üretilen hidrasyonsuz YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi.....	71
Şekil 5.31. Deneysel çalışmalarda üretilen hidrasyonsuz YK+YKT betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi.....	71
Şekil 5.32. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi	71
Şekil 5.33. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi	72
Şekil 5.34. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi	72
Şekil 5.35. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi	72

Şekil 5.36. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi	73
Şekil 5.37. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi	73
Şekil 5.38. Deneysel çalışmalarda üretilen hidratasyonsuz YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi.....	73
Şekil 5.39. Deneysel çalışmalarda üretilen hidratasyonsuz YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi	74
Şekil 5.40. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi...	74
Şekil 5.41. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi ...	74
Şekil 5.42. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi ...	75
Şekil 5.43. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı	75
Şekil 5.44. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi ...	75
Şekil 5.45. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi ...	76
Şekil 5.46. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük REF betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi ...	76
Şekil 5.47. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük REF betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi ...	76
Şekil 5.48. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük REF betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi ...	77
Şekil 5.49. YK+YKT betonlarında yer karolu bölge a) hidratasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri	78

Şekil 5.50. YK+YKT betonlarında mıcırli bölge a) hidratasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri	79
Şekil 5.51. YK betonlarında yer karolu bölge a) hidratasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri	80
Şekil 5.52. YK betonlarında mıcırli bölge a) hidratasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri....	81
Şekil 5.53. REF betonlarında mıcırli bölge a) hidratasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri	82

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Tipik Bir Betonun Çeşitli Özellikleri.....	25
Tablo 4.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri	33
Tablo 4.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Çimentonun Kimyasal Özellikleri.....	33
Tablo 4.3. Kullanılan Sebeke Suyunun Kimyasal Analizi.....	34
Tablo 4.4.. Referans beton için 1 m ³ karışım değerleri (REF).....	35
Tablo 4.5.Yer karosu+ yer karosu tozlu beton için 1 m ³ karışım değerleri (YK+YKT)	36
Tablo 4.6. Yer karolu beton için 1 m ³ karışım değerleri (YK)	36
Tablo 5.1. Taze Beton Deney Sonuçları	47
Tablo 5.2. Üretilen betonların % su emme değerleri	48
Tablo 5.3. Üretilen betonların basınç dayanımları	48
Tablo 5.4. Üretilen betonların eğme dayanımları	49
Tablo 5.5. Üretilen beton numunelerinin aşınma mukavemetleri.....	50
Tablo 5.6. Yer karosu atığı kullanılarak ve referans olarak üretilen betonun yüksek sıcaklık basma dayanım sonuçları (YK).....	51
Tablo 5.7. Kullanılan hammaddelerin XRD analizinde belirlenen kristal fazlar ve kullanılan simgeler	53
Tablo 5.8. Üretilen beton numunelerin XRD analizinde belirlenen kristal fazlar ve kullanılan simgeler	57
Tablo 5.9. Kullanılan hammaddelerin XRF analizleri	66
Tablo 5.10. YK betonunun donma çözülme test sonucu	83

ÖZET

Anahtar kelimeler: seramik atığı, beton, yer karosu, agrega

Beton üretiminde, yer karosu atıklarının kullanımı, olumsuz çevresel etkilerini ve doğal kaynakların tüketilmesini önemli ölçüde azaltabilir. Seramik üretimi sırasında ortaya çıkan seramik atıklarının yeniden kullanılması ve miktarının azaltılması için agrega olarak beton üretiminde kullanımı mümkündür.

Bu çalışmada agrega olarak seramik yer karosu atıklarının kullanımı ile üretilen betonların mekaniksel ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. İki farklı seramik yer karosu atığı kullanılarak C30/37 kalitesinde beton üretilmiştir. Bu betonların özellikleri üretilen referans C30/37 betonu ile kıyaslanmıştır. Test sonuçlarına göre seramik yer karo atıklarından üretilen betonun özelliklerinin ticari beton ile benzer fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Böylece beton üretiminde yer karosu atıklarının kullanılarak geri dönüşümü ile bu atıklara yeni bir uygulama alanı sağlanmış olacaktır.

THE INVESTIGATION OF PROPERTIES AND USABILITY OF THE FLOOR TILE WASTES IN THE CONCRETE PRODUCTION

SUMMARY

Key Words: Floor Tile, Ceramic Waste, Concrete, Aggregate

Floor tile waste aggregates on concrete applications can substantially reduce the negative environmental effects and exhaustion of the natural resources. In order to reuse and so to reduce the volume of the ceramic waste which occurs during the production of ceramic, it is possible to use as aggregates in the production of concrete.

In this study, the mechanical and physical properties of concrete produced from floor tile waste aggregates were investigated. C30/37 quality concrete was produced by using two different floor tile waste. The properties of these concretes were compared to produced reference C30/37 quality concrete. These results of the tests show that the concrete produced from floor tile waste has the same physical and mechanical characteristics as conventional concrete, thus a new application area to selective recycling of ceramic floor tile waste and its use in the production of concrete.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Seramik sektörü, seramik kaplama malzemeleri, seramik sağlık gereçleri, seramik sofr ve süs eşyaları, porselen sofr ve mutfak eşyaları, teknik seramikler, refrakter harç ve tuğlalar ile seramik hammaddeleri alt sektörlerinden oluşun; inşaat sektörüne önemli oranda girdi sağlayan bir sanayi dalıdır. Böylesine büyük bir sektör olmasının yanı sıra üretim sonrası ortaya çıkan seramik atıkları da oldukça yüksek miktarlardadır. Bu da çevre için büyük bir sorun haline gelmiş olup gün geçtikçe sektörün ilerlemesine bağlı olarak artan üretim sayısı nedeniyle, ortaya çıkan atık miktarı ve bunların hem çevreye hem de ekonomiye zararı artmaktadır.

Seramik sektöründe olası atık kaynakları; alçı kalıp atıkları, ıskarta ürün kırıkları, arıtma çıkış çamuru, evsel nitelikli çöpler, geri dönüşümlü atıklar (cam şişe ve çeşitli cam ürünler vb.), üretim sırasında kullanılan seramik boyaları, reçine ambalajları, sır malzemeleri gibi yardımcı malzemelerden kaynaklanan tehlikeli atıklardır.

Üretimin her kademesinde öncelikli olarak atık minimizasyonu için gerekli tedbirler alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, firesi yüksek ürünlerin istatistiksel çalışmalarla tespit edilip hatalar üzerinde çalışmalar yapılarak ıskarta ürünler azaltılmaktadır. Bunun dışında, proses arıtma çamurunun seramik çamuruna belli oranlarda ilave edilerek tekrar kullanılması ile de arıtma çamuru atığı azaltılmaktadır [1].

Seramik endüstrisinde günlük üretimin % 30'u atık haline dönüşmektedir. Kararlı ve sert yapıda olan seramik atıkları, biyolojik, fiziksel ve kimyasal bozunmaya karşı yüksek dirence sahip olup günümüzde özellikle kendi sektöründe geri dönüştürülememekte ve gün geçtikçe birikmeye devam etmektedir. Ülke ekonomisinde etkin ve önemli bir yeri olan seramik sektöründe, özellikle de sağlık gereçleri sektörü, kaplama malzemeleri alt-sektöründen sonra ikinci büyük alt-sektör konumunda olup, inşaat sektörüne girdi sağlayan büyük bir sanayi dalıdır.

Dolayısıyla seramik sektöründeki bu yoğun üretimin bir getirisi olarak oldukça yüksek miktarlarda atık çıkışı olmaktadır. Seramik endüstrisi bu soruna çözüm bulmak yönünde çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Bununla birlikte doğal kaynakların tükenmesi söz konusu olduğundan özellikle uygun olan alanlarda bu atıkların değerlendirilmesiyle hem ekonomik hem de doğal kaynakların korunumu açısından gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir [2].

Seramik atıklarının beton üretiminde değerlendirilmesi; atık değerlendirme, doğal kaynakların korunumu ve yeni bir beton üretim teknolojisinin geliştirilmesi yönünden getiriler sağlayacaktır. Sürdürülebilir beton tasarımı ve daha yeşil bir çevreye imkân tanınması nedeniyle yıllardır farklı sektörlerde ait inorganik endüstriyel atıklar beton üretiminde sıkça kullanılmaktadır. Endüstriyel atıklar beton özelliklerini geliştirmek ve maliyeti düşürmek amacıyla beton yapımında kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir [3, 4, 5, 6]. Geleneksel olmayan agregalar ile beton malzemesi geliştirmeye olan ihtiyaç ekonomik olduğu kadar çevresel nedenlerle de oldukça acildir. Geri dönüştürülmesi zor olan seramik atıklarının bu alanda kullanılması sayesinde ekonomik ve çevresel açıdan faydalar sağlanması mümkün olacaktır.

Dünyada, her yıl çok büyük miktarlarda çimento, agrega ve su beton üretimi için harcanmaktadır. Bu durum dünya ekolojisini ve insanlık geleceğini olumsuz etkilemektedir. Betonun çevreye zararlı etkileri ancak üretimde kullanılan kaynakların korunumu ve dayanıklı beton üretimi ile azaltılabilir. Bunun için gerekli yeni kaynak da endüstriyel yan ürünler olabilir. Dünyada sürdürülebilir bir gelecek için geliştirilen endüstriyel ekoloji kavramına göre, bir endüstrinin yan ürünü bir başka endüstride hammadde olarak kullanılabilir. Böylece iki endüstrinin de çevreye zararları azaltılabilir. Beton teknolojilerinin geliştirilmesinde ürünün imalat ve malzeme maliyetleri, dayanıklılığı ve çevreyle dost olma koşulu üç önemli kıstas olarak kullanılmaya başlanmıştır [1].

Bu çalışmada yer karosu atıklarının betonda kullanılabilirliği araştırılmış ve özellikleri incelenmiştir. Bunun için TS EN 206-1'de belirtilen hazır beton sınıfı olan C30/37 betonu üretimi hedeflenmiş olup, C 30/37'ye uygun beton karışımı

hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımlarında CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. I nolu mıcır yerine yer karosu atıkları agrega olarak kullanılarak beton numuneler üretilmiştir. Çalışma sırasında atık kullanılarak 2 farklı karışımda beton üretilmiştir. Bunlardan birincisinde I nolu mıcır yerine yer karosu kırığı ve deniz kumu yerine yer karosu tozu kullanılmıştır. İkinci karışımda ise sadece I nolu mıcır yerine yer karosu kırığı kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. Atık malzeme kullanılarak üretilen betonun özelliklerini kıyaslamak amacıyla referans beton üretimi de yapılmıştır. Her üç beton karışımı içinde su/çimento oranı sabit tutulmuş olup referans olarak hazırlanan C30/37 tipi betonda I nolu mıcır, II nolu mıcır, deniz kumu, taş tozu, çimento ve su kullanılmıştır. Üretilen beton numuneler standart kür koşullarında 28 gün saklanmıştır. Beton numunelerine su emme, birim ağırlık, basma ve eğme dayanımı, aşınma, arayüz incelenmesi amacıyla SEM, XRD, XRF, DTA, analizleri, farklı sıcaklıklarda yüksek sıcaklık uygulamaları ve donma çözülme testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre seramik yer karo atıklarından üretilen betonun özelliklerinin ticari beton ile benzer fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Böylece beton üretiminde yer karosu atıklarının kullanılarak geri dönüşümü ile bu atıklara yeni bir uygulama alanı sağlanmış olacaktır.

BÖLÜM 2. SERAMİK MALZEMELER VE SERAMİK ATIKLARI

2.1. Seramik Malzemelerin Tanımı

Seramik, en basit tarifıyla, “çok yüksek sıcaklıkta pişirilmiş toprak” demektir. Seramiğin tarihi, uygarlık tarihi kadar eskidir. Seramik kelimesi, Yunanca, pişirilmiş eşya anlamına gelen ‘’Keramos’’ kelimesinden gelmektedir [7]. Genel olarak tanımlandığında, seramik kapsamına metalik ve organik esaslı olmayan tüm malzemeleri almak mümkündür [8].

Literatürde, birçok tanımı olan seramik malzemeler için en genel ve en son olarak yapılmış tanımlama; organik ve metal olmayan, inorganik sınıfına giren tüm malzemelerin oluşturduğu bileşimlerin, çeşitli yöntemler ile şekil verildikten sonra, pişirilmesi bilimi ve teknolojisi şeklindedir. Seramik bir bilim olmasının yanısıra aynı zamanda da bir sanat dalıdır [9].

Seramik denilince genellikle akla tabak, çanak, çömlek, biblo gibi eşyalar gelmektedir. Oysa; duvar ve yer karoları, yapı tuğlaları, yüksek gerilim izolatörleri ve cam ürünleri de seramik sınıfına giren malzemelerdir. Bunun da ötesinde son yıllarda nükleer reaktörler, uzay araçları, elektronik malzemeler, pompalar, metal işleme fırınları, optik cihazlar, koruyucu kaplamalar, gibi özel bazı uygulama alanlarında da karşımıza seramik malzemeler çıkmaktadır. Haberleşme, inşaat, ulaştırma, enerji santralleri, sağlık teşkilatı, uzay araştırma ve tıp gibi önemli alanların teknolojilerinin gelişmeleri bir ölçüde seramik teknolojisinin gelişmesi sonucunda oluşmuştur. Yani; günümüz yaşantısında seramik, malzeme olarak her zaman ve her yerde karşılaştığımız, kullanma alanı giderek genişleyen bir malzeme durumundadır [9].

Seramikten üretilen ürünlerin her birinin, kullanıldıkları alanlara göre, çeşitli özellikleri taşımaları gerekir. Seramik üreticisinin başlıca hedefi; bitmiş ürünün kullanım amacına göre özel bazı özelliklere sahip olmasını sağlamaktır. Endüstriyel açıdan kullanım alanlarına göre seramik malzeme türlerini şu şekilde sıralamak mümkündür [10]:

- Vitrifiye seramik malzemeler
- Porselen seramik malzemeler
- Elektroporselen seramik malzemeler
- İleri teknoloji seramik malzemeler
- Seramik kaplama malzemeleri (yer ve duvar karoları)
- Akçini ve pekişmiş çini ve türleridir.

Seramik endüstrisinin en önemli özelliği bir çok diğer temel taşlardan biri olmasıdır. Örneğin; refrakterler; metalürji endüstrisinin, aşındırıcılar; makine-takım ve otomobil endüstrisinin, uranyum oksit yakıtlar; nükleer güç santrallerinin en önemli bileşenlerinin birisidir. çeşitli özel seramikler, bilgisayar ve diğer bir çok elektronik devrelerinin yapı bileşenleridir. Seramik alanındaki bu gelişmeler geleneksel seramik alanına girmektedir. Oysa günümüzde ileri seramik alanında araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır [11].

Günümüzde seramik malzemelerine ilginin artmasının başlıca sebepleri aşağıda belirtilmiştir, [7, 12]:

- a) Yüksek sıcaklıklara dayanabilme kabiliyetini
- b) Boyutsal kararlılık
- c) Sert malzemeler olmaları
- d) Metallere nazaran daha hafif olmaları
- e) Hammadde olarak kolay temin edilmesi ve ucuz olmaları
- f) Aşınmaya karşı dirençli olması
- g) Oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması
- h) Sürtünme katsayılarının düşük olması

2.2. Seramik Malzemelerin Sınıflandırılması

Seramik malzemeler, yapılarında olabilecek küçük farklılıklardan dolayı, çok değişken karakterde üretilebileceklerinden standart bir yöntemle sınıflandırılmaları mümkün değildir. Bu bakımdan, literatürlerde değişik araştırmacıların çeşitli sınıflandırılmalarına rastlanılabilir. En yaygın sınıflandırma aşağıdaki gibidir:

- a) Pişmiş kil ürünleri
- b) İnce ve beyaz pişen ürünler
- c) Refrakter ürünler
- d) Teknik seramikler

2.2.1. Pişmiş kil ürünleri

Doğada bulunduğu şekli ile işlenip, genelde kırmızı ve tonlarında pişen ürünlere pişmiş kil ürünleri denilmektedir. Demir oksitçe zengin kil yataklarından elde edilip, inşaat sektöründe çokça kullanılır. Hiç bir değişiklik gerektirmeden tornada şekillendirilebilmesi de ayrıca kullanım sahası oluşturmuştur. Yüke dayanımları az ve su emmeleri yüksek olup bazen sırlanarak dekoratif malzemesi olarak kullanılırlar. Harman tuğlaları, delikli-deliksiz inşaat tuğlaları, çeşitli künkler, baca ve başlık tuğlaları, saksı, bahçe seramiği ve kiremitler bu sınıfın önemli ürünleridir [11].

2.2.2. İnce ve beyaz pişen ürünler

Bu grubun ürünleri olduğunca saf hammaddelerden üretilir. Sofra takımları, banyo malzemeleri, yer ve duvar döşemeleri, süs eşyaları, elektrik izolasyon malzemeleri ve laboratuvar gereçleri bu grubun kapsamındadır. Bileşimleri genel olarak; % 50 kil-kaolen, % 25-45 kuvars, % 0-15 kalker, % 0-25 feldspat'tır. Kaolenin plastikliği az olduğundan beyaz pişen ince seramik kili ile desteklenir. Kabaca porselen, gre ve fayans olarak çeşitlendirilebilir.

Porselen: Kaolen, potasyum feldspat ve kuvars içerir. Pişirme sırasında feldspat

önce ergir, kaolenle tepkimeye girer. Oluşan ergiyik zamanla kuvarı ergitir. Ayrıca kaolen bozularak kristobalitle beraber mulliti oluşturur. Kristobalit de daha sonra camı fazda çözünür. Şeffaf porselenler serbest kuvars içermezler. Sert porselen, yoğun ve beyaz pişen ürünlerdir. Sert porselenler için pişme sıcaklığı 1280-1460°C arasında değişir. Yumuşak porselen, sert porselene oranla daha düşük sıcaklıkta pişen, beyaz ve şeffaf görünümlü birçok ürünü kapsar. Her iki türün de gözenekleri ve su emmeleri düşük olup % 0-1 dolayındadır. Feldspatın etkisiyle tamamen camı bir yapı oluşmaktadır. Frit porseleni, feldspat yerine frit kullanılarak yapılır. Bir tür yapay cam olup, Japon porseleni bu tip porselendir. Steatit porseleni, bileşiminde talk bulunur ve ısıl genişmesi oldukça düşük olup ısıl şoklara dayanıklıdır. Elektrik izolasyon malzemesi olarak da kullanılır. Kemik porseleni üretiminde alışılmışın dışında, feldspat yerine hayvan kemiği külü kullanılır. Üretimi çok zor olup büyük bilgi birikimi gerektirir. Henüz ülkemizde bu tür üretim yapılmamaktadır.

Gre: Bunlara sert çini de denir. Su emmesi % 5 civarındadır. Yer karoları, süs eşyaları, sofr malzemeleri, düşük gerilim elektrik izolatörler ve kimya endüstrisinde kullanılan reaktiflere dayanıklı kaplar gibi ince seramik ürünler üretilir. Greler bazen 250°C'de vitrifiye olan killerden de üretilir. Bu türüne doğal gre denir. Kil, kaolen, feldspat ve kalkerden oluşan karışımlardan yapılan yüksek kaliteli izolatörler ve sıhhi tesisat gereçleri de bu gruba girer.

Fayans: Bu tür ince seramiklere akçini de denir. Su emmeleri % 15 civarındadır. 1040-1150°C'de üretilir. Poroziteleri fazla olduğundan üretimleri kolay, fakat saydam değildir. Bu grupta duvar fayansları, sofa malzemeleri, süs eşyaları gibi ürünler üretilir [11].

2.2.3. Refrakter ürünler

Günlük yaşantımızda kullandığımız birçok malzeme yüksek sıcaklığın kullanıldığı üretim yöntemleri kullanılarak üretilmektedir. Metallerin üretilmesi ve şekillendirilmesi, cam, çimento, elektronik malzemeler, organik ve inorganik kimyasal malzemelerin üretim yöntemleri örnek olarak sayılabilir. Refrakterler,

yüksek sıcaklık işlemlerinin gerçekleştiği fırın sistemlerinin iç astarlarını oluşturan ve bu sayede metal astarın dayanamayacağı sıcaklıklarda üretimin gerçekleşebilmesini sağlayan ekonomik endüstriyel malzemelerdir. Bu nedenle refrakterler endüstriyel verimliliğin önemli bir parçasıdır.

Refrakterlerden beklenen temel görev, endüstriyel işlem ortamındaki sıcaklığın sistem dışına çıkmasını engellemek ve sistemi koruyarak işlemin devamını sağlamaktır. Fakat bu görevi yerine getirirken, sistem içinde oluşan mekanik, termal ve kimyasal zorlamalara da dayanması istenir. Bu nedenle, ilk bakışta sadece ısı yalıtım yeteneği açısından değerlendirilen refrakterlerden beklenen görevler aslında oldukça zordur.

Refrakterler birçok yolla sınıflandırılır. Bu sınıflandırmalar refrakterin cinsi, sıcaklık, kimyasal karakter, fiziksel şekil ve kullanım yeri göz önüne alınarak yapılmaktadır. Refrakterler genel olarak kullanım sıcaklığına, üretim yöntemine ve kimyasal özelliğine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar [13].



Şekil 2.1. Refrakter malzemelerin sınıflandırılması [9]

2.2.4. Teknik seramikler

Son yılların ürünleri olup sertlik, elektrik iletim ve yalıtım özellikleri, yarı iletkenlik özellikleri ve piezoelektrik özellikleri vardır. Bu nedenlerle elektronik alanda, bilgisayarlarda makine parçalarının üretiminde, uzay çalışmalarında, nükleer enerji alanında geniş kullanma alanları bulunmaktadır. Bu gruptaki malzemelerin başlıca

türleri ise;

- 1) Saf oksit seramikler
- 2) Sermetler, seramik-metal karışımı ürünler
- 3) Seramik-manyetik ürünler
- 4) Piezoelektrik seramik ürünler'dir [11].

2.3. Seramik Malzemelerin Üretimi

Geleneksel seramik malzeme üretiminde kilin seramik malzeme haline gelebilmesi için başlıca dört üretim aşamasından geçmesi gerekir. Bunlar,

- Hamurun hazırlanması
- Hamurun şekillendirilmesi
- Hamurun kurutulması
- Hamurun pişirilmesi'dir.

Bu aşamalardan herhangi birindeki bir hata, diğer aşamalardaki işlemler doğru olsa bile, elde edilecek seramik malzemenin niteliğini bozacaktır.

Hamurun hazırlanma safhası, kilin değişik vasıtalarla yataktan veya ocaktan çıkarılmasını, çürütme havuzunda dinlendirilmesini, gerekli maddeler karıştırılmasını, parçalanıp öğütülmesini, inceltmesini ve gereken miktarda rutubetlendirilmesini kapsar.

Şekillendirme safhasında, kil, ilerde görülecek değişik yöntemlerle, istenilen malzeme biçiminde şekillendirilir.

Kurutma safhası, kil içine katılan ve şekillendirme için gerekli suyun ısı yardımı ile buharlaştırılması amacıyla uygulanır. Böylece, çığ malzeme pişirmeye uygun bir niteliğe kavuşur.

Pişirme safhası ise seramik malzemeye esas niteliği kazandıran sonuncu üretim safhasıdır. Bu dört üretim işlemi sonunda, kil, sert, deforme olmayan ve belirli mekanik, fiziksel ve kimyasal niteliklere sahip malzeme haline gelir [14].

2.4. Kullanım Alanlarına Göre Seramik Malzemelerin Sınıflandırması

Seramik malzemeler kullanım alanlarına göre genellikle aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

1. Yapı seramikleri

- Tuğla
- Kiremit
- Duvar kaplama plakaları
- Yer kaplama plakaları
- Sağlık gereçleri (lavabo, klozet, duş teknesi vs.)
- Su boruları
- Kanalizasyon boruları
- Baca boruları

2. Ev eşyası seramikleri

- Saksı, çanak, çömlek
- Süs eşyası (vazo, biblo, heykel)
- Sofra seramiği (tabak, kase, fincan vs.), Ateşe dayanıklı pişirme kapları

3. Elektrik

- Şalter parçaları
- Sigorta parçaları
- Alçak gerilim izolatörleri
- Yüksek gerilim izolatörleri
- Yalıtım seramikleri (boncuk, boru, vs.)
- Ateşleme buji seramikleri

4. Elektronik seramikler

- Manyetik seramikler
- Dielektrik seramikler
- Piezoelektrik seramikler

5. Refrakter seramikler

- Ateş tuğlası
- Silika tuğla
- Bazik tuğla
- Karbon tuğla
- Grafit
- Silisyum karbür
- Refrakter harçlar
- Ateş çimentosu
- Oksit refrakterler
- Seramik elyaflar
- Monolitik refrakterler

6. Aşındırıcı seramikler

- Zımpara taşları
- Zımpara tozları
- Sentetik elmas

7. Biyo seramikler (tip)

- Seramik kemikler
- Seramik protezler
- Seramik dişler

8. Nükleer seramikler

- Nükleer yakıt sistem seramikleri
- Radyasyona karşı ağır betonlar

9. Mekanik seramikler

- Piston, yatak
- Motor gövdesi

10. Sermetler

- Seramik metal karışımı parçaları

11. Uzay araçları seramikleri

- Isı ve sürtünmeye dayanıklı kılıflar ve uçuş pist platformu [11].

Seramik malzemelerin kullanım alanları içerisinde önemli bir yeri olan yapı malzemeleri gündelik hayatımızda önemli bir yer tutmaktadır. Bunlar arasında en önde gelen malzemeler arasında, yer ve duvar kaplamasında kullanılan, seramikten yapılmış plakaları saymak mümkündür.

Türkiye’de çoğunlukla seramik yer karolarına “seramik karo” duvar karolarına da “fayans” denmektedir. Uluslararası kalite ve standart belirleme kuruluşu olan ISO, ISO 12 006:1998 standardında seramik kaplama malzemelerini şu şekilde tanımlamaktadır; “Seramik karolar, çoğunlukla killer ve/veya diğer anorganik hammaddelerden üretilen, genellikle yer ve duvar kaplamalarında kullanılan, kalıptan çekme metoduyla veya oda sıcaklığında preslenerek şekillendirilen, fakat başka işlemlerle de şekil verilebilen, daha sonra kurutulup istenen özellikleri kazandırmaya yeterli olacak sıcaklıklarda pişirilen ince plakalardır”. Karolar sırlı veya sırsız olabilir, yanmazlar ve ışıktan etkilenmezler [10].

2.5. Duvar ve Yer Karoları İmalatı

Fayansın hammaddesini teşkil eden kaolin, kil, feldspat, mermer ve diğer hammaddeler reçeteye göre hesaplanan miktarlarda tartılarak değirmenlere doldurulur. Aynı miktar su ve

flint taşı ilave edilerek belli bir zaman öğütülerek boza kıvamında sulu bir çamur karışımı elde edilir. Bilahare havuzlarda dinlendirme ve homojenizasyon işlemine tabi tutulan sulu çamur, filter pres denilen basınçlı süzme aparatlarında süzülerek suyu ayrılır. Rutubetli plakalar halindeki çamur, kurutma arabalarına yüklenerek kurutma kamaralarına sevk edilir. Burada sıcak hava ile tamamen kurutulur.

Bundan sonra şekillendirmeye hazırlama işlemleri yapılır. Kuruyan çamur kollerganklarda belirli bir tane iriliğinde ve hafif rutubetli olarak öğütülerek elenir ve silolanır. Şekillendirme silolarından alınan öğütülmüş harman, preslerin kalıplarına doldurularak yüksek basınç altında preslenerek sıkılır ve istenilen boyut ve kalınlıkta

şekillendirilir. Bu işlem otomatik ve seri halde yapılır. Buna ham fayans denir. Ham fayansların mukavemeti azdır ve hemen kırılır. Ham fayanslar fırın arabalarına yüklenir. Tünel kurutucuda rutubet tamamen uzaklaştırılana kadar kurutulur. Bundan sonra duvar karosu bisküvisi tünel fırında 1040°C’ de pişirilir. Diğer ise yer karosu fırınında 1260 °C’ de pişirilir. Fırından çıkan pişmiş ham fayanslara bisküvi fayansı denir. Bisküvi fayanslarının çatlak, kırık ve sağlamları ayrılır. Sağlamlar sırlanmak üzere sırlama makinesine nakledilir. Sırlama makinesinde usulüne uygun olarak sırlama işlemi yapılır. Sırlı karolar kasetli arabaların kasetlerine dizilir. Daha sonra karolar ikinci defa mufil fırında 1000°C’ de pişirilir. Burada her iki cins bisküviye aynı sırlama ve pişirme işlemi tatbik edilir. Fırından çıkan fayansların kalite kontrolleri yapılması oldukça önemlidir [11]. Kalite kontrolü yapılan fayanslardan uygun olmayan ürünler ıskartaya çıkartılır. Bu ürünler yer ve duvar karosu kırığı atıklarını oluşturmaktadır.

2.6. Yer Karosu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

2.6.1. Kil

Kil, az ya da çok safsızlık içeren hidratize alüminyum silikattır. Yeteri kadar incelikte ve yaş iken plastik, kuru olduğunda serttir. Uygun sıcaklıkta sertleşir. Doğada bol miktarda bulunan kil ve killi topraklar çok eski çağlardan beri çanak, çömlek ve benzeri eşyanın yapımında kullanılmaktadır [15]. Killer, sulu alüminyum silikat olup bu sınıflama içerisindeki tüm mineraller için tane boyu 1/256 mm veya 4 µ olarak verilmektedir [16]. Killer tane boyutu, tane şekli ve bünyelerinde buldukları sudan dolayı plastik karakterlidirler. Sudan başka alkali oksitlerin yanı sıra karbon, kükürt ve karbonatları da içerirler. Bu nedenle pişirim esnasında birçok reaksiyon gerçekleşir. Isıtıldığında 200°C’ye kadar fiziksel suyunu atar. 200°C ile 650°C arasında karbonatlar ve sülfatlar parçalanır. 980°C’de ise müllit oluşumu başlar ve çekme meydana gelir. Bu sıcaklıktan itibaren camlaşma başlar [17].

