



**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

EMRİYE ÇINAR RESULOĞULLARI

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARIN AKUSTİK EMİSYON
YÖNTEMİ İLE KOROZYON DİRENCİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2023

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ**

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN AKUSTİK
EMİSYON YÖNTEMİ İLE KOROZYON DİRENCİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
2023-EKİM**

TEZ ONAYI

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİ İLE KOROZYON DİRENCİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI tarafından Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTE

Üye: Doç. Dr. Sercan SERİN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Kadir GÜÇLÜER
İnşaat Bölümü, Teknik Bilimler MYO, ADYÜ

Üye: Doç. Dr. Ümit YURT
İnşaat Bölümü, Düzce MYO, DÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI



ÖZET

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİ İLE KOROZYON DİRENCİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI
Doktora, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR

Ekim 2023, 124 sayfa

Çelik donatı korozyonu genellikle betonarme yapılarda hasara ve bozulmaya neden olur. Donatı korozyonunun izlenmesi, özellikle deniz ortamlarında yapıların dayanıklılığını ve kalan hizmet ömrünü değerlendirmek için önemli bir husustur. İzleme yöntemlerinde kullanılan tahribatsız deney yöntemleri, fiziksel karakterizasyonuna dayalı olarak harici hasar olmaksızın beton içindeki hasar seviyelerini değerlendirmek için kritik yöntemler olarak geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında tahribatsız deney yöntemlerden Akustik Emisyon (AE) yöntemi seçilmiştir. AE yöntemi; kırılma işleminin kendisi tarafından üretilen yüksek frekanslı elastik dalgaları tespit ederek hasar yayılımının izlenmesini ve hasar karakterizasyonu yapmamıza yardımcı olmaktadır. Beton tasarımında ise düşük boşluk oranına sahip, günümüzde yaygınlığı giderek artan Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) türü seçilmiştir. KYB tasarımı yapılırken bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R çimentosu, mineral katkı olarak Uçucu Kül (UK) ve Mermer Tozu (MT), filler malzeme olarak ise Taş Unu (TU), kimyasal katkı olarak hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Mineral katkı içermeyen yalnızca çimento ile üretilen bir seriye ek olarak 2 farklı mineral katkıyı 3 farklı oranda kullanılmasıyla toplamda 7 seri KYB üretilmiştir. İlk olarak taze hal deneyleri gerçekleştirilip üretilen serilerin akış ve geçiş yetenekleri ölçülmüştür. Sertleşmiş KYB deneylerinde su emme, porozite, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, hızlandırılmış klor geçirgenliği, elektriksel özdirenç, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve hızlandırılmış korozyon deneyleri uygulanmıştır. AE yöntemiyle hem basınç ve yarmada çekme dayanımı deneylerinde hem de donatılı üretilen serilerde hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında eş zamanlı ölçüm alınmıştır. Deney sonucunda hem çatlak analizi hem çatlak oluşumunun izlenmesi gerçekleştirilmiş olup KYB davranışlarında mineral katkı etkisiyle oluşan farklılıklar gözlemlenmiştir. AE parametreleri basınç ve yarmada çekme dayanım deneylerinden elde edilen yük ve hızlandırılmış korozyon deneyinden elde edilen akım verileriyle karşılaştırılarak güvenilirliği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Donatı Korozyonu, Tahribatsız Deney Yöntemi, Akustik Emisyon

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CORROSION RESISTANCE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETES WITH ACOUSTIC EMISSION METHOD

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI
PhD, Department of Civil Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Behçet DÜNDAR

October 2023, 124 pages

Corrosion of steel reinforcement often causes damage and deterioration in reinforced concrete structures. Monitoring reinforcement corrosion is an important aspect to assess the durability and remaining service life of structures, especially in marine environments. Non-destructive testing methods used in monitoring methods have been developed as critical methods to assess damage levels within concrete without external damage based on its physical characterization. In this thesis study, the Acoustic Emission (AE) method, one of the non-destructive methods, was chosen. AE method; It helps us monitor damage propagation and characterize damage by detecting high-frequency elastic waves produced by the fraction itself. In the concrete design, the Self-Compacting Concrete (SCC) type, which has a low void ratio and is increasingly common today, was selected. While designing SCC, CEM I 42.5 R cement was used as binder, Fly Ash (FA) and Marble Powder (MP) as mineral additives, Stone Dust (SD) as filler material, and hyperplasticizer as chemical additive. In addition to a series produced only with cement, which does not contain minerals, a total of 7 series of SCC were produced by using 2 different mineral additives in 3 different ratios. First, fresh state experiments were carried out and the flow and transition abilities of the produced series were measured. Water absorption, porosity, ultrasonic pulse velocity, capillary water absorption, accelerated chlorine permeability, electrical resistivity, compressive strength, splitting tensile strength and accelerated corrosion tests were applied in hardened SCC experiments. With the AE method, simultaneous measurements were taken during both the compressive and splitting tensile strength tests and the accelerated corrosion test on the reinforced series. As a result of the experiment, both crack analysis and crack formation monitoring were carried out, and differences in SCC behavior due to the effect of mineral layers were observed. The reliability of the AE parameters was demonstrated by comparing them with the load data obtained from the compressive and splitting tensile strength tests and the flow data obtained from the accelerated corrosion test.

Key Words: Self-compacting Concrete, Reinforcement Corrosion, Non-destructive Testing Methods, Acoustic Emission,



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Başta, doktora tez çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen, her aşamada yönlendirmeleri ve fikirleri ile çalışmaya katkı sunan tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez inceleme komitesinde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM'e ve Doç. Dr. Sercan SERİN'e tez çalışmama verdikleri katkı için teşekkür ederim.

Malzeme temininde desteklerinden dolayı SİKA Yapı Kimyasalları firmasında Adana bölge sorumlusu Sayın Göksel ÇAPKIN ve OYAK Çimento Fabrikası A.Ş. teknik destek sorumlusu Sayın İsmail EMİRAL'a, Afyon Kocatepe Üniversitesinde deneysel çalışmalarda yardım ve desteklerinden dolayı sayın hocalarım Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU'na ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA'a, ayrıca Yük. İnş. Müh. Cebail KAPLAN'a, Yük. İnş. Müh. Turhan Can KARCI'ya ve Yük. Elk. Müh. Ramazan KAYA'a teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler arasında yer alan AE yöntemini uygulamamız için AE işlemci sisteminin kullanılmasını sağlayan TEKPROM (Uygunluk Değerlendirme ve Gözetim Hizmetleri Ltd. Şti.) Müdürü Dursun DÖĞER'e ve yardımlarından dolayı Yusuf YILDIZOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm hocalarına teşekkür ederim.

Bütün eğitim hayatım boyunca desteklerini her daim hissettiğim başta annem Emine ÇINAR, babam Atila ÇINAR ve kardeşlerim Kadir ve Emirhan olmak üzere ailemin her bir üyesine ayrı ayrı teşekkür ederim. Özellikle, yoğun çalışma temposunda beraber birçok zorluğu göğüslediğim, her durumda en büyük destekçim olan eşim İnş. Yük. Müh. Doğan RESULOĞULLARI'na desteği ve sabrı için teşekkür ederim.

Çalışma hayatımda beraber çalıştığım iş arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTAY'a, Dr. Öğr. Üyesi Hakan ERKEK'e, Dr. Öğr. Üyesi Yunus Ziya KAYA'ya ve Arş. Gör. Dr. İbrahim KARATAŞ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. MATERYAL VE METOT	28
3.1. Materyal	28
3.1.1. Çimento.....	28
3.1.2. Uçucu Kül	28
3.1.3. Mermer Tozu.....	28
3.1.4. Taş Unu	28
3.1.5. Agregat.....	29
3.1.6. Karışım Suyu.....	30
3.1.7. Kimyasal Katkı	30
3.1.8. Donatı.....	31
3.1.9. Sodyum Klorür Tuzu	31
3.2. Metot	31
3.2.1. KYB Karışım Tasarımı ve Hazırlanması	31
3.2.2. Taze Hal Deneyleri	33
3.2.2.1. Çökme-Yayılma Deneyi ve T50 Süresi	34
3.2.2.2. J-Halkası Deneyi	35
3.2.2.3. V Hunisi Deneyi.....	36
3.2.2.4. L-Kutusu Deneyi.....	37
3.2.2.5. U-Kutusu Deneyi	38

3.2.2.6. Doldurma Kutusu Deneyi	39
3.2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	40
3.2.3.1. Basınç Dayanımı	40
3.2.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı	41
3.2.3.3. Porozite ve Su Emme Deneyi	42
3.2.3.4. Kapiler Su Emme	42
3.2.3.5. Hızlandırılmış Klor Geçirgenliği Deneyi.....	43
3.2.3.6. Ultrases Geçiş Hızı.....	45
3.2.3.7. Elektriksel Özdirenç Deneyi	46
3.2.3.8. Hızlandırılmış Korozyon Deneyi	47
3.2.3.9. Akustik Emisyon Deneyi	49
4. DENEYSEL SONUÇLAR	54
4.1. Taze Hal Deney Sonuçları	54
4.1.1. Çökme-Yayılma Deneyi ve T50 Süresi Sonuçları	54
4.1.2. V Hunisi Deney Sonuçları	54
4.1.3. J Halkası Deney Sonuçları	55
4.1.4. L Kutusu Deney Sonuçları	56
4.1.5. U Kutusu Deney Sonuçları.....	57
4.1.6. Doldurma Kutusu Deney Sonuçları	58
4.2. Sertleşmiş Deney Sonuçları	59
4.2.1. Basınç Dayanımı Sonuçları.....	59
4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları.....	60
4.2.3. Porozite ve Su Emme Deney Sonuçları	61
4.2.4. Elektriksel Özdirenç Deney Sonuçları	63
4.2.4. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları	65
4.2.5. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları.....	66
4.2.6. Hızlandırılmış Klor Geçirgenliği Deney Sonuçları.....	67
4.2.7. Hızlandırılmış Korozyon Deney Sonuçları.....	68
4.2.8. AE Deney Sonuçları.....	73
4.2.8.1. AE Basınç Dayanımı Sonuçları	73
4.2.8.2. AE Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları	78
4.2.8.3. AE Çatlak Analizi Sonuçları.....	83
4.2.8.4. AE Hızlandırılmış Korozyon Deneyi Sonuçları	89

5. SONUÇLAR ve ÖNERİ	94
KAYNAKLAR	100



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kullanılan toz malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	29
Çizelge 3.2. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri.....	31
Çizelge 3.3. KYB karışımında uygulanacak sınır değerleri.....	32
Çizelge 3.4. 1 m ³ KYB için gerekli malzeme miktarları (kg).....	33
Çizelge 3.5. KYB özelliklerini belirlemek için uygulanan deneyler	34
Çizelge 3.6. ASTM C 1202-12 Klor geçirgenliğinde sınır yük değerleri (ASTM C1202-12 2017)	44
Çizelge 3.7. Ultrases geçiş hızı aralıkları ve beton kalitesi (Whitehurst, 1951)	46



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Agregaların elek analizi	30
Şekil 3.2. Farklı boyutlarda kalıplara yerleştirilen deney numuneleri	33
Şekil 3.3. Çökme yayılma deney düzeneği	35
Şekil 3.4. J halkası deney düzeneği.....	36
Şekil 3.5. V hunisi deney düzeneği.....	37
Şekil 3.6. L kutusu deney düzeneği	38
Şekil 3.7. U kutusu deney düzeneği	39
Şekil 3.8. Doldurma kutusu deney düzeneği.....	40
Şekil 3.9. Beton basınç presisi.....	41
Şekil 3.10. Yarmada çekme deney aparatı	41
Şekil 3.11. Arşimet prensibi ile çalışan tartı	42
Şekil 3.12. Kapiler su emme düzeneği.....	43
Şekil 3.13. Hızlandırılmış klor geçirgenliği deney düzeneği.....	45
Şekil 3.14. Ultrases geçiş hızı deney düzeneği	46
Şekil 3.15. Elektriksel öz direnç ölçüm düzeneği	47
Şekil 3.16. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği	48
Şekil 3.17. AE yönteminin hızlandırılmış korozyon deney düzeneğine uygulanması	49
Şekil 3.18. Hızlandırılmış korozyon deneyi öncesi hazırlanan donatı ve deney sonrasında KYB numuneleri	49
Şekil 3.19. 32 kanallı Vallen AE cihazı ve piezoelektrik sensör	50
Şekil 3.20. Piezoelektrik sensörlerin KYB yüzeyine konumlandırılması ve kalem kırma yöntemi	51
Şekil 3.21. AE Dalga Formu	52
Şekil 3.22. Çatlak sınıflandırması	53
Şekil 4.1. KYB'lerin taze halde yayılma çapı ve T50 süresi sonuçları.....	54
Şekil 4.2. KYB'lerin taze halde V hunisi akma süreleri	55
Şekil 4.3. KYB'lerin taze halde J halkası yayılma çapı ve T500 süresi sonuçları.....	56
Şekil 4.4. KYB'lerin taze halde J halkası seviye farkı sonuçları	56
Şekil 4.5. KYB'lerin taze halde L kutusu H1/H2 oranı	57
Şekil 4.6. KYB'lerin taze halde U kutusu H2-H1 farkı sonuçları	57
Şekil 4.7. KYB'lerin taze halde doldurma kutusu sonuçları.....	58

Şekil 4.8. Basınç dayanımı sonuçları	60
Şekil 4.9. Yarmada çekme dayanımı sonuçları	61
Şekil 4.10. KYB'lerin yüzde su emme sonuçları	62
Şekil 4.11. KYB'lerin yüzde porozite sonuçları	62
Şekil 4.12. Farklı frekans değerlerinde ölçülen 28 günlük elektriksel özdirenç sonuçları	64
Şekil 4.13. Farklı frekans değerlerinde ölçülen 56 günlük elektriksel özdirenç sonuçları	64
Şekil 4.14. Farklı frekans değerlerinde ölçülen 90 günlük elektriksel özdirenç sonuçları	65
Şekil 4.15. Kapiler su emme deneyi sonuçları	66
Şekil 4.16. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları	67
Şekil 4.17. Klor geçirgenliği sonuçları	68
Şekil 4.18. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda kaydedilen akım veriler (a): referans numune ve UK kullanılan numuneler (b): referans numune ve MT kullanılan numuneler	70
Şekil 4.19. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda kaydedilen çözelti sıcaklıklar (a): referans numune ve UK kullanılan numuneler (b): referans numune ve MT kullanılan numuneler	71
Şekil 4.20. Korozyon başlama süreleri	72
Şekil 4.21. Donatı ağırlık kayıpları	73
Şekil 4.22. Basınç dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE genlik sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	74
Şekil 4.23. Basınç dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE enerji sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	76
Şekil 4.24. Basınç dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE olay sayıları sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	78
Şekil 4.25. Yarmada çekme dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE genlik sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	80
Şekil 4.26. Yarmada çekme dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE enerji sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	81
Şekil 4.27. Yarmada çekme dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE olay sayısı sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	83

Şekil 4.28. Basınç dayanımı deneyi esnasında AF-RA sonuçları (a): REF, (b):UK20, (c):MT20	85
Şekil 4.29. Yarmada çekme dayanımı deneyi esnasında AF-RA sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20.....	86
Şekil 4.30. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında AF-RA sonuçları (a): REF, (b):UK20, (c):MT20.....	88
Şekil 4.31. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında ölçülen akım ve AE genlik sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	90
Şekil 4.32. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında ölçülen akım ve AE enerji sonuçları (a): REF, (b):UK20, (c):MT20	92
Şekil 4.33. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında ölçülen akım ve AE olay sayısı sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20	93

SİMGELER ve KISALTMALAR

A	Numune Yüzey Alanı	(m ² -cm ²)
AE	Akustik Emisyon	(-)
AF	Ortalama Frekans	(kHz)
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit	(-)
Ca(OH)	Kalsiyum Hidroksit	(-)
CaO	Kalsiyum Oksit	(-)
DC	Doğru Akım	(Amper)
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit	(-)
K	Kapilerite katsayısı	(cm ² /sn)
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton	(-)
L	Plakaların ara mesafesi	(m)
MgO	Magnezyum Oksit	(-)
MT	Mermer Tozu	(-)
Na ₂ O	Sodyum Oksit	(-)
NaCl	Sodyum Klorür	(-)
Q	Emilen Su Miktarı	(cm ³)
R	Direnç	(kohm)
RA	Yükselme zamanı/maksimum genlik	(ms/V)
SD	Silis Dumanı	(-)
SiO ₂	Silikat	(-)
T	Zaman	(sn)
TU	Taş Unu	(-)
UK	Uçucu Kül	(-)
V	Hız	(m/sn)
X	Yol	(m)
YFC	Yüksek Fırın Cürufu	(-)
δ	Elektriksel öz direnç	(kohm.m)

1. GİRİŞ

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), yoğun donatılı, dar ve derin kesitlerde homojenliğini ve stabilitesini (ayrışma, terleme vb. olmadan) koruyan ve iç-dış vibrasyon gerektirmeden kendi ağırlığı ile yerleşip sıkışabilen akıcı kıvamlı bir beton türüdür (Daczko 2012). İlk olarak 1990 yılında, betonun homojenliğini ve yerleşebilme yeteneğini artırmak için Japonya'da geliştirilmiştir (Seddik ve Berounal 2013). KYB ayrıca ayrışma ve segregasyona karşı yüksek dirence sahiptir. KYB, az işçilik gerektirir, kolayca pompalanabilir ve çok daha az gürültü kirliliğine sebep olur (Hassan vd. 2010). Bu nedenle özellikle gece beton dökümü ve iş güvenliği açısından kolaylık sağlar. KYB, daha hızlı inşaat süresi ile hızlı bir yerleştirme süreci sunar. Bu gibi birçok avantajları nedeniyle, KYB artık tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır (Mousavinejad vd., 2023; Karahan vd., 2012; Malazdrewicz vd., 2023). KYB'nin karışım tasarımı, nispeten daha düşük bir su/bağlayıcı oranı, daha az kaba agrega içeriği ve daha yüksek hamur hacmi gerektirir. Bunlara ek olarak, yüksek oranda su azaltıcı katkı ve/veya viskozite değiştirici katkıları gibi kimyasal katkıları taze hal özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır (Ranjbar vd., 2013). KYB'nin taze hal özellikleri, bileşenleri arasındaki etkileşime önemli ölçüde bağlıdır. KYB karışımlarının üretiminde çimentoya ikame olarak Silis Dumanı (SD), Yüksek Fırın Cürufu (YFC), Uçucu Kül (UK), Mermer Tozu (MT) vb. mineral katkıları kullanılmaktadır (Kannan ve Ganesan 2014; Yurt, 2015). KYB'nin taze ve sertleşmiş özelliklerinin iyileştirilmesinin yanında, bu mineral katkıların inşaatla kullanılması, atık malzeme birikimini ve portland çimentosu üretimi talebini azaltır. KYB karışımlarının belirlenmesi, agregaların miktarı ve tane boyutu dağılımı, çimento ve mineral katkıların miktarları, filler tozun tane boyutu dağılımı ve süperakışkanlaştırıcı ve/veya viskozite değiştirici katkı dozları gibi çeşitli faktörlere bağlı olması nedeniyle karmaşık bir süreç olarak kabul edilir (Hemalatha vd., 2015).

Normal beton veya KYB gibi özel beton türlerinden tercih yapılırken kullanım yeri ve ortam koşulları göz önünde bulundurularak yalnızca dayanım özelliklerine göre değil dayanıklılık özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Dayanıklılık, yalnızca bir dizi teknik performans özelliği ile ilgili olduğu için değil, aynı zamanda inşaatın sürdürülebilirliği ve çevresel etkisi açısından da önemli bir faktördür. Yapılar zaman içinde ne kadar dayanıklı olursa, bir yapının değiştirilmesi veya onarımı yoluyla

çevresel zararlı etkileri o kadar az olacaktır (Hussain, 2011). Betonda dayanıklılık kaybına sebep olan yüksek sıcaklık etkisi, asit etkisi ve donma çözünme gibi birçok bozulma çeşidi mevcuttur (Witkowska-Dobrev vd., 2023; Zhang vd., 2023; Li ve Liang 2023). Bozulmanın nedenlerinden biri olarak, donatı korozyonu, içerdği ekonomik ve sosyal etki nedeniyle önemli araştırma konularından biridir. Betonda donatı korozyonuyla tetiklenen beton yapıların yapısal bozulması, inşaat endüstrisinin karşılaştığı başlıca dayanıklılık sorunu olmaya devam etmektedir (Yodsuddjai ve Pattarakittam, 2017). Donatı korozyonu, betona karbondioksit veya klorür iyonu girişi ile harekete geçer ve donatıyı korozyona karşı koruyan (pasifleştirmek) alkali hidratlı çimento ürünleri ile reaksiyona girer. Korozyon oluştukça, donatının enine kesiti azalır, böylece çekme ve eğilme mukavemeti kapasiteleri kaybolur (Qiao vd., 2014). Bu durum, betonda yapısal çatlaklara yol açacağı için yapının yük taşıma kabiliyetini azaltır. KYB, normal betona oranla daha düşük gözenekliliğe sahip olması sebebiyle donatı korozyonunun gerçekleşmesi için gerekli karbondioksit veya klorür iyonu girişini azaltarak, donatı korozyona karşı daha dirençlidir.

Betonarme yapılarda meydana gelen ve dayanıklılığı azaltan bu bozulmaların saptanması, seviyesinin belirlenmesi için tahribatsız deney yöntemleri kullanılmaktadır, böylece betonarme yapıların inşaat kalitesi ile ilgili önemli bilgiler elde edilebilir. Tahribatsız deney yöntemleri malzemelerin fiziki yapısına ve kullanılabilirliğine zarar vermeden, iç yapısında ve yüzeyinde bulunan süreksizliklerin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Tahribatsız deney yöntemlerinde ultrasonik ve jeofizik birçok yöntem mevcuttur (Almalki 2023; Ali-Benyahia vd., 2023; Gagan ve Singh 2023). Akustik Emisyon (AE) bu tahribatsız deney yöntemlerinden biridir. Tahribatsız deney yöntemler ile büyük alanlar hızlıca muayene edilerek yapının özellikleri ve durumu hakkında detaylı bilgi sahibi olunması sağlanabilir. Elde edilen bu bilgiler, betonun basınç dayanımını tespit için alınan karot numuneleri veya donatılarda oluşan korozyonu tespit etmek için pas payının kaldırılması gibi tahribatlı muayene, numune sayılarının azaltılmasında kullanılabilir (Wang vd., 2023).