2.6.2. Kaolin

Kaolin, Çin’ce ‘Kao-ling’ kelimesinden türemiştir. Avrupa, 18. yüzyılda Çin’den gelen porselenlerin hammadde numunelerini inceleyerek kaolini öğrenmiştir. Yapıları oldukça farklı olmasına rağmen kaolinit, dikit, nakrit ve halloysit kaolin grubu minerallerini oluşturmaktadır. En önemli kaolin minerali kaolinit olup kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ’dir [18].

2.6.3. Feldispat

Potasyum, sodyum ve kalsiyum alümina silikat bileşimli mineral gruplarına feldispat denilir. Seramik çamuruna Na_2O , K_2O , CaO bileşiklerinin girmesiyle yapıda cam fazın oluşması sağlanır. Çamurlarda sinterleme sonucu cam fazı oluşturduğu gibi sırlarda eriticilik özelliği gösterirler. Seramik reçetesine flakslar (eriticiler), bünye pişirildiğinde sıvı oluşumunu sağlayacak sıcaklığın düşürülmesi amacıyla katılır. Alkali içeriği, feldispat nispeten düşük erime sıcaklığa kazandırır. Böylece kil, feldispat ve kuvarstan oluşan tipik seramik reçetesinde feldispat yumuşar, camsı veya sıvı hale geçer, buna karşılık kil ve kuvarsi katı halde ıslatır ve gözenekler arasında dereceli olarak dağıtıldıkça, yüzey gerilimi taneleri birbirine çeker. Belirli bir minerolojik bileşime sahip her seramik hamuru, bu mukavemet kazanma ve yoğunlaşma işlemlerinin gerçekleştiği sabit bir pişme sıcaklığına sahiptir ve bu sıcaklık genellikle 1100-1300°C arasında bulunur.

Feldispatlar, izomorf karışımları ve oluşum özellikleri bakımından iki gruba ayrılırlar [17].

1- Alkali Feldispatlar

2- Plajioklaslar

2.6.4. Kuvars

Kuvars SiO_2 bileşiminde sertliği 7, özgül ağırlığı 2.85 gr/cm^3 , ergime sıcaklığı 1785°C olan, yer kabuğunda en yaygın minerallerden biridir. Saydam veya mat,

renksiz veya beyaz, kırmızı, pembe, mavi, mor gibi çeşitli renklerde kuvars vardır [19]. Kuvars seramik çamur ve sırlarında önemli görevler yüklenerek geniş kullanma alanı bulur. Seramik endüstrisinde en çok kuvars kumu ve kaya kuvarısı şeklinde kullanılır [17].

2.7. Seramik Atıkları

Seramik endüstrisinde günlük üretimin % 30'u atık haline dönüşmektedir. Kararlı ve sert yapıda olan seramik atıkları, biyolojik, fiziksel ve kimyasal bozunmaya karşı yüksek dirence sahip olup günümüzde özellikle kendi sektöründe geri dönüştürülememekte ve gün geçtikçe birikmeye devam etmektedir. Seramik sektörünün 2005 yılı kapasitesi 22.000.000 adettir. Ülke ekonomisinde etkin ve önemli bir yeri olan seramik sektöründe, özellikle de sağlık gereçleri sektörü, kaplama malzemeleri alt-sektöründen sonra ikinci büyük alt-sektör konumunda olup, inşaat sektörüne girdi sağlayan büyük bir sanayi dalıdır. Günümüzde seramik sağlık gereçleri alt sektöründe üretim gerçekleştiren 9 adet büyük ölçekli firma bulunmaktadır. Ancak büyük üretici firmaların yanı sıra, 1980'li yılların ikinci yarısından sonra, çeşitli bölgelerde 30 kadar orta ve küçük ölçekli işletme üretime başlamıştır. Seramik sağlık gereçleri sektörü üretimin yaklaşık % 60'ını ihraç etmektedir. Türkiye bu sektörde Avrupa'nın en fazla ihracat yapan ülkesidir. Bugün Türkiye 2006 yılında 178,8 milyon dolar değerinde 119,6 bin ton karşılığı 8,5 milyon parça seramik sağlık gereci ihraç etmiştir. İhracat bakımından seramik kaplama malzemelerinden sonra ikinci önemli sektör olan seramik sağlık gereçleri alt sektörünün dünya pazarlarındaki rekabet gücü artmaktadır.

Dolayısıyla seramik sektöründeki bu yoğun üretimin bir getirisi olarak oldukça yüksek miktarlarda atık çıkışı olmaktadır. Seramik endüstrisi bu soruna çözüm bulmak yönünde çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Bununla birlikte doğal kaynakların tükenmesi söz konusu olduğundan özellikle uygun olan alanlarda bu atıkların değerlendirilmesiyle hem ekonomik hem de doğal kaynakların korunumu açısından gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

2.8. Seramik Atıklarının Betonda Agrega Olarak Kullanımına Yönelik Yapılan Çalışmalar

Çimento ve beton endüstrisi, atıklardan kaynaklanan problemlerin çözümü için elverişli bir sektör olmakla birlikte yapılan deneysel çalışmalar, enerji tasarruflu ve çevre dostu üretim yöntemlerinin geliştirilmesi konusunda yoğunlaşmıştır. Bu amaç için uygulanacak yollardan bazıları, çimento ve beton üretiminde alternatif malzeme olarak endüstriyel atıkları ve yan ürünleri kullanmaktır. Bu alternatif malzemeler, yakıtın, geleneksel hammaddelerin veya çimento klinkerinin kısmi olarak yerini alabilmektedir.

Beton üretiminde geleneksel agrega yerine çeşitli seramik endüstriyel atıkların kullanılması sayesinde bir yandan doğal kaynaklardan tasarruf sağlarken, bir yandan da atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunması yoluyla ülkemizin önemli bir (sosyal) sorunu olan atık sorununun çözümüne katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

Seramik endüstrisinde üretimin % 30'u atık olarak çıkmaktadır ve günümüzde bu atıkların geri dönüşümü pek yapılmamaktadır. Seramik atığı kararlı, sert ve biyolojik, fiziksel ve kimyasal bozunmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Seramik atıkları gün geçtikçe birikmeye devam etmekte olduğundan, bu soruna çözüm bulmak yönünde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte geleneksel kırma taş agrega rezervleri, özellikle dünyanın bir takım çöl bölgelerinde olmak üzere hızla tükenmektedir. İnorganik endüstriyel kalıntı ürünlerin beton yapımında kullanımı, sürdürülebilir beton tasarımı ve daha yeşil bir çevreye imkân tanır. Geleneksel olmayan agregalar ile beton malzemesi geliştirmeye olan ihtiyaç ekonomik olduğu kadar çevresel nedenlerle de oldukça acil ve gereklidir [2].

Son yıllarda literatürde çeşitli seramik atıklarının farklı yöntemlerle değerlendirilmesi konusunda bazı çalışmalara rastlanmaktadır. Literatürde seramik atıklarının azaltılması ve geri dönüşümü çalışmalarına dair yapılan bazı çalışmalardan örnekler aşağıda özet olarak verilmiştir.

Senthamarai ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada, hem geleneksel kırma taş hem de seramik endüstriyel atığı kullanılarak hazırlanan betonların karakteristik özellikleri incelenmiş olup izolator atığı kullanılarak hazırlanan betonun özelliklerinin geleneksel beton ile karşılaştırılabilir nitelikte özellikleri sahip olduğu belirlenmiştir [2]. I. Guerra ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise belirli oranda iri agrega içeriği yerine sağlık gereçleri üretimi yapan tesisin porselen atıklarının kullanılması ile laboratuvar şartlarında hazırlanan betonun fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş olup seramik atığın agrega olarak kullanıldığı betonun mekanik özelliklerinin, geleneksel agrega kullanılan betonunki ile aynı olduğu ve bu tip seramik atığın değerlendirilmesi için bu yöntemin uygun olduğu görülmüştür [3]. M. Abdullah ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada seramik atıklarının (saksı, çömlek, tuğla, kiremit vb.) iri agrega olarak kullanılması ile elde edilen betonun mukavemeti üzerine çalışılmıştır. Seramik atıklarından elde edilen iri agregalı betonların mukavemet özellikleri ticari olarak üretilen betonla kıyaslanmıştır. Seramik atıklarından elde edilen iri agregalı betonun basma mukavemet değeri ticari betonun basma mukavemetinin % 85-100'ü dolaylarında olduğu belirlenmiştir [4]. J. de Brito ve arkadaşları, taze ve sertleştirilmiş betonda agrega olarak kullanılan atık malzemelerin temel karakteristik özelliklerini inceleyen bir çalışma yapmış ve geleneksel kagır malzemelerin özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, inşaat ve yıkım atıklarının yeniden kullanımı ve geri dönüşüm imkânını artırma şartları araştırılmıştır. Sonuç olarak, bu seramik agregaların, birincil önceliğin basınç mukavemeti olmadığı, fakat çekme mukavemeti ve aşınma direncine ihtiyaç duyulacak bir üründe; örneğin beton kaldırım taşında kullanım potansiyeli olduğu görülmüştür [20].

H. Binici ve arkadaşları tarafından seramik endüstriyel atıkların (Osmaniye'deki yerel çömlekçilerin seramik kırıkları ve Osmaniye MYO seramik bölümü kırık ve atıkları) ve bazaltik süngertaşının betonda geleneksel ince agrega yerine kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine yaptıkları çalışmada, hem geleneksel beton hem de atıkların kullanıldığı beton için test edilerek sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, seramik atık ve bazaltik süngertaşı içeren betonun işlenebilirliğinin oldukça iyi olduğunu göstermiştir. Kırık seramik ve kırık bazaltik süngertaşının düşük aşınma ve yüksek basma mukavemeti gerektiren

betonlarda kullanıma uygun olduğu görülmüştür [5]. İ.Topçu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise farklı oranlarında gaz beton kırıkları (GKA) kullanılarak betonlar üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri üzerinde mekanik, fiziksel özellik deneyleri yapılarak yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip betonların üretilip üretilmeyeceği araştırılmıştır. GKA kullanılması ile beton dayanımlarında ve birim ağılıklarında düşme gözlenmiştir [21]. İ.B.Topçu ve M.Canbaz, atık camın betonda iri agrega olarak kullanımı amacıyla yaptıkları çalışmada 4–16 mm boyutuna öğütülen atık cam, çimento üretiminde % 0–60 oranında kullanılmıştır. Taze ve sertleştirilmiş beton testleri yapılarak atık camın betonun çalışılabilirliği ve mukavemeti üzerine etkileri incelenmiş olup atık camın betonun işlenebilirliği üzerine etkisi olmadığı, fakat mukavemeti az miktarda düşürdüğü görülmüştür [22]. M.Köroğlu ve A.Köken'nun yapmış olduğu çalışmada 28 günlük beton basınç mukavemeti 10 MPa olan beton atıkları öğütülerek agrega haline getirilerek mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiş ve 10 MPa silindir basınç mukavemetine sahip kötü betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarının taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabileceği görülmüştür [23]. Paulo B. Cachim'in yaptığı çalışmaya göre, kırılmış tuğla atıklarının doğal agregaya ek agrega olarak % 15'e kadar kullanımı sonucunda mukavemette herhangi bir azalma ile karşılaşılmamıştır [6].

BÖLÜM 3. BETON VE BİLEŞENLERİ

3.1. Giriş

Beton, insanların yasadıkları evlerin, işyerlerinin, okullarının, spor tesislerinin, arabalarını park ettikleri yerlerin ve garajların büyük bir bölümünün yapımında kullanılmaktadır. Üzerinde yürünen kaldırımlarda, seyahat edilen ve insan gereksinimi olan malların getirilip götürüldüğü karayollarının, demiryollarının, havaalanlarının ve limanların yapımında, içme suyu veya atık suların depolandığı tanklar ve bu suların tasındığı boruların, enerji üretimi için kurulan barajların ve atom reaktörlerinin bir bölümünde enerji nakli için kullanılan direklerin yapımında ve tarımsal yapıların yapımında beton kullanılmaktadır.

Çimento, agrega (kum, çakıl, mıcır... gibi malzemeler), su ve bazen de bir katkı maddesinin oranlarının dikkatlice ayarlanıp, karıştırılmasıyla ve elde edilen bu karışımın istenilen boyut ve şekildeki kalıplara boşluksuz bir şekilde yerleştirilip, uygun şartlarda sertleştirilmesi ile elde edilen malzemeye beton denilmektedir [24].

Betonun plastikliğini koruduğu süredeki durumu, “taze beton”, katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu ise, “sertleşmiş beton” olarak isimlendirilmektedir [25].

Beton üretiminde kullanılacak malzemelerin özellikleri ve miktarları, üretilecek betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmenin ilk koşulu, beton yapımında kullanılacak malzemelerin özelliklerin bilinmesi, doğru malzemelerin uygun oranlarda bir araya getirilmesidir [26].

3.2. Betonu Oluşturan Malzemeler

3.2.1. Çimento

Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içersinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalin öğeler ve SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi hidrolik öğelerden oluşur. Alkalin ve hidrolik öğelerin oranları da bağlayıcı maddenin niteliğini belirler [27].

3.2.1.1. Türkiye' de üretilen çimento tipleri

Genelde çeşitli çimento cinsi mevcut olup bunların birçoğu özel amaçlar için kullanılmaktadır. Çimentonun çeşitli türlerde üretilmesinin sebebi; kullanım yerlerine göre özelliklerin değişmesidir. Ülkemizde üretilen çimento tipleri aşağıda verilmiştir.

Normal Portland Çimentosu: İnşaatlarda en çok kullanılan çimento cinsidir. % 60-65 CaO, % 21-23 SiO₂, % 5-7 Al₂O₃, % 2-3 Fe₂O₃, % 1-2 MgO, % 1-3 SO₃, % 0,5-2 diğer maddeleri içerir.

Beyaz Portland Çimentosu: Yapısı normal portland çimentosuna benzer fakat kalker yerine hammadde olarak saf mermer, kil yerinede kaolen kullanılır.

Trashlı Çimento: Portland çimentosu klinkerine % 30-40 arasında pomzataşı katılarak elde edilir.

Harç Çimentosu: Ağırlıkça en az % 40 portland çimentosu klinkerleri ile en çok % 60 puzolonik madde (doğal puzolan-tras veya uçucu kül) karışımının küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilir.

Erken Dayanımı Yüksek Çimento: Granüle yüksek fırın cürufu ile portland çimentosu klinkeri karışımının küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmeleri sonucunda elde edilir.

Uçucu Küllü Çimentolar: Termik santrali artığı küllerin klinkere katılmasıyla elde edilir.

Yüksek Fırın Cürufu Çimento: Normal portland klinkerine öğütülürken taneli yüksek fırın cürufu katılmasıyla elde edilir.

Sülfata Dayanıklı Çimento: C_3A oranı % 5 veya % 5'in altında olan portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ile öğütülmesi ile elde edilir.

Süper Sülfat Çimentosu: Özel bir çimentodur. Bu çimentonun üretiminde kullanılan malzemeler arasında en büyük payı % 65'lik bir oranda granüle yüksek fırın cürufu almaktadır. Bunun yanında kullanılan malzemeler ise şunlardır; anhidrat olarak kalsiyum, sülfat ve az miktarda portland çimentosu klinkeridir.

Katkılı Çimento: Portland çimentosu klinkerinin bir miktarı puzolonik madde ile değiştirilir ve elde edilen klinker ve puzolan karışımı yine küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir [28] .

3.2.2 Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık % 75'i agrega tarafından oluşturulmaktadır.

Beton yapımında kullanılan temel malzemeler (çimento, su ve agrega) arasında en pahalı olanı çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre çok düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olabildiği kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır. Beton yapımında agrega kullanılmasının tek nedeni daha ekonomik

beton üretmek değildir. Agregada betonun teknik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır. Agreganın sağladığı teknik yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

Çimento hamuru, zamanla, kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Betonun içerisinde bulunan agregada taneleri betonun göstereceği hacim değişikliğini ve buna bağlı olarak yer alabilecek çatlakları azaltmaktadır.

Beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle sert ve dayanımı oldukça yüksek olan malzemelerdir. Agregada dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkenlere karşı daha dayanıklı olabilmesine yardımcı olmaktadır [29].

Agregada özellikleri betonun özelliklerini etkilediği gibi, beton karışımında yer alacak malzeme miktarını, o nedenle, betonun ekonomikliğini de etkilemektedir. Betonun ekonomikliğini etkileyen başlıca faktör ise, agreganın ne kadar uzak mesafeden temin edilebileceği, maliyeti, bulunabilirliğindeki kolaylıktır [29].

3.2.2.1. Doğal agregalar

Doğal taş agregada; teraslardan, nehirlerden, denizlerden; göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadadır [30].

3.2.2.2. Yapay agregalar

Yapay agregalar, beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün veya atık malzeme olarak ortaya çıkan malzemelerden üretilen agregalar, veya bir malzemeye ısı işlem uygulanarak beton yapımında kullanılmaya uygun duruma getirilen agregalardır. Yapay agregalar arasında en çok kullanılanları şunlardır: yüksek fırın cürufu, genişletilmiş kil agregası, uçucu kül agregası ve genişletilmiş perlit sayılabilir [29].

3.2.2.3. Normal ağırlıklı agrega, hafif agrega ve ağır agrega

Özgül ağırlığı 2.4-2.8 arasında olan agregalar “normal ağırlıklı agregalar” olarak kabul edilmektedir. Normal ağırlıklı agregadan söz edilirken her seferinde “normal ağırlıklı” denilmemekte, sadece “agrega” denilmektedir. Bu tür agregalarla yapılan betonlara da, “normal ağırlıklı beton” denilmekte, sadece “beton” denilmektedir. Kum, çakıl, kırmataş bu sınıfa dahildir.

Özgül ağırlıkları 2.4’ten küçük olan agregalar “hafif agregalar” olarak anılmaktadır. Genleştirilmiş kil, genleştirilmiş perlit, bims gibi agregalar hafif agregalardır. Bu tür agregalar ile “hafif beton” üretilmektedir [29].

3.2.2.4. İnce agrega ve iri agrega

Türk standartlarına göre, 4.0 mm göz açıklıklı kare delikli eleklerden geçen agregaya “ince agrega” bu elek üzerinde kalan agregaya ise “iri agrega” denilmektedir. Kum, kırılma işlemine tabi tutulmamış ince agregadır. Çakıl ise, kırılma işlemlerine tabi tutulmamış olan iri agregadır.

İnce ve iri agrega boyutunu ayıran sınır 4.0 mm eleklerle belirlenmiş olmakla birlikte, beton yapımında kullanılabilen ince agrega için kullanılacak eleğin ayrıca bir de alt sınır boyutu bulunmaktadır. Beton agregası olarak kullanılacak ince agrega için agregaya için en küçük elek boyutu, Türk standartlarına göre 0.25 mm’dir.

Yapı betonlarının üretimi için kullanılan agregaların en büyük tane boyutu genellikle 100 mm’yi, hatta 63 mm’yi geçmemektedir [29].

3.2.2.5. Karışık agrega

İnce ve iri agrega karışımına “karışık agrega” adı verilmektedir [30].

3.2.2.6. Tuvenan agregası

Agrega ocağından veya konkasörden elde edilerek, boy sınıflarına ayrılmadan, olduğu gibi kullanılan doğal karışık agregaya “tuvenan agregası” denilmektedir [29].

3.3. Betonun Sınıflandırılması

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılırlar. Yaklaşık 2400 kg/m^3 ağırlığında olan betonlar normal beton olarak isimlendirilir ve taşıyıcı amaçlara en çok kullanılan beton türüdür. Hafif betonlar, birim ağırlıkları 1800 kg/m^3 'den az olan betonlardır. Yalıtım amaçlı olarak veya dayanım-ağırlık oranının yüksek olması koşullarda kullanılır. Radyasyon kalkanı olarak kullanılacak betonlarda bazı özel agregalar kullanılarak ağırlık artırılır. Birim ağırlığı 3200 kg/m^3 'den yüksek olan bu betonlar ağır beton olarak adlandırılır.

Öte yandan, dünyanın birçok ülkesinde birbirinden farklılıklar gösteren sınıflandırmalar yapılmasına karşın, betonları basınç dayanımlarına göre de üç ana grubu ayırmak mümkündür:

Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm^2 'nin altında olan betonlar.

Normal dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları $20\text{-}40 \text{ N/mm}^2$ olan betonlar.

Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm^2 'den fazla olan betonlar.

Burada bütün beton çeşitlerinden söz etmek hem gereksiz hem de olanaksızdır. Bazı özel betonlara ileriki bölümlerde değinilecektir [31].

3.3.1. Sertleşmiş betonların bazı özellikleri

Dayanım malzemenin kırılma alabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanır. Beton basınç yükleri altında daha iyi davranış gösterdiğinden, betonun dayanımından söz edildiğinde, diğer dayanımlar belirtilememişse, basınç dayanımı anlaşılır. Betonun dayanımı çimento hidratasyonunun bir fonksiyonu olduğundan ve bu işlem de zamana bağlı olduğundan, dayanım belirtilirken çoğunlukla betonun yaşıyla birlikte

söylenir. Mühendisler hesaplarında daha çok betonun 28 günlük basınç dayanımını esas alırlar. Dayanım, standart ortam koşullarında (sıcaklık ve nem) tutulan, standart boyutlardaki numunelerin ve standart deney yöntemleri kullanılarak belirlenir. Daha önce belirtildiği gibi, bir çok yapıda normal dayanımlı (28 günlük basınç dayanımı 20-40 N/mm²) betonlar kullanılır. Son yıllarda, beton teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, 120 N/mm² basınç dayanımına sahip olan betonları ticari olarak üretmek mümkün olmuştur.

Betonun çekme dayanımı ve eğilme dayanımı basınç dayanımının, sırasıyla, yaklaşık %10'u ve % 15'i kadardır. Basınç dayanımıyla bunlar arasındaki bu önemli fark betonun heterojen ve oldukça karmaşık bir yapıya sahip olmasından kaynaklanır.

Yukarıda özetlenen özelliklerin yanı sıra, malzeme seçiminde dikkate alınması gereken ve zaman zaman en az diğerleri kadar önemli olan bir husus da “dayanıklılık”tır. Dayanıklılık, bir malzemenin çevre koşullarına karşı direnci olarak tanımlanabilir. Genel olarak, geçirimsizliği az olan, yoğun betonlar diğerlerine oranla daha dayanıklıdır.

Burada ana hatları ile tanımlanmış olan bilgileri bir tabloda toparlanırsa, şöyle ifade edilebilir; [31]

Tablo 3.1. Tipik Bir Betonun Çeşitli Özellikleri

Basınç dayanımı	30 N/mm ²
Eğilme dayanımı	5 N/mm ²
Çekme dayanımı	3 N/mm ²
Elastisite modülü	25000 N/mm ²
Poisson oranı	0,17
Isıl genleşme katsayısı	10 x 10 ⁻⁶ °C
Yoğunluk	2300 kg/m ³

3.4. Taze Beton Özellikleri

Karıştırıcıda hazırlanmış, ancak henüz priz aşamasına geçmemiş olan taze betonun üç ana özelliği bulunur;

- İşlenebilirlik,
- Segregasyon,
- Terleme.

3.4.1. Betonun işlenebilirliği

İşlenebilirlik yeteneği taze betonda gözlenen ve deneylerle değeri saptanabilen bir özelliktir. Bu yeteneği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilen ve kalıba yerleştirilebilen bir malzemedir. Taşınması ve yerleştirilmesi sırasında karışımda ayrışma olmaz. Beton, kalıplarda en az boşluk kalacak biçimde yerleşir. Akıcı, yani su/çimento oranı yüksek tutulmuş olan betonda karıştırma ve yerleştirme işleri düşük enerjiyle yapılabilir, ancak bu tür betonlarda kendini tutabilme özelliği (kohezyon) yeterli olmaz. Ayrıca tane ayrışması, karma suyunun beton yüzeyinde toplanması olasılığı artar. Bu durum karşısında işlenebilirliği, akıcılık ve kohezyon gibi iki ters özelliğin optimum çözümü olarak belirlemek gerekir [32].

3.4.2. Tanelerin ayrışması-segregasyon

Betonun hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında iri tanelerin ince tanelerden ayrışması olayına “segregasyon” denir. Segregasyon ya iri agregaların eğik düzlem boyunca ince agregalardan daha çabuk yol almaları şeklinde, ya da özellikle sulu karışımlarda iri agregaların çökmesi biçiminde meydana gelmektedir. Eğer betonun yerleştirileceği yere kısa mesafede taşınması mümkün olabilirse, segregasyon tehlikesi azalır. Betonun oldukça yüksek yerden düşürmek, oluktan geçirmek, iletim yönünde değişiklikler yapmak, bir engelle karşılaştırmak segregasyonu artırır. Böyle durumlarda kendini tutabilen kohezyonlu beton kullanılmalıdır. Betonun iyi bir şekilde üretilmesi, ulaştırılması ve yerleştirilmesi segregasyonu önemli ölçüde azaltır. Vibrasyon işlemi betonun iyi bir şekilde

sıkıştırılmasını sağlar, fakat yanlış kullanımı ve uzun süre işleme tabi tutulması, kaba malzemenin aşağıda, çimento hamurunun ise yüzeyde toplanmasına, dolayısıyla betonun zayıf olmasına neden olur. Hava sürükleyici katkı maddesi içeren betonda segregasyonun azalacağı unutulmamalıdır [32].

3.4.3. Betonun terlemesi

Tanım olarak, “terleme” taze karışım içindeki suyun kalıba yerleştirilmiş betonun yüzeyinde birikmesidir. Beton yerleştirildiğinde karışım içindeki malzemenin suyu tutamaması sonucu meydana gelir; agreganın çökmesi ile bağlantılıdır.

Terleme sonucu yüzey çok ıslak hale gelir ve bu su kaybı betona su ilave edilerek giderilmeye çalışılırsa boşluklu, zayıf, dayanıksız beton ortaya çıkar. Eğer terleme suyu, üst yüzeyin bitirilmesi sırasında tekrar karıştırılırsa zayıf taşıyıcı bir yüzey oluşacaktır. Buna engel olmak için, terleme suyu tamamen buharlaşmaya kadar yüzeyde herhangi bir düzeltme yapılmamalı, master veya mala ile yüzey üzerinde fazla çalışılmamalıdır. Beton yüzeyindeki buharlaşma hızı, terleme oranının gelişme hızından daha fazla ise, plastik büzülme (rötre) çatlakları meydana gelir [32].

3.5. Beton Dayanımı

Gevrek bir malzeme olan betonun çekme direnci çok düşük, basınç direnci yüksektir. Bu iki direnç arasındaki oran 1/10 mertebesindedir. Bu nedenle betonarme hesapları yapılırken betonun çekme gerilmeleri altında çatladığı, işe yaramadığı, tüm çekme gerilmelerini çeliğin taşıdığı varsayılır.

3.5.1. Betonun basınç dayanımı

Betonu tanımlamada kullanılan önemli kavramların başında basınç direnci kavramı gelir. Betonlar karakteristik basınç dirençlerine göre simge alıp sınıflandırılırlar. Bu değer TS 500'e göre “denenecek numunelerden bulunacak basınç dirençlerinin, bu değerden düşük olma olasılığının %10 olduğu değerdir”. Basit anlatımla karakteristik

direnç 100 numuneden oluşan bir grupta 90 numunenin üzerinde kaldığı minimum direnç değeridir.

Betonun basınç direncini doğrudan etkileyen karışım ve üretim etkenleri aşağıda verilmektedir:

Karışım etkenleri: Karışım etkenlerinin en önemlisi su/çimento oranıdır. Karışım etkenlerinden bir diğeri, çimento dozajıdır. Bunların dışında çimento türü de önemli karışım etkenlerindedir.

Üretim etkenleri: Betonun taşınması sırasında, ulaştırma güzergahın boyu 2,5 km aşmamalı, taşıt, arızalı ve çukurlu platform üzerinde hareket etmemelidir. Aksi halde titreşim karıştırıcıda elde edilen uniform karışımı yerleştirme öncesinde değiştirerek segregasyonu oluşturur. Disiplinsiz ve itinasız yerleştirme de segregasyonu geliştirmekte, iri tanelerin dibe çökmesine, suyun yüzeye çıkmasına ve tabakalı bir bünyenin oluşmasına yol açmaktadır. Vibrasyonun aşırı uygulanmasının, segregasyona neden olduğu bilinmektedir. Betonun priz yapması ve sertleşmesi sırasında ısı yükselmesi, rüzgar, güneş, yağmur ve don etkilerine karşı alınacak korunma önlemleri beton direnci üzerinde olumlu yönde gelişme sağlamaktadır.

3.5.2. Betonun çekme dayanımı

Çekme kırılması sırasındaki beton numunenin uzaması yaklaşık 0,1 mm/m mertebesinde kalır. Bu uzamanın 2/3'nün elastik bölgede, 1/3'nün plastik bölgede olduğu saptanmıştır.