Bu tez çalışmasında dayanımı ve dayanıklılığı yüksek bir beton elde etmek amacıyla KYB türü tercih edilmiştir. KYB'nin basınç dayanım deneyi, yarmada çekme dayanım deneyi ve hızlandırılmış korozyon deneyleri sırasında eş zamanlı olarak AE yöntemiyle incelemesi yapılmıştır. KYB üretiminde mineral katkı olarak UK ve MT

kullanılmıştır. Mineral içermeyen yalnızca çimento ile üretilen bir seriye ek olarak, 2 farklı mineral katkının (UK ve MT) 3 farklı oranda (%10, %20 ve %30) kullanılmasıyla toplamda 7 seri KYB üretilmiştir. İlk olarak KYB'lerin taze hal deneyleri gerçekleştirilip üretilen serilerin akış ve geçiş yetenekleri ölçülmüştür. Sertleşmiş KYB deneylerinde su emme, porozite, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, hızlandırılmış klor geçirgenliği, elektriksel özdirenç, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve hızlandırılmış korozyon deneyleri uygulanmıştır. Literatürde incelendiğinde AE yönteminin farklı malzemelerde ve farklı deneyler sırasında izleme yöntemi olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak KYB'de mineral katkı etkisinin incelendiği aynı zamanda mekanik yüklerin yanında donatı korozyon davranışının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle AE parametreleri basınç ve yarmada çekme dayanım deneylerinden elde edilen yük ve hızlandırılmış korozyon deneyinden elde edilen akım verileriyle karşılaştırılarak farklı mineral katkıyla üretilen KYB davranışı gözlemlenmiş ve çatlak analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak AE yöntemiyle hem çatlak analizi hem de çatlak oluşumunun izlenmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup KYB davranışlarında mineral katkı etkisiyle oluşan farklılıklar gözlemlenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan beton türü olan KYB, hızlandırılmış donatı korozyon deneyi ve tahribatsız deney yöntemlerinden olan AE yöntemi hakkında yapılan literatür çalışmaları sunulmuştur. Bölüm sonunda literatür özeti sunulmuştur.

KYB ile İlgili Literatür Çalışmaları

Dadsetan ve Bai yapmış oldukları çalışmada metakaolin, YFC ve UK kullanarak ürettikleri KYB'lerin mekanik ve mikroyapısal özelliklerini araştırmışlardır. Metakaolini çimento ile %10 ve %20 oranlarında, YFC ve UK'ı %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirme yaparak kullanmışlardır. Bağlayıcı dozunu 400 kg/m^3 olarak sabit tutup, su/bağlayıcı oranını 0.4 ve 0.45 olmak üzere 2 farklı oranda belirlemişlerdir. Taze hal özelliklerini belirlemek üzere Yayılma, J halkası, L kutusu, U kutusu ve V hunisi deneylerini uygulamışlardır. 7, 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde basınç dayanımlarını ve elastisite modüllerini saptamışlardır. Mikroyapısal analiz olarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X Işını Spektroskopisi (XRD) analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak tüm karışımların taze halde KYB özelliği gösterdiğini, kullanılan mineral katkıların basınç dayanımlarında ve elastisite modüllerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir (Dadsetan ve Bai 2017).

Sua-iam ve Makul, KYB üretiminde yüksek oranda UK ve geri dönüştürülmüş alümina atığı kullanmışlardır. UK'ı çimento ile ağırlıkça %40 ve %60 oranlarında, geri dönüştürülmüş alümina atığını ise ince agrega yerine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ikame ederek karışıma dahil etmişlerdir. KYB karışımlarının işlenebilirliğini ve mekanik özelliklerini yayılma, J halkası, V hunisi, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleriyle incelemişlerdir. İncelenen özellikler sonucunda geri dönüştürülmüş alümina atığı oranının artmasıyla daha yüksek bağlayıcıya ihtiyaç duyulduğu ve UK oranının artışıyla işlenebilirlikte azalma olduğu sonucuna varılmıştır. Optimum kullanım oranını UK için %40, geri dönüştürülmüş alümina atığı için %50 olarak belirlemişlerdir. Yüksek hacimlerde UK ve geri dönüştürülmüş alümina atığı kullanarak KYB'i daha ekonomik üretmenin mümkün olacağını ayrıca mineral katkı ilavesi kullanılan çimento miktarını azaltarak karbondioksit emisyonlarını azaltabileceği sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda nehir kumu yerine

geri dönüştürülmüş ince agrega kullanarak da beton üretiminin sürdürülebilirliğini artırabilir ve bu sayede çevre dostu KYB geliştirilebileceğini bildirmişlerdir (Sua-iam ve Makul 2017).

Almuwbber vd., farklı fabrikalarda üretilen çimento, iki farklı tür UK, iki farklı süperakışkanlaştırıcı ve YFC içeren KYB'ler üreterek taze ve sertleşmiş beton özelliklerini araştırmışlardır. KYB üretiminde dolgu malzemesi olarak Tuğla Unu (TU), çimento olarak ise 4 farklı fabrikada üretilen CEM I 52.5 R tipi çimentoyu kontrol numunelerinde 418 kg/m³ dozda kullanmışlardır. KYB karışımlarında TU çimento türüne göre ağırlıkça %35 veya %25 olarak, UK her çimento türünde %10, %20, %30 ve %40, YFC ise her çimento türünde %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında ikame etmişlerdir. Taze hal özelliklerini belirlemek amacıyla yayımla, T500 süresi ve elek ayrışma deneyleri, mekanik özelliği için 7 ve 28 günlük sürelerde basınç dayanımı deneyleri uygulamışlardır. Uygulanan deneyler sonucunda karışım tasarımı yalnızca çimento türünün dikkate alınmasının yeterli olmadığını, çimento ile kullanılan dolgu malzemesinin ve kimyasal katkı etkileşiminin ve uyumunun önemli olduğunu bildirmişlerdir. Kullanılan mineral katkının türünün ve oranının ise diğer bileşenlere bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır (Almuwbber vd., 2018).

Pelisser vd., metakaolin ve UK ile üretmiş oldukları KYB'lerin reolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ürettikleri KYB'lerin geçiş yeteneği, ayrışma direnci ve yayılmasını belirlemek üzere yayılma deneyine ve L kutusu deneyine tabi tutmuşlardır. KYB karışımlarında hedef dayanımlarını 20, 25, 30 ve 40 MPa olarak belirlemişlerdir. Çimento miktarını en aza indirebilmek için çimento/agrega oranlarını değiştirmişlerdir ve en iyi sonucu 1:7.45 oranında gözlemlemişlerdir. Agregası ve mineral katkı oranlarını değiştirerek yapmış oldukları farklı kombinasyonlarla düşük çimentolu KYB üretimi gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak metakaolin ve UK kullanımıyla standart akışkanlık değerleri arasında kalan KYB'ler üretilebileceğini ve istenilen dayanımların elde edilebileceğini göstermişlerdir (Pelisser vd., 2018).

Mansoor vd., KYB üretiminde YFC, SD, MT ve UK gibi mineral katkıları kullanmışlardır. Kullanılan bu mineral katkıların KYB'nin özellikleri üzerine etkisini ve kullanım oranlarının belirlenmesini amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda katkı

türü, katkı oranı, kür süresi ve kür sıcaklığı gibi parametreleri Yapay Sinir Ağı yöntemi kullanarak KYB'nin mekanik özelliklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. İlk olarak, üretilen taze haldeki KYB'lere yayılma deneyi, V hunisi ve J halkası deneyi uygulayarak işlenebilirliklerini, sertleşmiş beton özellikleri için ise basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada mineral katkı kullanımıyla çevre kirliliğinin ve üretim maliyetinin azaltılacağı bunun sonucunda da KYB'nin kullanılabilirliğinin arttırılabileceği sonucuna varılmışlardır (Mansoor vd., 2018).

Huang vd., çalışmalarında polikarboksilat esaslı hava sürükleyici katkı ve viskozite düzenleyici katkıyı farklı kombinasyonlarda kullanarak KYB'nin reolojik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu katkı kombinasyonu ile üretilen KYB'nin davranışını tanımlamak için Bingham modelini uygulamışlardır. Çalışmalarının sonucunda, KYB'nin hem akma gerilmesi hem de plastik viskozitesinin önemli ölçüde azaldığını göstermişlerdir. Hava sürükleyici katkı ilavesi akma gerilmesinin artmasına ve plastik viskozitesinin azaldığını göstermişlerdir (Huang vd., 2018).

Benaicha vd., araştırmalarında süperakışkanlaştırıcı katkı kullanarak KYB'nin reoloji ve basınç dayanımını incelemişlerdir. Beton karışımları 8 farklı süperakışkanlaştırıcı oranı içermektedir. Kullanılan reoloji ölçümleri arasında, yayılma, V hunisi, L kutusu, ayrışma direnci ve plastik viskozite yer almaktadır. Araştırma sonucu olarak, süper akışkanlaştırıcı katkı oranının artmasıyla basınç dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir. KYB'lerin reolojik özellikleri ile basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi formüle etmişlerdir (Benaicha vd., 2019).

Mahapatra ve Barai, kıvrımlı çelik lif ve polipropilen lif ile birlikte UK ve nano silika kullanarak ürettikleri KYB'lerin taze hal ve sertleşmiş mekanik dayanımlarını incelemişlerdir. Çimentonun miktarına göre ağırlıkça UK %5, %10, %15 ve %20, nano silikayı ise %0.1, %0.2, %0.3 ve %0.4 oranlarında kullanmışlardır. Betonun hacmine göre kıvrımlı çelik lifi %0.5, %0.75, %1.0 ve %1.25, polipropilen lifi ise %0.042, %0.084, %0.125 ve %0.167 oranlarında hacimce ilave etmişlerdir. Taze hal özelliklerini belirlemek üzere yayılma, V hunisi ve L kutusu deneylerini uygulamışlar ve sonucunda taze hal özellikleri ile lif oranının arasında güçlü bir korelasyon

olduğunu saptamışlardır. Sertleşmiş KYB deneylerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneylerinin yansıra ultrases geçiş hızı, beton test çekici ve klor geçirgenliği gibi tahribatsız deney yöntemleri de uygulamışlardır. KYB karışımlarının hem taze hem de sertleşmiş beton özelliklerinin incelemesi sonucunda da en ideal UK katkı oranının %10, kıvrımlı çelik lif ilave oranının %1.25, polipropilen lif ilave oranının ise %0.167 olduğunu belirtmişlerdir (Mahapatra ve Barai 2019).

Meera vd., 2020, yapmış oldukları çalışmada MT ve granit tozlarını KYB’de mineral katkı olarak kullanmışlardır. MT ve granit tozlarının kullanımının KYB’nin reolojik özelliklerine ve dayanım özelliklerine nasıl etki ettiğini araştırmışlardır. Bu reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla yayılma tablası, T500 süresi, V hunisi, dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla ise basınç ve yarmada çekme dayanımı deneylerini uygulamışlardır. Deneysel çalışmalar neticesinde MT ve granit tozunun 360 kg/m^3 dozda yüksek dayanımlı, 230 kg/m^3 dozda düşük dayanımlı KYB üretiminde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Meera vd., 2020).

Danish ve Ganesh, KYB üretiminde mineral katkı olarak UK ve Metakaolin, dolgu malzemesi olarak MT kullanmışlardır. Metakaolini %5-20 arasında, UK %15 oranında çimentoyla, MT’i ise ince agrega ile %20 oranında yer değiştirme yaparak kullanmışlardır. KYB üretiminde mineral katkı kullanımıyla birlikte gözenekliliğin ve kılcal su emmenin azaldığı ve asite karşı direncinin arttığını gözlemlemişlerdir. İnce agrega yerine MT kullanımıyla KYB’nin daha ekonomik, ekolojik ve çevre açısından yararlı olabileceği sonucuna varmışlardır. Yapmış oldukları kılcal su emme, basınç dayanımı ve asit etkisi incelemeleri sonucunda en ideal mineral katkı oranının metakaolin için %12.5-%15 arasında olduğunu, UK’nın ise %15 oranında kullanılabilir olduğu sonucunu belirtmişlerdir (Danish ve Ganesh 2020).

Danish ve Mohan Ganesh 2021 yılında KYB üretiminde metakaolin ve MT’nin mineral katkı olarak kullanımını araştırarak derleme bir makale ortaya koymuşlardır. Genel olarak KYB üretiminde kullanılan mineral katkıların YFC, kireç tozu, metakaolin, UK ve SD gibi çok sayıda olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapmış oldukları derleme makalede daha çok metakaolin ve MT üzerine yapılan çalışmalara yoğunlaşmışlardır. Her iki mineralinde KYB’nin taze hal, dayanım ve dayanıklılık

özellikleri üzerine olumlu etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Metakaolinin ve MT'nin daha az karbondioksit salınımıyla çevre kirliliğini azaltmada önemli rol oynadığını ve KYB'nin ayrışma direncini, geçirimsizliğini ve maliyetini azalttığını bildirmişlerdir (Danish ve Mohan Ganesh 2021).

Choudhary vd., 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada, SD, UK ve MT içeren yüksek dayanımlı KYB'lerin dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir. Kullanılan mineral katkıları ayrı ayrı yerine farklı kombinasyonlar yaparak birlikte kullanmışlardır. Taze hal özelliklerini belirlemek için yayılma, T500 süresi, V hunisi, J halkası ve L kutusu deneylerini gerçekleştirmişler ve üretilen tüm numunelerin taze hal sonuçlarının kabul edilebilir sınırlar arasında olduğunu belirtmişlerdir. Sertleşmiş KYB deneylerinde basınç dayanımı, su geçirimsizliği, klorür penetrasyonu, hızlandırılmış karbonatlaşma, aşınma, kuruma büzülme ve hızlandırılmış korozyon deneylerini uygulamışlardır. Sonuç olarak mineral katkı ilavesinin KYB'lerin dayanıklılık özelliklerini iyileştirdiğini ve en iyi deney sonuçlarının MT'nin %10, UK'nın %15 ve SD 'nin %5 oranında birlikte kullanılmasıyla üretilen numunede olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu en iyi deney sonuçlarını veren numunede yalnızca çimento ile üretilen numuneye kıyasla su geçirgenliğinin %84 oranında, klor penetrasyonunun %64 oranında daha az olduğunu, korozyon ve kuruma büzülme deneylerinde ise daha yüksek dayanıklılık gösterdiği sonucuna varmışlardır (Choudhary vd., 2021).

Mustapha vd., yapmış oldukları çalışmada UK ve SD kullanarak yüksek dayanımlı KYB üretimi gerçekleştirmişlerdir. Mineral katkı olan UK'yı yüksek oranlarda kullanarak çevre dostu ve ekonomik KYB elde etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda KYB karışımlarında çimento ile ağırlıkça UK %0, %25, %40, %50, %65 ve %75 oranlarında, SD ise %10 oranında kullanmışlardır. Su/bağlayıcı oranını 0.31 olarak sabit tutmuşlardır. Taze hal özelliklerini belirlemek için yayılma, L kutusu ve V hunisi deneylerini, 7 ve 28. günde basınç dayanım deneylerini uygulamışlardır. Taze halde tüm karışımların KYB özelliği gösterdiğini bildirmişlerdir. En iyi basınç dayanımını 87.06 MPa olarak, %40 çimento, %50 UK ve %10 SD kullanılarak üretilen numunede belirlemişlerdir. Bu numunenin basınç dayanımının yalnızca çimento ile

Üretilen numuneye oranla %5 oranında daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır (Mustapha vd., 2021).

Jarugumalli ve Madupu, 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada MT’i imento ile %10, %20, %30, %40 ve %50 olmak üzere 5 farklı oranlarda ikame ederek ürettikleri KYB’lerin taze hal özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. KYB tasarımında su/bağlayıcı oranını 0.48 olarak seçmişlerdir. Taze hal özelliklerini belirlemek amacıyla yayılma, T500 süresi, V hunisi, U kutusu, L kutusu ve halkası deneylerini gerçekleştirmişlerdir. MT’nin %40 oranına kadar kullanımıyla yayılma çapının arttığı ve %50 oranında azaldığı gözlemlemişlerdir. MT oranının artışıyla birlikte V hunisi deneyi sonucunda akış süresinin arttığı, L kutusu deneyi sonucunda blokaj oranının (H2/H1) azaldığı, U kutusu ve J halkası deneyleri sonucunda ise geçiş yeteneğinin azaldığı görülmüştür. Genel olarak MT’nin %40 oranına kadar kullanılabileceği, bu oranın üzerine çıkıldığında ayrışmanın meydana geldiğini bildirmişlerdir (Jarugumalli ve Madupu 2022).

Shen vd., yapmış oldukları çalışmada KYB’nin yüksek oranda bağlayıcı içermesinden kaynaklı fazla imento tüketiminin sebep olduğu çevresel etkisini azaltmak amacıyla daha yüksek miktarda iri agrega ve UK ikameli karışım tasarımı ortaya koymuşlardır. En ideal iri agrega oranını %60 olarak, UK oranını ise %30 olarak belirlemişlerdir. Geleneksel KYB karışımlarında kumun hacim oranının %55’i geçmemesi istenmekte ve yaygın olarak %48 olarak kullanılmaktadır. Geleneksel kullanıma kıyasla iri agrega ve UK oranının artmasıyla, daha iyi mekanik dayanımları, daha düşük büzülme ve gözenek oranlarını elde etmişlerdir. KYB’de UK’nın %30 oranında kullanılmasıyla üretilen numunenin basınç dayanımı, yalnızca imento ile üretilen referans numunesine göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Geleneksel imento ile üretilen KYB yerine yüksek oranda UK içeren KYB’lerin daha ekonomik, evre zararını azaltarak çevreci bir beton türü olabileceğini önermişlerdir (Shen vd., 2022).

Anandaraj vd., 2022 yılında UK, MT ve TU mineral katkılarının KYB’nin taze hal özellikleri ve mekanik dayanımları üzerine etkisini araştırmışlardır. TU ve UK imento ile yer değiştirme yapılarak %0, %10 ve %15, MT ise %5 ve %10 oranlarında kullanmışlardır. Taze halde yayılma, V hunisi, U kutusu ve L kutusu deneylerini,

mekanik dayanımlarını belirlemek üzere 7, 14 ve 28 günlük numunelere basınç, yarmada çekme ve eğilme deneyleri uygulamışlardır. Kullanılan 3 mineral katkıda da taze halde KYB özelliklerinin sağlandığını ve mekanik dayanım artışlarına neden olduğu sonucuna varmışlardır (Anandaraj vd., 2022).

Pereira vd., 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada mermer ve granit atıklarının KYB’de dolgu malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. KYB karışımlarının taze haldeki özellikleri, mekanik özellikleri, dayanıklılığı ve mikroyapısal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Dolgu malzemesi olarak kireçtaşı, metakaolinin yanında mermer ve granit atıklarını kullanmışlardır. Su/bağlayıcı oranını 0.45 olarak sabit tutmuşlardır. Genel olarak, mermer ve granit atıklarının KYB üretiminde ince bir malzeme olarak filler malzeme veya çimentoyla mineral katkı olarak kullanılmasıyla atık tüketimine yarar sağlanabileceği sonucuna varmışlardır (Pereira vd., 2022).

Arun Kumar vd., 2022 yılında KYB üretiminde mermer atığının agrega olarak ve polipropilen lifle birlikte kullanımını araştırmışlardır. Mermer atığı agregasını KYB’de kum ile %20, %30 ve %40 oranlarında ikame ederek, polipropilen lifi ise hacimce sabit %0.4 oranında kullanmışlardır. Ürettikleri KYB’lerin taze hal özelliklerini, 7 ve 28 günlük basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımlarını incelemişlerdir. Taze hal özelliklerine bakıldığında tüm numunelerin KYB olabilmesi için gerekli sınır değerlerinde olduğunu ancak mermer atığı agrega oranının artmasıyla birlikte geçme ve doldurma yeteneğinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Mermer atığı agregasının %40 oranında lifle birlikte kullanılabileceği ek olarak mekanik dayanımlarında da artış gösterdiğini bildirmişlerdir (Arun Kumar vd., 2022).

Zhang vd., 2022 yılında KYB üretiminde çimento miktarını azaltmak için mineral katkı, KYB’nin eğilme dayanımını arttırmak için hacimce %1, %2 ve %3 oranlarında lif kullanmışlardır. Mineral katkı olarak UK, zeolit ve volastonit, lif olarak ise aktif jüt lif seçmişlerdir. Mineral katkı ve jüt lif içeriğinin KYB’nin işlenebilirliği ve mekanik özellikleri üzerine etkisini yayılma deneyi, basınç ve eğilme dayanımı deneyleriyle ölçmüşlerdir. Mineral katkılarının ve jüt liflerinin KYB’nin işlenebilirliğini ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirebileceği sonucuna varılmışlardır. Mikroyapı

gözlemleri neticesinde, KYB üretiminde kullanılan en ideal lif oranıyla mekanik özelliklerinin arttırılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır (Zhang vd., 2022).

Elsayed vd., 2022 yılında YFC ve UK katkılı KYB ile ürettikleri kirişlerin mekanik dayanımlarını incelemişlerdir. YFC ve UK'ı çimento ile farklı oranlarda aynı anda ikisini veya birini ikame ederek çimentoyla birlikte ikili veya üçlü kombinasyonlar yaparak farklı KYB'ler üretmişlerdir. Mineral katkının çimento ile ağırlıkça ikame oranlarını %0, %25 ve %50 olarak belirlemişlerdir. Üçlü kombinasyonlarda ise %25 olan mineral katkı ikame oranının da yarı yarıya olacak şekilde karışıma YFC ve UK dahil edilmiştir. KYB'lerin taze hal özelliklerini belirlemek amacıyla yayılma, V hunisi ve L kutusu deneylerini uygulamışlardır. Mekanik dayanım üzerine etkisini araştırmak amacıyla da hem donatılı hem donatısız 120x150x1500 mm boyutlarında kirişler üreterek dört noktalı eğilme dayanımı deneyine, aynı zamanda donatısız KYB numunelerini basınç ve yarmada çekme dayanım deneylerine tabi tutmuşlardır. Taze halde uygulanan deneyler sonucunda tüm serilerin KYB olarak kabul edilir sınır değerlerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Mekanik dayanım deneyleri sonucunda hem çevre hem de mühendislik açısından, %50 çimento, %25 YFC ve %25 UK bazlı üçlü bağlayıcıların bir kombinasyonunun, KYB karışımında kullanılabilecek en ideal karışım olduğunu belirlemişlerdir (Elsayed vd., 2022).

Betonarmede Donatı Korozyonu ile İlgili Literatür Çalışmaları

Yodsudjai ve Pattarakittam, 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada betonarmede korozyon davranışının ölçüm yöntemlerinden biri olan yarı hücre potansiyel ölçümleri üzerine klor içeriğinin, pas payının, basınç dayanımını ve nem içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Araştırma doğrultusunda 3 farklı pas payı ölçüsü (25, 50 ve 100 mm), 3 farklı klor oranı (%0.6, %1.2 ve %1.8) ve iki farklı basınç dayanımı (14.67 MPa ve 20.59 MPa) seçmişlerdir. Yarı hücre potansiyel ölçümlerini birer haftalık ıslanma kuruma döngülerinde 140 gün boyunca düzenli olarak almışlardır. Islak çevrimde deniz suyunu temsil etmesi için %3 NaCl çözeltisi kullanmışlardır. Sonuç olarak yarı hücre potansiyelinin, klorür içeriğinin, pas payının ve nem içeriğinin artmasıyla azaldığı ancak basınç dayanımının artmasıyla arttığı gözlemlemişlerdir (Yodsudjai ve Pattarakittam 2017).

Van Zijl ve Paul, 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada farklı pas payı ile ürettikleri donatılı betonları farklı Volt değerlerinde gerilim uygulayarak hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutmuşlardır. Pas payını 15, 25 ve 35 mm olarak, gerilim değerini 10, 20 ve 30 Volt olarak belirlemişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyinde çözelti olarak %5 NaCl kullanmışlardır. Deney sonucunda donatılarda meydana gelen ağırlık kayıplarını incelemişlerdir. Sonuç olarak artan gerilim ve pas payının azalmasıyla birlikte klorür kaynaklı korozyonun hızlandığı bildirmişlerdir. En yüksek donatı ağırlık kaybı pas payı 15 mm olan ve 30 Volt gerilim uygulanan numunede gözlemlenmiştir (van Zijl ve Paul 2018).

Franco-Luján vd., UK ve şeker kamışı külünü kullanarak ürettikleri betonların donatı korozyonunu incelemişlerdir. Üretmiş oldukları betonların 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarını, klorür-iyon difüzyonlarını, boşluk oranlarını, mikroyapısal incelemelerini ve donatı korozyonlarını belirlemişlerdir. Korozyon deneyinde donatılı ürettikleri beton numunelerini NaCl çözeltisinde bekleterek haftalık olarak yarı hücre potansiyel ölçümlerini ve lineer polarizasyon dirençlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak UK ve şeker kamışı külü kombinasyonunun klorür-iyon difüzyonunu azalttığını ve betonun basınç dayanımını etkilemediğini göstermektedir. Mineral katkı olarak kullanımlarının ise klorür kaynaklı korozyona karşı uygun bir seçenek olduğunu önermişlerdir (Franco-Luján vd., 2019).

Sun ve Qiao, 2019 yılında donatılı betonlar üreterek farklı akım yoğunluklarında hızlandırılmış korozyon deneyi uygulamışlardır. Hızlandırılmış korozyon deneyi sürecince betonların çatlak genişliklerini, sistemin çektiği akım miktarını izlemişlerdir. Deney tamamlandıktan sonra beton ve donatı arasındaki aderans kaybını belirlemek için donatı çekme deneyi uygulamışlardır. Hazırlanan donatılı betonları %3.5 NaCl çözeltisine yerleştirerek 200, 400, 600 ve 1000 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olmak üzere 4 farklı akım yoğunluğu uygulamışlardır. Elde ettikleri deney sonucunda sistemin çektiği akım miktarının artmasıyla çatlak genişliğinin de arttığını ve korozyon başlama sürelerinin azaldığı sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda korozyon oranının artmasıyla birlikte donatı çekme deneyi ile tespit ettikleri aderansın, çekilen akım yoğunluğu ile azaldığını bildirmişlerdir (Sun ve Qiao 2019).

Wasim vd., çeşitli klorür ve sıcaklık koşullarında uzun süreli donatı korozyonunu incelemişlerdir. Beton olarak geleneksel beton, KYB ve hafif beton olmak üzere 3 farklı türü kullanmışlardır. Numune boyutunu 100x100x150 mm, klor içeriğini %1, %3 ve %5, sıcaklıkları ise 30, 40 ve 50°C olarak belirlemişlerdir. 365 gün süreyle uyguladıkları hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda hafif betonun donatı korozyon oranlarının geleneksel ve KYB'e kıyasla daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Çeliğin korozyon oranlarını tahmin etmek için deneysel çalışma sonuçlarını kullanarak SPSS programında istatistiksel yaklaşım ile güvenilirliklerini kontrol etmişlerdir (Wasim vd., 2020).

Song vd., 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada kurdukları kanalizasyon sisteminde donatı korozyonunu ve beton bozulmalarını gözlemlemişlerdir. Fiziksel-kimyasal korozyon özelliklerini belirli bölgelerde incelemişlerdir. Donatı paslarının yapısını, SEM, Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS) ve XRD dahil olmak üzere gelişmiş analitik teknikleri kullanılarak analiz etmişlerdir. Bu analitik analizler sonucunda donatı korozyon ürünlerinin demir oksitler, oksihidroksitler, klorürler, sülfidler ve sülfatlar olduğunu ortaya koymuşlardır (Song vd., 2020).

Salami vd., 2020 yılında KYB'de donatı korozyonunu incelemişler ve korozyon başlama sürelerini makine öğrenme yöntemleriyle tahmin etmeye çalışmışlardır. KYB üretiminde toz malzeme olarak TU %10, %20, %30 ve %40 oranlarında kullanmışlardır ve su/bağlayıcı oranını 0.4 olarak sabit tutmuşlardır. Donatı korozyonu için 12 mm çapa sahip olan nervürlü donatıyı pas payı 25 mm olacak şekilde kullanmışlardır. Korozyon deneyi için hazırlamış oldukları donatılı KYB'leri %5 NaCl çözeltisine maruz bırakmışlardır. Uyguladıkları korozyon deneyinde gerilim uygulayıp hızlandırılmış korozyon deneyi yerine çözelti içerisinde 8 ay boyunca bırakılarak belirli aralıklarda elektro potansiyel ölçümler almışlardır. Korozyon başlama süresi tahmini için makine öğrenme yöntemlerinden doğrusal regresyon, k-en yakın komşular, yapay sinir ağı ve destek vektör regresyonu kullanmışlardır. Sonuç olarak, beton karışım parametreleri ile geliştirilen KYB'nin korozyon başlama süresi arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir (Salami vd., 2020).

Yu vd., 2020) yılında yapmış oldukları çalışmada AE yöntemi kullanarak donatı korozyonunun hasar dağılımını araştırmışlardır. Korozyon hasarını tüm donatı boyunca tümüyle incelemek yerine AE kullanarak donatı yüzeyi boyunca dağılımını incelemişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyi için %5 NaCl çözeltisi hazırlanmış ve DC güç kaynağı kullanmışlardır. Donatı yüzeyinde meydana gelen korozyonu sınırlandırmak için PVC boru tercih etmişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyi ile AE ölçümlerini eş zamanlı olarak almışlardır. AE parametrelerinden AE olay sayılarıyla birlikte sinyalin enerjisi de kaydedilmiştir. Sonuç olarak AE enerjisinin donatı boyunca dağılımını çıkartarak, donatı boyunca korozyon dağılımını matematiksel modellerle ortaya koymuşlardır (Yu vd., 2020).

Al-Akhras ve Aleghnimat, 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada normal beton ve KYB’de donatı korozyonunu araştırmışlardır. Her iki beton türünde de mineral katkı olarak UK, su/bağlayıcı oranını iki farklı (0.35 ve 0.45) oranda seçerek 2 adet KYB, 2 adet normal beton üretmişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyi için 100x150x100 mm boyutlarında donatılı kiriş ve 100x100x400 mm boyutlarında donatılı prizmalar üretmişlerdir. Kiriş üretiminde alt çekme bölgesine 2 ϕ 12 mm, üst basınç bölgesine 2 ϕ 10 mm donatı ve 50 mm aralıklarla ϕ 6 çapında etriye döşemişlerdir. Prizma üretiminde ise 14mm çapında tek bir donatıyı merkeze yerleştirmişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyi için %3 NaCl çözeltisine daldırılan numunelere DC güç kaynağından 19 V gerilim uygulayarak 11 gün boyunca devam ettirmişlerdir. Korozyon süresi boyunca yarı hücre potansiyel ölçümleri ve ultrases geçiş hızı ölçümlerini uygulamışlardır. Korozyon süresinin artmasıyla ultrases geçiş hızlarının arttığını ve yarı hücre potansiyellerinin ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Normal betonun KYB’e oranla daha yüksek korozyon potansiyelinin olduğunu bildirmişlerdir (Al-Akhras ve Aleghnimat 2020).

Hossain vd., 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada üretmiş oldukları lif takviyeli hafif KYB’lerin donatı korozyon hasarı sonunda yapısal performansını incelemişlerdir. Lif takviyesinde polivinil alkol, kauçuk lif ve yüksek yoğunluklu polietilen lif kullanmışlardır. Hafif KYB üretmek amacıyla 10 mm tane çapına sahip YFC agregası iri agregası olarak karışıma dahil etmişlerdir. Mineral katkı olarak UK ve SD kullanılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyinde %5 NaCl çözeltisine

500x750x1200 mm boyutlarında üretilen donatılı kirişler yerleştirilerek DC güç kaynağından 30 V gerilim uygulamışlardır. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda donatı ağırlık kayıplarını, donatı çaplarındaki azalmaları ve kayıt alınan akım değerlerini incelemişlerdir. Donatılarda meydana gelen ağırlık kaybı ve kesit azalmalarının sistemin çekmiş olduğunu akım yoğunluğuyla ilişkili olduğunu saptamışlardır. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda polivinil alkol ve kauçuk lifli numunelerde çatlak meydana gelirken yüksek yoğunluklu polietilen lifli numunelerde çatlak gözlenmemiştir (Hossain vd., 2020).

Sohail vd., 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada farklı türde ve kaplamaya sahip donatıların betonda korozyon direncini araştırmışlardır. Donatı olarak 16 mm çapında yumuşak çelik, yüksek mukavemetli çelik, epoksi kaplı çelik ve krom kaplı çelikleri kullanmışlardır. Donatıları 60 mm çapında 350 mm yüksekliğinde silindir numunelere gömerek lolipop betonları hazırlamışlardır. Döngüsel olarak %15 NaCl çözeltisine daldırılıp çıkartılarak ıslanma kuruma çevrimlerini 16 ay boyunca uygulamışlardır. Korozyona maruz kalma süresi boyunca yarı hücre potansiyeli, polarizasyon direnci, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve Tafel tekniklerini kullanmışlardır. Uygulanan korozyon sonucunda değerlendirilen donatıların korozyon dirençlerinin yüksekte düşüğe doğru sırayla epoksi kaplı çelik, krom kaplı çelik, yumuşak çelik ve yüksek mukavemetli çelik şeklinde olduğunu gözlemlemişlerdir (Sohail vd., 2020).

Li vd., 2020 yılında betonda TU ikamesinin betonarme donatı korozyona etkisini incelemişlerdir. TU ikame oranının, yüzey alanının ve su/bağlayıcı oranının donatı korozyonu üzerine etkisini araştırmışlardır. TU 350, 750 ve 100 kg/m³ yüzey alanına sahip 3 farklı incelikte ve çimento ile %15, %30 ve %40 oranlarında ikame ederek 3 farklı oranda kullanmışlardır. Su/bağlayıcı oranını ise 0.3, 0.4 ve 0.5 olmak üzere 3 farklı oranda seçmişlerdir. Donatılı beton numunelerini %4 NaCl çözeltisi kullanarak ıslanma kuruma çevrimlerine tabi tutup yarı hücre potansiyel ölçümü, doğrusal polarizasyon direnci ölçümü ve elektrokimyasal empedans spektrum ölçümlerini yapmışlardır. Alınan ölçümlerde korozyonun başladığı gözlemlendikten sonra klorür içeriğini ve pH miktarını belirleyerek mikro yapı analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, TU içeriği veya su/bağlayıcı oranı arttıkça klorür geçirgenliğimim düştüğünü, TU inceliğinin ise ihmal edilebilir bir etki gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Mikro yapı analizlerinde ise en yoğun mikro yapının TU'nun %15 oranında kullanılan numunede olduğunu bildirmişlerdir (Li vd., 2020).

Jin vd., 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada süper su emici polimer kullanarak deniz ortamına maruz kalan donatılı betonların klor geçirgenliğini ve korozyon direncini incelemişlerdir. Bu süper su emici polimeri beton içerisinde solüsyon halinde 1.0, 1.5 ve 2.0 kg/m³ olacak şekilde tercih etmişlerdir. Beton hesabında çimento dozunu 470 kg/m³ olarak, su/bağlayıcı oranını 0.33 olarak seçmişlerdir. Çimentoya ek olarak UK ve YFC'yi sabit oranda kullanmışlardır. Hazırlanan betonların geçirgenliği, klor içeriklerini belirlemişlerdir. Donatılı betonların ise hızlandırılmış korozyon deneyine maruz bırakmışlardır. Hızlandırılmış korozyon deneyinde çözelti olarak deniz suyunu ve gerilim olarak 30 V kullanmışlardır. Sonuç olarak deniz ortamına maruz kalan donatılı betonlara süper su emici polimer ilavesinin korozyon kaynaklı bozulma sürecini geciktirdiği ve en ideal oranın 1 kg/m³ olduğunu bildirmişlerdir (Jin vd., 2020).

Hay ve Ostertag, 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada donatı-beton arayüzündeki korozyon kaynaklı asitlenmeyi üzerine araştırma yapmışlardır. Bağlayıcı olarak çimentolu ve çimentoya ikame olarak UK ve YFC kullanarak ürettikleri betonların donatı korozyon davranışını incelemişlerdir. Beton üretiminde su/bağlayıcı oranını 0.54, UK ve YFC ikame oranını %50 seçmişlerdir. Korozyon deneyinde çözelti olarak %4 NaCl çözeltisi, elektrot olarak da galvanize çubuk kullanmışlardır. Yüksek akım ve yoğun klorür ortamı altında çelik donatının etrafına sarılmış filtre kâğıdı ile basit bir tekniğin arayüz solüsyonunun birikmesine, solüsyon sıkılmasına ve analiz için toplanmasına izin verdiğini gözlemlemişlerdir. Çözeltilerin pH değerini ölçerek korozyon deneyi sırasında donatı-beton ara yüzeyinde asitlenme olduğunu göstermişlerdir. Asitleşmenin, daha düşük korozyon aktivitesine sahip doğal korozyon altında da meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Asitlenme, çeliğin çözünmesini ve bunu takip eden korozyon aktivitesini desteklediğini ancak beton kaplamadaki çatlakların varlığıyla birlikte korozyon oranlarının kontrol edilmesinde etkili olacağını bildirmişlerdir (Hay ve Ostertag 2020).

Sohail vd., 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada yüksek dayanımlı ve ultra yüksek dayanımlı betonların normal dayanımlı betona göre donatı korozyonu davranışını incelemişlerdir. Kullandıkları üç farklı beton türüne hızlandırılmış klor geçirgenliği, elektriksel özdirenç klor yayılımı, karbonatlaşma, porozite, kapiler su emme deneylerini, SEM ve XRD analizlerini uygulamışlardır. Hızlandırılmış donatı korozyonu deneyinden, korozyon başlama ve bitiş süreleri, kaydedilen akım miktarından servis ömrünü hem beton türüne göre hem de pas payı değişimine göre belirlemişlerdir. Yüksek ve ultra yüksek dayanımlı betonların yoğun mikro yapıları, yüksek elektriksel özdirenç, ihmal edilebilir klor geçirgenliği ve düşük karbonatlaşmaya sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu olumlu özellikleri ile bu betonların sert iklim koşullarında betonarme yapılarda daha yaygın uygulama alanına sahip olabileceğini önermişlerdir (Sohail vd., 2021).

Kim vd., 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada farklı çimento türlerine ve farklı su/bağlayıcı oranına sahip betonlar üreterek donatı korozyon davranışını incelemişlerdir. Bağlayıcı olarak CEM I 52.5 N Portland çimentosu, %30 UK içeren CEM II/B-V ve %40 YFC içeren CEM III/A tipi çimentolar kullanmışlardır. Beton üretiminde su/bağlayıcı oranını 0.4 ve 0.6 olarak seçmişlerdir. Betonlara donatıların klorür kaynaklı korozyonunu ölçmek için belirli aralıklarla ıslanma kuruma çevrimlerine maruz bırakılarak yarı hücre potansiyel ölçümlerini almışlardır. Korozyon hızını belirlemek için korozyona uğramış donatıların ağırlık kayıplarını kullanmışlardır. Her ıslanma kuruma çevriminde elektriksel özdirenç ve klor dağılımı ölçmüşlerdir. Elektriksel özdirençin klor penetrasyon derinliğine bağlı olarak değiştiği hem bağlayıcı tipinin hem de su/bağlayıcı oranının betonların donatı korozyonunda etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Betonların elektriksel özdirenç değerlerinin beton performansını değerlendirmede önemli bir parametre olduğu sonucuna varmışlardır (Kim vd., 2021).

Lun vd., 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada korozyon ortamının, su/çimento oranının, pas payının, klor içeriğinin ve donatı şekli gibi değişkenleri kullanarak korozyon hızı üzerine etkisini araştırmışlardır. İnceledikleri değişkenler su/çimento oranını (0.41, 0.45, 1.55), pas payını (30 mm ve 50 mm), klor içeriğini (%10, %15 ve %20), donatı şeklini ise bükülmüş ve düz olarak seçmişlerdir. Hazırladıkları

donatılı beton numunelerini belirli konsantrasyonlarda klor çözeltilerinde ıslanma kuruma çevrimleri yaparak 1.5 yıl süreyle korozyona maruz bırakmışlardır. Korozyon hızını ölçmek için lineer polarizasyon direnci yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak donatının korozyon hızının su/çimento oranı, klorür içeriği, sıcaklık ve bağıl nemdeki artışla arttığını, beton örtüsünün kalınlığı arttıkça ise azaldığını gözlemlemişlerdir (Lun vd., 2021).

Kamde ve Pillai, 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada çimento-polimer-kompozit kaplamalı ve kumlanmış donatıların beton içerisinde korozyon davranışını incelemişlerdir. Donatılı üretilen betonlar klorüre maruz bırakılarak doğrusal polarizasyon dirençleri ölçmüşlerdir. Kaplamalı donatıların aderansını incelemek için de donatılı üretilen betonlarda donatı çekme değine tabi tutmuşlardır. Kaplamalı donatı hazırlanmasında ilk olarak tüm donatıların bir ucunu, doğrusal polarizasyon deneylerini gerçekleştirmek için elektrik bağlantılarını yapmak üzere paslanmaz çelik dişli çubuk kullanılarak sabitlemişlerdir. Ardından, kesilen tüm çelik donatılar etanol ve ultrasonik temizleyici kullanılarak temizlemiş ve yağdan arındırılmışlardır. Daha sonra, donatı üzerine iki ince kat çimento-polimer-kompozit astar uygulanmış ve her kat 30 dakika kurlanmaya bırakılmışlardır. Ortalama nihai kaplama kalınlığı 175 ile 220 µm arasında olmasını sağlamışlardır. Islanma kuruma çevrimlerine maruz bırakarak doğrusal polarizasyon direnci ölçümlemleri almışlardır. Sonuç olarak, çimento-polimer-kompozit kaplama yapılan donatılarda ihmal edilebilir donatı korozyonu, donatı-beton ara yüzeyinde aderans ve sürtünme kuvvetinin azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir (Kamde ve Pillai 2022).

Klein vd., 2022 yılında, yapmış oldukları çalışmada klor korozyonunun yanında sülfat kaynaklı donatılarda meydana gelen korozyonu da araştırmışlardır. Kullanılan donatının çapını 6 mm olarak, üretilen donatılı harçların boyutunu ise 70x70x60 mm olarak seçmişlerdir. Harç karışımlarında standart harç karışım oranları olan çimento/kum/su oranını 1/3/0.6 olarak seçmişlerdir. Korozyon deneyi için bekletilen çözeltinin derişliğini %5 Cl⁻, %5 sülfat ve ikisinin karışımı olacak şekilde kullanmışlardır. Hazırlanan çözeltilere daldırılan donatılı harç numuneleri 3 yıl boyunca çözeltilerde bekletilmiş ve belirli aralıklarla korozyon potansiyel ölçümleri ve elektriksel özdirenç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Sülfatın tek başına

bulunmasının yanı sıra klorür ile birlikte etkisinin donatı korozyon oranını arttırdığı sonucuna varmışlardır (Klein vd., 2022).

Alizadeh vd., 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada sodyum tri-polifosfatın farklı beton gözenek çözeltisine sahip pH değerlerinde donatı korozyonu önleyici inhibitör olarak kullanımını araştırmışlardır. Korozyon olasılıklarını, pH değerlerini ve korozyon koşullarını sağlamak amacıyla oluşturulan bu koşullar altında sodyum tri-polifosfatı %12.5, %10.5 ve %8.5 oranlarında kullanmışlardır. Çelik donatı elektrokimyasal davranışını değerlendirmek için elektrokimyasal empedans spektroskopisi, açık devre potansiyeli ve döngüsel polarizasyon dahil olmak üzere elektrokimyasal ölçümler kullanılmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, karma tip bir korozyon inhibitörü görevi gören sodyum tri-polifosfatın, çalışılan tüm pH'larda %70'e varan verim elde etmişlerdir. Böylece çelik donatıların korozyon direncini arttırmış ve korozyon oranını önemli ölçüde azaltmıştır (Alizadeh vd., 2023).

Akustik Emisyonun Betonda Kullanımıyla İlgili Literatür Çalışmaları

Ohno ve Ohtsu, 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada AE verilerini kullanarak çatlak sınıflandırma yöntemini uygulamışlardır. AE parametreleri ile SİGMA analizi kullanarak sınıflandırma için 3 farklı göçme deneyi gerçekleştirmişlerdir. Bunlar; Normal betonda 4 noktalı eğilme, betonarme kirişte 4 noktalı eğilme ve betonda hidrostatik genleşme deneyleridir. Deneyler sırasında alınan AE parametrelerinden Ortalama Frekans (AF) ve yükselme zamanı/maksimum genlik (RA) değerlerini kullanarak çatlağı çekme veya kesme çatlağı olarak sınıflandırmışlardır (Ohno ve Ohtsu 2010a).

Aggelis, 2011 yılında, yapmış olduğu çalışmada 4 noktalı eğilme deneyi sırasında AE kullanarak eş zamanlı ölçüm almıştır. Beton üretiminde su/çimento oranını 0.5, 0.6 ve 0.7 olarak, çelik lif kullanım oranını hacimce %0.5, %1, %1.5 ve %2 olarak belirlemiştir. Çatlak analizi için AE parametrelerinden RA, AF ve AE enerjiyi kullanmıştır. Alınan eş zamanlı ölçüm sonucunda AE parametrelerini kullanarak çatlağı çekme veya kesme çatlağı olarak sınıflandırmıştır. RA, AF ve enerji gibi farklı AE parametreleri, kırılma moduna (çekme mikro çatlaması, makro çatlama veya lif

çekme) karşı güçlü bir hassasiyet sergilediği ve modla ilgili basit ama güvenilir bir karakterizasyon şemasına dahil edilebileceği sonucuna varmıştır (Aggelis 2011a).