Betonun çekmeye maruz bırakılması önlenmiş olduğundan çekme direnci betonun önemsiz bir karakteristiği olarak kabul edilmiştir. Ancak bu tür direnç bir çok nedenden dolayı üzerinde durulması gereken bir özelliktir. Bu nedenlerden en önemlileri aşağıda verilmiştir:

Meydana gelen çatlakların önemli bir sebebi çekme direncinin yetersizliğidir. Çatlak oluşumu ise malzemenin dış etkilere karşı dayanıklılığını ve kimyasal direncini azaltan bir özellik olup betonun ömrünü önemli mertebede kısaltır.

Çekme direncinin düşük olması, beton üretiminde yapılan herhangi bir hata yada ihmalin gözle görünür biçimde çabucak su üstüne çıkmasına neden olur.

3.5.3. Betonun eğilme dayanımı

Öncelikle çekme deneylerinin yapılmasında teknik zorunluluklarla karşılaşılır. Bu nedenle eğilmeye maruz kalan malzemenin durumu en güvenilir biçimde, doğrudan doğruya eğilme deneyi uygulanarak incelenir. Malzemenin tamamen gevrek cisim olduğu, ancak kırılma anına kadar Hooke Yasasına uygun davrandığı kabul edilir. Eğilme zorlanmasını oluşturan (M) eğilme momenti giderek artan tekil yükler olarak uygulandığında, (M_k) momentine erişildiği zaman kesit direncini kaybedecektir. Bu durumda (W) kesitin mukavemet momenti ise:

$$D_c = \frac{M_k}{W} \quad (3.1)$$

ifadesiyle hesaplanacak (D_c) karakteristiğine malzemenin eğilme direnci denir.

TS 500 ve diğer yeni standartlarda eğilme direnci kavramı yer almamaktadır. Bununla birlikte özellikle yol ve hava meydanı pist kaplamalarının tasarımında betonun en az basınç direnci kadar “eğilme-çekme” direnci veya “kopma-kırılma modülü” kavramına gereksim duyulur.

3.5.4. Betonun aşınma ve darbe direnci

Aşınma direnci: yüklü taşıt dingillerinin beton yüzeyde oluşturduğu aşınmaya (abrazyon) da denir. Betondaki aşınma direnci, doğrudan doğruya agrega tanelerini aşınmaya karşı dayanıklılıklarının fonksiyonudur. Çimento harcından daha sert agrega tanelerinin varlığı beton üzerindeki etkileri durdurur.

Aşınmaya karşı direncin yeterli olabilmesi için:

- Kullanılan hidrolik bağlayıcının basınç direncinin ve incelinin yüksek olması,
- Bağlayıcı dozajının bütün agrega tanelerini tamamen saracak düzeyde saptanması,
- Aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması ve sertliğin agregada uniform biçimde dağılması gerekir.

Darbelere karşı direnç: darbelere karşı direnç tayini, beton döşeme ve plakların, ani tekil yüklere karşı davranışlarının değerlendirilmesinde geçerli olan bir kavramdır. Genel olarak darbeye dirençli betonun çekme direnci de yüksektir. Bu bakımdan çekme direncini arttıran önlemler betonu darbeye de dayanıklı olmasını sağlar.

3.6. Betonda Doluluk (Kompasite)

Betonun birim hacimde yer alan çimento, kum ve iri agreganın gerçek (mutlak) hacimlerinin toplamına doluluk “kompasite” denir. Doluluk yüzdesinin küçük olması, betonda su veya hava ile işgal edilmiş boşlukların çok olmasına kanıt oluşturur. Boşluk oranının büyük olmasının malzemenin direncini azalttığı bilinmektedir. Betonda bu olgu son derece belirgindir.

Bir karışımın doluluğunun yüksek olması, o karışımı oluşturan tanelerin granülometrik dağılımına bağlıdır. Betonun yüksek bir doluluğa sahip olabilmesi için granülometrik yönden aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

- İri agrega olabildiğince fazla olmalıdır.
- Kum, iri agrega taneleri arasındaki toplam boşluğu dolduracak miktarda olmalıdır. -
- Bu miktardan fazla veya eksik kullanılması doluluğu azaltır.
- İri agrega boyutları kum danelerinin boyutlarına göre ne kadar büyükse doluluk yüzdesi o denli büyük olur [32] .

3.7. Betonun Dayanıklılığı

Beton, hizmet göreceği koşullara göre tasarlanmış ve iyi bir kalite kontrol sistemi içinde hazırlanmış, yerleştirilmiş ve bakılmış ise, uzun yıllar hiçbir onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak, çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur. Dayanıklı bir beton bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur. Dolayısı ile, betonun dayanıklılığı mekanik yükler dışındaki kimyasal ve fiziksel etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesi olarak tanımlanabilir [31].

3.8. Betonun Geçirimsizliği

Betonun dayanıklılığında tek başına en etkili olan parametre su/çimento oranıdır. S/Ç oranı arttıkça çimento hamurunun gözenekliliği ve dolayısı ile betonun geçirgenliği artar. Geçirgenliği yüksek olan betonlara zararlı sıvı ve gazların nüfus etmesi çok daha kolaydır. Ayrıca, S/Ç oranı yüksek olan betonun dayanımı düşük olacağından, çeşitli kimyasal ve fiziksel etkilerle beton içinde meydana gelebilecek içsel gerilmelere yeterli direnç gösteremeyecek ve çatlayacaktır [31].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Programı

Bu çalışmada yer karosu atıklarının beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, yer karosu atıklarının agrega olarak kullanılması ile üretilen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla üretilen numunelere 2, 7, 28 günlük kür uygulanarak deneyler yapılmıştır. Ayrıca numunelerin üretimi aşamasında taze beton deneyleri de uygulanmıştır. Taze betonlarda yapılan deneyler taze betonun birim hacim ağırlık ve çökme deneyleridir. TS EN 206-1'e göre üretilmesi planlanan C 30/37 betonu için 1 nolu mıcır yerine yer karosu atığı ve hem 1 nolu mıcır yerine yer karosu atığı hem de deniz kumu yerine yer karosu atığı tozu kullanılarak iki farklı bileşimdeki atıklı beton ve bunların özelliklerinin kıyaslanması amacıyla referans beton üretilmiştir. Üretilen betonlara su emme, normal basınç ve eğme dayanımı ile yüksek sıcaklık dayanım testleri yapılmıştır. Basınç dayanım deneyleri küp, eğme dayanımı ise kiriş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca betonda kullanılan toz karışımları ile 2, 7, 28 günlük kür süreleri sonucundaki beton numunelerin X ışınları difraksiyon (XRD) analizleri yapılmıştır. Betonu oluşturan malzemelerin arayüzey etkileşimleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelemiştir. Betonların puzolanik aktivitelerinin belirlenmesi için DTA analizleri de yapılmıştır.

4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

4.2.1. Çimento

Deneysel çalışmalarda Hereke'de bulunan Çimento Fabrikasının (NUH ÇİMENTO) üretmiş olduğu 50 kg'lık torbalar halinde paketlenmiş olan TS EN 197-1 [33] standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait

fabrikasından elde edilen fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri

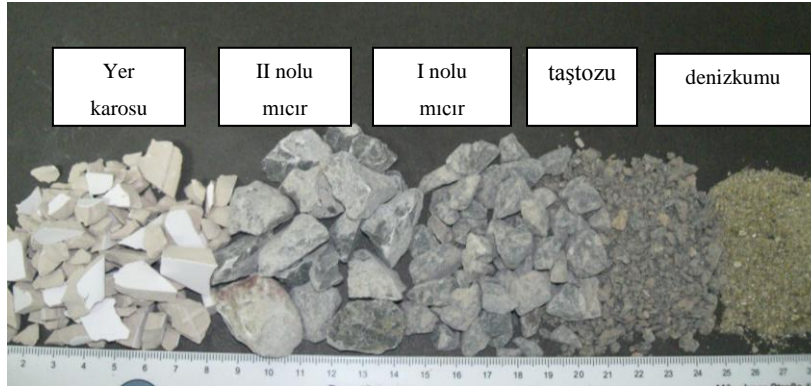
	Nuh Çimento	Standard	Birim
Priz Başlangıcı	165	min. 60	Dakika
Priz Sonu	200	-	Dakika
Özgül Ağırlık	3.12	-	g/cm ³
Hacim Genleşmesi	1	maks. 10	Cm
Özgül Yüzey (Blaine)	3280	-	cm ² /g
Litre Ağırlığı	1040	-	g/l
2 Günlük Dayanım	26.5	min. 20	MPa
28 Günlük Dayanım	57.0	min./maks. 42.5/62.5	MPa

Tablo 4.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Çimentonun Kimyasal Özellikleri

	Nuh Çimento	Standard	Birim
SO ₃	2.4	maks. 4	%
MgO	1.1	-	%
Kızdırma Kaybı	2.3	maks. 5	%
Çözünmeyen Kalıntı	0.6	maks. 5	%
Cl	0.01>	maks. 0.1	%
Toplam Alkali Na ₂ O + 0.658 K ₂ O	0.58	-	%

4.2.2. Agregalar

Çalışmalarda İSTON A.Ş.’den temin edilen birim ağırlıkları 2650 kg/m³ golan yıkanmış deniz kumu, 2742 kg/m³ olan I nolu mıcır, 2744 kg/m³ II nolu mıcır, 2736 kg/m³ olan taştuzu, birim ağırlığı 2460 kg/m³ olan yer karosu kırıkları kullanılmıştır. I nolu mıcırın tane boyutu maksimum 8 mm, II nolu mıcırın ise 16 mm’dir. Kullanılan agregaların görünümleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan agregalar

4.2.3. Su

Beton karma suyu olarak TÜBİTAK MAM Gebze Yerleşkesi'ndeki laboratuvarımızda bulunan şebeke suyu kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılan şebeke suyunun kimyasal analizi TÜBİTAK Çevre Enstitüsü tarafından Haziran 2009 yapılmış olup, Tablo 4.3'de gösterilmiştir. Şebeke suyunun yapılan kimyasal analizinde suyun "TS 1247 Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları"deki karma suyu niteliklerine uygun olduğu görülmüştür [34].

Tablo 4.3. Kullanılan Sebeke Suyunun Kimyasal Analizi

Parametre / Numune	Değer
(*)Nitrat (NO_3^- mg/l)	2.1
(*)Arsenik (As $\mu\text{g/l}$)	< 3
Toplam Sertlik (CaCO_3 mg/l)	11
Bulanıklık (NTU)	< 0.41
(*)Ph	7.5
(*)İletkenlik (mS/cm)	239
(*)Sodyum (Na^+ mg/l)	3.58
Potasyum (K mg/l)	0.422
Kalsiyum (Ca mg/l)	40.2
Magnezyum (Mg mg/l)	4.825
(*)Klorür (Cl^- mg/l)	5.2
(*)Sülfatlar (SO_4^{2-} mg/l)	21.8
(*) Bromür (Br mg/l)	< 0.1
Florür (F^- $\mu\text{g/l}$)	< 0.2
Silika (SiO_2 mg/l)	7.6
(*)Amonyum (NH_4 mg/l)	< 0.04
(*) Fosfat (PO_4^{3-} mg/l)	< 5
Toplam Çözünmüş Madde (TÇM mg/l)	161

4.2.4. Beton karışım oranları

Hazırlanan beton karışımlarında CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. İki farklı seramik yer karosu atığı (4-8 mm arası yer karosu ve yer karosu tozu) kullanılarak C30/37 kalitesinde 2 farklı beton üretilmiştir. Bu betonların özellikleri üretilen referans C30/37 betonu ile kıyaslanmış olup su/çimento oranı her bir karışım için 0,54 olarak alınmıştır.

C30/37 betonu mukavemet değeri oldukça yüksek olan yüksek yapılarda, geçirimsiz beton talebinde bulunan yapılarda direk su ile temasta olan yapılarda özellikle kullanılan beton sınıfıdır. Bu beton sınıfının uygulandığı çalışmalarda yapının hareketli ve sabit yük değerleri son derece yüksektir [35].

Yer karosunun betonda agrega olarak kullanılması amacıyla C30/37 hazır beton sınıfı için 1 m³ karışım hazırlanmıştır. C30/37 hazır beton sınıfı (referans beton) hazırlamak için 1 m³ karışım değerleri Tablo 4.4.'de, yer karosu+ yer karosu tozlu beton için 1 m³ karışım değerleri Tablo 4.5.'de, yer karolu beton için 1 m³ karışım değerleri Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.4.. Referans beton için 1 m³ karışım değerleri (REF)

C30/37 Hazır Beton Sınıfı	% ağırlıkça	% ağırlıkça
NUH Çimento (CEM I 42,5 R)	14,67	
1 nolu mıcır (4-8 mm)	77,40	31
Deniz kumu		32
2 nolu mıcır (8-16 mm)		22
Taş tozu		15
Su	7,93	
Toplam	100,00	

Tablo 4.5. Yer karosu+ yer karosu tozlu beton için 1 m³ karışım değerleri (YK+YKT)

C30/37 Hazır Beton Sınıfı	% ağırlıkça	% ağırlıkça
NUH (CEM I 42,5 R)	14,67	
Yer karosu atığı (4-8 mm)	77,40	31
Yer karosu tozu		32
2 nolu mıcır (8-16 mm)		22
Taş tozu		15
Su	7,93	
Toplam	100,00	

Tablo 4.6. Yer karolu beton için 1 m³ karışım değerleri (YK)

C30/37 Hazır Beton Sınıfı	% ağırlıkça	% ağırlıkça
NUH (CEM I 42,5 R)	14,67	
Yer karosu (4-8 mm)	77,40	31
Deniz kumu		32
2 nolu mıcır (8-16 mm)		22
Taş tozu		15
Su	7,93	
Toplam	100,00	

4.2.5. Taze beton deneyleri

4.2.5.1. Birim ağırlık

Deney için 15x15x15 cm lik beton kalıp kabı kullanılmıştır. Beton ölçü kabına üç eşit tabakada doldurulmuş ve her tabakaya 25 defa şişleme yapılmıştır. Beton yüzeyi kabın üst seviyesinde düzelterek ölçme kabı tartılmıştır. Kabın ağırlığı brüt ağırlığından çıkarılarak betonun net ağırlığı belirlenmiştir. Taze betonun birim ağırlığı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [36].

$$B = W_n / V_k \quad (4.1)$$

Formülde;

B = Taze betonun birim ağırlığı (kg/m³)

W_n = Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı (kg)

V_k = Ölçme kabı hacmi (m³)'dir.

4.2.5.2. Çökme deneyi

Beton kıvamını belirlemek üzere en yaygın olarak kullanılan deneydir. Üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan kesik bir koni (Abrams konisi), yükseklikleri eşit 3 tabaka halinde serilen betonla doldurulur ve her tabaka 25 defa çelik çubukla şişlenir. Daha sonra doldurulan beton sarsılmadan kesik koni kalıp yukarı doğru çekilir. Beton kendi ağırlığı ile bir miktar çöker, çökme miktarı (cm) olarak ölçülür. Bu değer betonun işlenebilirliği hakkında fikir verir.

4.2.6. Üretilen numune tipleri ve kür süreleri

Çalışmada kullanılacak betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 15x15x15 cm boyutlarında küp ve 15x15x30 cm boyutlarında kiriş numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler için tek bir kür uygulanmıştır, bu kürün süresi 28 gündür ve standart kür koşullarına ($21 \pm 1^\circ\text{C}$ kirece doymun suda) bekletilmiştir. Kür banyosundaki numunelerin görünüşleri Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kür banyosunda numunelerin bekletilmesi

4.2.7. Sertleşmiş beton deneyleri

4.2.7.1. Basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altındaki betonun kırılmamak için gösterdiği direnme yeteneği (eksenel basınç yükü etkisiyle betonda oluşan maksimum gerilme) olarak adlandırılmaktadır.

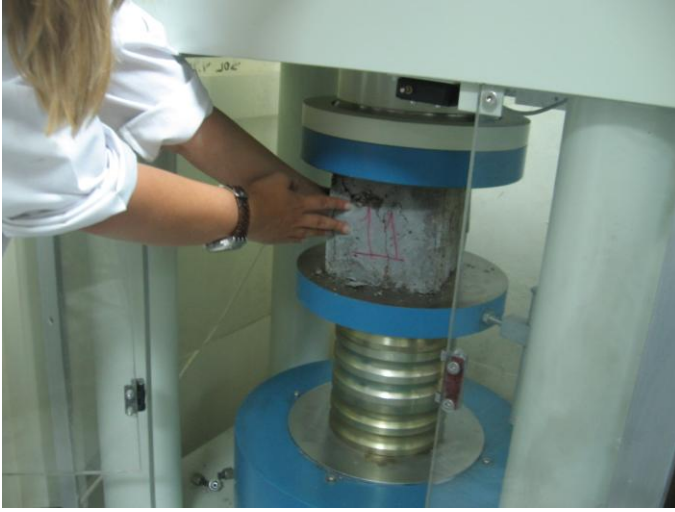
Belirli yaşlardaki beton numunelerin birim alanın taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karışımla üretilen betonun gerçek uygulamadaki elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir sahibi olunmasını sağlayacaktır [37].

TS 3323 [38] esas alınarak yapılan 2,7 ve 28 günlük basınç deneyleri 3000 ton kapasiteli deformasyon kontrollü beton ve çimento test presinde (MATE marka) gerçekleştirilmiştir. Numunelerin en düzgün yüzeyleri pres tablasına temas edecek şekilde ve beton döküm yönü yatay olacak şekilde pres tablasına yerleştirilmiş ve kırılma yükleri ölçülmüştür. Basınç dayanımı denklem 4.2'nin yardımıyla elde edilen kırılma yükleri deney başlangıcında ölçülen yüzey alanına bölünerek numunelerin basınç dayanımları elde edilmiştir.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (4.2)$$

Denklem 1' de, σ_b ; basınç mukavemetini, P; kırılma yükü, A; basınç uygulanan yüzeyin alanını göstermektedir.

Şekil 4.3.'te ise basınç dayanım testi uygulanan bir küp numunenin resmi verilmektedir.



Şekil 4.3. Basınç testi uygulanmakta olan bir küp numune

4.2.7.2. Eğilme dayanımı

Üretilen betonların eğilme dayanımı tek noktadan yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile belirlenmiş olup bir beton numunenin eğilme dayanımı aşağıdaki formüller kullanılarak bulunur [39].

Üçtebir noktalarından yüklenmiş basit kiriş yönteminde, kırılma orta üçtebirlik kısımda meydana gelmişse,

$$E = \frac{P \times l}{b \times h^2} \quad (4.3)$$

Kırılma orta üçtebirlik kısmın dışında meydana gelmişse,

$$\sigma_x E = \frac{3P \times a}{b \times h^2} \quad (4.4)$$

formülü kullanılır. Burada;

σ_E = Eğilmede çekme dayanımı, (kgf/cm²)

P = Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük, (kgf)

L = Yükleme tablası mesnetleri arasındaki açıklık, (cm)

h = Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği, (cm)

b = Kırılma kesitinin ortalama genişliği, (cm)

a = Kırılma çizgisi ile yakındaki mesnet arasındaki ortalama mesafe, (cm).’dir.

Şekil 4.4.’te ise eğme dayanım testi uygulanan bir kiriş numunenin resmi verilmektedir.



Şekil 4.4. Eğme dayanımı testi uygulanmakta olan bir kiriş numune

4.2.7.3. Su emme

Etüvde 100°C’de numuneler kurutulduktan sonra oda sıcaklığına soğutulur ve tartılır. Daha sonra numuneler uygun bir kaba konup, tamamen su içerisinde kalacak şekilde su ilave edilir. 24 saat süre ile beton numuneler suda bekletilir. Yüzeyleri kabaca kurulandıktan sonra tartılarak doymuş ağırlıkları ölçülür [40].

W_d = 24 saat suda bekletilme sonrası ağırlık (gr)

W_k = 100°C’de kurutma sonrası ağırlık (gr)

$$\% \text{ su emme} = \frac{(W_d) - (W_k)}{(W_k)} \times 100 \quad (4.5)$$

Şekil 4.5’de su emme numunelerinin kür havuzundan alınmasına ait bir resim verilmektedir.



Şekil 4.5.Su emme numunelerinin kür havuzundan alınması

4.2.7.4. Aşınma mukavemetlerinin bulunması

9x5cm lik dikdörtgen numuneler halinde hazırlanan beton numuneleri 2, 7, 28 günlük kür sonrası aşınma mukavemetleri beton aşındırma test cihazında (Wessex marka- Şekil 4.6) hesaplanmıştır. Üretilen beton numunelerinin aşınma mukavemetleri 500 çevrim ve 30 rpm dönüş hızında yapılmıştır.



Şekil 4.6. Aşınma Test Cihazı

Yapı mühendisliğinde özellikle taş bünyeli elemanlar aşınma olayının etkisinde kalırlar. Bu nedenle beton yol, hava meydanı, merdiven basamakları, döşemeler gibi yerlerde kullanılan malzeme aşınmaya dayanıklı olmalıdır [41].

4.2.7.5. Yüksek sıcaklık deneyi

Beton inorganik bir malzeme olmasından dolayı yüksek sıcaklıklarda yanmaz fakat, kimyasal yapısındaki bozulmalar nedeniyle bağlayıcılık özelliğini yitirerek dayanımı düşebilir. Bu sebeple yüksek sıcaklığa daha iyi dayanabilecek özelliklerde ve ekonomik beton üretimi de önem kazanmaktadır. Bu amaçla sıcaklığa maruz kaldığında özelliklerinde verilen değişimleri belirlemek için yüksek sıcaklık dayanım testi yapılır [42]. Bu amaçla deneylerde üretilen betonlara da bu test uygulanmıştır.

Bu deney 15 cm kenarlı küp numunelerde yapılmıştır. 28 günlük kürünü tamamlayan ve 28-40. günler numuneler 1 gün süreyle 110°C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Bu işlem sonucunda yüksek sıcaklık fırınında (Prortherm marka- Şekil 4.7) 300°C, 600°C ve 900°C'ye kadar 5°C/dak ısıtma hızıyla çıkılarak 2 saat bekletilerek fırında soğutulmuştur. Betonların genişleme sonucu herhangi bir hasara uğramaları nedeniyle fırına verebilecekleri olası zararlara karşı çelikten kafes yaptırılmış ve numuneler fırında bu kafesin içinde ısıtılmıştır. Yüksek sıcaklık gören beton numuneleri basma testine tabi tutulmuştur ve bulunan sonuçlar herhangi bir ısıtma işlem görmeyen betonla karşılaştırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.7. (a) Yüksek sıcaklık testinde kullanılan çelik kafesin görünümü ; (b) Yüksek sıcaklık fırını

4.2.7.6. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)

X-ray cihazı ile kısa dalga boyuna sahip x-ışınları, test edilerek numunenin üzerine gönderilir. Işın demetleri maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrar. Her mineralin kristal yapısının değişik difraksiyonlar vermesi ile karşılaştırıldığında test edilen malzemenin hangi minerolojik yapıya sahip olduğu ortaya çıkar [43].

Tez çalışmasında kullanılan hammaddeler ve üretilen tüm betonların 2, 7, 28 günlük ve toz karışımların XRD analizleri (Shimadzu XRD 6000 cihazında) gerçekleştirilmiştir.

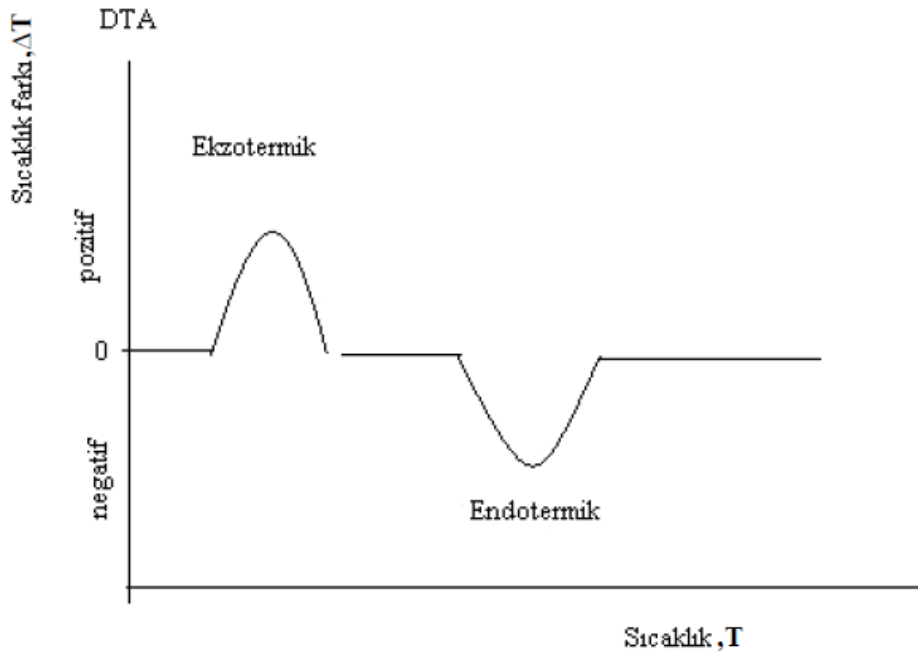
4.2.7.7. XRF analizi

X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi maddelerin element bileşimini belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden biridir. XRF çalışma prensibi; eğer atom X ışınları gibi yüksek enerjili bir radyasyonla uyarılırsa, bu yüksek enerji girişi yakın yörüngelerdeki elektronları daha yüksek enerji düzeyine çıkarır. Uyarılan elektronlar ilk enerji düzeylerine döndüklerinde kazanmış oldukları fazla enerjiyi dalga boyu

0,1-50 Å olan X ışınları şeklinde geri verirler Bu ikincil X ışınları yayımına floresans ışına adı verilir. Elementlerin verdiği bu ışınların dalga boyu her element için farklı ve ayırtmandır. Diğer bir ifadeyle bu ışınlar o elementin parmak izi gibidir. Işımanın dalga boyunun saptanmasıyla elementin cinsi (nitel), saptanan bu ışının yoğunluğunun ölçülmesiyle element konsantrasyonu (nicel) belirlenmektedir. [44] Beton deneylerinde kullanılan tüm hammaddelerin XRF cihazında (PHILIPS PW2404) kimyasal analizi yapılmıştır.

4.2.7.8. DTA analizleri

DTA analizinde numune ve termal olarak inert olan referans maddeye aynı sıcaklık programı uygulanır. İkisi arasındaki fark, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Bu iki madde bir arada ısıtılır. Sıcaklık düzgün bir şekilde arttırılır. TG'deki gibi sadece kütle değişimine bağlı olmadığı için daha geniş bir kullanım alanı vardır. Isının absorblandığı veya açığa çıktığı her numuneye uygulanabilir. Fiziksel olarak absorpsiyon ve kristalizasyon olayı ekzotermik bir olaydır. Desorpsiyon, süblimleşme, erime ve buharlaşma olayları ise endotermiktir. Kimyasal olarak ise polimerleşme ve oksitlenme ekzotermik; bozunma, dehidrasyon ve indirgenme olayları ise endotermiktir [45]. Tipik bir DTA eğrisi aşağıdaki Şekil 4.8 verilmiştir.



Şekil 4.8. DTA alındığında oluşan endotermik ve ekzotermik pikler [45]

Hazırlanan betonların puzolonik aktivitelerinin belirlenmesi için DTA/TG (SEIKO Exstar 6000) yapılmıştır. Üretilen beton numunelerinin DTA/TG analizlerinin ölçümü için 20°C/dak ısıtma hızıyla statik ortamda oda sıcaklığından 900°C'ye ısıtma yapılmıştır.

4.2.7.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersif spektrometresi (EDS) analizi

Elektron mikroskobu hammadde ve ürünlerin gözle görülmeyen kristal yapılarını inceleyerek mineral ve ürünlerin cinsi hakkında bilgi veren bir araçtır [43]. SEM analizi ile numunede, tane boyutu, yüzey kabalığı, porozite, partikül tane dağılımı, malzeme homojenliği, ve kaplama kalınlığı belirlenebilir. Odaklanmış elektronlar numunenin yüzeyini tarar, tarama sonucunda oluşan sinyaller detektörler vasıtası ile tutulur. Taramalı elektron mikroskobu EDS ile kullanılarak elementel analizde yapılır [43].

Taramalı elektron mikroskobun (SEM'in) çalışma prensibi; yüksek voltaj altında hızlandırılmış elektronların numune üzerine gönderilmesi ile elektronlar ile numune atomları arasında çeşitli etkileşimler olur [43].

Hazırlanan beton bileşimlerinde mıcır, yer karosu arayüzeyleri SEM (JEOL 6335F marka) ile incelenmiş bazı örneklerde EDS analizi de yapılmıştır.

4.2.7.10. Donma çözülme testi

Betonunun dayanıklılığına etki eden en önemli sebep donma ve çözülmedir. Beton boşluklu bir yapıya sahip olup gözeneklerinde bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda donması, mukavemetinin azaltmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Bu etkiler suyun donması sonucunda hacminin artmasından ileri gelmektedir. Su donduğunda hacminin % 9 oranında bir artış meydana getirir [46].

30 günlük numuneler üzerinde yaplm olan donma zlme deneyi en düşük -20°C ve en yüksek $+20^{\circ}\text{C}$ derece sıcaklıklara maruz bırakılarak TS 2824 EN 1338'a [47] göre yer karosunun 1 nolu mcr yerine kullanıldığı karm (YK) için 28 çevrim olacak şekilde TSE Gebze Kampüsü Yapı Malzemeleri Laboratuvarları'nda uygulanmıştır.