Elfergani vd., 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada korozyondan kaynaklı çatlakları erken tespit etmek için AE kullanmayı ve ayrıca çatlak sınıflandırması yapmayı amaçlamışlardır. Hızlandırılmış korozyon deneyi uygulanırken eş zamanlı AE ölçümü almışlardır. AE deneyi ile betonda donatı korozyonu, makro çatlakları ve çatlak yayılmasını tespit edebildiğini göstermişlerdir. Ek olarak, çatlak gruplaması yaparak çekme çatlaklarını ve kesme hareketini ayırt edebilmişlerdir (Elfergani vd., 2013).

Patil vd., 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında AE yöntemi ve elektrokimyasal tekniklerle betonarme elemanın korozyonu incelenmiştir. AE yöntemi ve kimyasal teknikler betonda donatı korozyonunun araştırılması için karşılaştırmalı çalışma yapılmıştır. Sonuçlarda korozyon sürecinde iki durumun olduğunu göstermişlerdir. Kümülatif sinyal gücünün ve korozyon sebebi ile betonarme yapılardaki hasar ilerleyişini göstermek için AE güven verici parametre olarak kullanılabildiğini saptamışlardır (Patil vd., 2014).

Li vd., 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada AE ve fiber optik sensör gerinim ölçümlerini birleşik kullanarak donatılı harçların korozyon izlemesine ilişkin deneysel bir araştırma sunmuşlardır. Hızlandırılmış korozyon deneyinde %3.5 NaCl çözeltisi kullanarak sabit akım uygulamışlardır. İzleme süresince ilk olarak korozyon başlangıcı ve çatlak ilerlemesini AE parametreleriyle yakalayıp daha sonra korozyon ürünlerinin oluşumundan kaynaklanan genişmeyi fiber optik sensör tarafından izlemeyi gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, AE parametreleriyle başarılı bir şekilde korozyon başlama süresi, çatlak gelişimini izlenmişlerdir ve aynı zamanda AE parametreleri ve fiber optik sensörden alınan numune yüzeyinde ölçülen genişleme gerilimi arasında iyi bir korelasyon olduğunu saptamışlardır (Li vd., 2017).

Patil vd., 2017 yılında AE yöntemi ve elektrokimyasal teknikler kullanarak hizmet ömrü içerisindeki betonda donatı korozyonunun hasar tespitini yapmaya çalışmışlardır. AE yöntemine laboratuvar ortamında matematiksel model

oluşturmuşlar ve servis ömrü içerisindeki betonarme yapılarda tahribat vermeden korozyona bağlı hasar tespiti yapmışlardır. Korozyon hasarını belirleyebilmek için donatıya akım uygulayarak ölçüm almışlardır (Patil vd., 2017).

Prem ve Murthy 2017 yılında AE kullanarak üretmiş oldukları betonarme kirişlerin dört noktalı eğilme altında davranışını incelemişlerdir. Kirişlerdeki oluşan hasarları, mikro çatlak oluşumunu, görünür çatlakları, çelik akmasını ve beton ezilmesini gösteren dört bölgeye ayırmışlardır. Her bir bölgede genlik, yükselme süresi, olay sayısı, RA ve AF gibi AE parametrelerini sınıflandırmışlardır. Sonuç olarak, hasar seviyesi arttıkça AF dışında kalan diğer AE parametrelerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Görsel izleme sonuçları ile AE parametre sonuçlarının uyumunu ve eğilme yüküne maruz kalan beton yapıların sağlığının izlenmesinde kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır (Prem ve Murthy 2017).

Nguyen-Tat vd., 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada eğilmeye maruz bırakılan kirişlerin hasarını AE yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Hasar değerlendirmesini uygulanan yük ile eş zamanlı alınan AE parametrelerinden yararlanarak ortaya koymuşlardır. Yük artışıyla birlikte kirişlerde hasarın arttığını ve AE parametrelerinin yük ile birlikte uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak hasar gelişimi ile AE faaliyetleri arasında güçlü bir korelasyon olduğunu ve hasar tespiti için AE parametrelerinin kullanılabileceğini ampirik formül oluşturarak öneride bulunmuşlardır. Ancak önerilen formüllerin kullanılan beton türü için geçerli olacağını bildirmişlerdir (Nguyen-Tat vd., 2018).

Bhosale vd., 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada AE kullanılarak sentetik elyaf takviyeli, çelik elyaf takviyeli ve hibrit elyaf takviyeli betonların eğilme yükü altındaki kırılma davranışını incelemişlerdir. Kullanılan lifleri hacimce %0.5, %0.75 ve %1 olmak üzere 3 farklı oranda kullanmışlardır. Ürettikleri çentikli kirişleri 3 noktalı eğilme deneyine tabi tutarken eş zamanlı AE ölçümü almışlardır. AE olayının, numunelerin ortasında oluşturulan yapay çentiklerin üzerindeki kaynak konumlarını araştırmışlar ve çekme veya kesme çatlakları olarak sınıflandırmışlardır. Sonuç olarak, çengel uçlu çelik lifler ile makro-sentetik poliolefin liflerin hibrit kullanımıyla taze haldeki betonun yeterli işlenebilirliğinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda

iyi bir kırılma direnci elde etmenin mümkün olduğunu ve AE ile kırılma enerjisinin hibrit kullanım oranı arttığını saptamışlardır. Son olarak AE olay sayılarını üç boyutlu kaynak konumlandırma analizleriyle birleştirerek çatlakların konumu ve genişliğinin belirlenebileceğini bildirmişlerdir (Bhosale vd., 2019).

Van Steen vd., 2019 yılında AE yöntemi kullanarak korozyon sürecinde ve donatı sıyrılma deneyleri sırasında hasar tespiti ve konum belirlemesi yapmışlardır. Düz ve nervürlü donatıları %0, %1.5, %5 ve %10 kütle kaybı olacak şekilde hızlandırılmış korozyon deneyleri ile farklı korozyon oranlarına uğratmışlardır. Her korozyon oranı için gerçekleştirilen deney sırasında AE yöntemi ile izlenmiş ve hedef korozyon oranına ulaştığında donatı sıyrılma deneyini yapmışlardır. Sonuçlarda AE testinin korozyon ilerlemesi sırasında hasarı tespit edebildiğini ve çatlak başlama anının ayırt edilebildiğini belirlemişler. Donatı sıyrılma deneyleri sırasında, sıyrılmadan kaynaklı oluşan hasarı başarıyla tespit etmişler ve çatlak karakterizasyonunu çıkarmışlardır (Van Steen vd., 2019).

Goldaran ve Turer, 2020 yılında öngerilmeli beton silindir borularda korozyon sürecindeki farklı hasar türlerini tespit etmek için AE yönteminin kullanmışlardır. İlk olarak korozyona maruz bırakmadan küçük ölçeklerde üretilen betonlarda AE parametreleriyle su emme ve beton çatlaklarını da ki değişiklikleri belirlemişlerdir. Daha sonra tam ölçekli bir öngerilmeli beton boru imal ederek hem sabit hem de değişken basınç altında korozyona maruz bırakarak AE parametreleriyle hasar tespiti ve sınıflandırmasını yapmışlardır. Hasar sınıflandırmasında RA ve AF değerlerinden yararlanmışlardır. Sonuç olarak AE parametrelerini kullanarak, her türlü hasar kaynağının boru hizmet ömrü süresince herhangi bir aşamada belirlenebileceğini bildirmişlerdir (Goldaran ve Turer 2020).

Boniface vd., 2020 yılında betonda meydana gelen hasarın AE parametreleriyle belirlenmesini yanında çatlakların konumunu da belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda sinyallerinin başlangıç tespiti ve konum algoritması ile ilgili çeşitli yöntemler değerlendirilmiş ve karşılaştırılmışlardır. AE olaylarının konumunun dalga hızı, AE sinyallerinin başlama ve varış zamanını kullanmışlardır. AE varış zamanının AE konum üzerine en önemli etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca

AE olayları ve AE enerjilerinin dağılımına dayanan istatistiksel bir analiz sunarak dijital görüntü işleme ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, varış zamanı tespitinin AE lokalizasyonu üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir (Boniface vd., 2020).

Zhang ve Li, 2020 yılında korozyona uğramış betonarme kiriş-kolon bağlantılarının yanal döngüsel yükleme altındaki hasar özellikleri AE kullanarak incelemişlerdir. Betonarme kolonu 250x250 mm, kirişi 150x250 mm boyutlarında, karkas sistemi ise açıklığı 2.48 m ve yüksekliği 1.8 m olacak şekilde üretmişlerdir. Betonarmedeki donatıyı korozyona uğratmak için %5 NaCl çözeltisini ve DC güç kaynağını kullanmışlardır. Çatlak gelişme sürecini ve potansiyel hasar modelini ortaya çıkarmak için AE parametre ve genlik analizi uygulamışlardır. Sonuç olarak AE parametrelerinin, korozyona uğramış betonarme yapıların hasarlarının izlenmesi ve değerlendirilmesinde de etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Birikmiş AE enerjisi, birikmiş histerik enerji ile iyi bir korelasyon ortaya koymuşlardır ve buna dayanarak, hasarlı kiriş kolon birleşim yeri için hasar seviyesi tahmin denklemlerini önermişlerdir (Zhang ve Li 2020).

Dev vd., 2020 yılında cam fiber takviyeli polimer donatı kullanarak ürettikleri kirişlerin 3 eksenli eğilme deneyi sırasında AE ölçümleri alarak hasar tespiti ve çatlak analizi gerçekleştirmişlerdir. Cam fiber takviyeli polimer donatısıyla üretilen betonarmelerin kesme dayanımını arttırmak amacıyla hacimce %0.35, %0.70 ve %1.0 oranında makro sentetik poliolefin lif kullanmışlardır. Deneysel sonuçlarda, lif ilavesinin, lifsiz üretilen kirişe kıyasla çatlama sonrası rijitliğinin, en yüksek yükün ve sünekliğinin arttırdığını saptamışlardır. Eş zamanlı aldıkları AE ölçümleriyle yaptıkları çatlak analizi sonucunun benzer olduğunu gözlemlemişlerdir (Dev vd., 2020).

Ma vd., 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada bazalt takviyeli polimer ile güçlendirmiş oldukları betonların aksenal yük altında çatlak analizini AE kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Elyaf takviyeli polimerler beton yüzeyine yapıştırılmasıyla uygulandığı için geleneksel saha incelemelerinde çatlak oluşumunun gözlenmesi mümkün olmamaktadır. Çatlak oluşumu dışarıdan gözle görünmese de AE yöntemiyle

izlenebilmektedir. Geleneksel AE darbesi ve AE genlik analizi, beton çatlağının ilk oluşumunu tespit etmede etkili olduğunu bildirmişlerdir. Gözle görülebilen betonun ilk çatlağı ve nihai büyük çatlağı, çatlak şiddeti analizi ile tespit etmişlerdir. AE analizi sonucunda bazalt polimer ile güçlendirilen beton numunelerinde çatlak oluşum süresinin daha uzun olduğunu tespit etmişlerdir (Ma vd., 2021).

Xu vd., 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada kauçuk ve seramik atığı tozu kullanarak ürettikleri harçların mekanik özelliklerini AE yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Atıklar ile ürettikleri harç türlerini AE parametreleri aracılığıyla kümülatif enerjisi, kümülatif vuruş sayısı, Ib-değeri analizi, yoğunluk analizi ve RA-AF değer analizlerini yaparak karşılaştırmışlardır. Harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişler ve AE eş zamanlı ölçümlerini 3 noktalı eğilme deneyinde uygulamışlardır. Sonuç olarak kauçuk atığı ilavesinin harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini azalttığı ancak seramik atığı tozu ilavesiyle iyileştiğini gözlemlemişlerdir. AE parametrelerini kullanarak 3 noktalı eğilme deneyinde başarılı bir şekilde harçların kırılma özelliklerini ortaya koymuşlardır (Xu vd., 2021).

Xiang vd., 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada karbon fiber takviyeli polimer ve beton branda kaplaması kullanarak güçlendirdiği donatılı betonların eksenel yük altında davranışını AE ile incelemişlerdir. Donatılı betonları eksenel yüke maruz bırakmadan önce kontrollü bir şekilde korozyona maruz bırakmışlardır. Eksenel yük altında eş zamanlı olarak aldıkları AE ölçümlerini korozyon oranına, kullanılan güçlendirme malzeme türüne ve kullanım miktarına göre araştırmışlardır. AE sinyal konumu ve karakteristik parametrelerdeki varyasyon sayesinde, güçlendirme malzemesinin varlığında numunenin bozulma morfolojisini değiştirdiği ve çekirdek alanındaki betonun düzensiz deformasyonunu iyileştirdiğini saptamışlardır (Xiang vd., 2022).

Tang vd., 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada tek eksenli yük altında sadece beton, çelik lif takviyeli donatılı beton ve fiber takviyeli polimer donatılı beton numunelerinin davranışını AE parametreleri aracılığıyla incelemişlerdir. Donatılı ve donatısız olarak ürettikleri silindirik betonların eksenel yük altındaki hasarlarını, AE olay sayısı, olay dağılımı, olay yeri ve AE enerjisi parametreleri kullanarak

belirlemişlerdir. Tüm numuneler için hasarların ağırlıklı olarak, yük-deplasman eğrisinin ilk dönüm noktasında betonda meydana geldiğini, ardından boyuna polimer donatılı çubuklarında hasar meydana geldiğini saptamışlardır. AE analizlerinde donatısız silindirik beton numunesinde belirgin bir kesme çatlaklarının olduğunu polimer donatı takviyelerinde kesme çatlaklarının azaldığını saptamışlardır (Tang vd., 2022).

Seye ve Kawasaki, 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada korozyona uğramış ve uğramamış donatılardan ürettikleri silindirik şeklindeki betonarme numunelerin tek eksenli yük altında mekanik davranışlarını ve hasar tespitlerini araştırmak amacıyla AE kullanmışlardır. Silindirlerin içindeki donatıların korozyonunun, eksenel yük altında erken hasarların ortaya çıkmasına sebep olduğunu ve betonarme numunelerinin eksenel yükü taşıma performansını düşürme eğiliminde olduğunu saptamışlardır. Kayıt aldıkları AE parametrelerinin analizinde ise eksenel yük altında oluşan hasarların, hasar mekanizmalarının karakteristik bir çıktısı olan kesme tipi ve çekme tipi hasarlar olarak sınıflandırılmasını sağlamışlardır (Seye ve Kawasaki 2022).

Ma ve Wu, 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada önceden hasar görmüş beton silindirlerini bazalt elyaf takviyeli polimer ile güçlendirme yaptıktan sonra eksenel yük altında eş zamanlı AE ölçümleri alarak çatlak analizi gerçekleştirmişlerdir. Polimer güçlendirmeler betonun yüzeyine uygulandığı için yük altında görsel çatlak analizi yapmak mümkün olmadığından çatlak analizinde AE parametreleri kullanmışlardır. Geleneksel RA ve AF analizi ve Gauss karışım modeli analizlerinin, polimerle güçlendirilmiş önceden hasarlı betonların çatlak tiplerinin gelişimini etkili bir şekilde ortaya koymuşlardır. Hasar derecesi arttıkça RA değeri artmış ve AF değeri azaldığını bildirmişlerdir (Ma ve Wu 2023).

Literatür Özeti

Yapılan kapsamlı literatür çalışması sonucunda KYB üretimde yüksek oranda toz malzeme ihtiyacını gidermek ve aynı zamanda çimento miktarını azaltmak için çeşitli mineral katkıları kullanılmıştır. KYB’de mineral katkı kullanımının yanında çeşitli agregalar, lif ve kimyasal katkıları kullanılmıştır. KYB’nin normal betona kıyasla

boşluk oranının az olması sebebiyle dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin daha iyi olduğu bildirilmiştir.

Dayanıklılık problemlerinden biri de betonarmede meydana gelen donatı korozyonudur. Donatı korozyonunun tespitinde polarizasyon ölçümler, uzun süreli ıslanma kuruma çevrimleri ile korozyona maruz bırakmayla yarı hücre potansiyel ölçümleri ve gerilim uygulayarak hızlandırılmış korozyon yöntemleri mevcuttur. Donatı korozyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda su/çimento oranı, çimento miktarı, çimento türü, pas payı, donatı türü gibi birçok değişken parametrenin etkisi araştırılmıştır.

Tahribatsız deney yöntemlerinden biri olan AE yöntemiyle ilgili yapılan çalışmalarda başarılı bir şekilde çatlak gelişiminin incelenmesi yapılmış olup eş zamanlı alınan ölçümlerle beton davranışları ortaya koyulmuştur. AE yönteminde betonların basınç ve eğilme deneyleri gibi mekanik yükler altında davranışının yanında donma çözünme, donatı korozyonu gibi dayanıklılık problemlerinde de güvenilir bir yöntem olduğu bildirilmiştir. Diğer tahribatsız deney yöntemlerin aksine AE yöntemi yüksek korelasyonlarda gerçeğe daha yakınlığıyla beton davranışının incelenmesinde güvenilir bir tahribatsız deney yöntemidir.

Bu tez çalışmasında KYB üretiminde mineral katkı olarak UK ve MT kullanılmıştır. KYB'i normal betondan ayıran en önemli özelliklerinden birisi taze halde sahip olduğu akış ve geçiş yeteneği olduğundan deneysel çalışmalara ilk olarak taze hal deneyleriyle başlanıp tüm serilerin taze hal özelliklerinin ilgili standartlara uygunluğu kontrol edilmiştir. Daha sonra KYB'lerin fiziksel, mekanik özellikleri ve donatı korozyon dirençleri araştırılmıştır. KYB'nin düşük boşluk oranından kaynaklı donatı korozyonuna karşı dayanıklı olacağı ön görüldüğünden korozyon ölçüm yöntemlerinden gerilim uygulayarak hızlandırılmış korozyon deneyi tercih edilmiştir. Farklı mineral katkılar ile KYB'lerin mekanik ve donatı korozyonu davranışını izlemek için tahribatsız deney yöntemlerinden yüksek güvenilirliğe sahip AE yöntemi tercih edilmiştir. Literatürde incelendiğinde AE yönteminin farklı malzemelerde ve farklı deneyler sırasında izleme yöntemi olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak KYB'de mineral katkı etkisinin incelendiği aynı zamanda mekanik yüklerin yanında

donatı korozyon davranışının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştı. Bu nedenle bu tez çalışmasında farklı mineral katkı içerek KYB'lerin basınç dayanım deneyi, yarmada çekme dayanım deneyi ve hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında eş zamanlı AE ölçümleri alınmıştır. Mineral katkı kullanımıyla KYB'nin mekanik dayanımı ve donatı korozyonu direnci değişimleri başarılı bir şekilde AE yöntemiyle eş zamanlı olarak incelenmiş ve çatlak analizleri gerçekleştirilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Bu tez çalışmasında bağlayıcı olarak TS EN 197-1 (2012) standardına uygun CEM I 42.5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır (TS EN 197-1 2012). Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri üretici firma olan ÇİMSA tarafından temin edilmiştir ve Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.1.2. Uçucu Kül

UK, KYB'nin özelliklerini geliştirmek için çimentoya ikame edilerek farklı yüzdelere olarak ilave edilen puzolanik özelliklere sahip ince bir inorganik yapı malzemesidir. Tez çalışmasında kullanılan uçucu kül ASTM C618-93 standardına uygun, F tipi ve özgül ağırlığı 2.39 g/cm^3 olan İSKEN Sugözü Termik Santralinden elde edilmiştir (ASTM C618 93, 1991). Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.1.3. Mermer Tozu

Mermer atık tozu veya mermer tozu pudrası, araştırmacılar tarafından MT atıfta bulunarak aynı malzemeyi tanımlamak için kullanılan farklı adlardır. Bu tez çalışmasında kullanılan mermer tozu Osmaniye Sanayisinde bulunan Mermer Fabrikasından elde edilmiştir. Kullanılan MT 2.63 g/cm^3 özgül ağırlığında ve sertliği Morhr’s ölçeğine göre 3’tür. Kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.1.4. Taş Unu

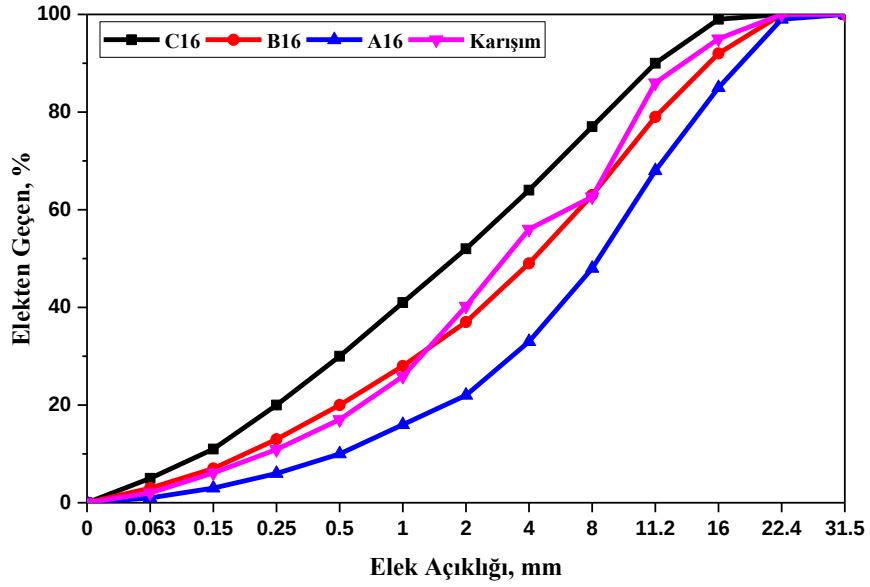
KYB üretiminde toz malzeme miktarını sağlamak ve dolgu maddesi olarak TU kullanılmıştır. Osmaniye ilinde bulunan Mertan taş ocağından elde edilmiştir. Kullanılan TU’nun özgül ağırlığı 2.73 g/cm^3 ve blaine değeri $3954 \text{ cm}^2/\text{g}$ ’dir. TU’a ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan toz malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal ve Fiziksel Analiz	CEM I 42.5/R	UK	MT	TU
SiO₂ (%)	19.33	47.4	48.82	50.7
Al₂O₃ (%)	4.74	19.8	10.24	23.8
Fe₂O₃ (%)	2.72	11.8	10.51	8.32
CaO (%)	63.20	6.66	18.73	4.56
MgO (%)	0.98	4.76	7.56	2.28
Na₂O (%)	0.12	0.57	0.05	4.34
Kızdırma Kaybı (%)	3.94	2.76	4.04	2.45
Özgül Yüzey (cm²/g)	3983	3126	5740	3954
Özgül Ağırlık (g/cm³)	3.12	2.39	2.63	2.73

3.1.5. Agrega

Tez çalışmasında TS 706 EN 12620 (2003) standardına uygun iki farklı tür agrega seçilmiştir. KYB üretiminde agrega olarak 0-4 mm tane boyutuna sahip kırma kum ve 4-16 mm tane boyutuna sahip kırma taş kullanılmıştır (TS 706 EN 12620+A1, 2009). Kullanılan kırma kum ve kırma taşın özgül ağırlıkları sırasıyla 2.70 g/cm³ ve 2.67 g/cm³, su emme yüzdeleri ise sırasıyla %1.51 ve %1.75'tir. İki agreganın karışım oranı KYB tasarımı için önerilen sınırlar içerisinde kalmak üzere %55 kırma kum, %45 kırma taş olarak belirlenmiştir ve karışımın elek analizi sonucu standart gradasyon eğrileriyle Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Agregaların elek analizi

3.1.6. Karışım Suyu

Su beton üretiminde önemli bir bileşendir, kimyasal reaksiyonda yer almaktadır. Suyun pH değeri 6-8 olarak belirlenen ve zararlı kimyasal içermeyen TS EN 1008 (2003) standardına uygun Osmaniye ili şebeke suyu beton üretiminde hem de kürleme aşamasında kullanılmıştır (TS EN 1008, 2003).

3.1.7. Kimyasal Katkı

Kimyasal katkı olarak Sika marka Viscocrete 4567 Hi-Tech kullanılmıştır. Kullanılan katkının özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Betonun karışım suyunu oldukça yüksek oranda azaltması ile yüksek birim ağırlık ve dayanım olanağı sağlar, betona mükemmel derecede kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırır.

Çizelge 3.2. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri

Özellik	Sika Viscocrete 4567 Hi-Tech
Yoğunluk (g/cm ³)	1.09
pH	4.76
Suda Çözünebilen Klor Yüzdesi (%)	0.0233
Renk	Kahverengi

3.1.8. Donatı

Hızlandırılmış korozyon deneyinde kullanılmak üzere $\Phi 12$ mm çapında B420C donatısı kullanılmıştır. Kullanılan donatılar TS-708 (2016) standardına uygun olarak temin edilmiştir. Donatıların çekme ve akma dayanımları standardın belirlediği sınırlar arasında kalmaktadır (TS 708, 2016).

3.1.9. Sodyum Klorür Tuzu

Donatıların korozyon performansını belirlemek için yapılan hızlandırılmış korozyon deneyinde sanayi tipi Sodyum klorür (NaCl) kullanılmıştır. Kullanılan NaCl beyaz renkte, kokusuz, kristal yapılı inorganik bir bileşiktir. Suda çözünür ve çözeltiyi renksiz yapar.

3.2. Metot

3.2.1. KYB Karışım Tasarımı ve Hazırlanması

KYB'nin normal betondan farklı olarak yeterli kohezyon ve segregasyon direncine sahip olması gerekmektedir. Bu özellikleri sağlamak amacıyla beton içerisindeki kırma taş miktarı daha az kullanılmakta, su/toz malzeme oranı düşük tutulmakta ve yüksek oranda su azaltıcı akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılmaktadır. EFNARC (2005) komitesinin önerdiği karışım belirlerken uygulanacak oranların sınır değerleri Çizelge 3. 3'te verilmiştir (EFNARC 2005).

Çizelge 3.3. KYB karışımında uygulanacak sınır değerleri

Bileşen	Kütlece Tipik Ağırlık (kg/m ³)	Hacimce Tipik Ağırlık (lt/m ³)
Toz	380-600	-
Çimento Hamuru	-	300-380
Su	150-210	150-210
İri agreg	750-1000	270-360
İnce Agreg (kum)	Tipik olarak toplam agreg ağırlığının %48-%55'idir	
Hacimce su/toz oranı		0.85-1.10

Tez çalışmasında kullanılan beton karışımları yukarıda önerilen sınır değerleri arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Karışımlarda doz 400 kg olarak sabit tutulmuştur ve kullanılan UK ve MT çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirme yapılarak kullanılmıştır. 1 m³ KYB için kimyasal katkı oranı %1.85 olarak, TU miktarı ise 125 kg olarak sabit tutulmuştur. Kullanılan kırma kum ve kırma taş karışımında oranları sırasıyla %55 ve %45 olarak belirlenmiştir. Mineral içermeyen yalnızca çimento ile üretilen bir seriye ek olarak 2 farklı mineral katkının 3 farklı oranda kullanılmasıyla toplamda 7 seri KYB üretilmiştir. 1 m³ KYB için karışım miktarları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Farklı boyutlarda üretilen numune görseli Şekil 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.4. 1 m³ KYB için gerekli malzeme miktarları (kg)

Karışım Adı	Çimento	Mineral Katkı	TU	Su	Kimyasal Katkı	Kırma Kum	Kırma taş
REF	400	0	125	189	7.4	909.8	744.4
UK10	360	40	125	189	7.4	900.0	736.3
UK20	320	80	125	189	7.4	890.1	728.3
UK30	280	120	125	189	7.4	880.2	720.2
MT10	360	40	125	189	7.4	905.4	740.8
MT20	320	80	125	189	7.4	900.9	737.1
MT30	280	120	125	189	7.4	896.5	733.5



Şekil 3.2. Farklı boyutlarda kalıplara yerleştirilen deney numuneleri

3.2.2. Taze Hal Deneyleri

KYB karışımlarını normal betondan ayıran en önemli özelliklerinden biri taze hal özellikleridir. KYB taze hal özellikleri geçiş ve doldurma yeteneği ile ayrışma direnci gibi 3 ana başlıkta toplamak mümkündür. KYB taze hal deneyleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. KYB özelliklerini belirlemek için uygulanan deneyler

Belirlenen Özellik	Deney
Doldurma Yeteneği	Çökme Yayılma T500 süresi V-kutusu akış süresi
Geçebilme Yeteneği	L-kutusu U-kutusu Doldurma Kutusu J-halkası
Ayrışmaya karşı direnç	V-kutusu akış süresi

3.2.2.1. Çökme-Yayılma Deneyi ve T50 Süresi

KYB karışımının akıcılık ve doldurma kabiliyetini çökme-yayılma deneyi ile, akıcılık ile viskozite özellikleri için T50 süresi ile ölçülmektedir. TS EN 12350-8 (2019)'e uygun olarak yapılan deneyde slump konisi ve çelikten imal edilen metal taban plakası kullanılmıştır (TS EN 12350-8, 2019). Taban plakası ve koni ıslak bir bezle nemlendirilerek düz bir zemine yerleştirilir. Taze haldeki KYB'den koniyi tamamını doldurup yüzeyi düzeltildikten sonra koni 30 sn. içerisinde dik bir şekilde kaldırılmıştır. Koninin kaldırılmasıyla birlikte kronometre yardımıyla 50 cm'lik yayılma çapına gelene kadar geçen T50 süresi belirlenmiştir. Taze KYB'nin plaka üzerinde yayılması tamamlandıktan sonra birbirine dik doğrultuda iki yönden yayılma çapı ölçülerek ortalaması alınmıştır. Çökme-yayılma deneyinde alınan yayılma çapı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çökme yayılma deney düzeneği

3.2.2.2. J-Halkası Deneyi

Karışımların geçiş kabiliyeti J-halkası yardımı ile TS EN 12350-12 (2011)'e uygun olarak test edilir (TS EN 12350-12 2011). J halkası, 25 mm kalınlığında, 260 mm iç çap ve 324 mm dış çapta çember şeklinde çelik bir halkadır. Farklı aralıklarla yerleştirilebilen dikey çubukları yer almaktadır. Çubukların çapı 16 mm, yüksekliği 100 mm olmak üzere 16 adet çubuk bulunmaktadır. Çelik tabla üzerine yerleştirilen J halkası merkezine abrams konisi yerleştirilerek karışım koni içerisine doldurulur. Koninin üst yüzeyi düzeltilerek dikey doğrultuda sabit hızla kaldırılarak karışımın donatılar arasından yayılması sağlanır. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapları ölçülerek ortalaması alınır. Donatılar arasından geçemeyip iç kısımda bir miktar karışım kalmaktadır. Donatılara takılan beton yükseklikleri 4 noktadan ölçülerek seviye farkları hesaplanır. Ölçülen bu farklar KYB için en fazla 10 mm olarak kabul edilir ve KYB'nin donatı arasından geçiş yeteneği hakkında bilgi vermektedir. Şekil 3.4'te uygulanmış deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.4. J halkası deney düzeneği

3.2.2.3. V Hunisi Deneyi

Bir V-hunisi yardımıyla, akış süresi iki kez ölçülür (T1 ve T2), aritmetik ortalaması alınarak akış süresi saptanır (T). Bu ortalama süre, karışımın viskozitesini ve doldurma süresini gösterir. V hunisi deneyi TS EN 12350-9 (2011)'e uygun olarak uygulanmıştır(TS EN 12350-9 2011). Deneye başlamadan önce V hunisinin iç yüzeyi ıslak bez yardımıyla nemlendirilir. Huninin alt bölümünde bulunan kapak kapatılarak üst yüzeyine kadar şişleme yapılmaksızın karışımla doldurulur. Yerleşmesi için 60 sn bekletildikten sonra kronometre yardımıyla alt kapağın açılması ile süre başlatılır ve karışımın tamamı huniden aktığında zaman durdurulur. Ölçülen süre taze haldeki KYB'nin akış yeteneği ve ayrışma direnci hakkında bilgi vermektedir. Şekil 3.5'te deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.5. V hunisi deney düzeneği

3.2.2.4. L-Kutusu Deneyi

L-kutusu deneyi KYB'nin taze halde akıcılığı ve donatı arasından geçiş yeteneği hakkında bilgi veren deney yöntemlerinden birisidir. Deney düzeneği olarak yatay ve dikey hazneden oluşur metalden üretilmiş L şeklinde kutudur. L kutusu deneyi TS EN 12350-10 (2011)'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN 12350-10 2011). Dikey hazne betonu doldurmak için kullanılır ve düşey hazneye geçmesini engelleyen hareketli kapak mevcuttur. Dikey hazneden düşey hazneye geçiş kısmında 12 mm çaplı 3 adet demir çubuk bulunmaktadır. Haznelerin içi ilk olarak ıslak bez yardımı ile nemlendirilir ve karışım düşey hazne içerisine yerleştirilir. Hazne içerisindeki karışım 60 sn. bekletildikten sonra kapak açılarak karışımın donatılar arasından düşey hazneye geçmesi sağlanır. Akış tamamlandıktan sonra düşey haznenin iki ucundan karışım seviyeleri ölçülerek birbirine oranlanır. Bu değer "bloklama oranı" olarak adlandırılır. Bu değer KYB için minimum 0.8 olarak kabul edilir. Şekil 3.6'da deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.6. L kutusu deney düzeneği

3.2.2.5. U-Kutusu Deneyi

U-kutusu deneyi KYB'nin taze halde doldurma kapasitesi ve akış yeteneği incelenmesi amacıyla yapılan deneylerden birisidir. U şeklinde olan deney aletinin orta kısmında 13 mm çapında 4 adet demir çubuk bulunmaktadır. Orta kısmında demir çubukları ile bir kapak bulunmaktadır ve bu kapak U şeklindeki hazneyi iki kısma ayırmaktadır. Kapak kapalı iken karışım haznenin bir tarafına doldurularak yüzeyi düzeltilir 60 sn. bekletilir. Kapak açılarak karışım donatılar arasından geçip diğer haznede yükselir ve akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton seviyeleri ölçülür. İki hazne arasındaki yükseklik farkı hesaplanır ve KYB için maksimum bu farkın 30 cm olması gerekmektedir. Bundan daha düşük değerlerde karışımın donatı arasından geçiş ve doldurma yeteneğinin yüksek olduğu sonucuna varılır. Şekil 3.7'de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.7. U kutusu deney düzeneği

3.2.2.6. Doldurma Kutusu Deneyi

Doldurma kutusu deneyi KYB'nin taze halde sık donatılı kesitlerden akışını ve geçiş yeteneğini incelemek amacıyla yapılan deneylerden biridir. Şeffaf bir kutu düzeneğinden oluşan deney aparatında, betonun ayrışmaya uğramadan ve terlemeye maruz kalmadan donatı çubuklarının arasından geçişi gözlemlenir. Kutu içerisinde düşeyde 5, yatayda 7 adet olmak üzere 35 adet 20 mm çapa sahip donatı mevcuttur. Haznenin köşesinde taze halde KYB yerleştirebilmek için 50 cm yüksekliğinde boru mevcuttur. Doldurma kutusu düzeneği Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Taze halde KYB'yi hazneye borudan 5 saniyede 1.5-2 litre olacak şekilde boşaltılır. Boşaltma işlemi bittikten sonra haznenin iki ucundan yükseklikler kayıt alınır. Kaydedilen yükseklikler yardımıyla Denklem (3.1) kullanılarak doldurma oranları hesaplanmıştır.

$$F(\%) = \frac{(h_1 + h_2)}{2} \times 100 \quad (3.1)$$

Denklemden;

h_1 ve h_2 : kutunun iki ucundan ölçülen yükseklikler

Formülde de görüldüğü gibi, bu değer %100 olarak hesaplanmaktadır. KYB'de bu oran en az %90 olmalıdır. Bu oran %100'e yaklaştıkça betonun doldurma kabiliyetinin yüksek olduğunu kanıtlanmaktadır.



Şekil 3.8. Doldurma kutusu deney düzeneği

3.2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.2.3.1. Basınç Dayanımı

Üretilen KYB numunelerinin 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı belirlemek amacıyla basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. 15x15x15 cm boyutlarındaki numuneler, Şekil 3.9’da görülen 200 ton kapasiteli basınç presi yardımıyla TS EN 12390-3 (2019) standardına uygun olarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur (TS EN 12390-3, 2019). Her bir karışım için 3’er numune üzerinde test yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.9. Beton basınç presi

3.2.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı

Üretilen KYB numunelerinin 7, 28, 56 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımını belirlemek amacıyla yarmada çekme deneyine tabi tutulmuştur. 15x15x15 cm boyutlarındaki numuneler Şekil 3.10’da görülen yarma aparatına yerleştirilerek basınç dayanımı deneyinde kullanılan pres yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Deney yapılışı TS EN 12390-6 (2010) standardına uygun olarak her bir seri için 3’er adet numuneye uygulanarak belirlenmiştir (TS EN 12390-6, 2010).



Şekil 3.10. Yarmada çekme deney aparatı

3.2.3.3. Porozite ve Su Emme Deneyi

Porozite ve su emme deneylerinde 100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Deneyler öncesinde küp numunelere 28. güne kadar 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulanmıştır. Su içerisindeki ağırlıkları belirlemek için Arşimet terazisinden yararlanılmıştır (Şekil 3.11). Arşimet terazisinde suya doymun halde havadaki terazisinde havada ağırlığı daha sonra tel sepete yerleştirilerek sudaki ağırlıkları belirlenmiştir. Etüv kurusu hale getirilmek üzere numuneler 105 °C’de 24 saat boyunca etüvde kurularak etüv kurusu ağırlıkları not edilmiştir. Kayıt alınan bu ağırlıklarla gerekli formül hesaplamaları yapılarak porozite ve su emme değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.11. Arşimet prensibi ile çalışan tartı

3.2.3.4. Kapiler Su Emme

Beton içerisinde birbiri ile bağlantılı veya bağlantısız çeşitli kapiler boşluklar bulunmaktadır. Bulunan kapiler boşluklar beton içerisinde suyun hareketini saptayarak kapilarite etkisi ile yukarı doğru hareket etmesine sebep olur. Özellikle dayanıklılık problemleri için önemli bir parametredir. TS EN 772-11 (2012)’e göre kapiler boşluklar hakkında bilgi sahibi olmak için kapiler su emme deneyi yapılmaktadır ve betonların kapiler su emme katsayıları belirlenmektedir (TS EN 772-11, 2012). Deney düzeneği Şekil 3.12’de görülmektedir. Hazırlanan tüm KYB serileri 7, 28, 56 ve 90

günlerde kapiler su emme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler 24 saat süreyle 105 °C sıcaklıkta etüv kurusu hale getirilerek yan yüzeylerinden su almasını engellemek için parafin ile yalıtılarak ağırlığı not alınmıştır. Yan yüzeylerin yalıtılmasıyla birlikte su ile temas eden sınırlandırılmış. Numuneyi su dolu ızgara şeklinde ince çubukların olduğu su dolu kaba yerleştirilmiştir. Düzeneğe bırakılan numuneler 1, 4, 9, 16 ve 25 dakikalarda, tam sayıların kareleri olacak şekilde hesaplanan dakikalarda çıkartılarak ağırlıkları not edilmiştir. Her bir bekletilen dakika için ayrı ayrı kapiler su emme katsayıları Denklem (3.2) yardımıyla hesaplanmıştır. Tüm sürelerdeki kapiler su emme katsayıların ortalaması alınarak her bir numune kapiler su emme katsayıları belirlenmiştir.

$$(Q/A)^2 = kxt \quad (3.2)$$

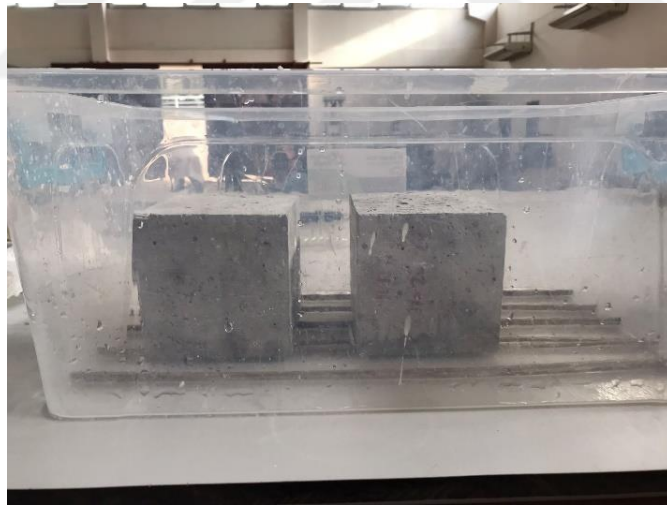
Denklemde;

Q: emilen su miktarı, (cm³)

A: su ile temas eden kesit alanı (cm²),

t: geçen zaman (sn),

k: kapilarite katsayısı (cm² /sn).



Şekil 3.12. Kapiler su emme düzeneği

3.2.3.5. Hızlandırılmış Klor Geçirgenliği Deneyi

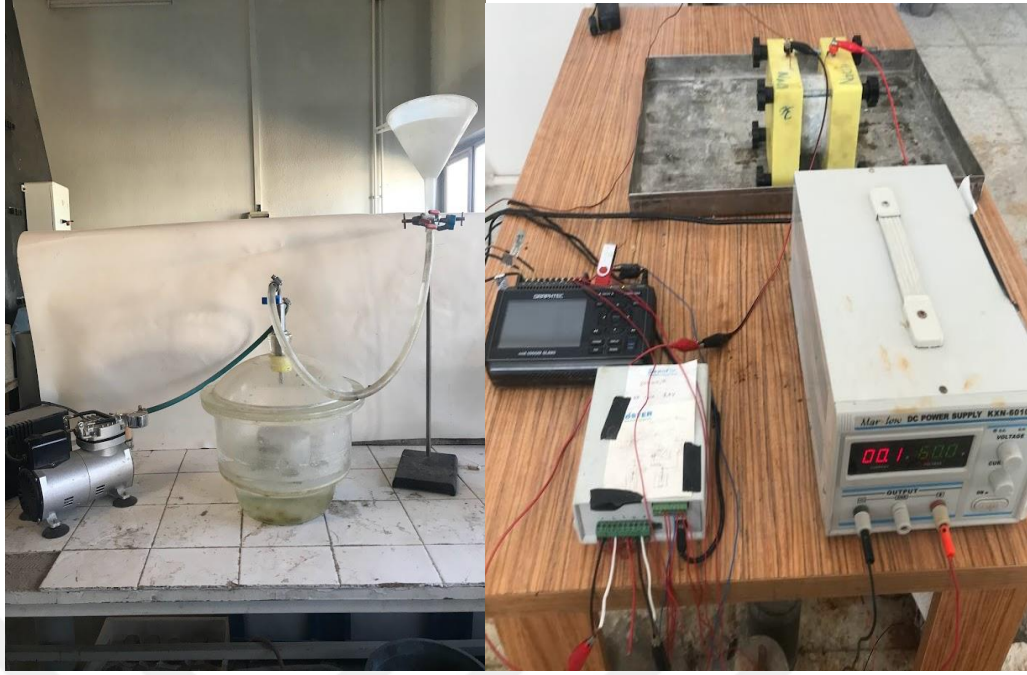
Hızlandırılmış klor geçirgenliği deneyi betonun geçirimsizliğine karşı göstermiş olduğu direnci ölçmektedir. $\phi 10 \times 5$ cm boyutlarında üretilen 28 gününü dolduran tüm numunelere ASTM C1202-12 (2017) standardına uygun şekilde hızlandırılmış klor geçirgenliği deneyi uygulanmıştır (ASTM C1202-12, 2017). Numuneler ilk olarak

vakum makinesine yerleştirilerek 3 saat kuru olarak vakumlanmış, daha sonra numuneler su içerisinde kalacak şekilde hazne saf su ile doldurularak 1 saat sürüyle vakumlama devam etmiştir. Numuneler Vakum cihazı kapatılarak 18 saat süreyle saf su içerisinde bekletilmiştir. Deneye hazır olan numuneler klor geçirgenliği deney düzeneğine bağlanmıştır. Deney düzeneğinde numune 2 hazne arasına yerleştirilir bu haznelerin birinde %3 oranında NaCl çözeltisi diğerinde ise 0.3M NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi yer almaktadır (Şekil 3.13). Düzenekten akım geçirilmektedir ve geçen akımın miktarı 6 saat boyunca her 30 dakikada bir ölçülmüştür. Daha sonra kayıt alınan akım verileriyle Denklem (3.3) kullanılarak devreden geçen toplam yük (Coulomb) miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan yük değerleri Çizelge 3.6'a göre yorumlanmıştır.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (3.3)$$

Çizelge 3.6. ASTM C 1202-12 Klor geçirgenliğinde sınır yük değerleri (ASTM C1202-12 2017)

Yük (Coulumb)	Geçirgenlik Sınıfı
>4000	Yüksek
4000-2000	Orta
2000-1000	Düşük
1000-100	Çok düşük
<100	İhmal edilebilir



Şekil 3.13. Hızlandırılmış klor geçirgenliği deney düzeneği

3.2.3.6. Ultrases Geçiş Hızı

Ultrases geçiş hızı beton kalitesi hakkında bilgi veren tahribatsız deney yöntemlerinden biridir. TS EN 12504-4 (2021) standardına uygun olarak tüm numuneler üzerinde 7, 28, 56 ve 90 günlerde uygulanmıştır (TS EN 12504-4 2021). Ultrasonik ses dalgası gönderen cihaz iki adet prob ve beton yüzeyine yerleştirilerek ses dalgasının beton içerisinde bir yüzeyden diğerine geçme süresini vermektedir (Şekil 3.14). Geçiş süresi yardımıyla Denklem (3.4) kullanılarak ultrases geçiş hızı belirlenmektedir. Ultrases geçiş hızı betonun dayanım ve içerisindeki boşluk miktarı hakkında bilgi vermektedir. Beton ne kadar dolu ise ses hızı daha yüksek çıkmaktadır. Çizelge 3.7’de ultrasonik dalga hızına göre beton kalitesi hakkında verdiği fikir verilmiştir.

$$X = V \times t \quad (3.4)$$

Denklemde;

X: sesin aldığı yol (proplar arası mesafe) (m)

V: ultrases geçiş hızı (m/s)

t: ses dalgasının geçiş süresi (s)

Çizelge 3.7. Ultrases geçiş hızı aralıkları ve beton kalitesi (Whitehurst, 1951)

Dalga Hızı (m/s)	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Orta
2000-3000	Kötü
<2000	Çok Kötü

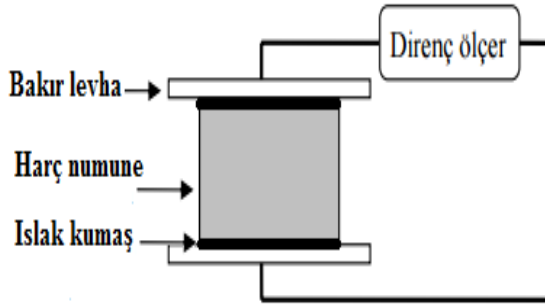


Şekil 3.14. Ultrases geçiş hızı deney düzeneği

3.2.3.7. Elektriksel Özdirenç Deneyi

Elektriksel özdirenç ölçümleri 28 gün boyunca kürünü tamamlamış nihai dayanıma ulaşmış 100x100 mm boyutlarındaki numunelere uygulanmıştır. Nem koşullarının etkisinden bağımsız olarak ölçüm yapabilmek için kür havuzundan çıkartılan ve suya doymun hale getirilen numuneler üzerinde ASTM C 1760 (2021) standardına uygun iki plaka yöntemi ile direnç değerleri (R) ölçülmüştür (ASTM C1760 2012). Tüm yüzeye temas etmesi için numunenin iki yan yüzeyine ıslak keçe, kecenin üzerine bakır levha yerleştirilmiştir. Direnç ölçerin iki ucu bakır plakalara bağlanmıştır (Şekil 3.15). Direnç ölçer, doğru akımda 0.1, 0.12, 1 ve 10 kHz değerlerini ölçer. Farklı frekanslarda

elektrik özdirenci belirlemenin amacı, ölçüm frekansına bağlı olarak elde edilebilecek özdirenç değerini belirlemektir. Özdirenç hesaplamaları Eşitsizlik 6 kullanılarak yapılmaktadır. Yani malzemelerin özdirenç değerlerinin belirlenmesi sırasında seçilen frekans değeri sonuçları doğrudan etkiler.