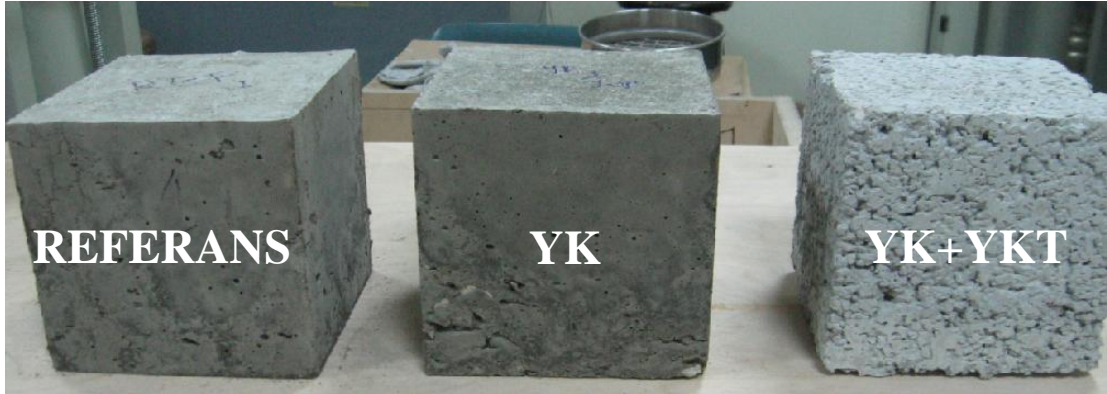
BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Taze Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Birim ağırlık deneyi ve çökme deneyi sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir. Tablo 5.1 incelendiğinde yer karosu kullanımı ile birim ağırlıklarda düşüş görülmüştür. Çökme miktarları ise düzenli bir değişim göstermiştir. Üretilen betonların görünümü ise Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Numune	B, (kg/m ³)	Çökme, (cm)
Referans	2,362	1,8
YK+YKT	1,997	1,4
YK	2,078	1,5



Şekil 5.1. Üretilen Betonların Görünümü

5.2. Sertleşmiş Beton Testleri

5.2.1. Su emme

Üretilen betonların % su emme değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir. Tablo’da yer karosu atıklarının 1 nolu mıcır yerine kullanıldığı beton numunelerinin (YK) su emme değerlerinin referans betona (REF) göre daha düşük olduğu görülmekte iken yer karosu atıklarının 1 nolu mıcır yerine ve yer karosu tozunun deniz kumu yerine kullanıldığı beton numunelerinin (YK+YKT) su emme değerlerinin referans betona (REF) göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

Tablo 5.2. Üretilen betonların % su emme değerleri

Numune	% Su emme
REF	1,552
YK+YKT	3,553
YK	1,394

5.2.2. Basınç dayanımı

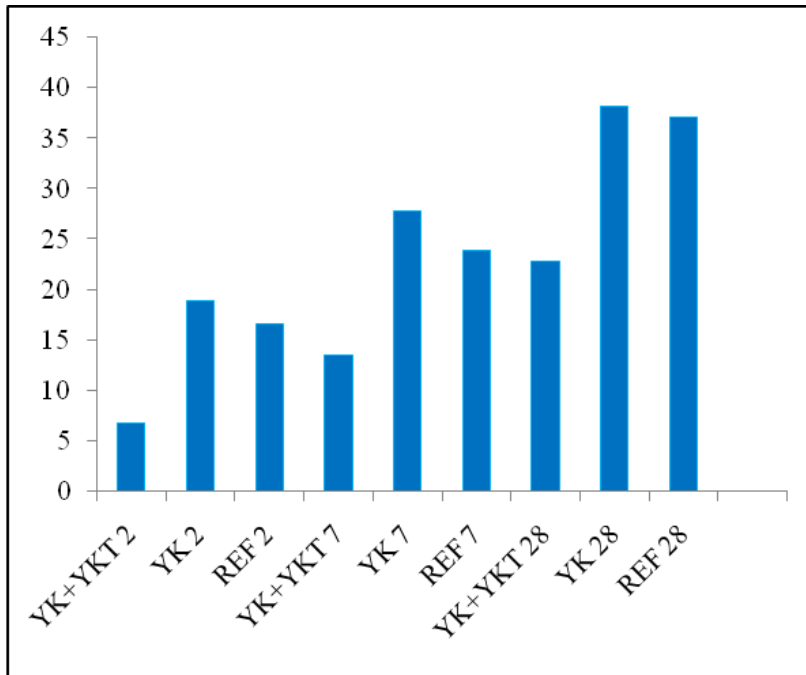
Üretilen betonların basınç dayanımları Tablo 5.3’de ve tablodaki değerlerin grafik gösterimi de Şekil 5.2 - 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Üretilen betonların basınç dayanımları

Numune adı	2 günlük basma (MPa)	7günlük basma (MPa)	28 günlük basma (MPa)
YK+YKT	6,69	13,50	22,80
YK	18,89	27,80	38,16
REF	16,56	23,82	37,08

Tablo 5.3 incelendiğinde 2 ve 7 günlük kür süreleri sonucunda basma mukavemetlerinin YK betonlarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Genellikle standartlarda ve literatürde 28 günlük basma dayanımları esas alınmakta olup YK betonun 28 günlük basma dayanımının referans betondan daha iyi olduğu göze

çarpmaktadır. TS EN 206-1 standardında [48] C30/37 betonu için 28 günlük basma dayanımı 37 MPa olarak verilmektedir.



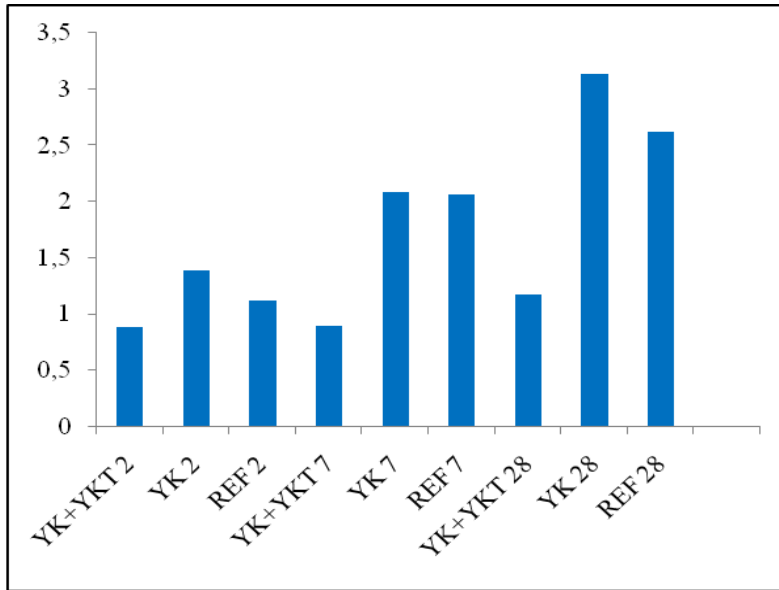
Şekil. 5.2. Üretilen betonun basma dayanım sonuçları

5.2.3. Eğilme dayanımı

Tablo 5.4. Üretilen betonların eğme dayanımları

Numune adı	2 günlük eğme (MPa)	7günlük eğme (MPa)	28 günlük eğme (MPa)
YK+YKT	0,88	0,89	1,17
YK	1,38	2,08	3,13
REF	1,12	2,06	2,62

Tablo 5.4 incelendiğinde 2, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonucunda eğme mukavemetlerinin YK betonlarında daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. Üretilen betonun eğme dayanım sonuçları

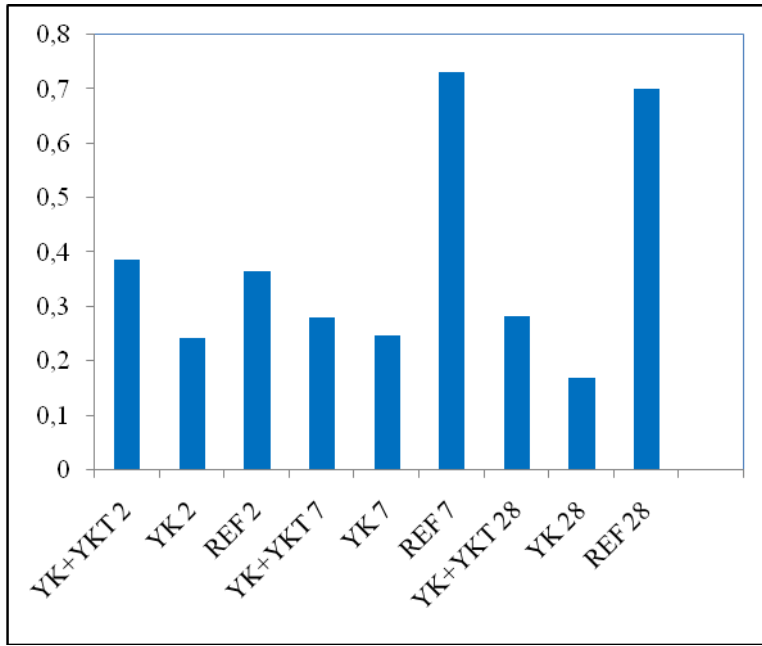
5.2.4. Aşınma mukavemetlerinin bulunması

Üretilen beton numunelerinin aşınma mukavemetleri Tablo 5.5’de ve Şekil 5.4.’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Üretilen beton numunelerinin aşınma mukavemetleri

Numune Adı	İlk Ağırlık (gr)	Son Ağırlık (gr)	Ağırlık Farkı (gr)	% Ağırlık Kaybı
YK+YKT 2	2002,10	1994,35	7,75	0,387
YK 2	2004,70	1999,85	4,85	0,242
REF 2	2006,80	1999,45	7,35	0,366
YK+YKT 7	2000,05	1994,45	5,6	0,280
YK 7	2002,57	1997,60	4,97	0,248
REF 7	2005,95	1991,25	14,7	0,732
YK+YKT 28	2001,75	1996,05	5,7	0,284
YK 28	2001,2	1997,8	3,4	0,170
REF 28	2000,6	1986,55	14,05	0,70

Üretilen her üç betonun aşınma mukavemetleri incelendiğinde 2, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonucunda en az ağırlık kaybının YK betonlarında olduğu tespit edilmiştir. YK betonlarının aşınma dayanımlarının referans betondan daha iyi olduğu gözle çarpılmaktadır.



Şekil 5.4. Üretilen beton numunelerinin aşınma mukavemetleri

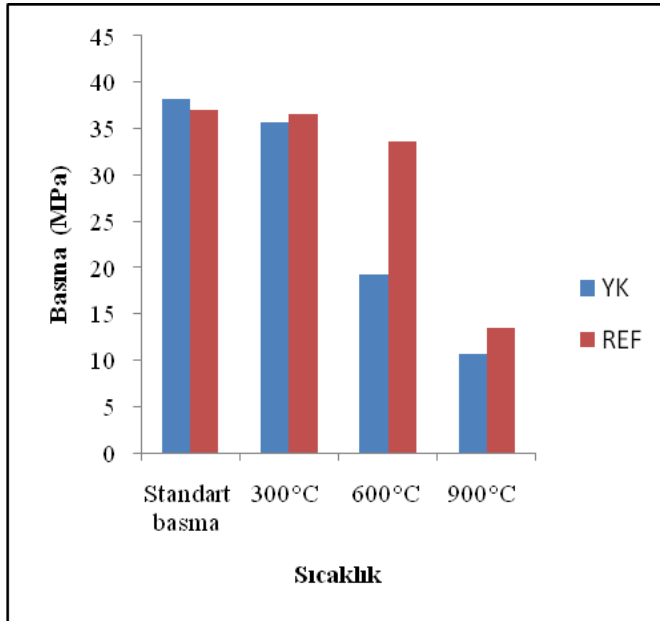
5.2.5. Yüksek sıcaklık deneyi

Yüksek sıcaklıklar uygulanmadan önce 100°C’de 1 gün bekletilen beton numuneler yüksek sıcaklık fırınında 300, 600 ve 900° C sıcaklıklarda 3 saat süreyle bırakılmıştır. Yer karosu kullanılarak üretilen beton (YK) ve referans beton numunelerine uygulanmış olan yüksek sıcaklıklar sonucu elde edilen basma mukavemet sonuçları Tablo 5.6 ve Şekil 5.5’de verilmiştir. Yer karosu atığı ve yer karosu tozu kullanılarak üretilen betonların (YK+YKT) normal basma dayanımları referans betona göre çok düşük olduğundan yüksek sıcaklık deneylerine tabi tutulmamıştır.

Tablo 5.6. Yer karosu atığı kullanılarak ve referans olarak üretilen betonun yüksek sıcaklık basma dayanım sonuçları (YK)

Numune tipi	Standart basma	300°C	600°C	900°C
YK	38.16 MPa	35.68 MPa	19.18 MPa	10.64 MPa
REF	37,08 MPa	36.50 MPa	33.541 MPa	13.49 MPa

Tablo incelendiğinde standart basma mukavemetleri referans betondan daha iyi olan YK betonlarının 300°C'deki yüksek sıcaklık dayanımının referans betona yakın olduğu gözlenmiştir. 600°C ve 900°C'lerdeki yüksek sıcaklık dayanımları YK betonlarda referansa göre düşüş göstermektedir. Hatta 900°C'deki dayanımlar birbirine oldukça yakındır.



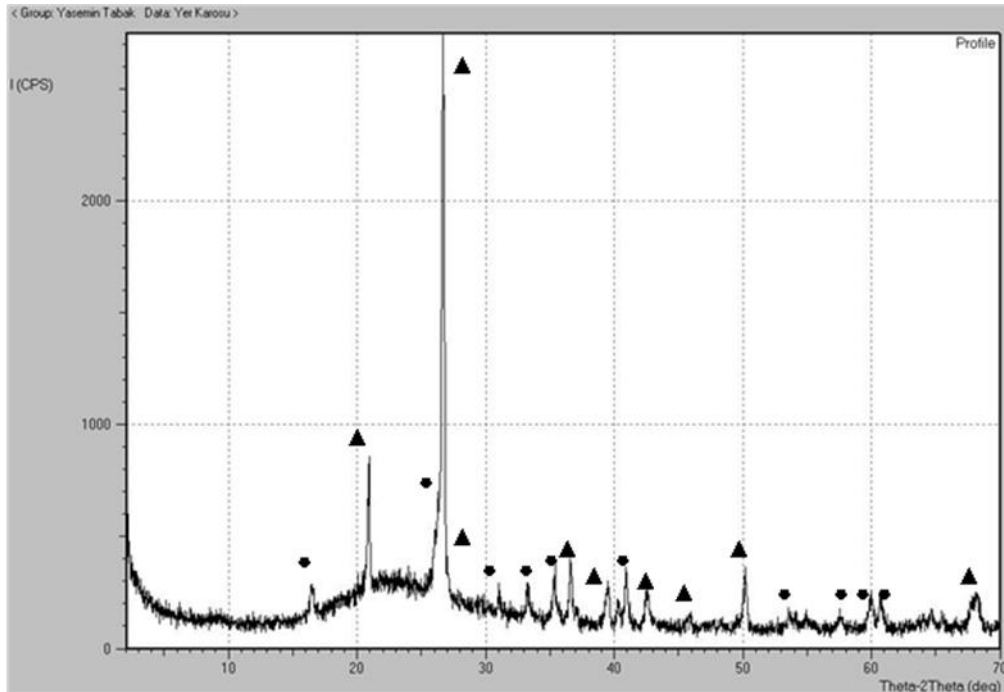
Şekil 5.5. Yer karosu kullanılarak üretilen betonların (YK) numunelerinin yüksek sıcaklık basma mukavemetlerinin standart basma mukavemeti ile karşılaştırılması

5.2.5.1. Hammaddelerin X-ışınları difraksiyon analizi

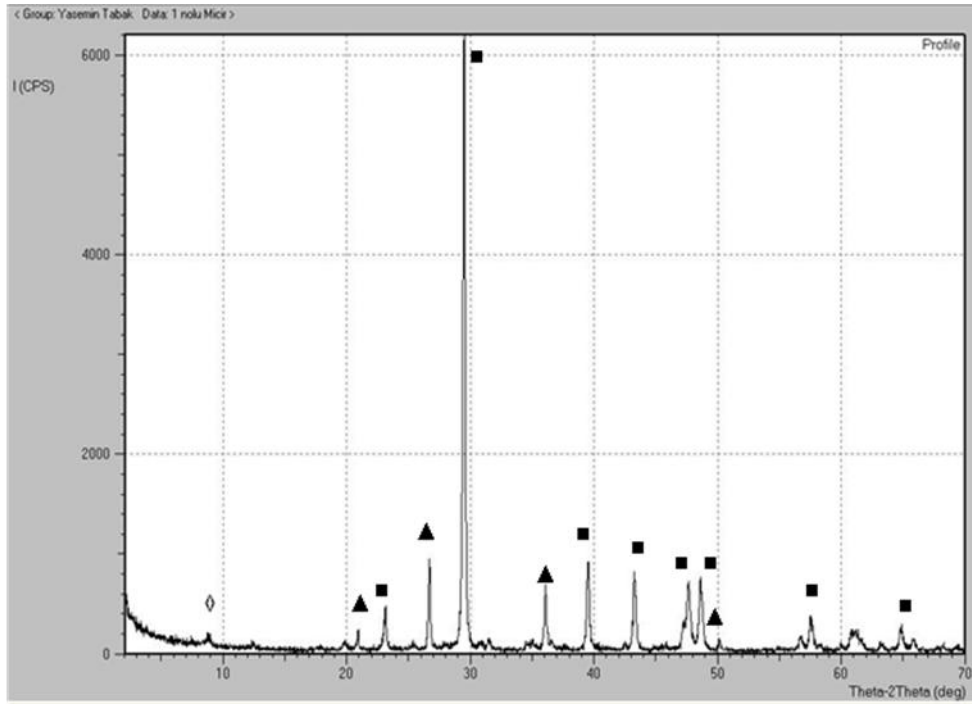
Beton deneylerinde kullanılan hammaddelerin XRD analiz sonuçları Şekil 5.6-5.11'te verilmiş olup belirlenen fazlar ve simgeleri de Tablo 5.7'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Kullanılan hammaddelerin XRD analizinde belirlenen kristal fazlar ve kullanılan simgeler

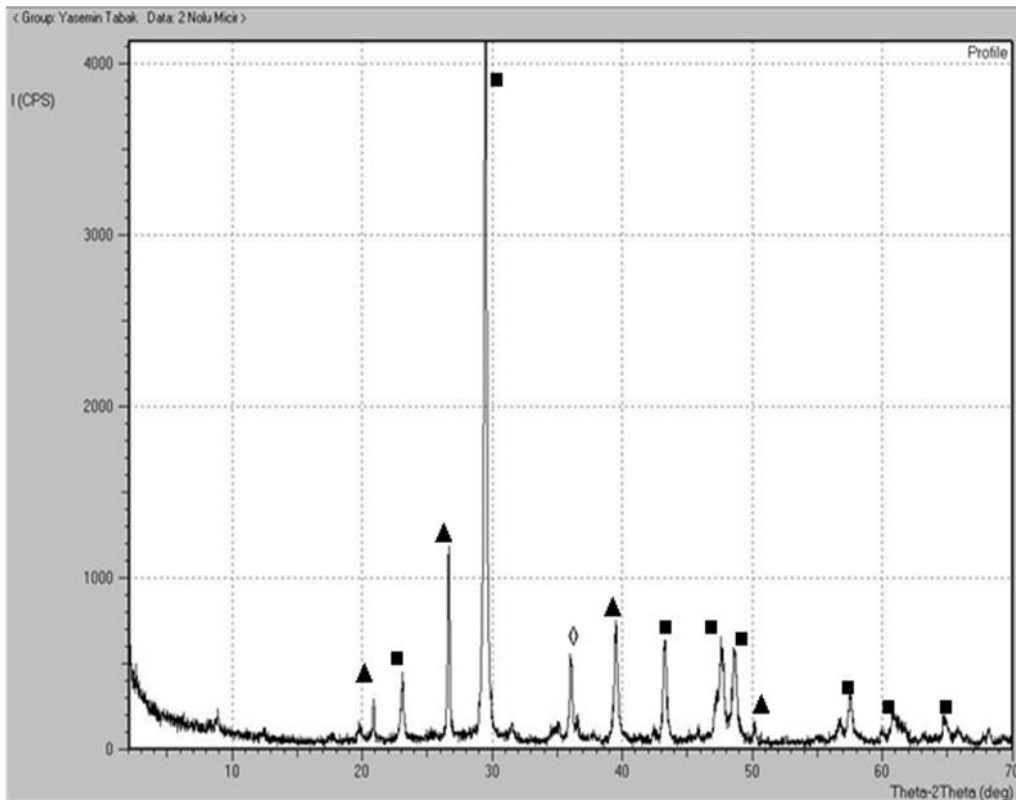
Numune Adı	Kristal Fazlar	Kart No	Simge
Yer karosu	Kuars (SiO ₂)	46-1045	▲
	Müllit (Al ₆ Si ₂ O ₁₃)	15-776	●
	Amorf bir yapı		
I nolu micir ve II nolu micir	Kalsit (CaCO ₃)	5-586	■
	Kuars (SiO ₂)	46-1045	▲
Deniz kumu	İllit ((K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂)	26-911	◇
	Kuars (SiO ₂)	46-1045	▲
	Feldspat		
	Montmorillonit		▣
Taş tozu	Kalsit (CaCO ₃)	5-586	■
	Kuars (SiO ₂)	46-1045	▲
	Feldspat		
	İllit ((K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂)	26-911	◇
Çimento	Kalsit (CaCO ₃)	5-586	▲
	Sebolit ((Ca ₂ MgSi ₂ (O,OH) ₇)	43-1491	—
	Larnit (Ca ₂ SiO ₄)	33-302	⌊
	Etterjinit (Ca ₆ Al ₂ (SO ₄) ₃ (OH) ₁₂ 26H ₂ O)	41-1451	ẽ
	Kuars (SiO ₂)	46-1045	▲
	Brownmillert (Ca ₂ FeAlO ₅)	4-7-5261	ḃ
	Bassanit (CaSO ₄ O ₅ H ₂ O)	41-224	θ



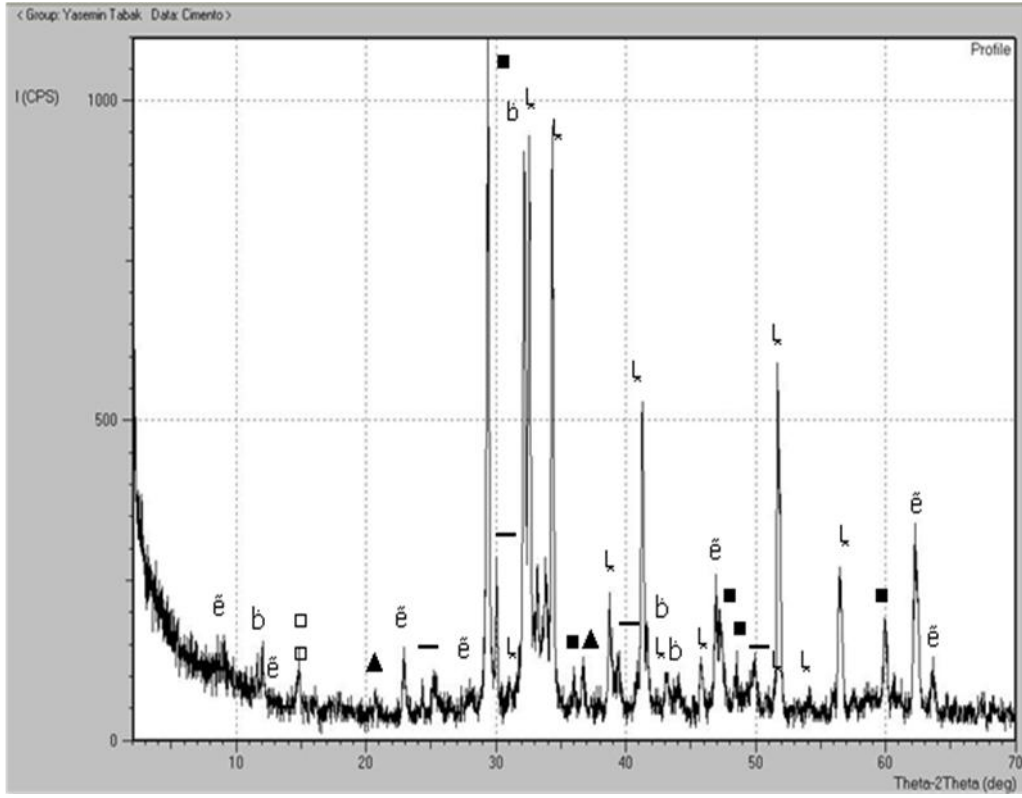
Şekil 5.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan yer karosu tozunun XRD analizi



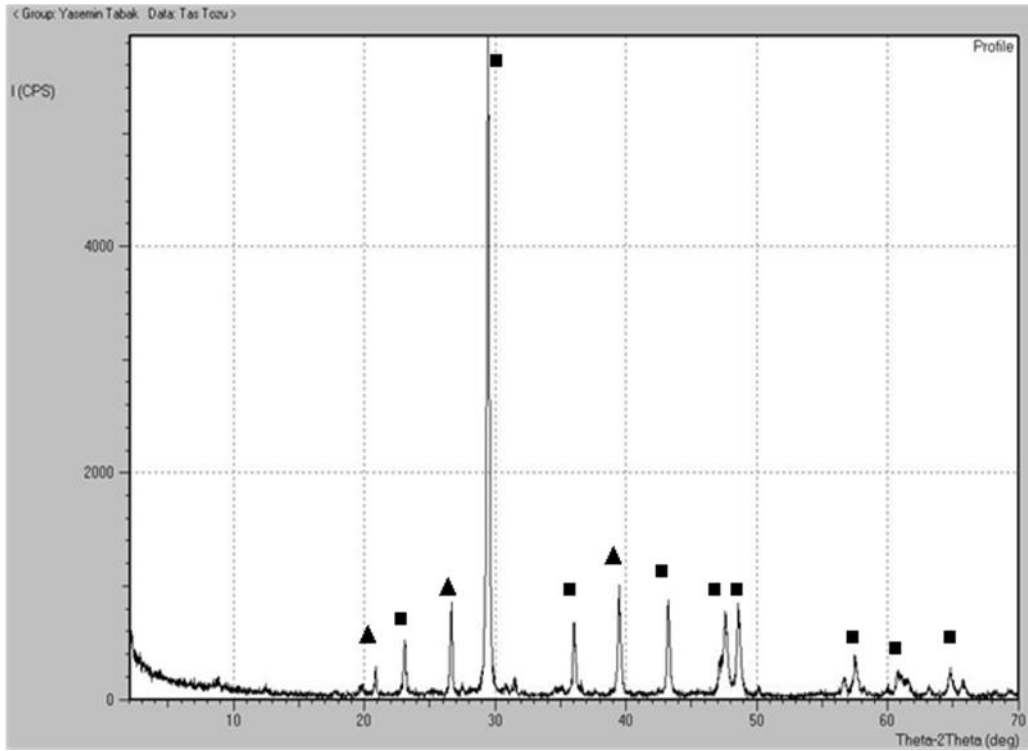
Şekil 5.7. Deneysel çalışmalarda kullanılan 1 nolu mıçırın XRD analizi



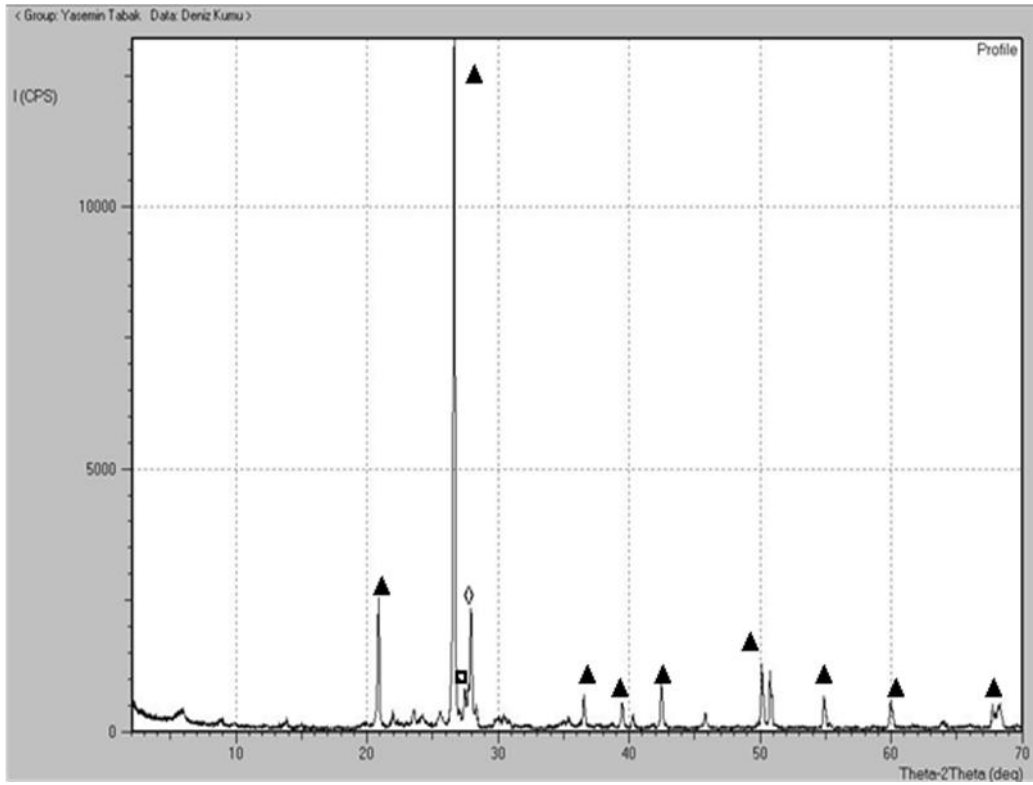
Şekil 5.8. Deneysel çalışmalarda kullanılan 2 nolu mıçırın XRD analizi



Şekil 5.9. Deneysel çalışmalarda kullanılan çimentonun XRD analizi



Şekil 5.10. Deneysel çalışmalarda kullanılan taştözünün XRD analizi



Şekil 5.11. Deneysel çalışmalarda kullanılan deniz kumunun XRD analizi

5.2.5.2. Üretilen numunelerin X-ışınları difraksiyon analizi

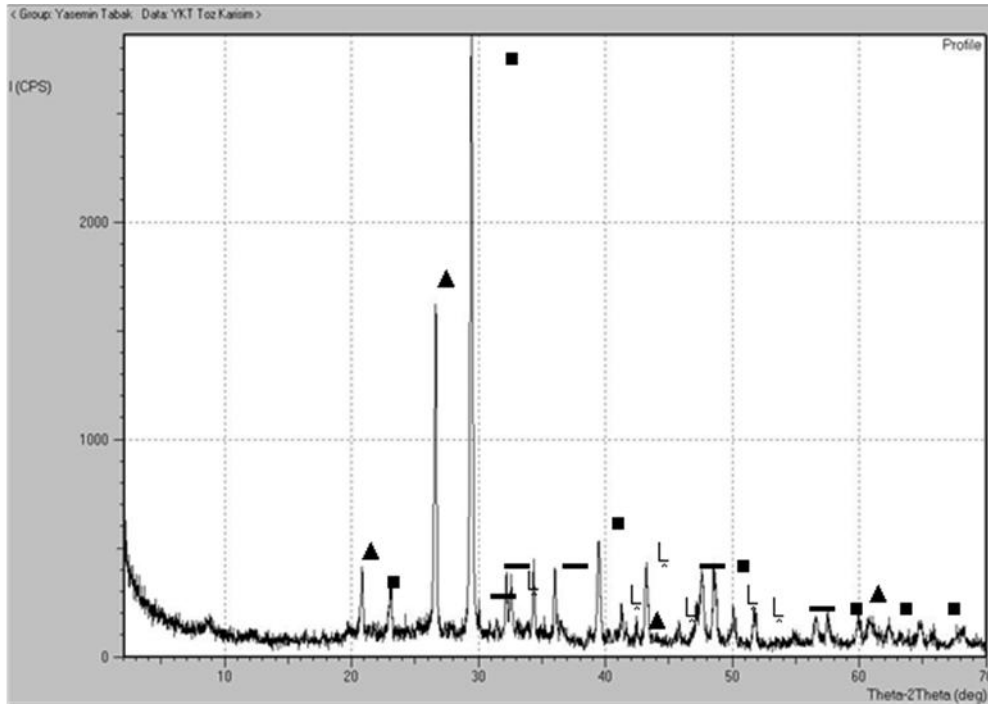
Üretilen betonların 2, 7 ve 28 günlük kür sonrası XRD analiz sonuçları Şekil 5.12 - 5.26'da verilmiş olup belirlenen fazlar ve simgeleri de Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Üretilen beton numunelerin XRD analizinde belirlenen kristal fazlar ve kullanılan simgeler

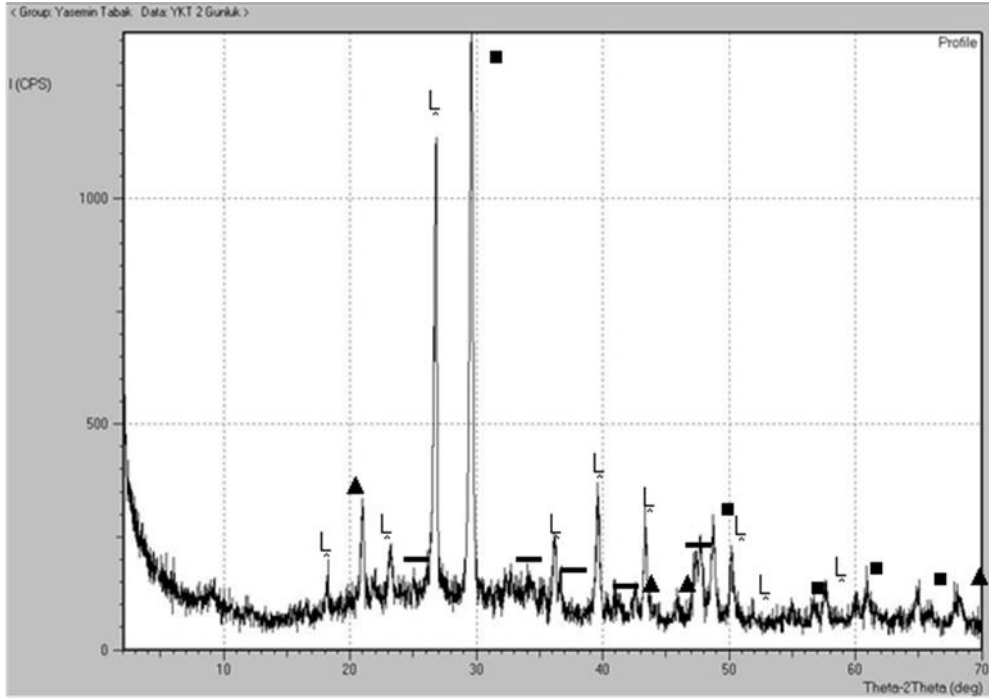
Numune Adı	Kristal Fazlar	Kart No	Simge
YK+YKT 2	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
	Larnit (Ca_2SiO_4)	33-302	⌞
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Sebolit ($(\text{Ca}_2\text{MgSi}_2(\text{O},\text{OH})_7$)	43-1491	—
YK 2	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
	Feldspat		
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
REF 2	Larnit (Ca_2SiO_4)	33-302	⌞
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Larnit (Ca_2SiO_4)	33-302	⌞
YK+YKT 7	Feldspat		
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Larnit (Ca_2SiO_4)	33-302	⌞
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
YK 7	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Feldspat		
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
REF 7	Larnit (Ca_2SiO_4)	33-302	⌞
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
	Feldspat		
YK+YKT 28	Müllit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$)	15-776	●
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Portlantit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	4-733	○
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
YK 28	Feldspat		
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Portlantit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	4-733	○
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
REF 28	Feldspat		
	Larnit (Ca_2SiO_4)	33-302	⌞
	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲
YK+YKT YK REF toz karışım	İllit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)	26-911	◇
	Larnit (Ca_2SiO_4)	33-302	⌞
	Feldspat		
	Kalsit (CaCO_3)	5-586	■
	Kuvars (SiO_2)	46-1045	▲

Tablo incelendiğinde 2 ve 7 günlük betonlarda yaklaşık olarak aynı fazların bulunduğu göze çarparken 28 günlük betonlarda ilaveten portlantit fazının olduğu tespit edilmiştir. Bu durum 28 gün kür uygulanmış betonlarda puzolanik reaksiyonun daha iyi gerçekleşmesinden ileri gelmekte olup literatürle uyum göstermektedir [49]

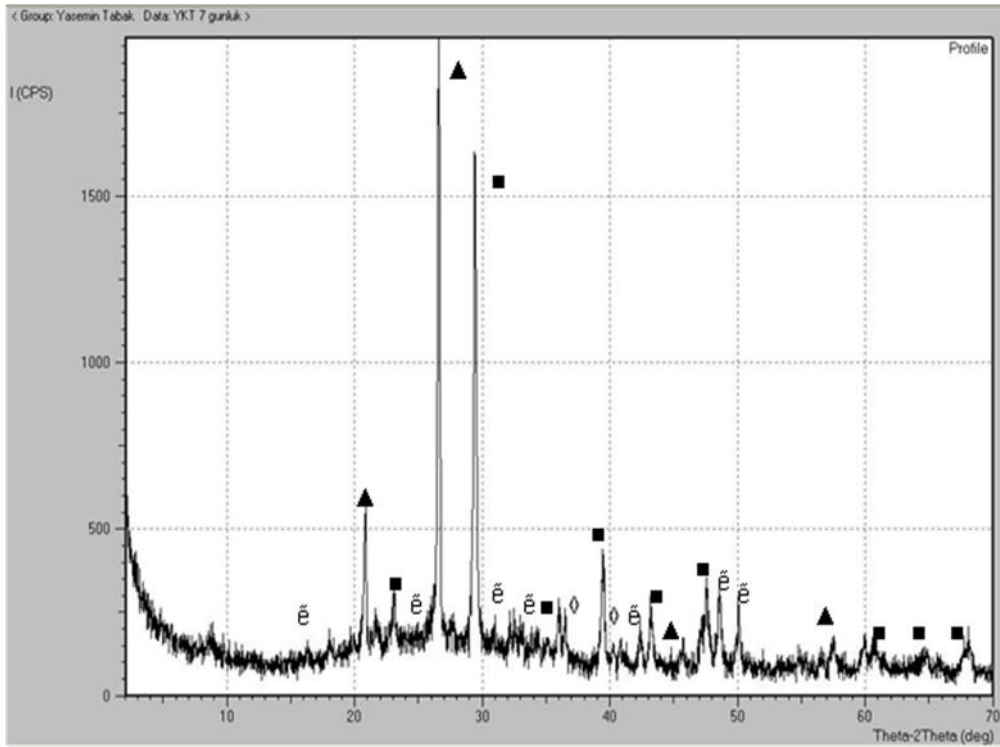
YK+YKT Betonları



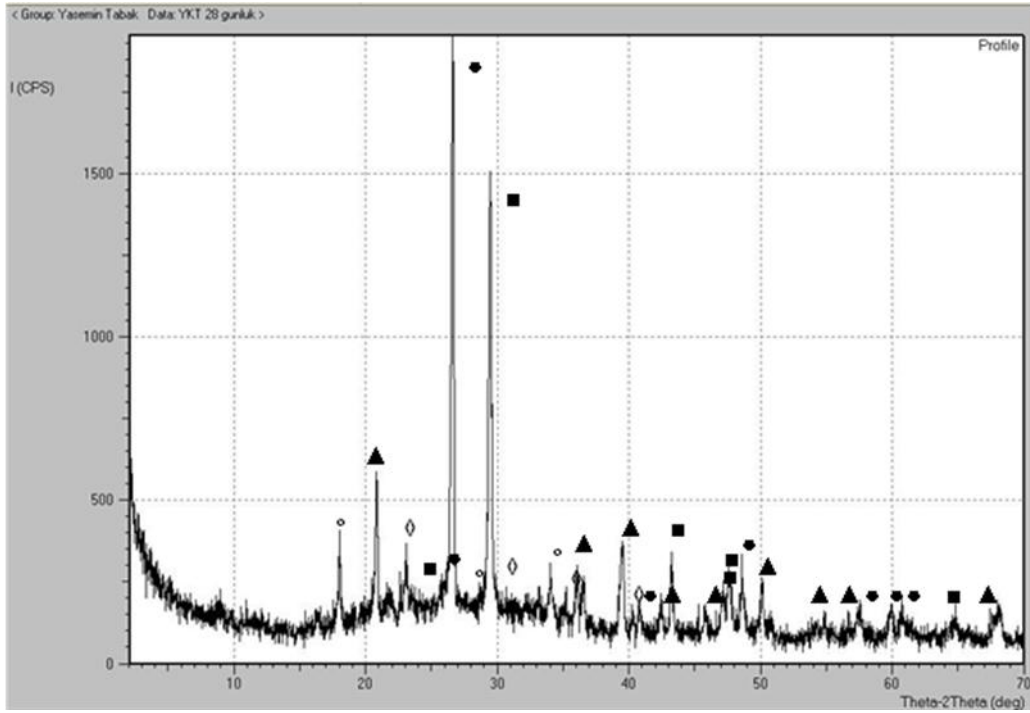
Şekil 5.12. YK+YKT toz karışımına ait XRD analizi



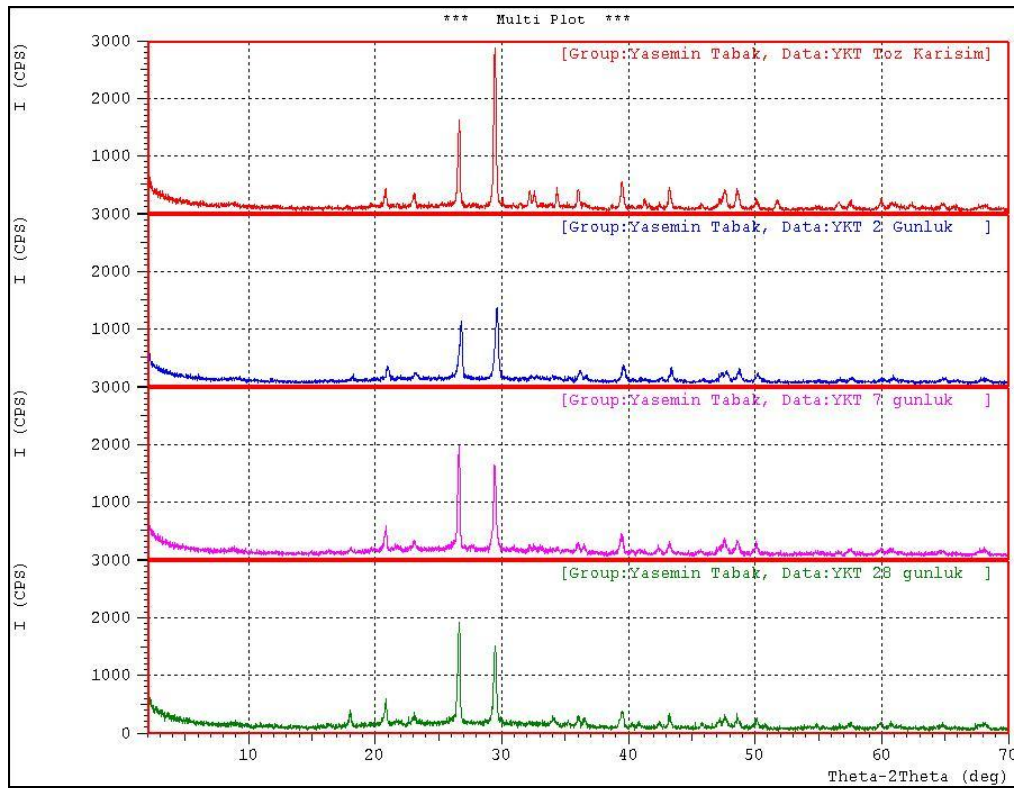
Şekil 5.13. 2 gün kürlenmiş YK+YKT betonuna ait XRD analizi



Şekil 5.14. 7 gün kürlenmiş YK+YKT betonuna ait XRD analizi

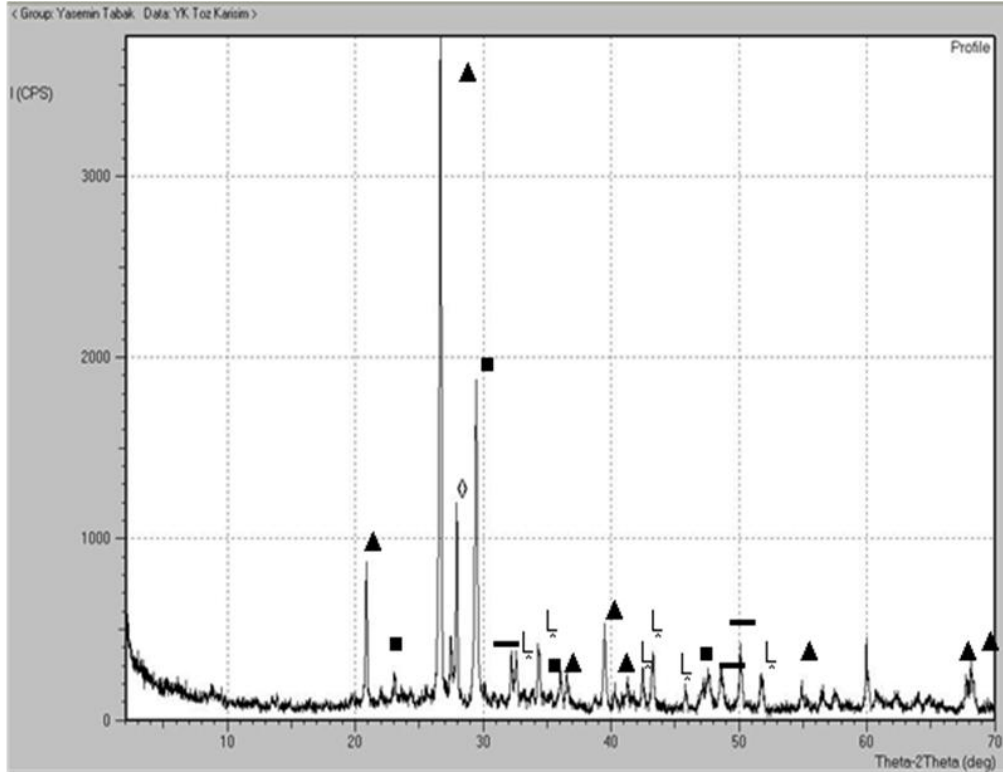


Şekil 5.15.28 gün kürlenmiş YK+YKT betonuna ait XRD analizi

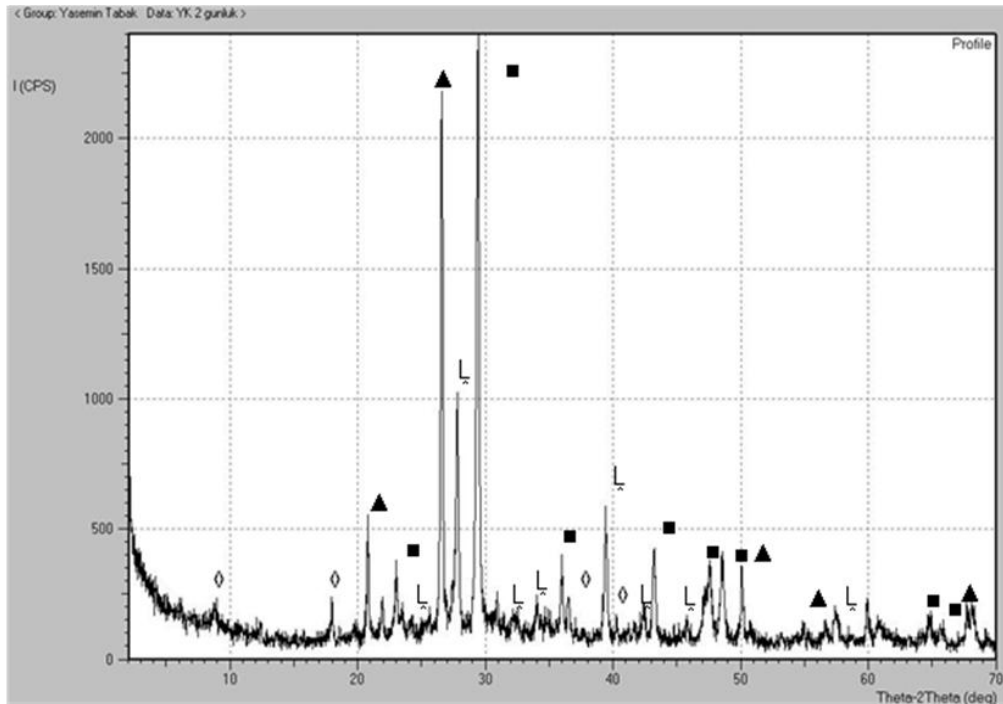


Şekil 5.16. YK+YKT betonuna ait karşılaştırılmış XRD analizi

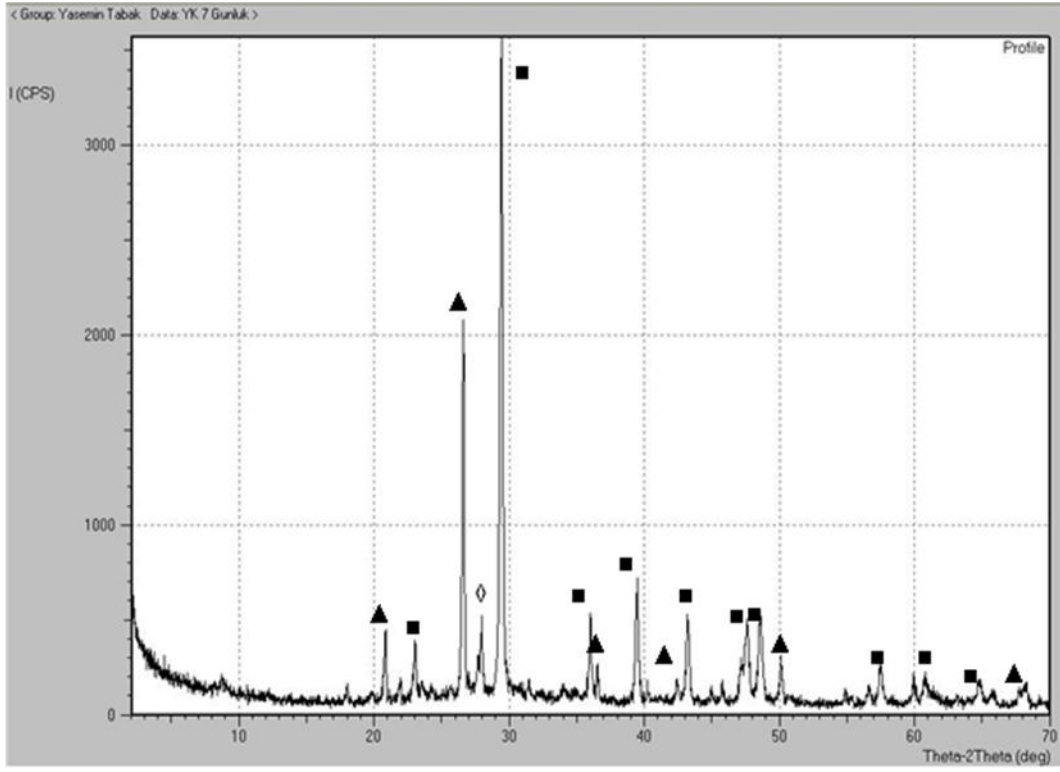
YK Betonları



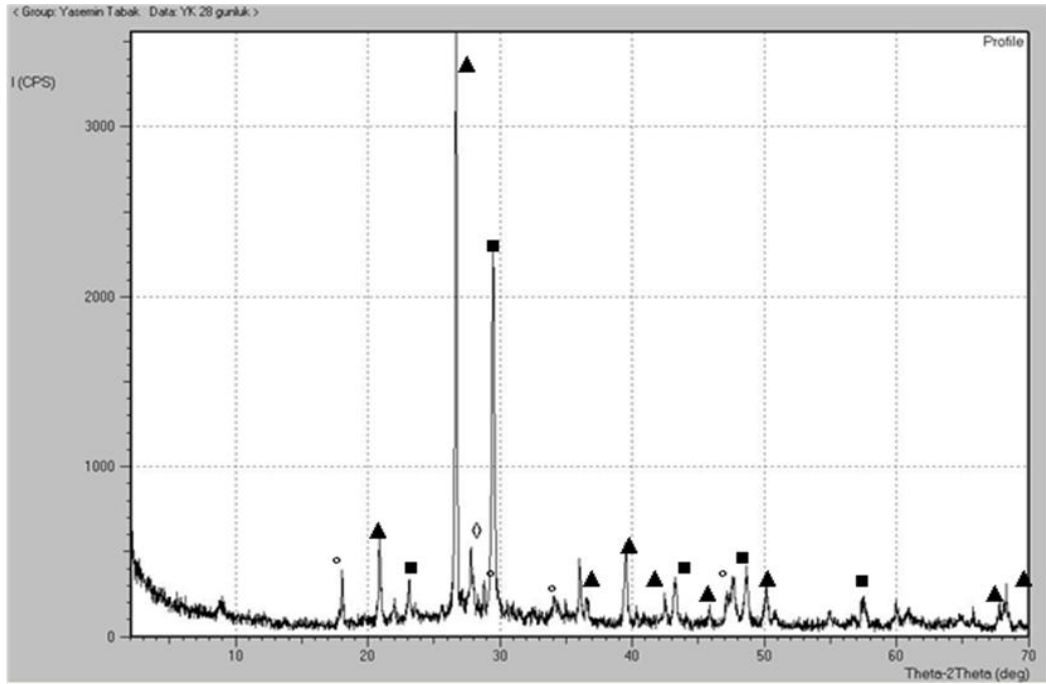
Şekil 5.17. YK toz karışımına ait XRD analizi



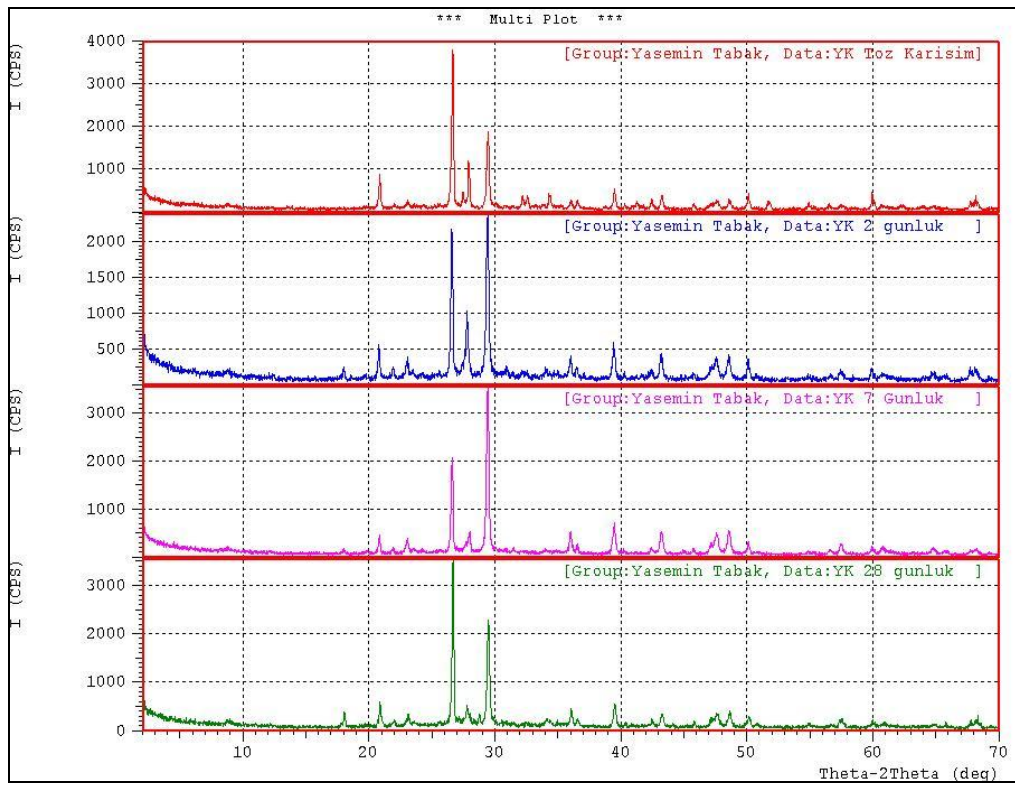
Şekil 5.18. 2 gün kürlenmiş YK betonuna ait XRD analizi