Şekil 3.15. Elektriksel özdirenç ölçüm düzeneği

Direnç değerleri (R) ölçülen harçların elektriksel özdirenç değerleri de aşağıda verilen Denklem (3.5) ile belirlenmiştir.

$$\delta = R \frac{A}{L} \quad (3.5)$$

Denklemde;

δ : elektriksel özdirenç (kohm.m)

R: direnç (kohm)

A: numune yüzey alanı (m²)

L: plakalar arası mesafeyi (m)

3.2.3.8. Hızlandırılmış Korozyon Deneyi

Hızlandırılmış korozyon deneyi, elektrik akımı kullanarak beton numuneler üzerinde yapay korozyon reaksiyonları zinciri oluşturmak için kullanılan bir laboratuvar tekniğidir. Hızlandırılmış korozyon deneyinde kullanılan ana bileşenler şu şekilde sıralanabilir; DC güç kaynağı, verilerin takip edildiği ve kaydedildiği veri kayıt cihazı, voltu akıma dönüştürüldüğü akım sensörü, %4 konsantrasyonlu NaCl solüsyonlu plastik kap, galvanize plakadır. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği Şekil 3.16'da verilmiştir. DC güç kaynağından 50 Volt gerilim uygulanmıştır. Güç kaynağından çıkan pozitif kutup donatıya, negatif kutup ise çözelti içerisine daldırılan galvanize plakalara tutturulmuştur. Elektrolit bir çözelti hazırlamak üzere %4 Sodyum Klorür

AE ölçümü alınacak numunelerde ise deney sırasında donatı korozyonu tüm donatı boyunca olacağından korozyon alalını sınırlandırmak ve korozyon deneyi boyunca alınacak AE ölçümlerinin daha verimli alınabilmesi amacıyla donatının 5 cm'lik bir kısmı ham halde bırakılıp betona gömülü olan kısmı epoksi ile yalıtılmıştır. AE ölçümü alınan deney düzeneği Şekil 3.17'de, deney öncesi hazırlanan epoksili donatı, deney sonrası donatılı KYB görseli Şekil 3.18'de verilmiştir.



48



Şekil 3.17. AE yönteminin hızlandırılmış korozyon deney düzeneğine uygulanması



Şekil 3.18. Hızlandırılmış korozyon deneyi öncesi hazırlanan donatı ve deney sonrasında KYB numuneleri

3.2.3.9. Akustik Emisyon Deneyi

AE gerilme altındaki malzemelerde bir ya da daha çok yerel kaynağın hızla enerjisi olarak geçici elastik dalgalar ürettiği olaylar ve bu şekilde oluşan geçici elastik dalgalar olarak tanımlanır. Bütün katı malzemeler belli bir elastikliğe sahiptir; dış kuvvetler altında genişirler veya sıkıştırılırlar, kuvvet ortadan kalktığında ise bir yay gibi geri gelirler. Bu tez çalışmasında hem KYB'lerin basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı belirlenirken hem de donatılı üretilen KYB'lere hızlandırılmış

korozyon deneyi sırasında eş zamanlı olarak AE ölçümü alınmıştır. AE ölçümlerinde elastik dalgaları alınması ve bilgilerini işlenmesinde Vallen Systeme firmasına asit 38 kanallı ASYM-6 ölçüm sistemiyle çalışan AE cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.19). Deney modelinin uç kısımlarındaki yüzey üzerine iki adet geniş bant piezoelektrik sensör yapışkan bant vasıtasıyla monte edilmiştir. Basınç ve yarmada çekme deneyleri sırasında bu piezoelektrik sensörleri 15x15x15 cm boyutlarındaki numunelerin orta noktasına ve tam karşılıklı olarak şekilde numune yüzeyine yerleştirildi (Şekil 3.20). Hızlandırılmış korozyon deneyinde piezoelektrik sensörleri KYB içerisine yerleştirilen donatı epoksi kaplanmayıp ham bırakılan 5 cm’lik kısma gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çevre gürültüsünün (mekanik deney cihazı vb.) elemine edilmesi için eşik değeri 40 dB olarak ve analog filtreleme 20-400 kHz aralığına ayarlanmıştır (Ohno ve Ohtsu 2010b; Li vd. 2017; Yu vd. 2020b; Patil, vd. 2015; Van Steen vd. 2019b). Piezoelektrik sensörlerin kalibrasyonu ASTM E 976 (2015) standardına göre kalem kırma yöntemi olarak da bilinen “Hsu-Nielsen” metodu ile gerçekleştirilmiştir (Aggelis vd. 2012). Bu prosedür sensörlerin hassasiyetini tespit etmede büyük önem arz etmekte olup en ufak bir yerleşim hatası, hatalı deney sonucu elde etmemize neden olabilmektedir.



Şekil 3.19. 32 kanallı Vallen AE cihazı ve piezoelektrik sensör



Şekil 3.20. Piezoelektrik sensörlerin KYB yüzeyine konumlandırılması ve kalem kırma yöntemi

AE dalga formu Şekil 3.21’de verilmiştir ve AE sinyalleri yorumlanırken aşağıdaki parametreler kullanılmıştır (Sagar ve Basu 2023; Kong vd. 2022; Lian vd. 2023; Yin vd. 2023);

Genlik (dB): AE dalga şeklinde ulaşılan en yüksek pik voltur. AE genlikleri kaynaktaki olayın büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olup μV 'lardan voltlar mertebesine geniş bir alanı kapsar.

Devam Süresi (D): Eşik seviyesini ilk ve son aşan pikler arasında geçen zamandır. Doğrudan mikro saniye cinsinden ölçülebilir ve örneğin kompozit malzemelerdeki delaminasyon gibi devam süresi uzun olan AE olaylarının tanınmasında önem taşır.

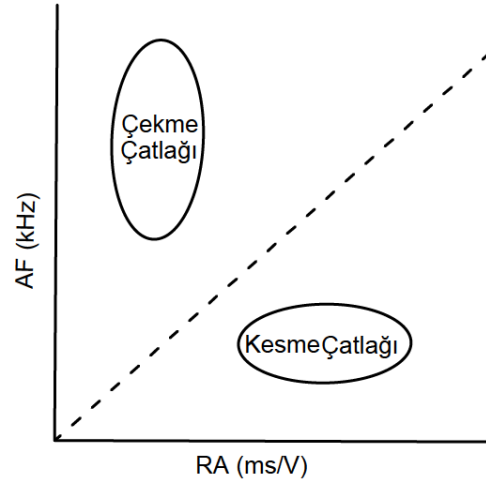
AE Enerji: Eşik değerinin üzerindeki genlik-zaman eğrisinin altında kalan alandır.

AE Olay Sayısı: Eşik seviyesini geçen puls sayısıdır. AE olayının genliğine ve malzemenin özelliklerine bağlıdır. Bir vuruş, bir veya birden fazla sayı üretebilir.

Yükselme Zamanı: Eşik değerini geçen ilk pik ile en yüksek pik arasında geçen zaman yükselme zamanı olarak adlandırılır.

RA (Yükselme zamanı/maksimum genlik): Yükselme zamanının maksimum genliğe bölünmesiyle RA değeri elde edilir. Çatlak tipinin sınıflandırılmasında AF değeriyle birlikte kullanılır.

AF (Ortalama Frekans): Ortalama frekans, olay sayısının süreye bölünmesiyle elde edilir. Çatlak tipi sınıflandırılmasında RA değeriyle birlikte kullanılır.



Şekil 3.22. Çatlak sınıflandırması

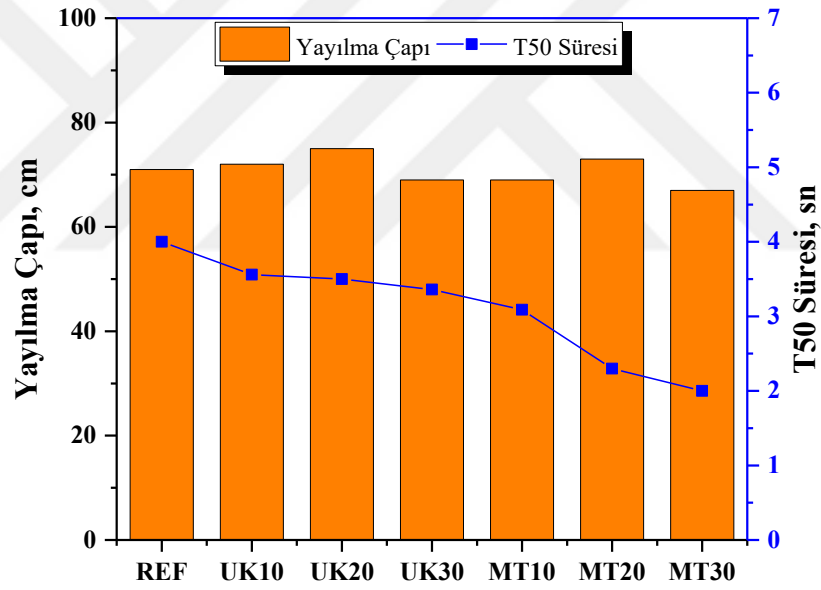
Daha yeni çalışmalar, saf çekme çatlakları ve birleşik çatlaklar (karışık mod hasarı) arasındaki ayrımı önermektedir (Behnia vd., 2014; De Smedt vd. 2020). Bu birleşik çatlaklar, her ikisi de eğilme düzeni tarafından indüklenen çekme ve kesme gerilmelerinin sonucudur (Nguyen-Tat vd. 2018b).

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Taze Hal Deney Sonuçları

4.1.1. Çökme-Yayılma Deneyi ve T50 Süresi Sonuçları

Numunelerin taze halde çökme-yayılma deneyinden elde edilen yayılma çapı ve T50 süresi sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Yayılma çapı miktarlarına bakıldığında EFNARC (2005) tarafından belirtilen sınır değerleri 55-85 cm arasında olmaktadır (EFNARC 2005). Yayılma çapları tüm numunelerde bu sınır değerleri arasında kalmıştır. En düşük yayılma çapı 67 cm ile MT30 numunesinde, en yüksek ise 75 cm ile UK20 numunesinde gözlemlenmiştir. Tüm serilerin yayılma çapı 67-75 cm arasında olduğundan EFNARC (2005)’e göre SF2 (66-75 cm) olarak sınıflandırılırlar. Mineral katkı oranının artmasıyla birlikte her iki seride de %20 oranına kadar artış gözlemlenirken, oran %30’a çıktığında yayılma çapında azalma meydana gelmiştir.

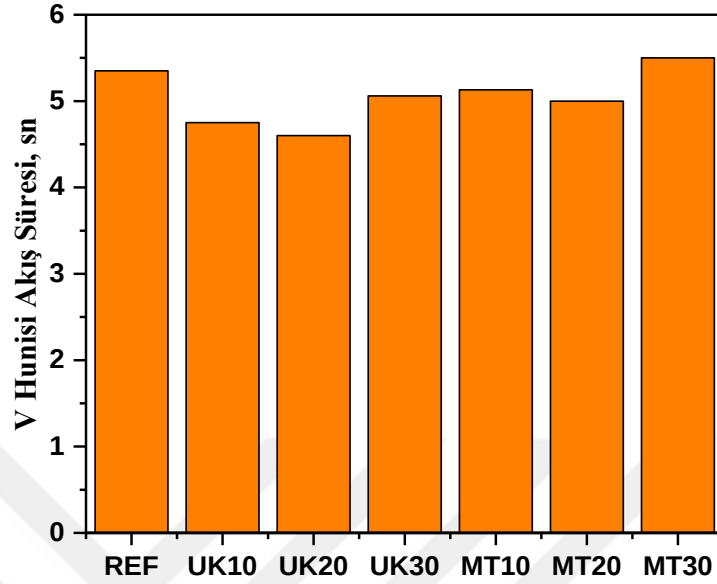


Şekil 4.1. KYB’lerin taze halde yayılma çapı ve T50 süresi sonuçları

4.1.2. V Hunisi Deney Sonuçları

Numunelerin taze halde V hunisi deneyi sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir. En yüksek süre MT30 numunesinde, en düşük süre ise UK20 numunesinde saptanmıştır. EFNARC (2005)’a göre V hunisi akma süresi 8 sn’nin altında ise VF1 sınıfı olarak değerlendirilir (EFNARC 2005). Tüm numunelerin akma süreleri 8 sn’nin altında kaldığı için tüm numunelerin akma direnci sınıfı VF1 olarak belirlenmiştir. MT30

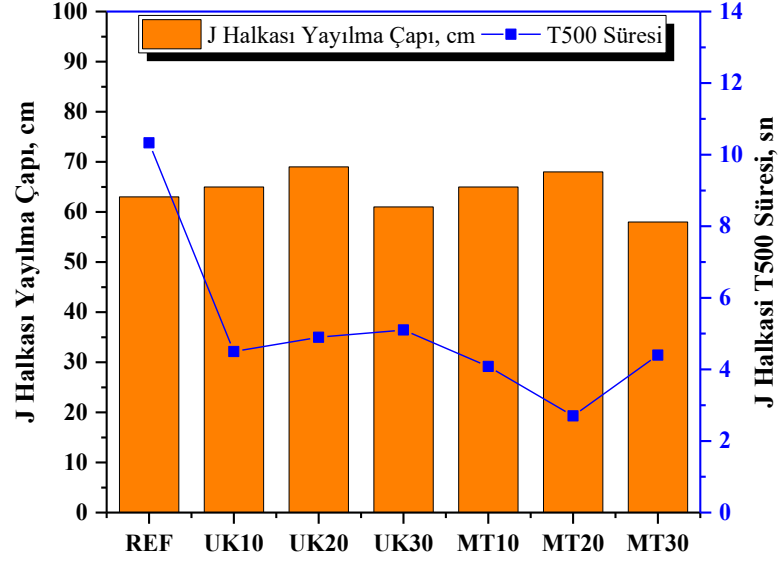
numunesi dışında diğer mineral katkı oranlarında ve türlerinde elde edilen akış süreleri REF'ten daha düşüktür. MT30 numunesi dışında mineral katkı ilavesiyle ile KYB'nin akış yeteneğinin daha da arttığı gözlemlenmiştir.



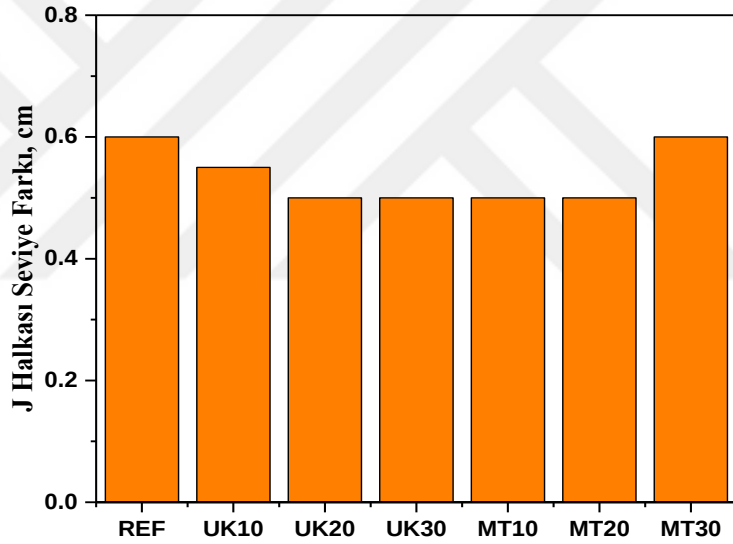
Şekil 4.2. KYB'lerin taze halde V hunisi akma süreleri

4.1.3. J Halkası Deney Sonuçları

Numunelerin taze halde J halkası deneyi KYB'nin geçiş yeteneğini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. J halkası yayılma çapı ve T500 süresi sonuçları Şekil 4.3'te, seviye farkları sonuçları ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Sık donatılar arasından geçiş yeteneği belirlendiği için çökme-yayılma deneyindeki yayılma çaplarından daha düşük yayılma çapı miktarlarına ulaşılmıştır. En düşük yayılma çapı 58 cm ile MT30 numunesinde en yüksek ise 69 cm ile UK20 numunesinde gözlemlenmiştir. Seviye farkı sonuçlarına bakıldığında tüm numunelerin sonuçları, EFNARC (2005) standartlarına uygun olarak 0.4-0.65 cm arasında kaldığı görülmektedir (EFNARC 2005). MT30 numunesi referans numunesi ile aynı seviye farkı oluştururken diğer tüm numuneler REF numunesinden daha düşük seviye farkları oluşturmuştur.