Şekil 5.19. 7 gün kürlenmiş YK betonuna ait XRD analizi

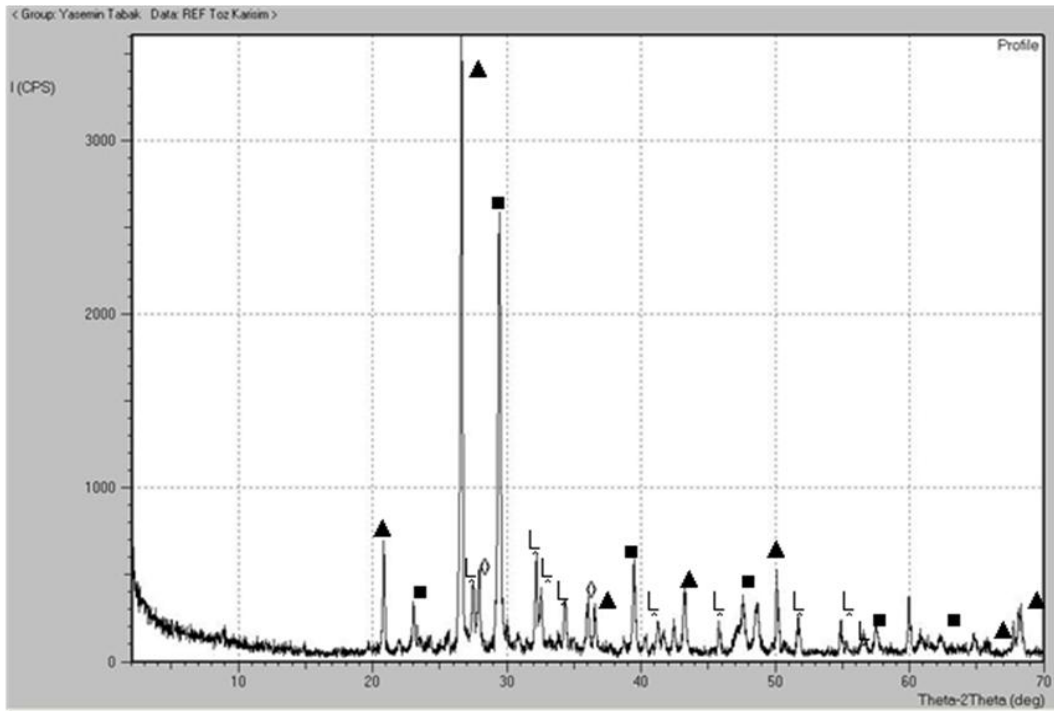


Şekil 5.20. 28 gün kürlenmiş YK betonuna ait XRD analizi

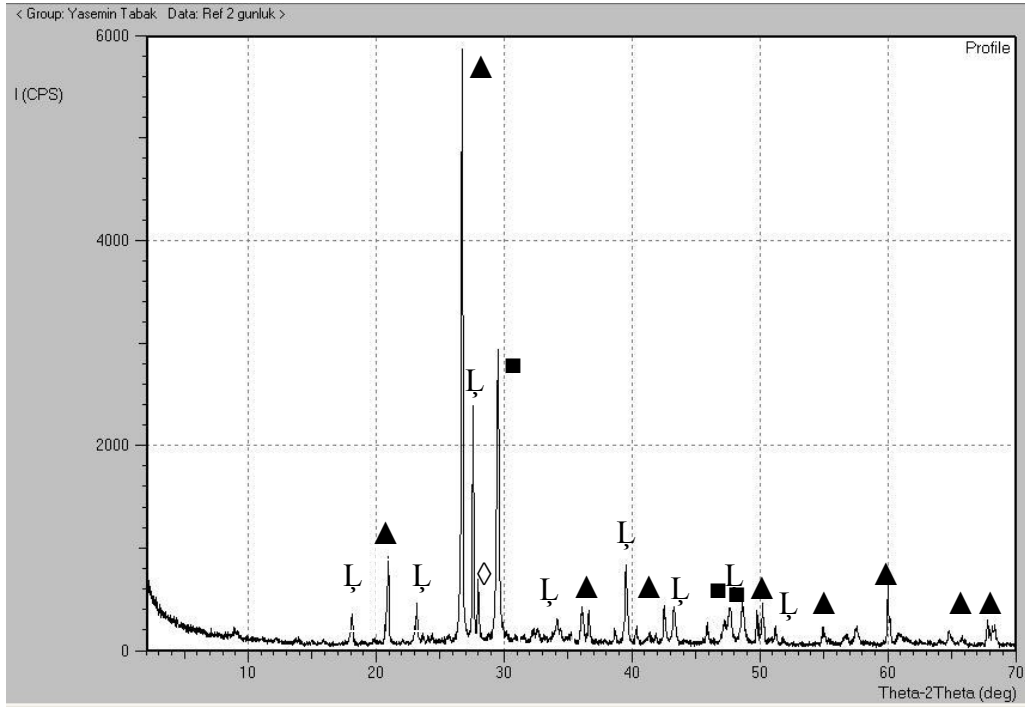


Şekil 5.21. YK betonuna ait çakıştırılmış XRD analizi

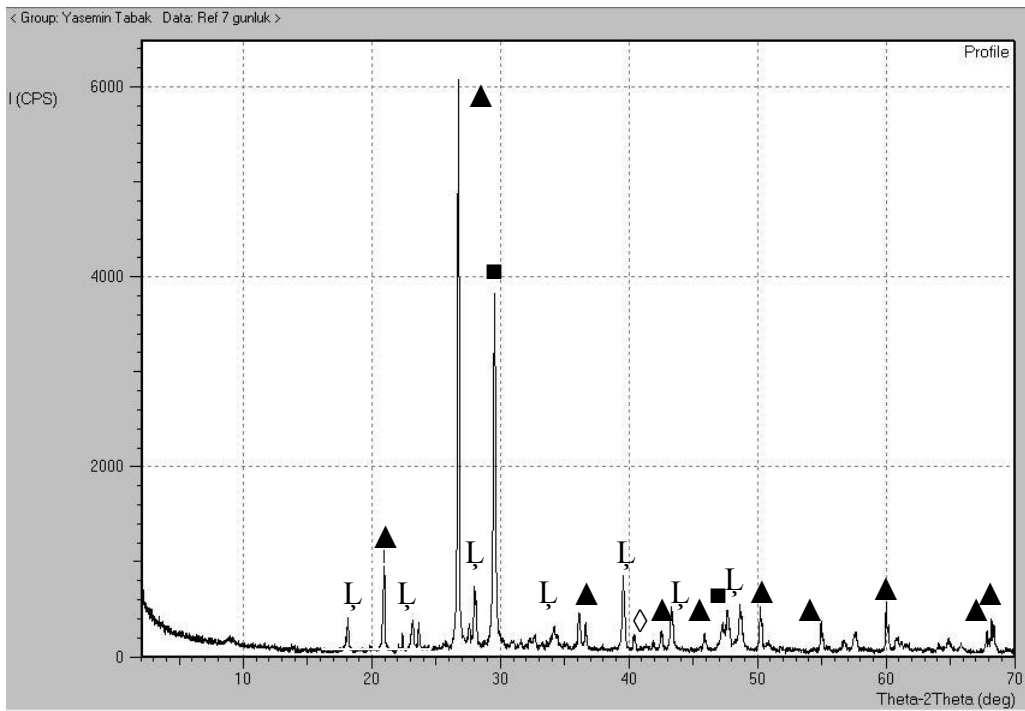
REF Betonları



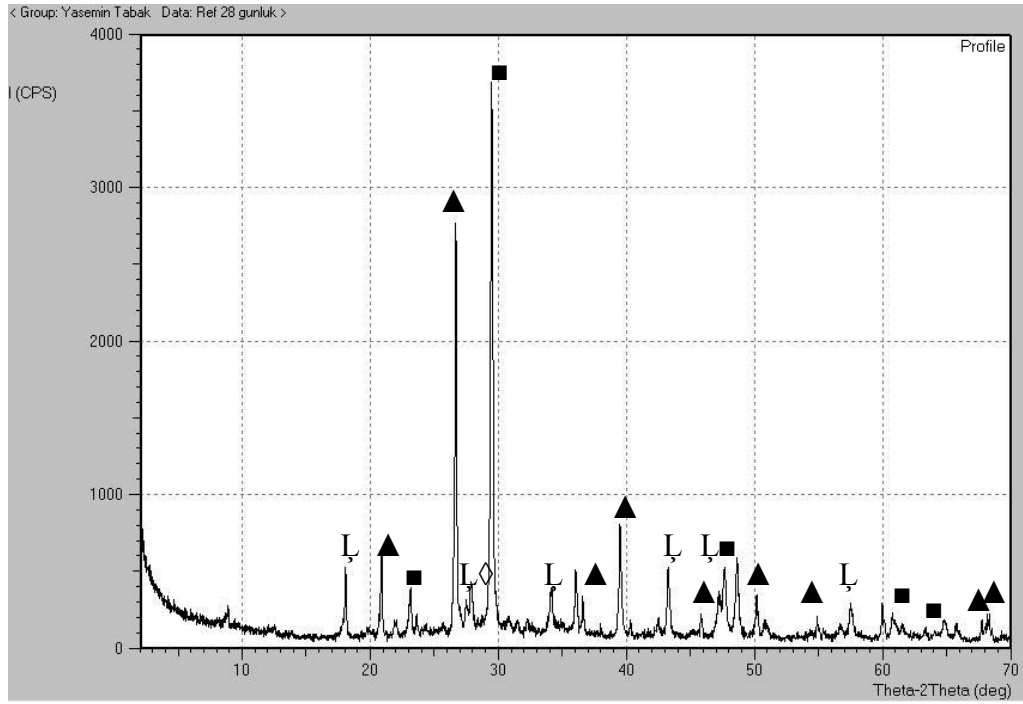
Şekil 5.22. REF toz karışımına ait XRD analizi



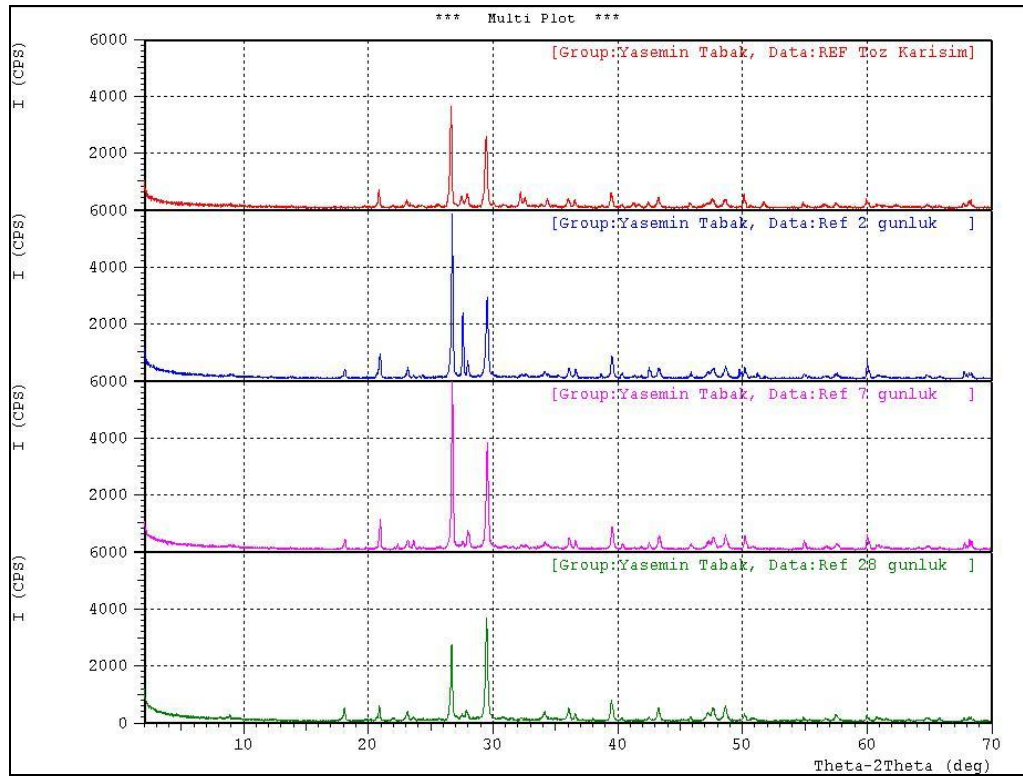
Şekil 5.23. 2 gün kürlenmiş REF betonuna ait XRD analizi



Şekil 5.24. 7 gün kürlenmiş REF betonuna ait XRD analizi



Şekil 5.25. 28 gün kürlenmiş REF betonuna ait XRD analizi



Şekil 5.26. REF betonuna ait çakıştırılmış XRD analizi

5.2.6. XRF analizi

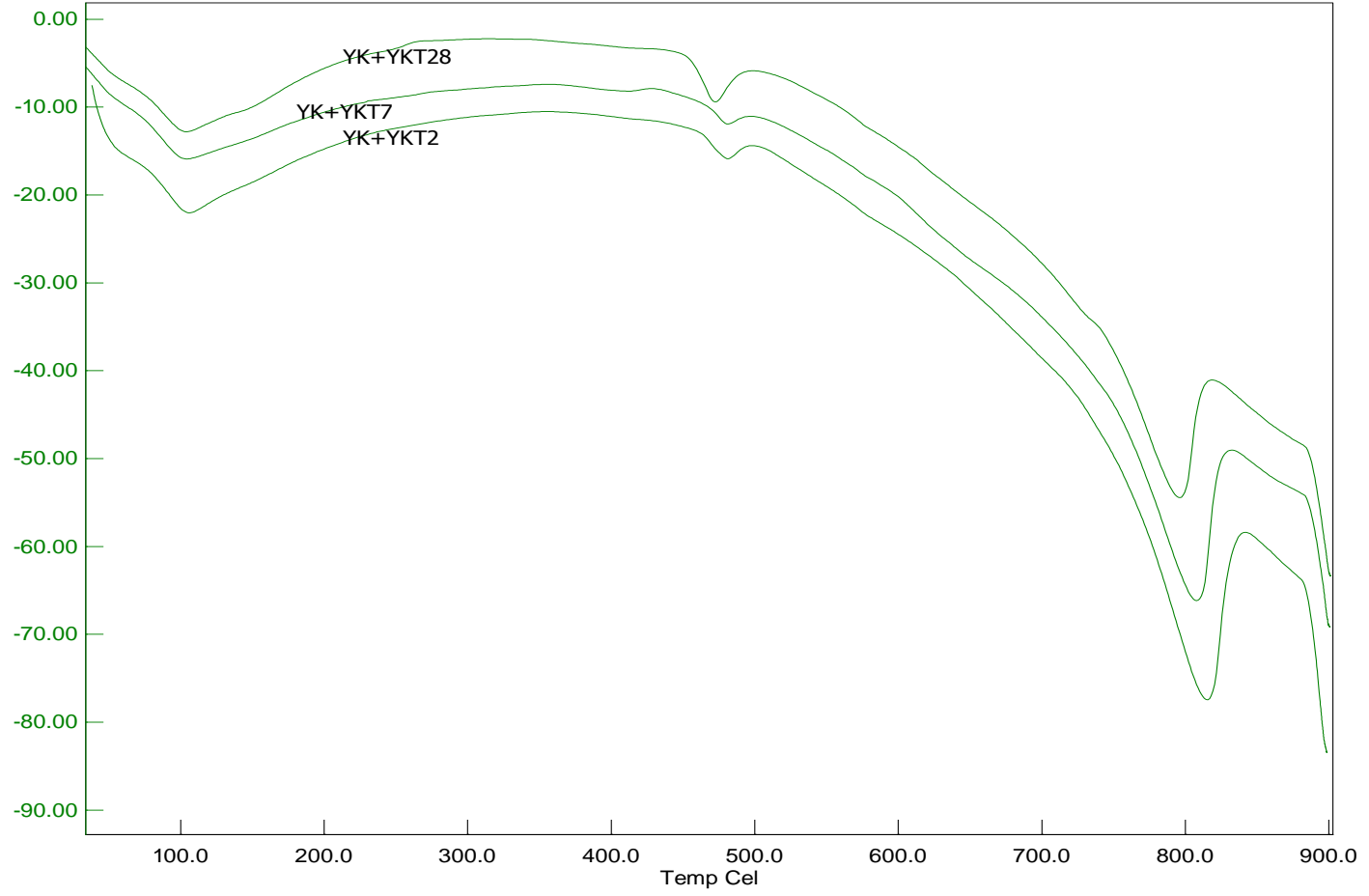
Beton deneylerinde kullanılan tüm hammaddelerin XRF analizi sonuçları Tablo 5.9'de verilmiştir.

Tablo 5.9. Kullanılan hammaddelerin XRF analizleri

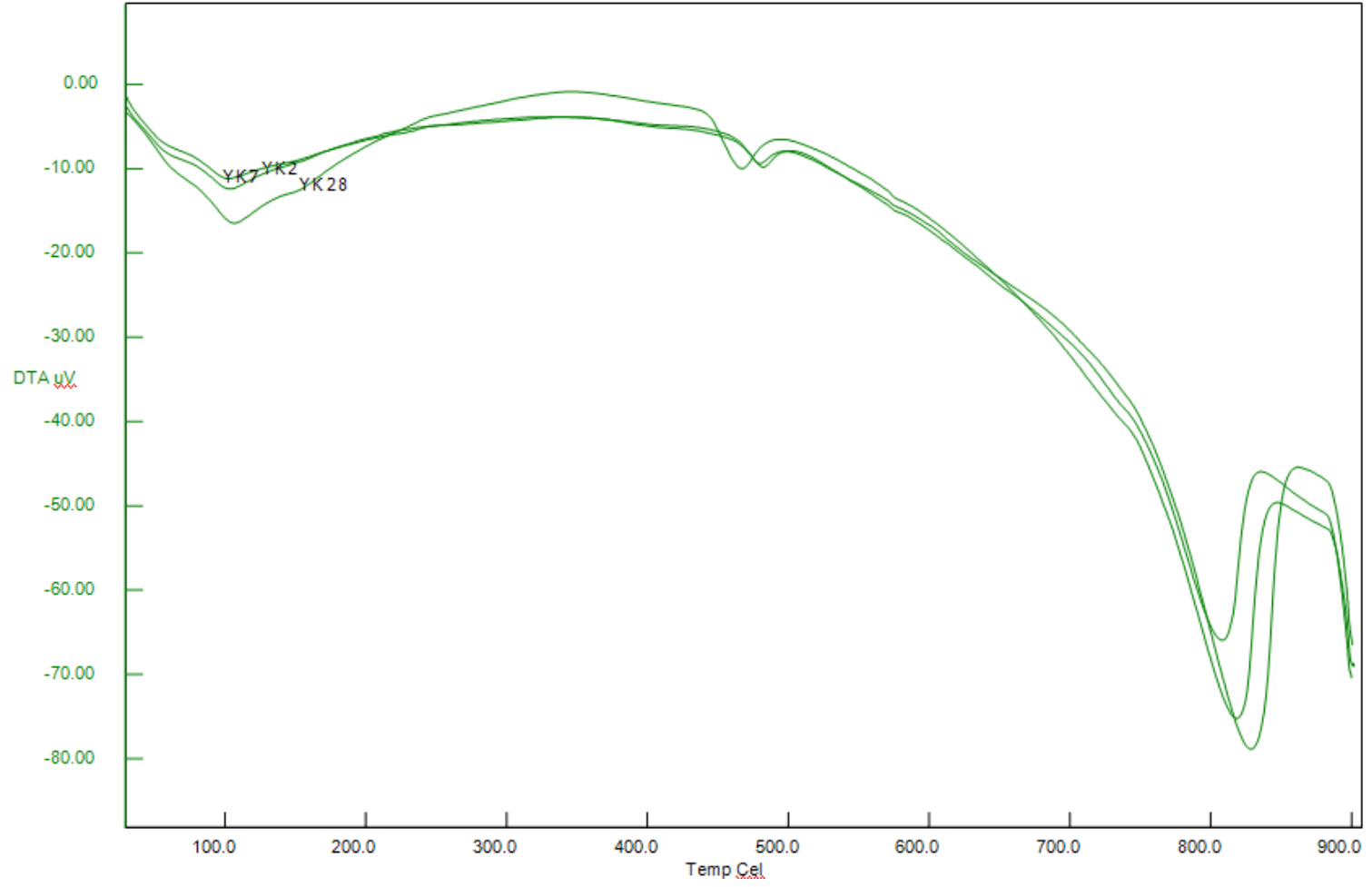
Konsantrasyon (%)	Yer karosu	Çimento	1 nolu mıcır	2 nolu mıcır	Taş tozu	Deniz kumu
Na ₂ O	1,891	0,080	0,028	0,026	0,026	0,898
MgO	0,276	1,064	2,106	2,020	1,886	1,127
Al ₂ O ₃	23,717	4,469	7,886	9,469	6,554	13,433
SiO ₂	68,874	19,939	18,317	21,893	16,041	77,067
P ₂ O ₅	0,127	0,205	0,124	0,113	0,101	0,142
SO ₃	0,296	4,907	0,252	0,341	0,282	0,098
K ₂ O	1,107	0,605	1,736	1,892	1,453	2,899
CaO	1,657	64,287	66,470	60,904	70,712	1,699
TiO ₂	0,459	0,232	0,359	0,412	0,325	0,277
Cr ₂ O ₃	0,026	0,077	0,011	-	0,015	0,045
MnO ₂	0,008	0,153	0,063	0,104	0,071	0,089
Fe ₂ O ₃	0,787	3,857	2,516	2,697	2,379	2,081
NiO	0,004	0,008	0,007	0,010	-	0,006
ZnO	0,183	0,008	0,005	0,005	0,006	0,003
Rb	0,007	0,002	0,007	0,006	0,006	0,009
SrO	0,014	0,106	0,089	0,081	0,098	0,028
Y ₂ O ₃	0,005	0,002	0,003	-	0,003	0,003
Zr	0,399	-	0,019	0,028	-	0,014
Ba	0,150	-	-	-	-	0,105
Pb	0,003	-	-	-	-	0,003
CuO	-	-	-	-	-	0,002
GaO	0,003	-	-	-	-	0,003
As ₂ O ₃	0,003	-	-	-	-	-
Cl	-	-	-	-	0,041	-

5.2.7. Diferansiyel termal analiz

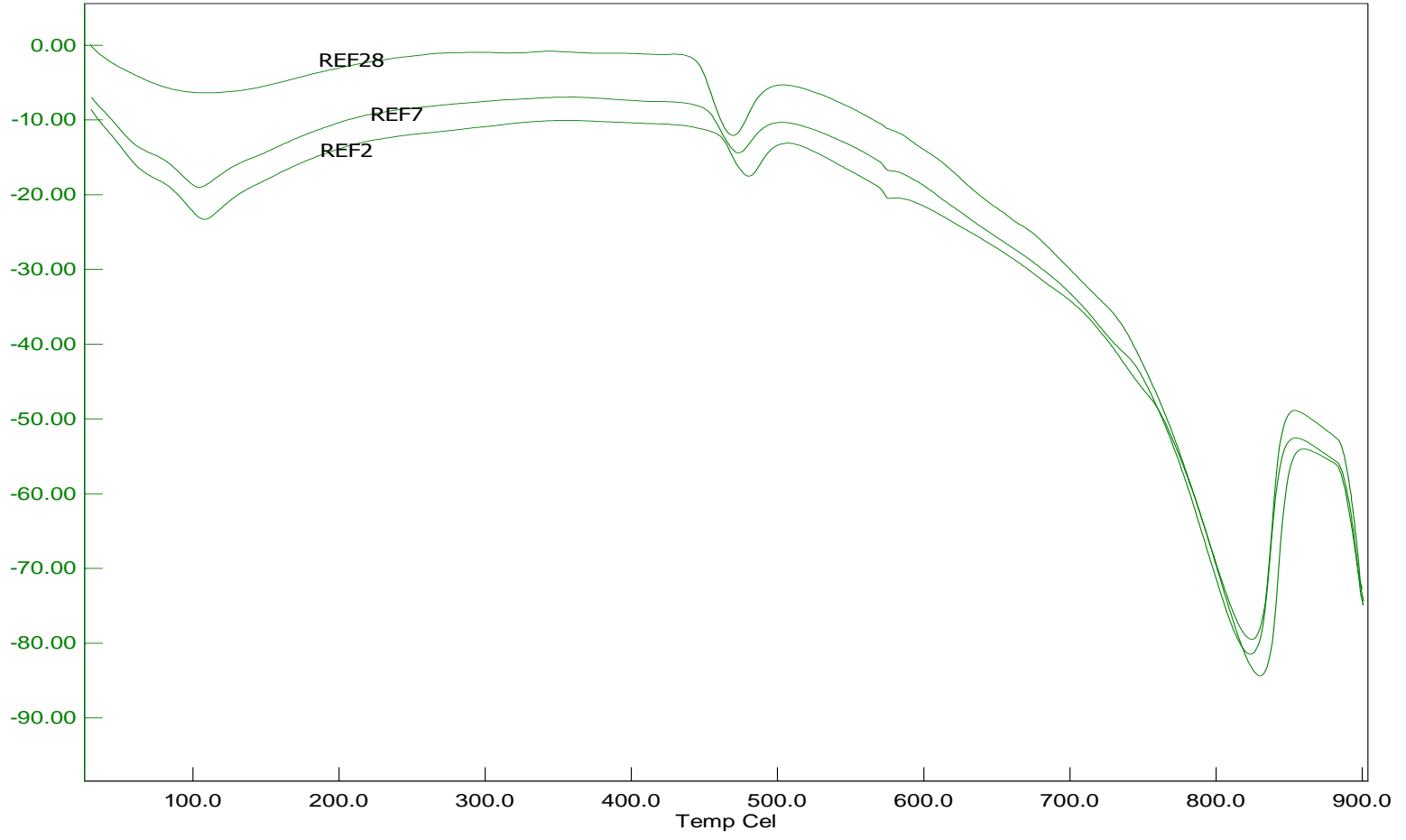
Üretilen betonların 2, 7 ve 28 günlük kür sonraları DTA analizleri Şekil 5.27-5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.27. YK+YKT betonları DTA analizi



Şekil 5.28.YK betonları DTA analizi



Şekil 5.29. REF betonları DTA analizi

DTA eğrileri incelendiğinde her eğrinin 3 bölgeden meydana geldiği görülmektedir. 200°C'ye kadar olan bölge 1. bölgede olarak ifade edilmektedir. Bu bölgede görülen endotermik pikler C-S-H ve etterjinitin dehidratasyonundan kaynaklanmaktadır. 1. bölgede çimento matrisindeki CaO/SiO₂ oranına bağlı olarak bileşikler suyunu kaybeder.

2. bölgede 400-500°C arasında endotermik pikler görülmektedir. Bu hidrasyon sırasında oluşan Ca(OH)₂'nin ayrışmasını göstermektedir.

3. bölgede ise 800-850°C arasında görülen endotermik pikler CaCO₃'ün parçalanmasını işaret etmektedir.

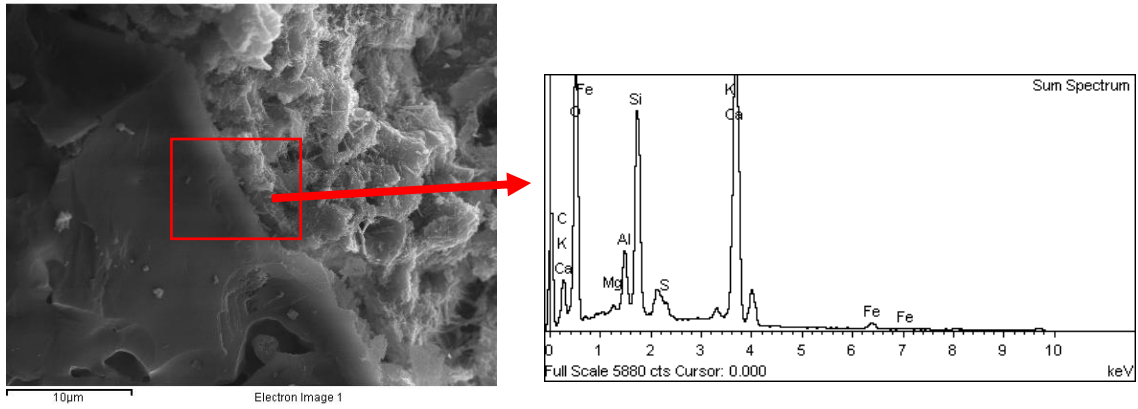
2, 7 ve 28 gün kür uygulanmış betonların DTA grafiklerinden elde edilen sonuçlar literatürle uyum göstermektedir [50].

Grafikler incelendiği zaman betonlara uygulanan kür süresi azaldıkça eğrilerin sağa doğru kaydığı göze çarpmakta olup bu durumda muhtemelen düşük kürlü betonlarda yukarıda bahsedilen reaksiyonların daha uzun sürede gerçekleştiğine işaret etmektedir.

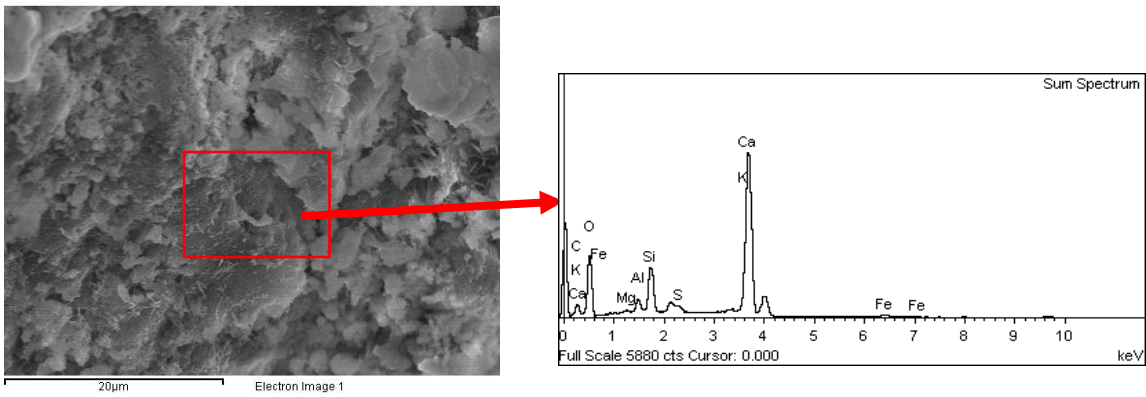
5.2.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersif spektrometresi (EDS) analizi

5.2.8.1. YK+YKT betonlarında SEM ve EDS analizleri

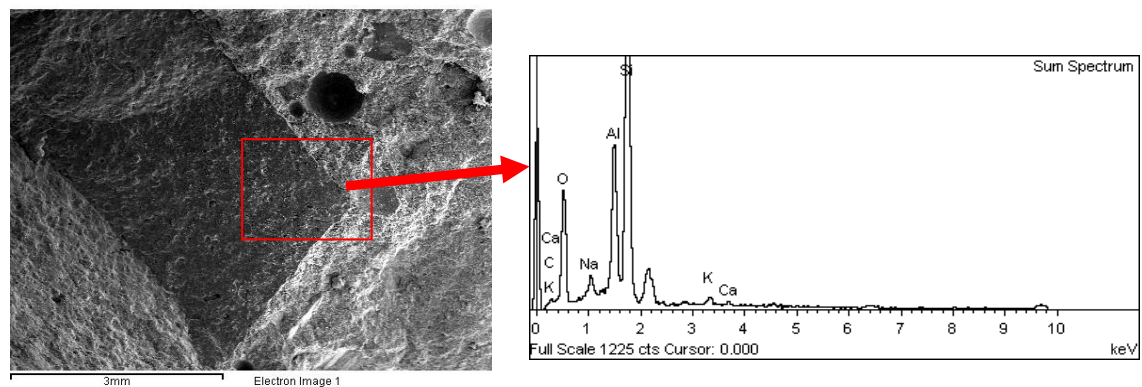
Bu çalışma kapsamında üretilen betonların SEM mikroyapı görüntüleri ve bu görüntüler üzerinden alınan EDS analizleri Şekil 5.30-5.53'de verilmiştir.



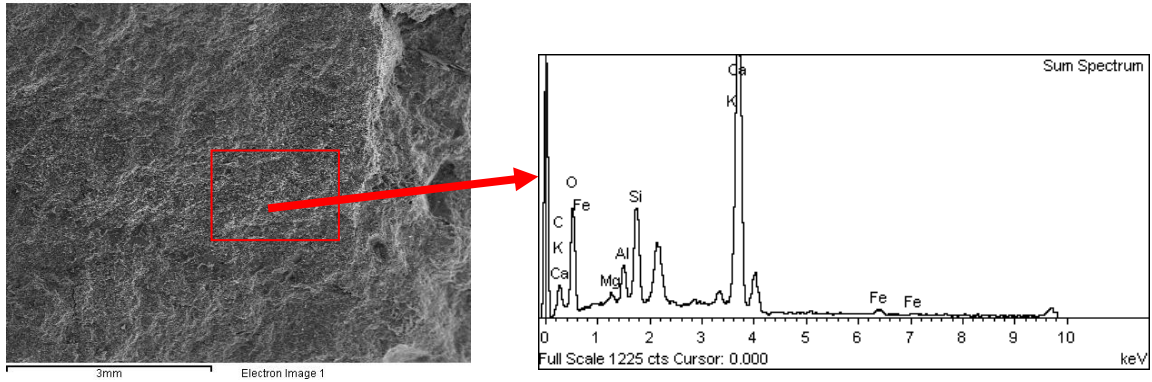
Şekil 5.30. Deneysel çalışmalarda üretilen hidrasyonsuz YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



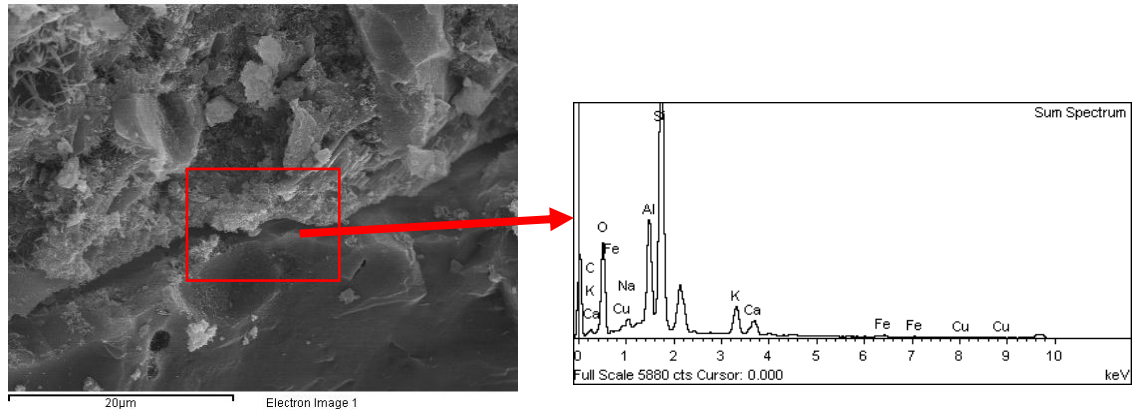
Şekil 5.31. Deneysel çalışmalarda üretilen hidrasyonsuz YK+YKT betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



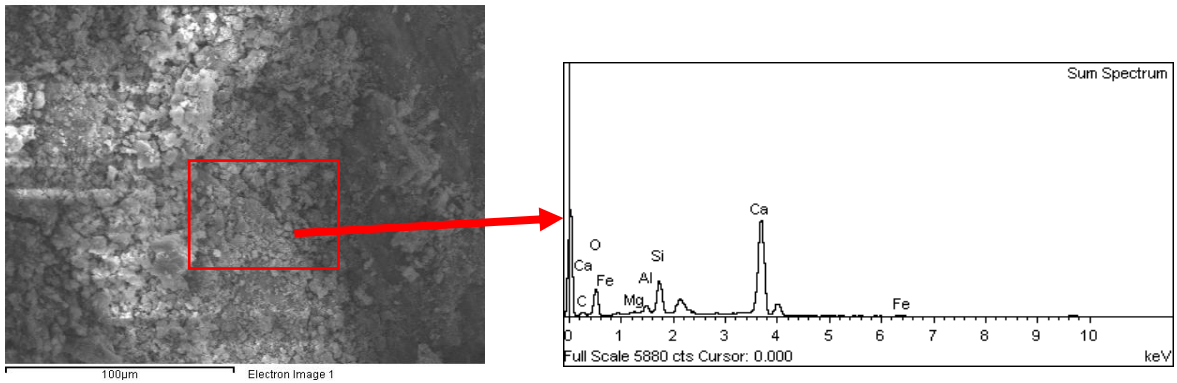
Şekil 5.32. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



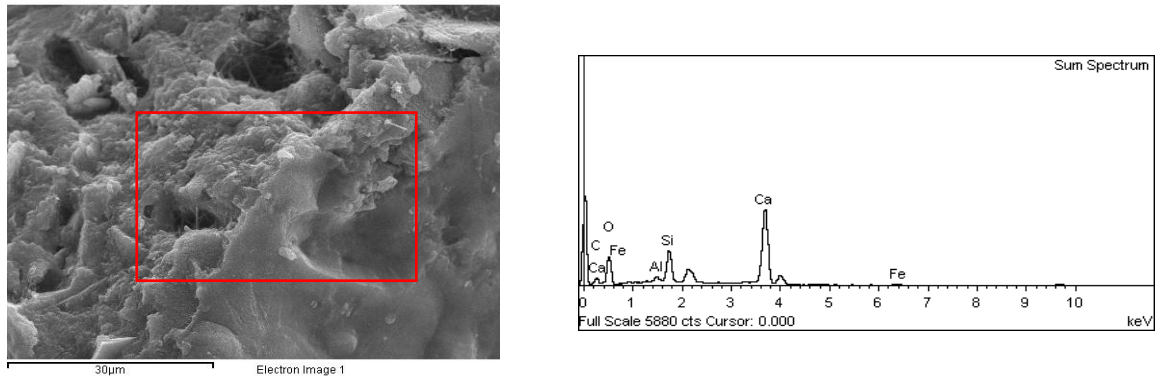
Şekil 5.33. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



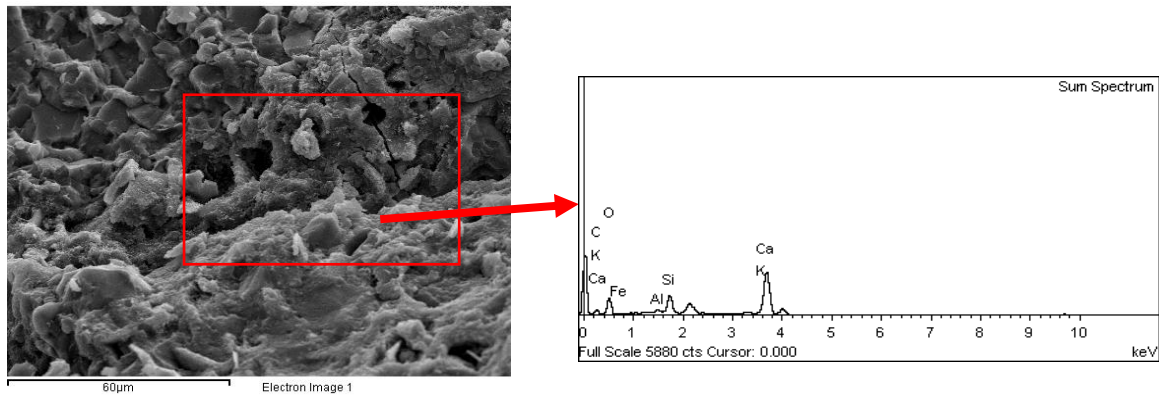
Şekil 5.34. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



Şekil 5.35. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

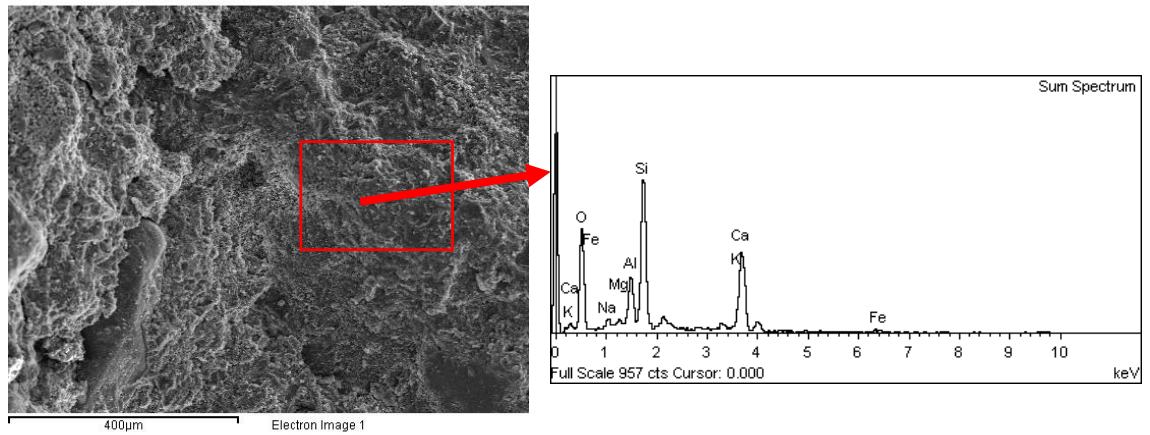


Şekil 5.36. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

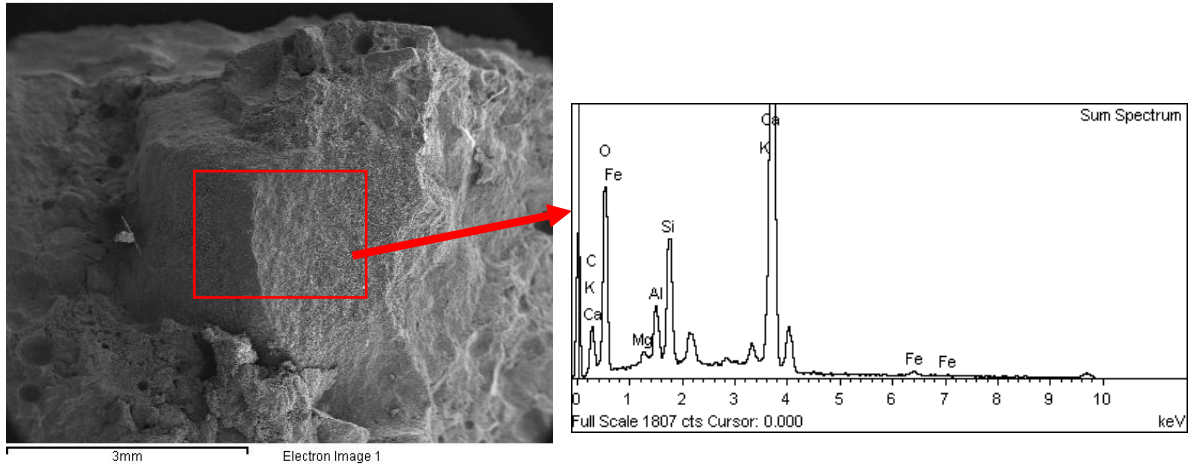


Şekil 5.37. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük kür edilmiş YK+YKT betonlarının micir ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

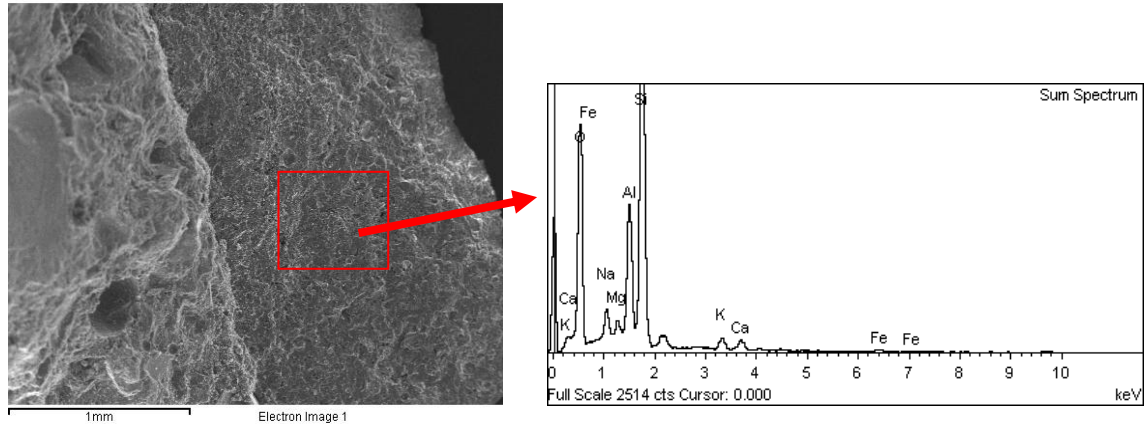
5.2.8.2. YK betonlarında SEM ve EDS analizi



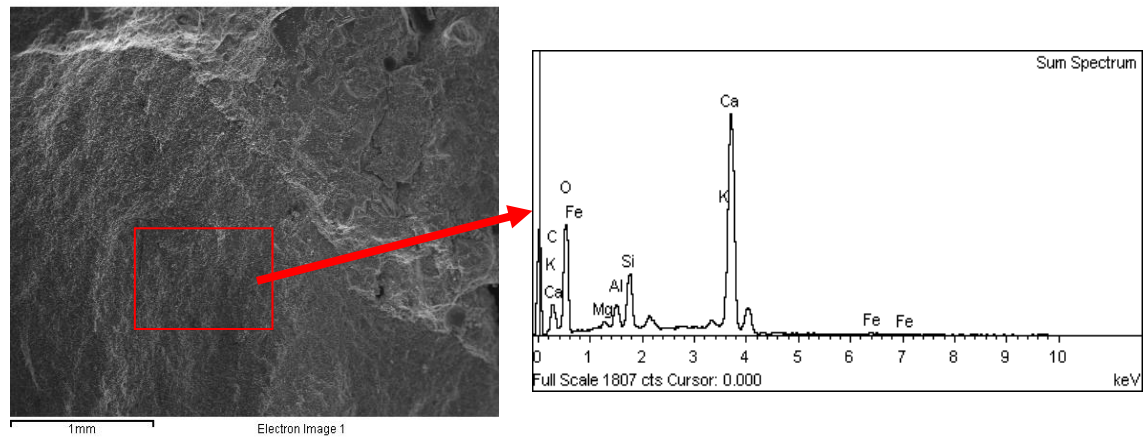
Şekil 5.38. Deneysel çalışmalarda üretilen hidrasyonsuz YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



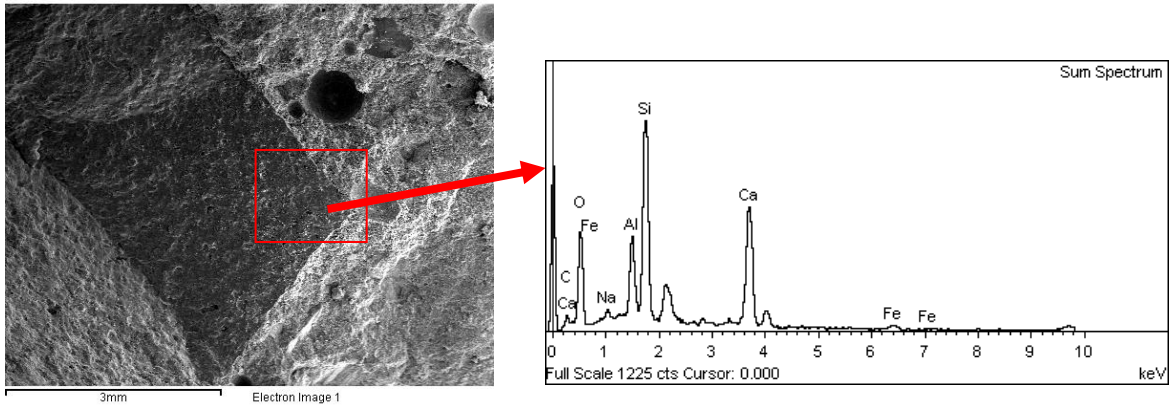
Şekil 5.39. Deneysel çalışmalarda üretilen hidratasyonsuz YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



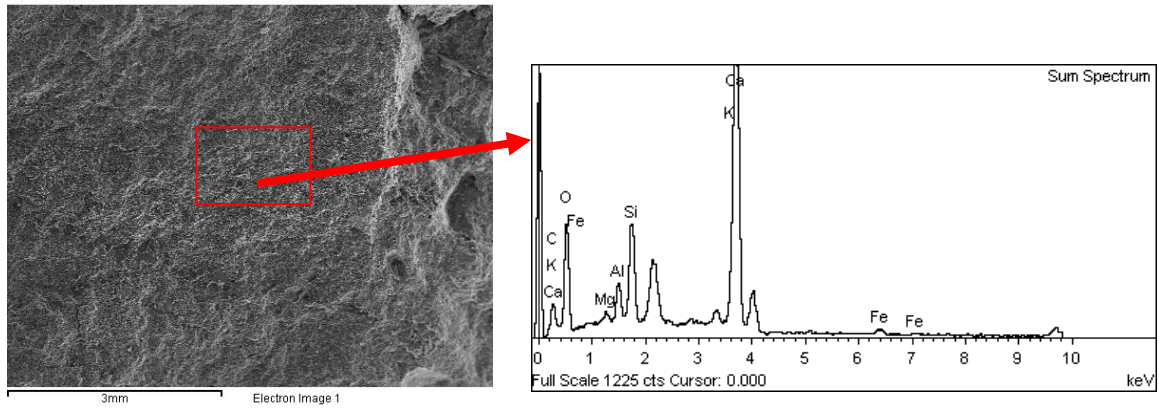
Şekil 5.40. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



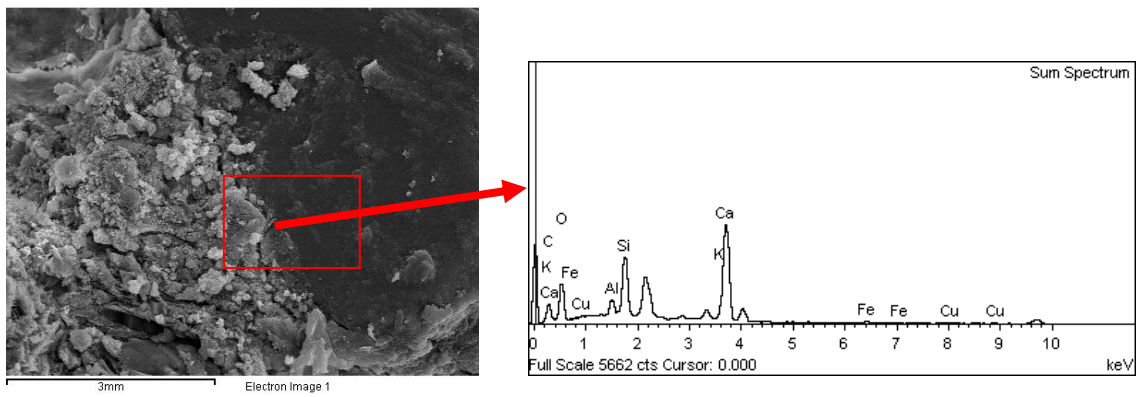
Şekil 5.41. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



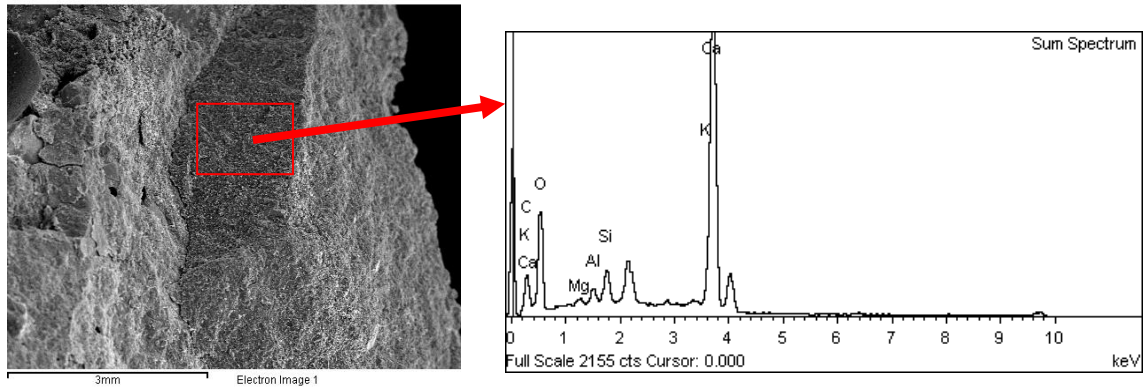
Şekil 5.42. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



Şekil 5.43. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı

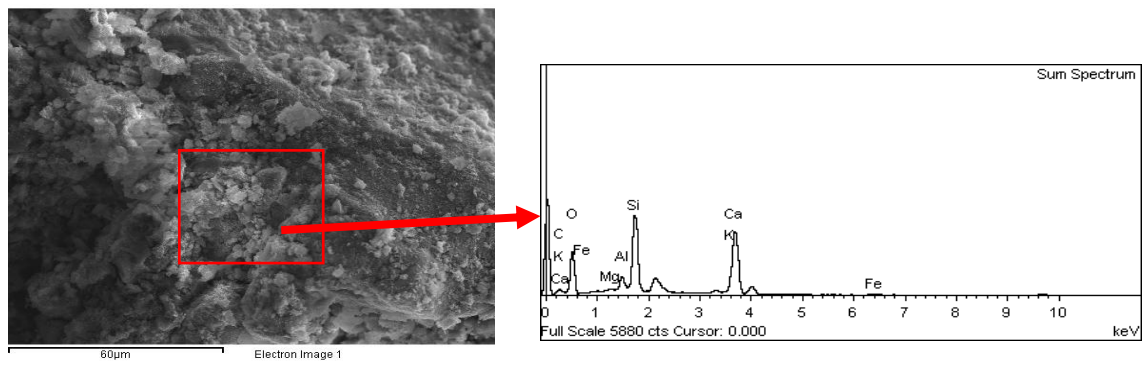


Şekil 5.44. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük YK betonlarının yer karosu ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

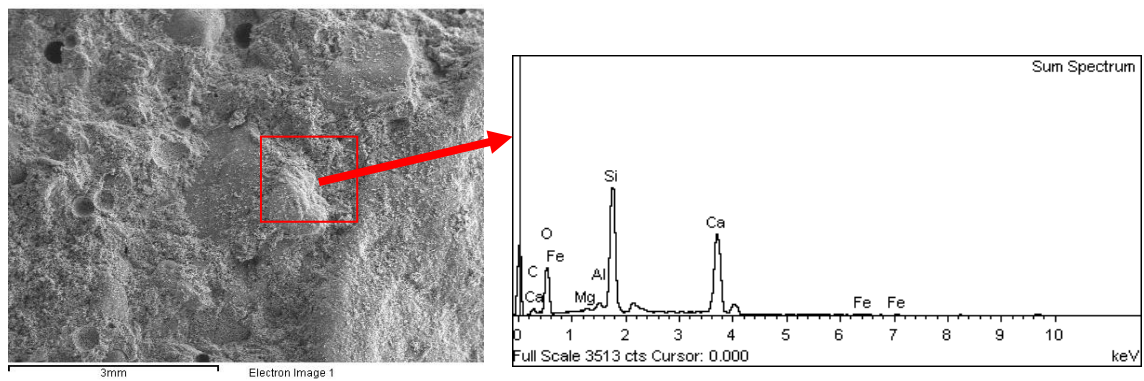


Şekil 5.45. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük YK betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

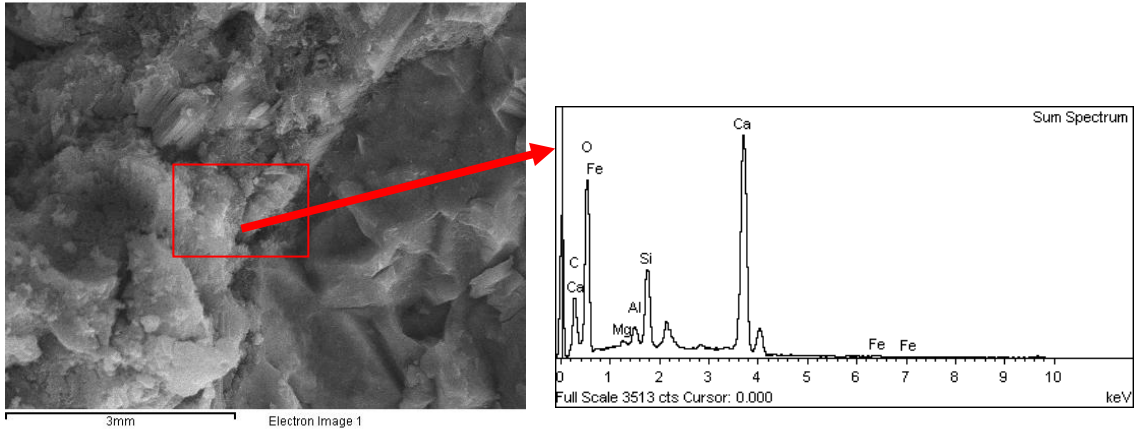
5.2.8.3. REF betonlarda SEM ve EDS analizi



Şekil 5.46. Deneysel çalışmalarda üretilen 2 günlük REF betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



Şekil 5.47. Deneysel çalışmalarda üretilen 7 günlük REF betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

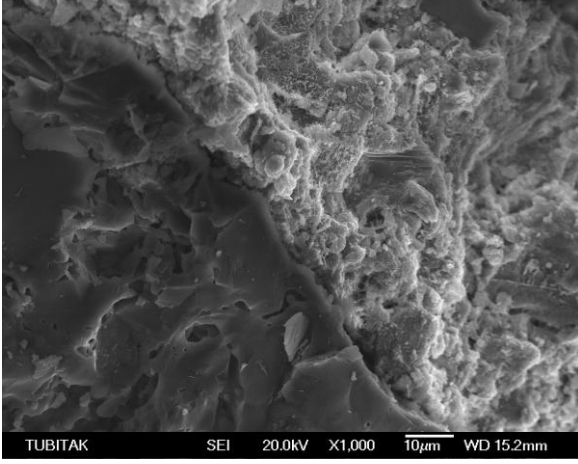


Şekil 5.48. Deneysel çalışmalarda üretilen 28 günlük REF betonlarının mıcır ve çimento hamuru ara yüzeyi SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

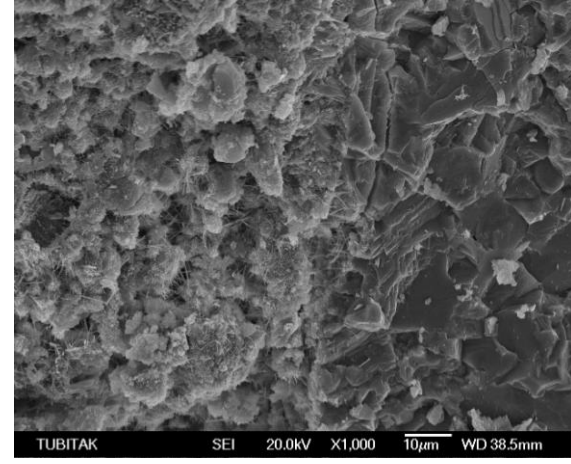
Sadece yer karosu içeren (YK) betonlarda da yer karosu çimento hamuru ara yüzeyleri daha belirgindir. YK+YKT betonları ile karşılaştırıldığında yer karosu içeren betonlarda muhtmelen yer karosu tozunun etkisinden arayüzeyler YK betonları kadar belirgin değildir.

YK arayüzeylerinde yer karosundan dolayı Si pikleri daha şiddetli iken mıcır arayüzeylerinde Ca pikleri daha şiddetlidir.

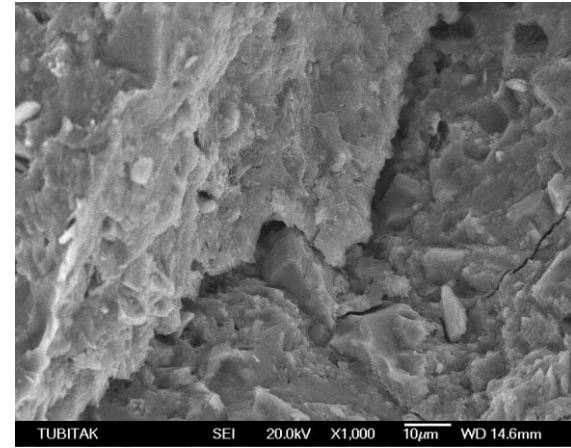
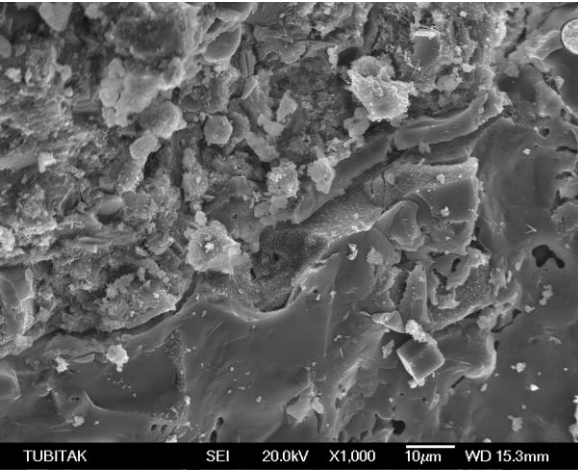
Referans betonlarda YK ve YK+YKT betonlardaki gibi beton bileşenleri ve çimento hamuru arasında belirgin arayüzeyler göze çarpmamaktadır. EDS analizlerinde de beton bileşenlerine ait hammaddelerin pikleri görülmektedir.