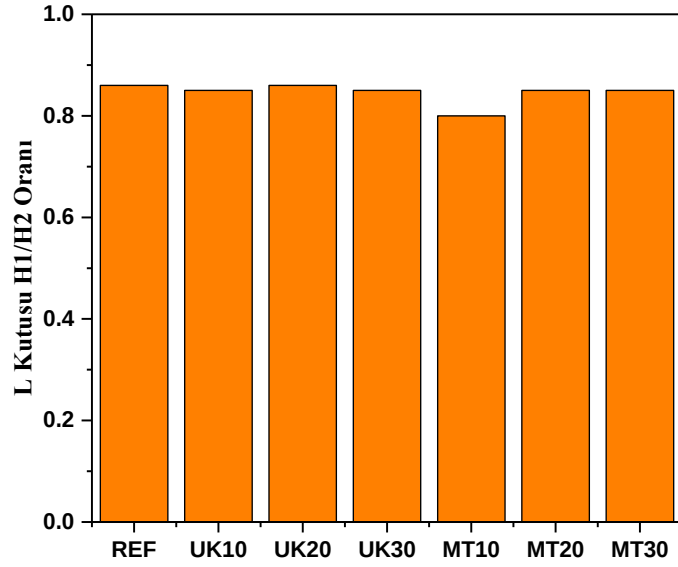
Şekil 4.3. KYB'lerin taze halde J halkası yayılma çapı ve T500 süresi sonuçları



Şekil 4.4. KYB'lerin taze halde J halkası seviye farkı sonuçları

4.1.4. L Kutusu Deney Sonuçları

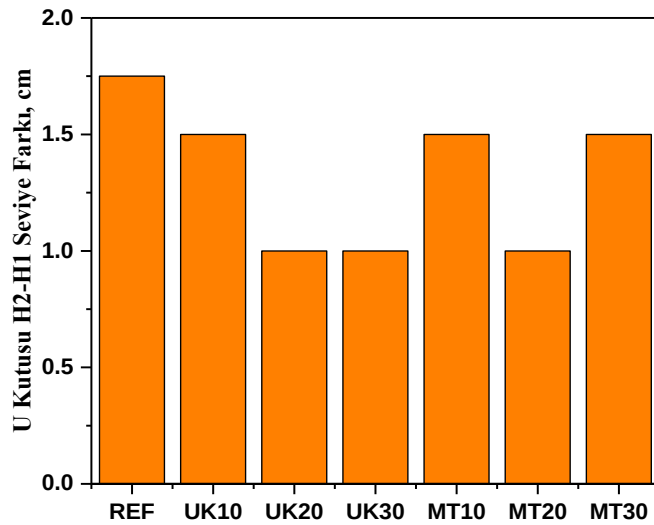
Numunelerin taze halde L kutusu deney sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir. EFNARC (2005)'e göre L kutusu deneyinin $H2/H1$ oranının 0.8-1 aralığında olması önerilmektedir (EFNARC 2005). Tüm numunelerde $H2/H1$ oranı bahsi geçen sınır değerleri arasında kalmıştır. Seriler arasında büyük farkların olmadığı görülmüştür. L kutusu deneyi KYB karışımlarının akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek için yapılmaktadır. Sonuçlara bakıldığında tüm serilerin akıcılığında ve tıkanma riskinde bir sorun olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.5. KYB'lerin taze halde L kutusu H1/H2 oranı

4.1.5. U Kutusu Deney Sonuçları

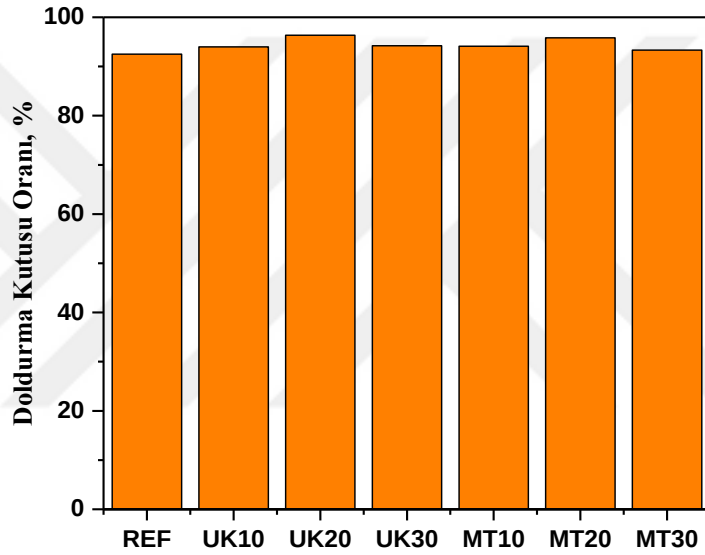
Numunelerin taze halde U kutusu deneyi KYB karışımlarının geçiş ve akış yeteneğini tayin etmek için kullanılmaktadır. U kutusu deneyinden elde edilen H2-H1 farkı sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. EFNARC (2005)'e göre U kutusu deneyinde H1-H2 farkının 0-3 cm aralığında olması önerilmektedir (EFNARC 2005). Tüm numunelerde önerilen değer aralıklarında kalınmıştır. En yüksek fark REF numunesinde görülmektedir. Mineral katkı ilavesiyle geçiş ve akış yeteneğinin arttığı görülmektedir. Tüm taze hal deneyleri sonuçlarına bakıldığında oluşturulan karışımların KYB özelliklerini sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.6. KYB'lerin taze halde U kutusu H2-H1 farkı sonuçları

4.1.6. Doldurma Kutusu Deney Sonuçları

Numunelerin taze halde doldurma kutusu deneyi KYB karışımlarının sık donatılı kesitlerden geçiş ve akış yeteneğini tayin etmek için kullanılmaktadır. Doldurma kutusu deneyinden elde edilen doldurma oranı sonuçları Şekil 4.7’de verilmiştir. EFNARC (2005)’e göre KYB numunelerinde hesaplanan doldurma oranının en az %90 olması beklenmektedir (EFNARC, 2005). Bu oran %100’e yaklaştıkça betonun doldurma kabiliyetinin yüksek olduğunu kanıtlanmaktadır. Tüm numunelerde doldurma oranı %90’ın üzerinde olduğu görülmüştür. Üretilen numunelerin tümünün KYB özelliği taşıdığı, dar ve sık donatılı kesitlerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



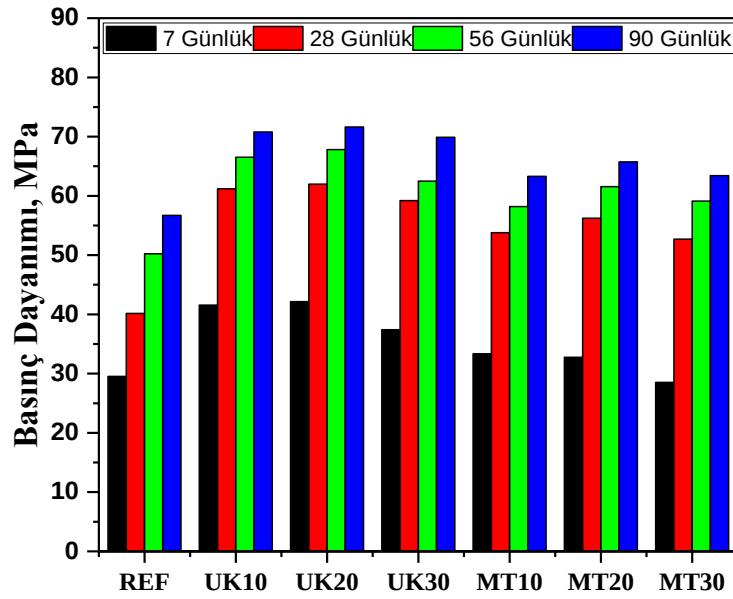
Şekil 4.7. KYB’lerin taze halde doldurma kutusu sonuçları

Taze hal özelliklerini mineral katkı türüne göre değerlendirdiğimizde UK kullanılan serilerin MT kullanılan serilere göre daha iyi akış ve geçiş yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin mineral katkıların incelik farklılığından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Mineral katkı oranının akış ve geçiş yeteneklerine etkisini incelediğimizde %20 oranına kadar REF numuneye oranla artış, %30’a çıkması durumunda bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Sonuç olarak üretilen tüm serilerin KYB özelliği taşıdığı ve elde edilen sonuçların ilgili standartta geçen sınır değerleri arasında kaldığı gözlemlenmiştir.

4.2. Sertleşmiş Deney Sonuçları

4.2.1. Basınç Dayanımı Sonuçları

Numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.8’de verilmiştir. Tüm KYB’lerin basınç dayanımları beton yaşı arttıkça artmaktadır. Mineral katkı olarak UK ilave edilen numunelerin basınç dayanımları MT ilave edilen numunelere oranla daha yüksek çıkmıştır. Referans numunesinin 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları sırasıyla 29.53, 40.17, 50.23 ve 56.7 MPa olarak belirlenmiştir. Mineral katkı olarak UK ilave edilen UK10, UK20 ve UK30 numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 61.2, 61.98 ve 59.21 MPa olarak, MT ilave edilen MT10, MT20 ve MT30 numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları ise sırasıyla 53.8, 50.8 ve 42.7 MPa olarak belirlenmiştir. 56 günlük en yüksek basınç dayanımı UK20 numunesinde 67.82 MPa ile en düşük basınç dayanımı ise REF numunesinde 50.23 MPa ile ölçülmüştür. 90 günlük en yüksek basınç dayanımı ise UK20 numunesinde 71.63 MPa ile en düşük basınç dayanımı ise REF numunesinde 56.70 MPa ile ölçülmüştür. REF betonuna mineral katkı ilave edilmesiyle basınç dayanımlarının özellikle 28 gün ve ileri yaşlarda arttığı görülmüştür. Mineral katkı erken yaşlardan ziyade ilerleyen yaşlarda dayanım artışı yapmaktadır. Dayanım sağlayan C-S-H jelleri için çimento hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitlerin oluşmasını beklemektedir (Hasim vd. 2021). Nochaiya vd. yapmış oldukları çalışmada mineral katkı kullanımının özellikle ilerleyen yaşlarda dayanım artışına sebep olduğunu bildirmişlerdir (Nochaiya vd. 2010). Mineral katkı oranının artışıyla basınç dayanımları %20 oranına kadar artış gözlemlenirken %30 oranına çıkmasıyla birlikte düşüş gözlemlenmiştir. Ancak yine de REF’e oranla daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir.

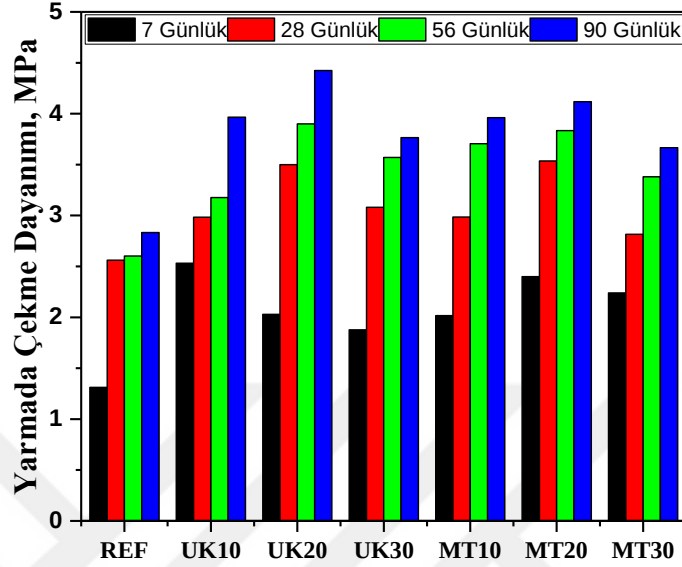


Şekil 4.8. Basınç dayanımı sonuçları

4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

Numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımları sonuçları Şekil 4.9'da verilmiştir. Tüm KYB'lerin yarmada çekme dayanımları beton yaşı arttıkça artmaktadır. Yarmada çekme dayanımları betonları basınç dayanımları yanında çok daha düşük oldukları için genel olarak ihmal edilmektedir. KYB'lerin de yarmada çekme dayanımları basınç dayanımlarının yansırı düşük olmaktadır. Ancak yine de mineral katkı ilave edilmesiyle basınç dayanımına benzer artış gözlemlenmiştir. Singh vd. yapmış oldukları çalışmada mineral katkı oranının artışıyla yarmada çekme dayanımlarında artış gözlemlendiği bildirmişler (Singh vd., 2016). Mineral katkı olarak UK ilave edilen numunelerin yarmada çekme dayanımları MT ilave edilen numunelere oranla daha yüksek dayanım sonuçları saptanmıştır. Referans numunesinin 7, 28, 56 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımları sırasıyla 1.31, 2.56, 2.60 ve 2.83 MPa olarak belirlenmiştir. Mineral katkı olarak UK ilave edilen UK10, UK20 ve UK30 numunelerinin 28 günlük yarmada çekme dayanımları sırasıyla 2.98, 3.50 ve 3,08 MPa olarak, MT ilave edilen MT10, MT20 ve MT30 numunelerinin 28 günlük yarmada çekme dayanımları ise sırasıyla 2.98, 3.54 ve 2.81 MPa olarak belirlenmiştir. 56 günlük en yüksek yarmada çekme dayanımı UK20 numunesinde 3.90 MPa ile en düşük yarmada çekme dayanımı ise REF numunesinde 2.60 MPa ile ölçülmüştür. 90 günlük en yüksek yarmada çekme dayanımı UK20 numunesinde 4.42

MPa ile en düşük yarmada çekme dayanımı ise REF numunesinde 2.83 MPa ile ölçülmüştür. Mineral katkı oranının artışıyla yarmada çekme dayanımları %20 oranına kadar artış gözlemlenirken %30 oranına çıkmasıyla birlikte düşüş gözlemlenmiştir. Ancak yine de REF'e oranla daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir.

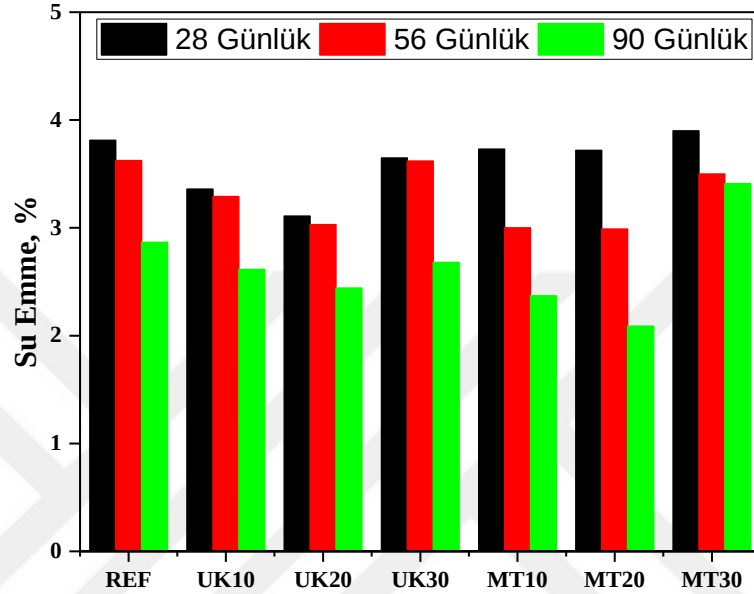


Şekil 4.9. Yarmada çekme dayanımı sonuçları

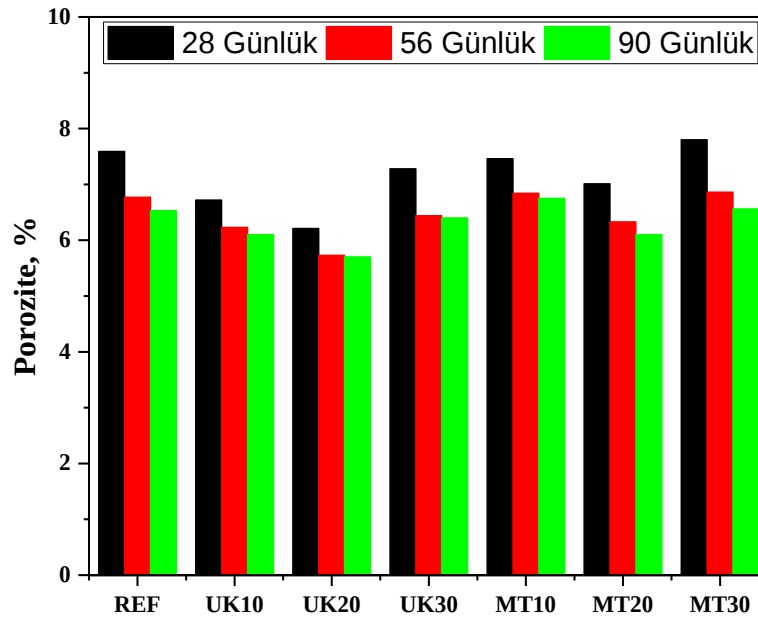
4.2.3. Porozite ve Su Emme Deney Sonuçları

Numunelerin 28, 56 ve 90 günlük su emme değerleri Şekil 4.10'da porozite değerleri Şekil 4.11'de verilmiştir. KYB'lerin yaş artışıyla su emme değerlerinde azalma görülmüştür. Beton yaşı ilerledikçe ilave C-S-H jelleri oluşmaya devam etmekte ve KYB bünyesindeki boşlukları doldurmaktadır (Yang vd. 2023; Manzano vd. 2017). Boşlukların dolmasıyla birlikte su emme miktarları da azalmıştır. REF numunesinin 28, 56 ve 90 günlük su emme değerleri sırasıyla %3.81, %3.62 ve %2.86'dır. REF numunesinin 28, 56 ve 90 günlük porozite değerleri sırasıyla %7.59, %6.77 ve %6.53'tür. Mineral katkı ilavesiyle su emme ve porozite değerlerinde azalma saptanmıştır. Mineral katkı olarak UK ilave edilen UK10, UK20 ve UK30 numunelerinin 28 günlük su emme değerleri sırasıyla %3.36 %3.11 ve %3.65 olarak, MT ilave edilen MT10, MT20 ve MT30 numunelerinin 28 günlük su emme değerleri ise sırasıyla %3.73, %3.72 ve %3.90 olarak ölçülmüştür. UK ilave edilen UK10, UK20 ve UK30 numunelerin 28 günlük porozite değerleri sırasıyla %6.72, %6.21 ve %7.28 olarak, MT ilave edilen MT10, MT20 ve MT30 numunelerinin ise sırasıyla %7.46, %7.01 ve %7.80 olarak belirlenmiştir. 56 günlük en düşük su emme değeri UK20

numunesinde %3.03 olarak en yüksek ise MT30 numunesinde %3.90 olarak saptanmıştır. 56 günlük en düşük porozite değeri UK20 numunesinde %5.73 olarak en yüksek ise MT30 numunesinde %6.86 olarak gözlemlenmiştir. 90 günlük en düşük su emme değeri UK20 numunesinde %2.44 olarak en yüksek ise MT30 numunesinde %3.41 olarak saptanmıştır. 90 günlük en düşük porozite değeri UK20 numunesinde %5.70 olarak en yüksek ise MT30 numunesinde %6.66 olarak gözlemlenmiştir.



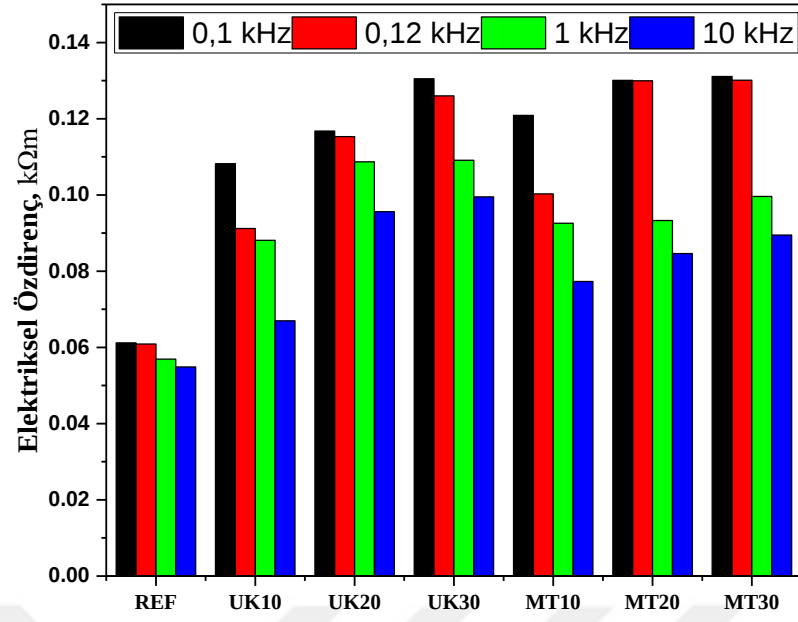
Şekil 4.10. KYB'lerin yüzde su emme sonuçları



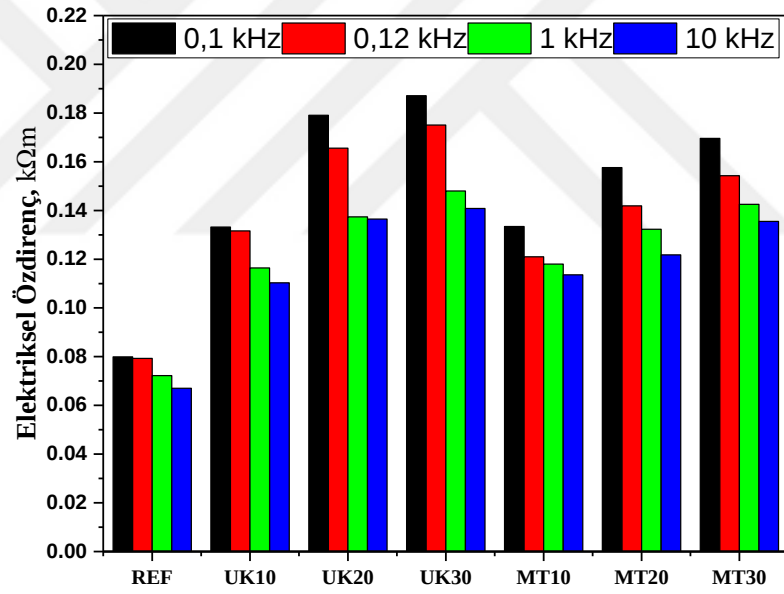
Şekil 4.11. KYB'lerin yüzde porozite sonuçları

4.2.4. Elektriksel Özdirenç Deney Sonuçları

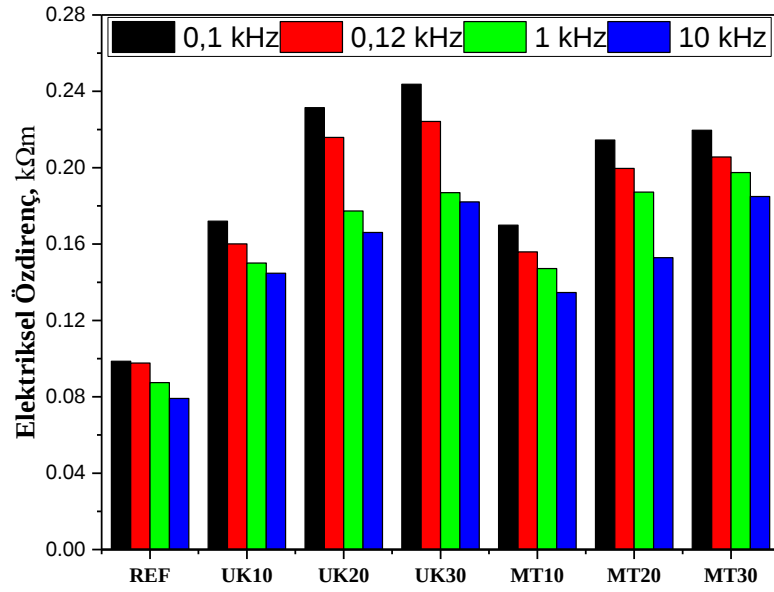
Numunelerin 28 günlük elektriksel özdirenç değerleri Şekil 4.12’de, 56 günlük elektriksel özdirenç sonuçları Şekil 4.13’te ve 90 günlük elektriksel özdirenç sonuçları Şekil 4.14’te verilmiştir. Tüm elektriksel özdirenç ölçümleri 0,1 kHz, 0,12 kHz, 1 kHz ve 10 kHz olmak üzere 4 farklı frekans değerinde ölçülmüştür. Bilindiği üzere, frekans, bir Alternatif Akım (AC) sinyalinin saniye başına devir sayısıdır. Çimento esaslı sistemlerde, boşluk çözeltilerindeki iyon transferi nedeniyle elektrik iletkenliği oluşur ve artan frekansla iyon transferi hızlanır. Bu nedenle direnç azalır (Robles vd. 2020). Yapılan tüm ölçümlerde frekans değerinin artmasıyla birlikte elektriksel özdirenç değerlerinin azaldığı görülmüştür. Mineral katkı ilavesiyle elektriksel özdirenç değerlerinin arttığı görülmüştür. Mineral katkı kullanımıyla birlikte çimento hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) iyonlarının bağlandığı ve C-S-H jellerine dönüştürüldüğü bilinmektedir. Mineral katkı kullanımıyla iyon azalması elektriksel iletkenliği azaltarak elektriksel özdirenç değerlerini arttırmıştır. UK kullanılan numunelerin 28. günde elektriksel özdirenç değerleri MT kullanılan numunelere oranla daha düşük olmasına rağmen numune yaşları ilerledikçe UK numunelerinin elektriksel özdirenç değerleri MT numunelerinden daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Donatı korozyonu bir elektrokimyasal işlem olduğundan, elektrik direncinin bu işlem hakkında bilgi sağlayan bir parametre olarak kullanıldığını, hizmet ömrü modellerinin geliştirilmesinde kullanıldığını çalışmalar mevcuttur (Ahmed ve Kamal, 2022; Nguyen vd. 2018). Hızlandırılmış korozyon deneyi ile elektriksel özdirenç deney sonuçlarının paralellik göstermesi beklenmektedir.