(a)

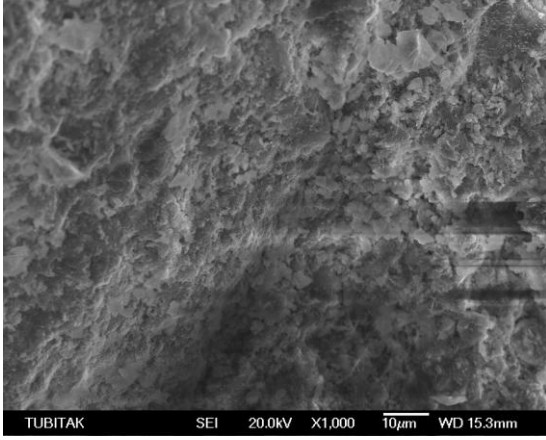


(b)

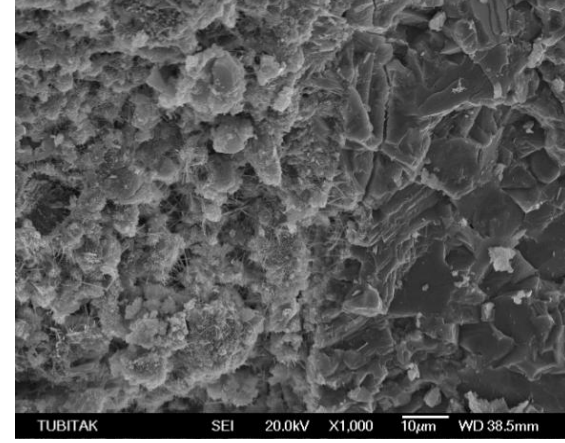


(d)

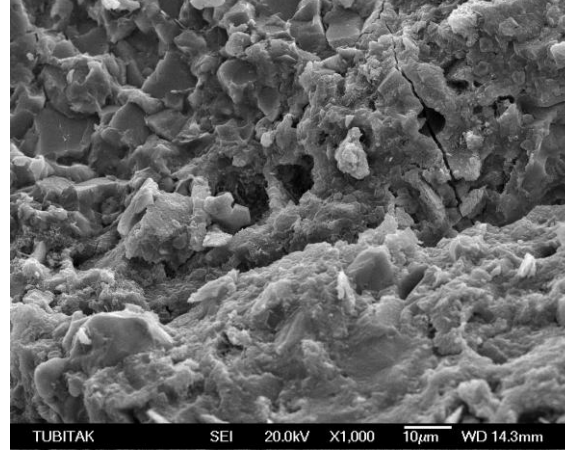
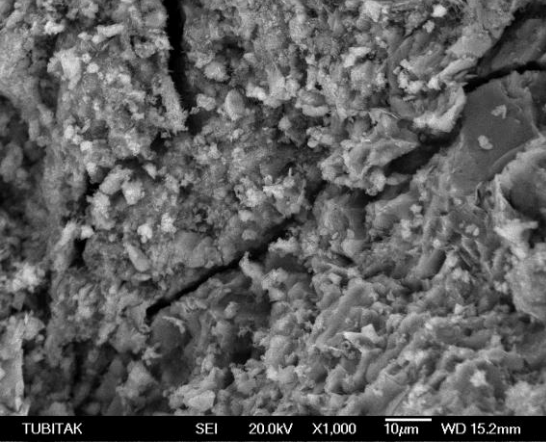
Şekil 5.49. YK+YKT betonlarında yer karolu bölge a) hidrasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri



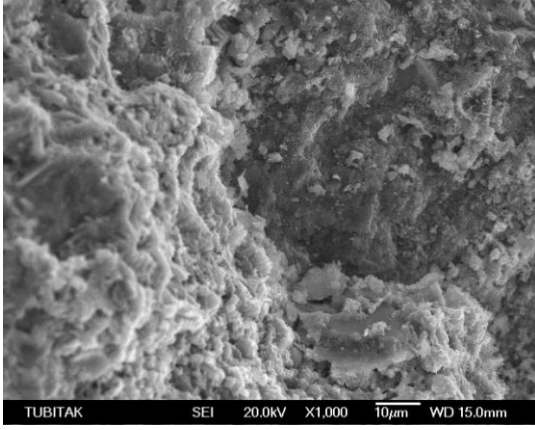
(a)



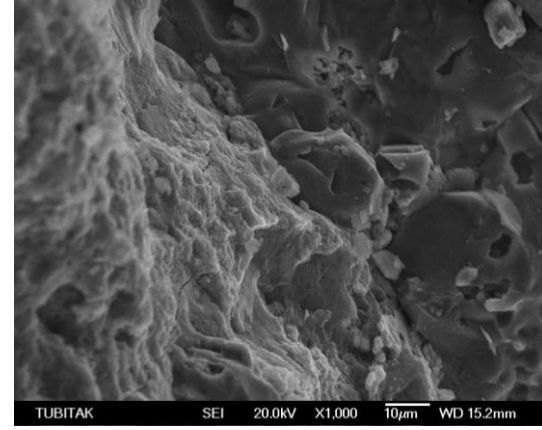
(b)



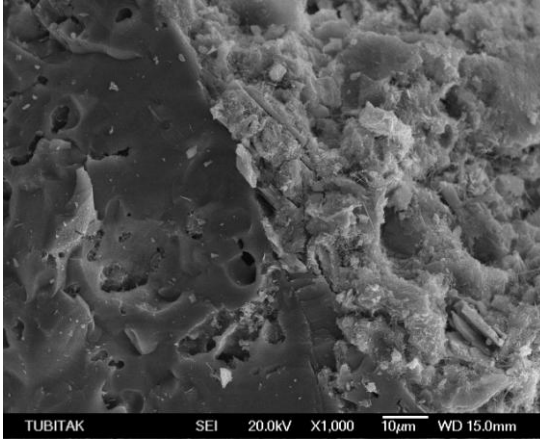
Şekil 5.50. YK+YKT betonlarında micirli bölge a) hidrasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri



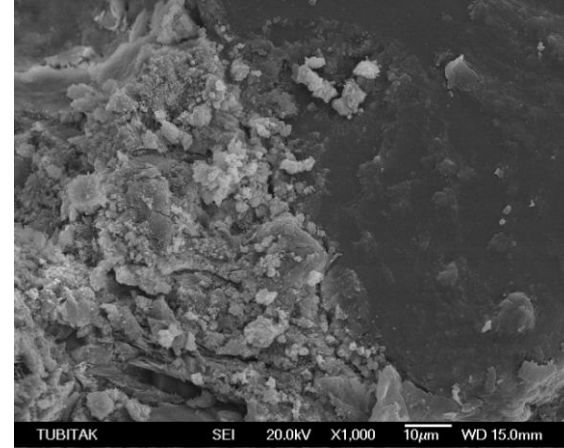
(a)



(b)

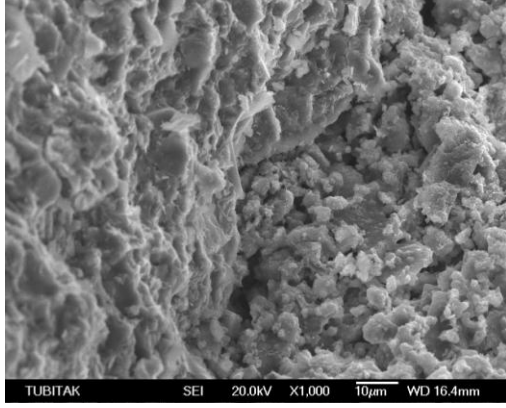


(c)

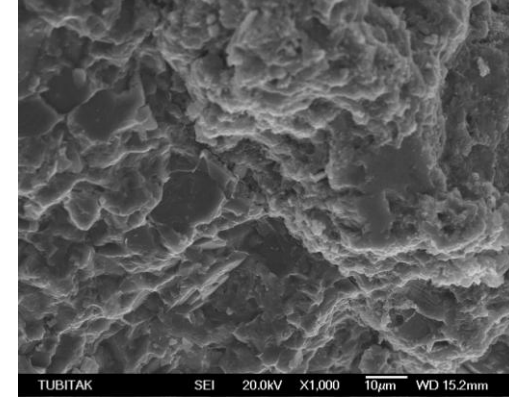


(d)

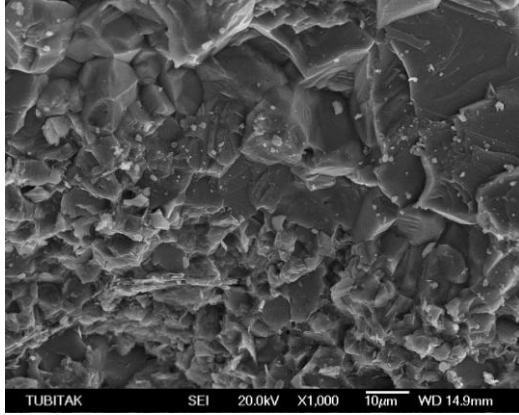
Şekil 5.51. YK betonlarında yer karolu bölge a) hidrasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri



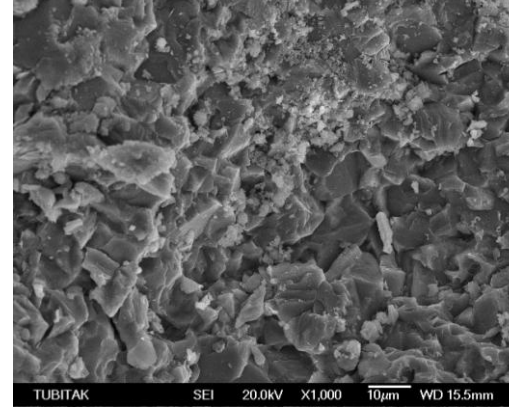
(a)



(b)

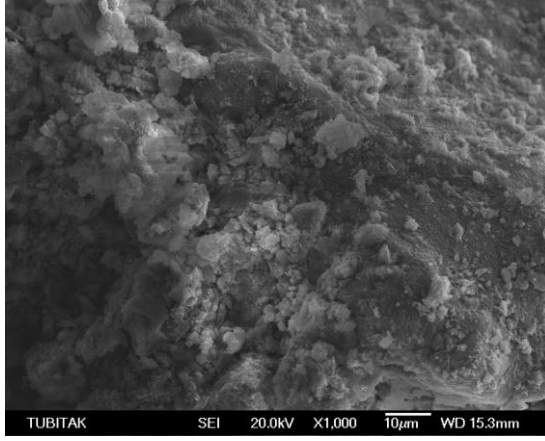


(c)

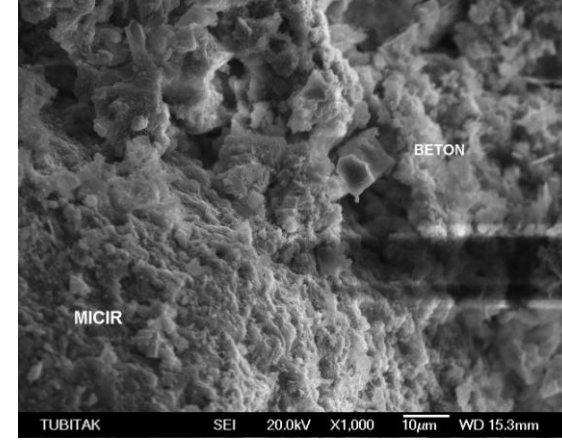


(d)

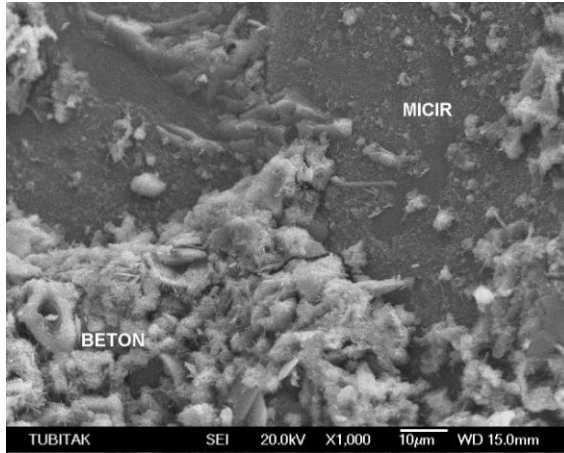
Şekil 5.52. YK betonlarında micirli bölge a) hidrasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri



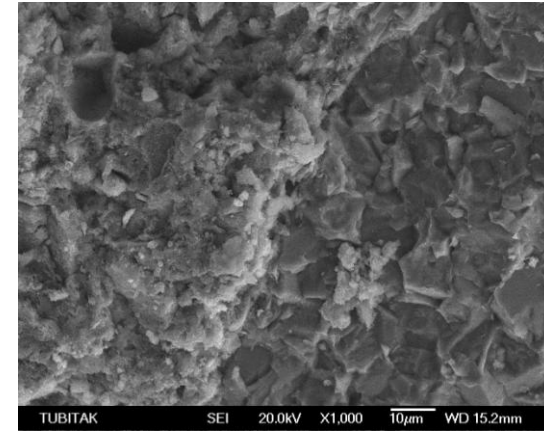
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.53. REF betonlarında micirli bölge a) hidrasyonsuz numunede, b) 2 günlük, c) 7 günlük, d) 28 günlük numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri

Tüm beton numunelerinin mikroyapıları incelendiğinde hidrasyonsuz numunelerde bağlanmanın zayıf olduğu olduğu görülürken artan kür süresi ile doğru orantılı olarak daha iyi bir bağlanma göze çarpmaktadır.

Kür süresine bağlı olarak amorf yapı azalırken yeni fazların oluşumunun arttığı tespit edilmiştir. Artan kür süresi ile puzolanik aktivitenin artması ile yapı daha kompakt bir hal almakta ve yeni fazların oluşumu artmaktadır. Uzun kür süreli numunelerde bu durum mikroyapıda da gözlenmekte olup hekzagonal portlantit kristallerine rastlanılmış olup literatürde de benzer mikroyapılar saptanmıştır [49,51].

Mikroyapılarda görülen iğnemi yapının literatürde yer aldığı gibi hekzagonal portlantit olduğu düşünülmektedir [49].

5.2.9. Donma çözülme testi

Numune ön şartlandırmaya tâbi tutulduktan sonra 28 gün süreyle, yüzeyi % 3'lük NaCl çözeltisi ile kaplanmış şekilde, donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılır. Donma-çözülme etkisiyle pullanma sonucu numuneden ayrılan parçalar toplanarak tartılır ve sonuç, numunenin metrekaresi başına kilogram cinsinden gösterilir. Üretilmiş olan YK betonlarının donma çözülme test sonuçları Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10. YK betonunun donma çözülme test sonucu

Buz çözücü tuz etkisiyle birlikte donma			Bulunan (kg/m ²)	
Sınıf	Sınıf Gösterimi	Donma çözülme deneyinden sonra kütle kaybı	1. numune	3,7
			2. numune	4,1
			3. numune	3,4
3	D	<=1,0(ortalama olarak) Tek numune sonuçlarından hepsi <=1,5 olmalıdır.	Ortalama: 3,7	

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

1. Birim ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde yer karosu kullanılmış betonlarda birim ağırlıkların referans beton değerlerine göre daha düşük olduğu görülmüştür.
2. Yer karosu atıklarının 1 nolu mıcır yerine kullanıldığı beton numunelerinin (YK) su emme değerleri, referans betona (REF) göre daha düşük olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, yer karosu atıklarının 1 nolu mıcır yerine kullanıldığı numunelerde deniz kumu yerine yer karosu tozunun kullanılması (YK+YKT) sonucunda, su emme değerlerinin referans betona (REF) göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.
3. YK + YKT bileşimi betonu hafifletmiştir. Bünyede su kaybına yol açmaktadır. Hatta daha yüksek çökme değerlerinde daha yüksek sonuç verecektir. YK + YKT numunesi düzgün bir yüzeye sahip değildir. Betonun sıkıştırılması aşamasında zorluk yaşanmıştır. Buna bağlı olarak boşluklu bir yapı elde edilmiş ve dolayısıyla su emme değerleri yüksek çıkmıştır.
4. Basma dayanımı testi sonuçları irdelendiğinde, 2 ve 7 günlük kür süreleri sonucunda basma dayanımlarının YK kodlu beton numunelerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Genellikle standartlarda ve literatürde 28 günlük basma dayanımları esas alınmakta olup YK kodlu betonun 28 günlük basma dayanımının referans betondan daha iyi olduğu göze çarpmaktadır. TS EN 206-1 standardında C30/37 betonu için 28 günlük basma dayanımı 37 MPa olarak verilmektedir.

5. 2, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonucunda eğme mukavemetlerinin YK kodlu betonlarda daha yüksek olduğu görülmektedir.
6. Üretilen her üç beton için yapılan aşınma testi sonucunda mukavemetler incelenmiş ve her bir kür süresi (2, 7 ve 28 gün) için de en az ağırlık kaybının YK kodlu betonlarda olduğu tespit edilmiştir. YK betonlarının aşınma dayanımlarının referans betondan daha iyi olduğu göze çarpmaktadır.
7. Yüksek sıcaklık dayanım testleri yapılırken beton numuneler, uygulama öncesi 100° C'de 1 gün bekletilip yüksek sıcaklık fırınında 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklarda 3 saat süreyle bekletilmiştir. Yer karosu kullanılarak üretilen beton numuneleri (YK) ile referans beton numunelerine (REF) yüksek sıcaklık uygulamasının ardından basma dayanımı testi yapılmıştır. Yer karosu atığı ve yer karosu tozu kullanılarak üretilen betonların (YK+YKT) normal basma dayanımları referans betona göre çok düşük olduğundan yüksek sıcaklık deneylerine tabi tutulmamıştır. Sonuçlar incelendiğinde standart basma mukavemetleri referans betondan daha iyi olan YK betonlarının 300°C'deki yüksek sıcaklık dayanımının referans betona yakın olduğu gözlenmiştir. 600°C ve 900°C'lerdeki yüksek sıcaklık dayanımları YK betonlarda referansa göre daha düşüktür. Hatta 900°C'deki dayanımlar birbirine oldukça yakındır.
8. XRD analizi sonucu elde edilen veriler değerlendirildiğinde 2 ve 7 günlük betonlarda yaklaşık olarak aynı fazların bulunduğu, 28 günlük betonlarda ise bu fazlara ilave olarak portlantit fazının olduğu tespit edilmiştir. Bu durum 28 gün kür uygulanmış betonlarda puzolanik reaksiyonun daha iyi gerçekleşmesinden ileri gelmekte olup literatürdeki bilgilerle uyum göstermektedir.
9. DTA eğrileri incelendiğinde her bir numune için eğrilerin 3 bölgeden meydana geldiği görülmektedir. 200°C'ye kadar olan 1. bölgede görülen endotermik pikler C-S-H ve etterjinitin dehidratasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. 1. bölgede çimento matrisindeki CaO/SiO₂ oranına bağlı olarak bileşikler suyunu kaybeder. 2. bölgede 400-500°C arasında endotermik pikler görülmektedir. Bu,

hidratasyon sırasında oluşan Ca(OH)_2 'nin ayrışmasını göstermektedir. 3. bölgede ise 800-850°C arasında görülen endotermik pikler CaCO_3 'ün parçalanmasını işaret etmektedir. 2, 7 ve 28 gün kür uygulanmış betonların DTA grafiklerinden elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile uyum göstermektedir. Grafiklerde, betonlara uygulanan kür süresi azaldıkça eğrilerin sağa doğru kaydığı gözlenmektedir. Bu durum, kür süresi düşük olan betonlarda yukarıda bahsedilen reaksiyonların daha uzun sürede gerçekleştiğine işaret etmektedir.

10. SEM ve EDS analizleri incelendiğinde sadece yer karosu içeren (YK) betonlarda yer karosu ile beton harç ara yüzeyleri daha belirgin olmakla birlikte YK+YKT betonları ile karşılaştırıldığında yer karosu içeren betonlarda muhtemelen yer karosu tozunun etkisinden arayüzeyler YK betonları kadar belirgin değildir. YK arayüzeylerinde yer karosundan dolayı Si pikleri daha şiddetli iken micir arayüzeylerinde Ca pikleri daha şiddetlidir. Referans betonlarda YK ve YK+YKT betonlardaki gibi beton bileşenleri ve beton harcı arasında belirgin arayüzeyler göze çarpmamaktadır. EDS analizlerinde de beton bileşenlerine ait hammaddelerin pikleri görülmektedir. Tüm beton numunelerinin mikroyapıları incelendiğinde hidratasyonsuz numunelerde bağlanmanın zayıf olduğu olduğu görülürken artan kür süresi ile doğru orantılı olarak daha iyi bir bağlanma göze çarpmaktadır. Kür süresine bağlı olarak amorf yapı azalırken kristallenmenin arttığı tespit edilmiştir. Artan kür süresi ile puzolanik aktivitenin artması ile yapı daha kompakt bir hal almakta ve kristallenme artmaktadır. Uzun kür süreli numunelerde bu durum mikroyapıdadaki gözlenmekte olup hegzagonal portlantit kristallerine rastlanılmış olup literatürde de benzer mikroyapılar saptanmıştır. Mikroyapılarda görülen iğnemsî yapının literatürde yer aldığı gibi hegzagonal portlantit olduğu düşünülmektedir.

6.2. Öneriler

1. Karışımın çökme değeri oldukça düşüktür. Bu durumun, kimyasal katkıları kullanılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kimyasal katkıları kullanılması halinde daha kabul edilebilir çökme değerleri elde edilebilir. Bu tip

bir beton, çökme değeri düşük olduğu için beton yol yapımında yada prekast ve prefabrik ürünler için daha uygundur.

2. YK + YKT ile ilgili daha net sonuçlar alabilmek açısından çökme değeri mutlaka arttırılıp tekrar denenmelidir.
3. 300°C ile 600°C arasında dayanımın ciddi anlamda düşmeye başladığı kritik bir sıcaklık denenerak yakalanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] TUNÇOK ULU, A.,
http://www.iso.org.tr/tr/Web/StatikSayfalar/Cevre_Bilgi.aspx, İstanbul Sanayi Odası Çevre Teknik Çalışma Grubu Üyesi.
- [2] SENTHAMARIA, RM., MANOHARAN, D., Concrete with Ceramic Waste Aggregate, *Cement & Concrete Composites* 27, 910–913, 2005.
- [3] GUERRA, I., VIVAR, I. , LLAMAS, B., JUAN, A., MORAN, J., Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete, *Waste Management* 29 643–646, 2009.
- [4] ABDULLAH, M.M.A.B., HUSSİN, K., RUZAİDİ, C.M., RAMLY, S.B.R., NİSA N.K, Concrete Ceramic Waste Slab (CCWS), *Journal of Engineering Research&Education*, Vol.3, (139-145), 2006.
- [5] BİNİCİ, H., Effect Of Crushed Ceramic And Basaltic Pumice As Fine Aggregates On Concrete Mortars Properties, *Construction And Building Materials* 21 1191–1197, 2007.
- [6] CACHIM, P.B, Mechanical Properties of Brick Aggregate Concrete, *Construction and Building Materials* 23 1292–1297, 2009.
- [7] GEÇKİNLİ, E, “İleri Teknoloji Malzemeleri”, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fak. Müh. Bölümü, İstanbul, 1991.
- [8] BAYKARA, T, TOY, Ç; “Seramikler”, TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi, Bilim ve Teknik, Nisan, 1994.
- [9] ARCASOY, A. , “Seramik Teknolojisi Ders Kitabı” Marmara Üniversitesi Güzel sanatlar Fakültesi, Yayın no: 457/2 İstanbul, 1983.
- [10] BAYCIK, S., Granüle Yüksek Fırın Curuflarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2003.
- [11] ÖZDEMİR, İ., Yüksek Fırın Curuflarından Yapı Malzemesi Üretim Koşullarının Araştırılması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2003.

- [12] YILMAZ, Ş., Seramiklerin Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler Ders Notu, Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Metalurji ve Malz. Müh. Böl., 2008.
- [13] YILMAZ, Ş., Seramik Malzemeler II Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Metalurji ve Malz. Müh. Böl., 2008.
- [14] ÜNAL, O., Yapı Malzemesi Ders Notları, 3. Bölüm Seramik Malzemeler, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- [15] EROL, M., Bölüm 2 Seramik Malzemeler Ders Notları, KYM 345 2007-2008, <http://chem.eng.ankara.edu.tr/345/345not3.pdf>
- [16] AKINCI, Ö., Seramik Killeri ve Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, http://www.mta.gov.tr/mta_web/kutuphane/mtadergi/71_4.pdf
- [17] SAYARER, G., Seramik Yer Karosu Bünyede Bazaltın Alternatif Bir Hammaddede Olarak Kullanımı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Bilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2006
- [18] BOZDOĞAN, İ., Türkiye Kaolin Sektörünün Analizi: Güncel Durum ve Sorunlar, Kibited 1(2) 73 – 80, 2006.
- [19] Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Seramik-Refrakter-Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu Cilt – 3 Kuvars, Kuvarsit, Kuvars Kumu, Döküm Kumu, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, DPT : 2418 – ÖİK: 477, Eylül 1995.
- [20] BRITO, J., PEREIRA, A.S., CORREIA, J.R., Mechanical Behaviour Of Non-Structural Concrete Made With Recycled Ceramic Aggregates, Cement and Concrete Composites 27 429–433, 2005.
- [21] TOPÇU, İ.B., DEMİR, A., KARAKURT, C., Gazbeton Kırıklarının Betonda Agregada Olarak Kullanılması, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.
- [22] TOPÇU, İ.B., CANBAZ, M., Properties of Concrete Containing Waste Glass, Cement and Concrete Research 34 267–274, 2004.
- [23] KÖROĞLU, M.A., KÖKEN, A., Düşük Mukavemetli Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, ÇESKO, 2008.
- [24] ILICAN, S., Ultrases ile Betonun Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tayini, Osmangazi Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 1995.
- [25] ERDOĞAN, S.T., ERDOĞAN, T.Y., Sorularıyla ve Yanıtlarıyla Beton TÇMB, ISBN 975-92122-2-4, 2006.

- [26] ERDOĞAN, T.Y., Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, Çimentolar, Agregalar, Su, TÇMB, ISBN 975-921222-1-8, 2004.
- [27] <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=50>
- [28] TABAK, Y., Kalsiyum Fosfat Biyoçimento Üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, 2006
- [29] ERDOĞAN, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, ISBN 975-7064-67-X, 2007
- [30] ÇAĞLAYAN, M., HABERVEREN, S., İPEKOĞLU, B., KURŞUN, İ., Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri Ve Örnek Bir Kuruluş "İSTON, 2 Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99, İstanbul, ISBN B.L6.0.KGM.O.63.O0.03/606 1, 1999.
- [31] ÖZKUL, H., TAŞDEMİR, M.A., TOKYAY, M., UYAN, M., Her Yönüyle BETON Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, Aralık 1999.
- [32] AĞAR, E., SÜTAŞ, İ., ÖZTAŞ, G., BETON YOLLAR, İTÜ İnşaat Fak. 1998
- [33] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, 2002.
- [34] TS 1247, Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), 1984.
- [35] http://www.adocim.com/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=64
- [36] TS 2941, Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini, 1978.
- [37] ŞİMŞEK, O., Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, Gazi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 2004.
- [38] TS 3323, Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi, 1979.
- [39] GÜNİNDİ, İ., Yumurtalık Sugözü Uçucu Külü İçeren Betonların Basınç, Eğilme ve Aşınma Dayanımlarının Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [40] ÖZDEMİR, İ., "Yüksek Fırın Cüruflarından Yapı Malzemesi Üretim Koşullarının Araştırılması Ve Özelliklerinin İncelenmesi", Sakarya Üni. Fen Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi, Eylül, 2003.

- [41] ÜN, H., Malzeme Bilgisi Ders Notu, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2009.
- [42] ÜNVERDİ, A., Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton Kırıklı Betonların Dayanımlarının İncelenmesi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [43] ERCENK, E.; “ZnO - % 6 Bi₂O₃ İkili Sisteminde İlavesinin Mikroyapı Ve Tane Büyüme Kinetiğine Etkileri”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2005.
- [44] http://maluyam.pau.edu.tr/?sayfa_no=65
- [45] ÜNLÜ, F., Geçiş Metali-Fosfin Komplekslerinin Termal Özelliklerinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2007.
- [46] ÜNAL, O., UYGUNOĞLU, T., Uçucu Küllü Betonların Donma- Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, 17. Teknik Kongre, İMO, 103-108, 15-17 Nisan 2004.
- [47] TS 2824 EN 1338, Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları - Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, 2005.
- [48] TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, 2002.
- [49] PEIWEI, G., XIAOLIN, L., CHUANXI, Y., XIAOYAN, L., NANNAN, S., SHAOCHUN J., Microstructure and Pore Structure of Concrete Mixed with Superfine Phosphorous Slag And Superplasticizer, Construction and Building Materials 22 837–840, 2008.
- [50] VEDALAKSHMİ, R., RAJ, A.S., SRİNIVASAN, S., BABU, K.G., Quantification of Hydrated Cement Products of Blended Cements in Low and Medium Strength Concrete Using TG and DTA Technique, Thermochemica Acta 407 49–60, 2003.
- [51] MYMRİN, V., CORREA, S.M., New Construction Material From Concrete Production and Demolition Wastes and Lime Production Waste, Construction and Building Materials 21, 578–582, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta eğitimini İzmit'te, lise eğitimini ise Eskişehir'de tamamladı. 2002 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde başladığı Seramik mühendisliği eğitimini Socrates-Erasmus Öğrenci Değişim Bursu alarak Yunanistan'da başarı ile tamamlayıp 2006 yılında mezun oldu ve Seramik Mühendisi unvanını aldı. 2006 yılında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü'nde Araştırmacı olarak göreve başlamış olup halen çalışmaktadır. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.