Şekil 4.12. Farklı frekans değerlerinde ölçülen 28 günlük elektriksel özdirenç sonuçları



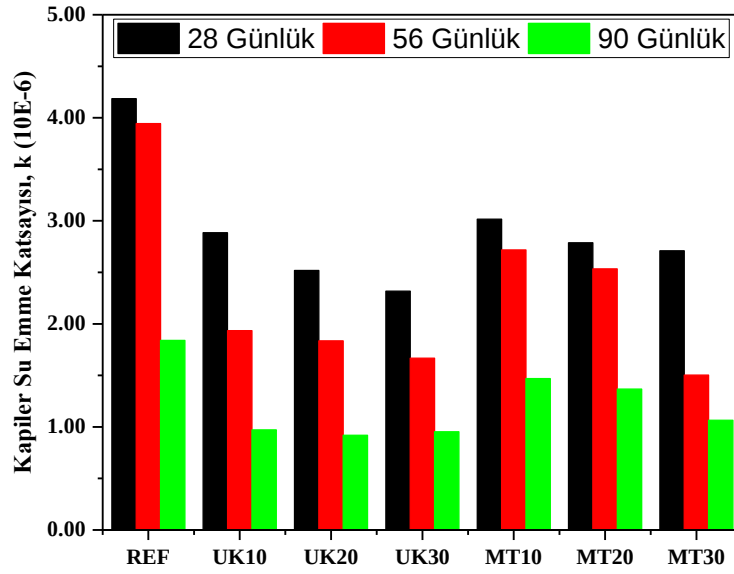
Şekil 4.13. Farklı frekans değerlerinde ölçülen 56 günlük elektriksel özdirenç sonuçları



Şekil 4.14. Farklı frekans değerlerinde ölçülen 90 günlük elektriksel özdirenç sonuçları

4.2.4. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları

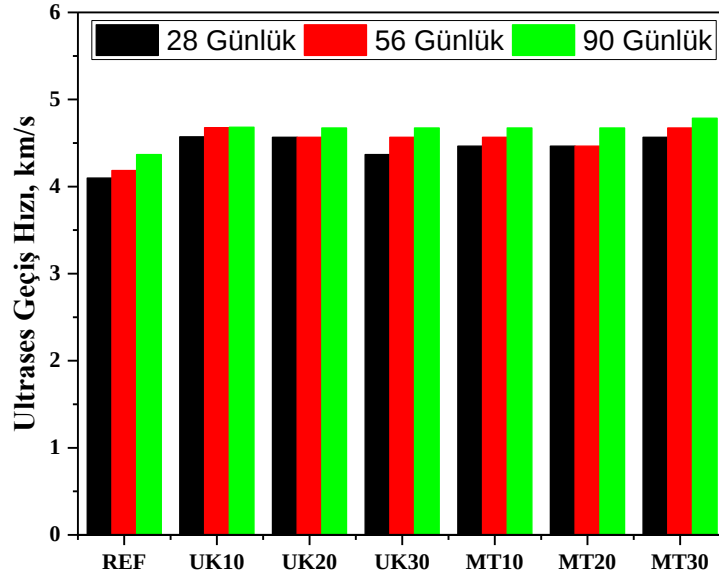
Numunelerin 28, 56 ve 90 günlük kapiler su emme katsayıları Şekil 4.15'te verilmiştir. KYB yaşının artmasıyla birlikte kapiler su emme katsayılarının düştüğü görülmüştür. Çimento nihai dayanıma 28. günde ulaşsa da hidrasyon devam etmektedir. Hidrasyonun devam etmesiyle birlikte ilave C-S-H jelleri oluşmakta ve KYB içerisindeki kapiler boşlukları doldurmaktadır (Kong vd. 2020). KYB'nin yüksek oranda toz içerişi ve farklı oranlarda mineral içeriği sayesinde mineral katkı kullanımıyla kapiler boşlukların azaldığı saptanmıştır. Özellikle mineral katkı kullanımında erken yaşlarda değil de ilerleyen yaşlarda reaksiyona girildiği bilinmektedir (Korpa vd. 2008). Bunun sebebi mineral katkıların çimento hidrasyonu sonucunda oluşacak Ca(OH)_2 'i beklemesidir. Mineral katkı kullanımı yalnızca çimento kullanımına oranla daha düşük boşluklara sebep olduğu görülmüştür. UK'nın kullanımının MT kullanımından daha iyi kapiler boşluk doldurduğu görülmektedir.



Şekil 4.15. Kapiler su emme deneyi sonuçları

4.2.5. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

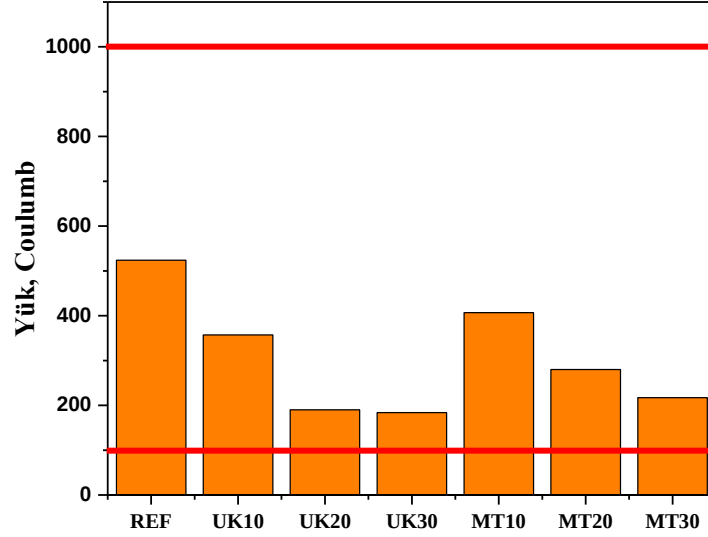
Numunelerin 28, 56 ve 90 günlük ultrases geçiş hızı sonuçları Şekil 4.16’da verilmiştir. Ultrases geçiş hızı beton gibi kompozit yapı malzemelerinin boşluk yapısı hakkında bilgi veren tahribatsız deney yöntemlerinden biridir. Boşluk ne kadar az ise gönderilen ses dalgası KYB içerisinden daha hızlı geçecektir. Ultrases geçiş hızının yüksek olması KYB’nin boşluk oranı az olması dolayısıyla mekanik dayanımının da yüksek olması anlamına gelmektedir (Yaşar vd., 2004; Çınar vd., 2020). KYB’lerin ultrases geçiş hızı sonuçları incelendiğinde beton yaşının artmasıyla birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Beton yaşı ilerledikçe dayanım kazanmaya devam etmekte ve ilave hidratasyon ürünleri ile boşlukları doldurmaktadır. Mineral katkı ilavesi ile tüm yaşlarda ultrases geçiş hızının arttığı saptanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan diğer fiziksel davranışlara benzer bir davranış sergilediği görülmüştür.



Şekil 4.16. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

4.2.6. Hızlandırılmış Klor Geçirgenliği Deney Sonuçları

Hızlı klorür geçirirmliliği deneyinde elde edilen yük (Coulumb) verileri Şekil 4.17'de verilmiştir. Klor geçirgenliği doğrudan korozyon ile ilişkilidir. Klor geçirgenliği ne kadar düşük ise donatı korozyonuna karşı o kadar dirençli olduğu anlamına gelmektedir (Rezakhani vd., 2023). Üretilen KYB numunelerinin tümünde klor geçirgenliği 1000 coulumb'un altında kalmıştır. Çizelge 3.5'te verilen klor geçirgenliği seviyelerine göre incelendiğinde tüm numunelerin çok düşük klor geçirgenliği seviyesinde olduğu görülmektedir. REF numunesinde 524 coulomb elde edilirken UK10, UK 20, UK30 numunelerinde sırasıyla 357, 190 ve 184 coulomb, MT10, MT20, MT30 numunelerinde ise sırasıyla 407, 280 ve 217 coulomb olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere üretilen numunelerde klor geçirgenliğinde en düşük UK20 numunesinde, en yüksek ise REF numunesinde elde edilmiştir. KYB üretiminde mineral katkı kullanımının klor geçirgenliğini azalttığı görülmüştür.

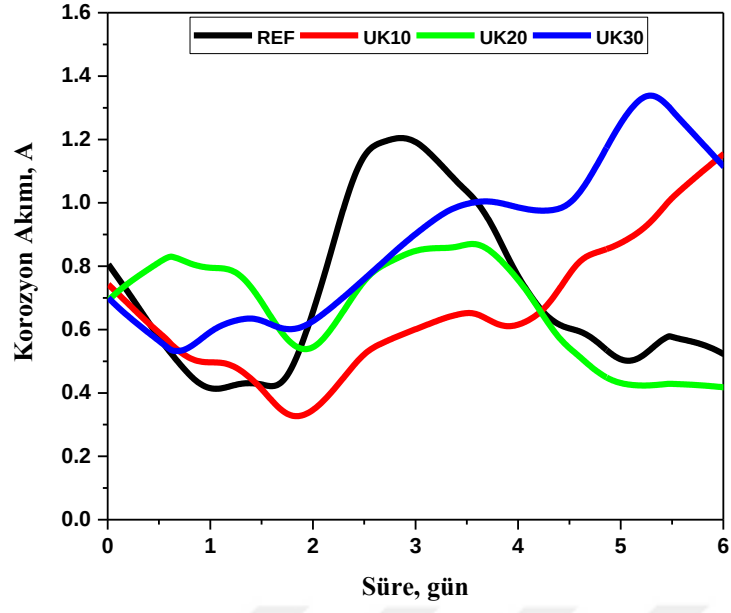


Şekil 4.17. Klor geçirgenliği sonuçları

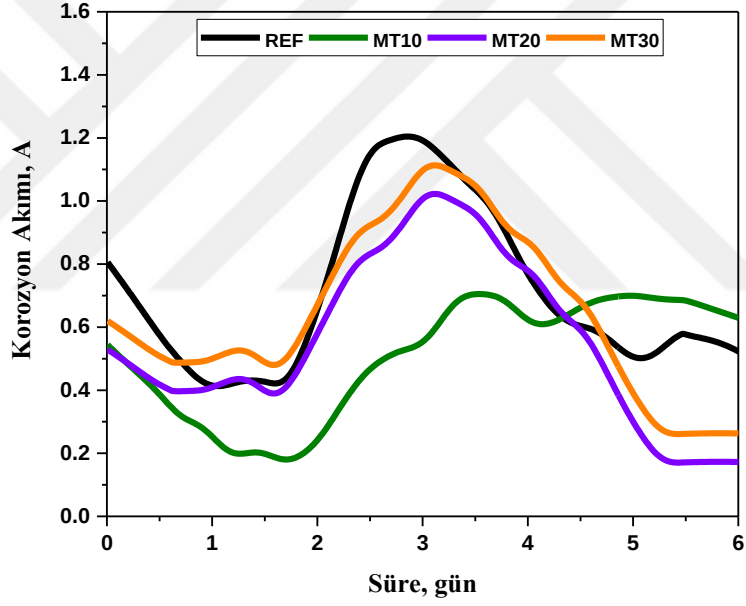
4.2.7. Hızlandırılmış Korozyon Deney Sonuçları

Hızlandırılmış korozyon deneyinden elde edilen akım verileri Şekil 4.18’de, çözelti sıcaklıkları Şekil 4.19’da ve korozyon başlama süreleri Şekil 4.20’de verilmiştir. KYB’nin yüksek alkalitede olmasından dolayı donatının etrafında koruyucu pasif oksit filmi oluşturur. Klor iyonları pasif filmi kırmak için KYB’de kılcal çatlaklardan sızar ve donatının korozyonu başlatır. Klor iyonlarının neden olduğu korozyon, donatının mukavemetini azaltarak korozyon ürünlerini oluşturur. Ayrıca KYB ile olan aderansını azaltıp nihayetinde KYB’nin de çatlamasına neden olur. Korozyon başlamasıyla pas ürünleri oluşur ve bu pas ürünleri donatı hacminin 6 ila 10 katı daha yüksek hacimli oksit oluşturur. Donatının enine kesit alanını azaltarak sünekliklerini en aza indirir ve donatı KYB ara yüzeyinde hacim genişlemesiyle aderans azaltıp çatlak oluşumuna sebep olur. Korozyon süreci ilerledikçe bu pas ürünlerinin KYB’de çatlakların genişlemesiyle servis ömrünü azaltır (Abouhussien ve Hassan 2018; Ziehl ve ElBatanouny 2023). Hızlandırılmış korozyon deneyi sayesinde oluşan korozyon mekanizmasını simüle ederek laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Akım verileri, deneyin başından sonuna kadar her 10 dakikada bir veri kaydedici cihazdan elde edilmiştir ve belirli yazılım programlarının yardımıyla bir grafik üzerinde gösterilmiştir. İlk korozyon akımı, akımın DC kaynağı tarafından iletilmesinden sonra numunenin akıma karşı ilk direnci olarak tanımlanabilir. Kaydedilen bu ilk akım ne kadar yüksek olursa sistem o numuneye daha fazla akım uygulayacak ve sonuç olarak

korozyon daha kısa sürede gerçekleşecek anlamına gelmektedir (He vd. 2018). Akım verileri incelendiğinde en yüksek akım REF numunesinde ölçülmüştür. Mineral katkı kullanımıyla hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında numunelerin çektiği akımlarda düşüş gözlemlenmiştir. Numunenin çektiği akım arttıkça çözelti sıcaklığı artar. Mevcut değerlerden hareketle sıcaklığın artmaya başladığı noktalar korozyon başlama süreleri olarak belirlenmektedir (Yeganeh vd. 2019). Bu doğrultuda korozyon başlama süreleri belirlenmiştir. Korozyon başlama süreleri REF, UK10, UK20 ve UK30 numunesinde sırasıyla 36, 47, 45 ve 49 saat, MT10, MT20 ve MT30 numunelerinde ise sırasıyla 44, 39 ve 38 saat olarak kayıt alınmıştır. KYB’de mineral katkı kullanımıyla korozyon başlama sürelerinde artış gözlemlenmiştir. Korozyonun ilk başladığı numune REF numunesi, en son ise UK10 numunesidir. Korozyon başlama süresi ne kadar yüksek ise betonlar korozyona kadar o kadar dirençlidir (Ghafari 2013). Mineral katkı kullanımıyla KYB betonunu korozyon direncinin arttırılabileceği görülmektedir. Korozyon başlama zamanlarının akım yoğunlukları ile ters orantılı olduğu bulunmuştur (Uygunoğlu vd. 2020). Azalan akım yoğunluğu ile korozyon başlama süreleri artmıştır.

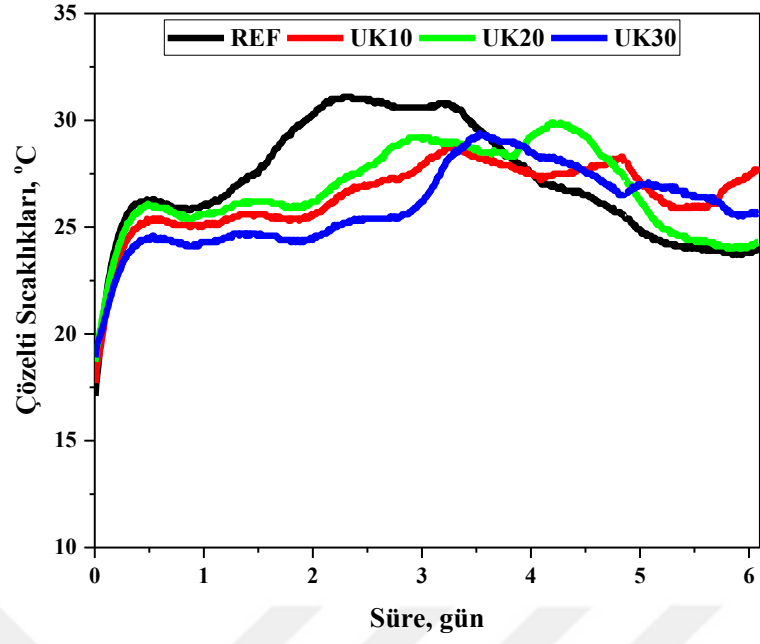


(a)

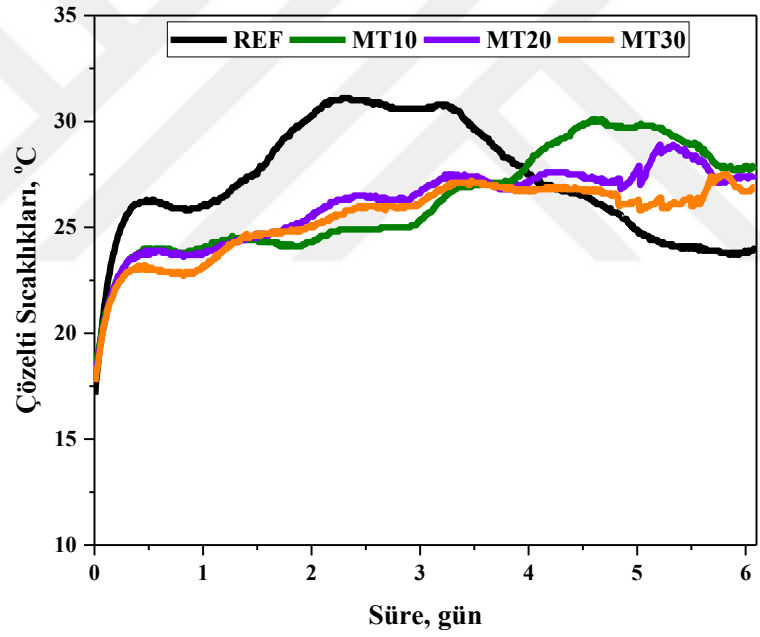


(b)

Şekil 4.18. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda kaydedilen akım veriler (a): referans numune ve UK kullanılan numuneler (b): referans numune ve MT kullanılan numuneler

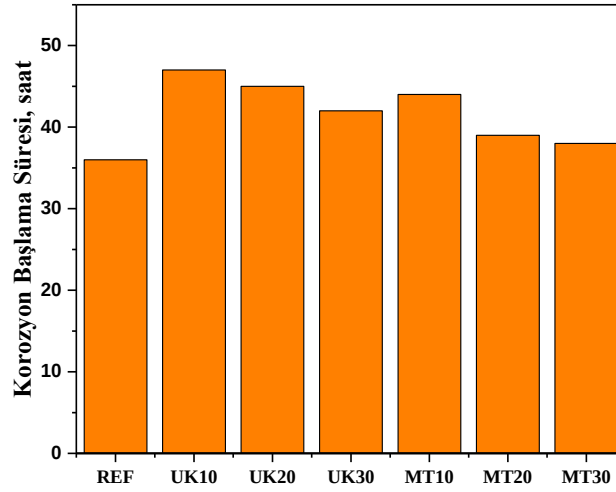


(a)



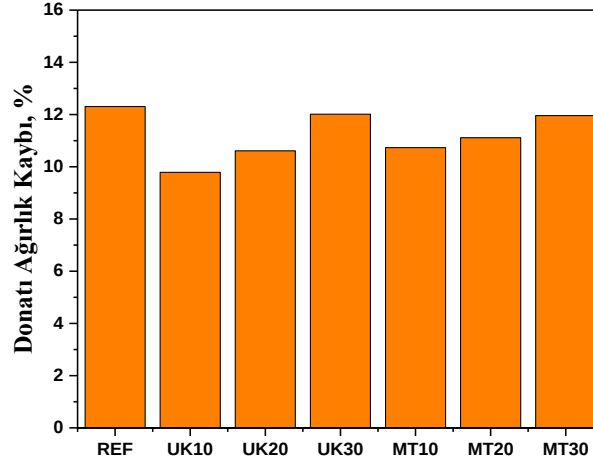
(b)

Şekil 4.19. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda kaydedilen çözelti sıcaklıkları (a): referans numune ve UK kullanılan numuneler (b): referans numune ve MT kullanılan numuneler



Şekil 4.20. Korozyon başlama süreleri

Çevresel nedenlerle korozyona uğradığında betondaki donatının hacmi artar. Hacimdeki bu artış, betonarme elemanlarda içten dışa doğru bir iç kuvvet oluşturur. Betonun rijit yapısı bu kuvvetlerin oluşmasına izin vermez ve belirli bir kritik seviye aşıldıktan sonra beton daha fazla dayanım gösteremez ve bu da donatı çevresinde çatlakların oluşmasına neden olur. Çatlaklar beton içerisindeki mikro boşluklardan belli bir hat boyunca ilerleyerek yüzeye ulaşır (Topçu vd. 2022). Donatının oluşturduğu pas ürünleri nötr veya hafif alkali ortamda yeşil renkte pas oluşturur ancak bu pas ürünlerini hava ile etkileşimle kahverengiye döner (Hay ve Ostertag 2020). Hızlandırılmış korozyon deneyi tamamlanan numunelerin donatılarının ağırlık kayıpları Şekil 4.21’de verilmiştir. Ağırlık kayıplarının belirlenmesi için donatılar pas ürünlerinden hidroklorik asit kullanılarak temizlenmiştir. Ağırlık kaybı incelendiğinde korozyon başlama süreleriyle benzer davranış göstermiştir. Aynı zamanda mineral katkı ilavesiyle elektriksel özdirençlerde meydana gelen azalma ile donatı ağırlık kayıplarında meydana gelen azalmalar paralellik göstermiştir. KYB’nin elektriksel özdirenç direnci ne kadar yüksek ise donatı korozyon direnci o kadar yüksek olmaktadır.

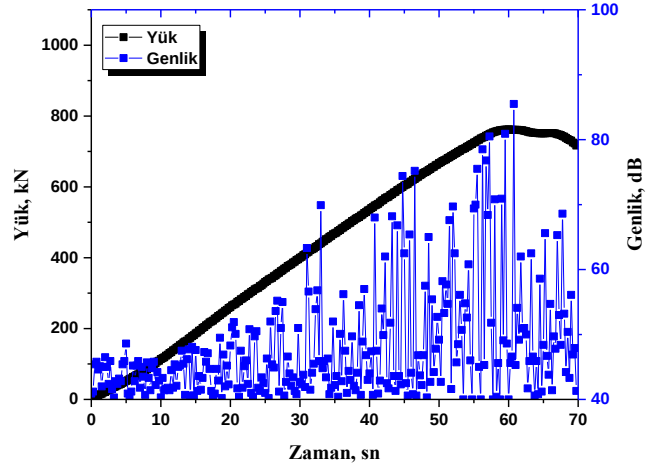


Şekil 4.21. Donatı ağırlık kayıpları

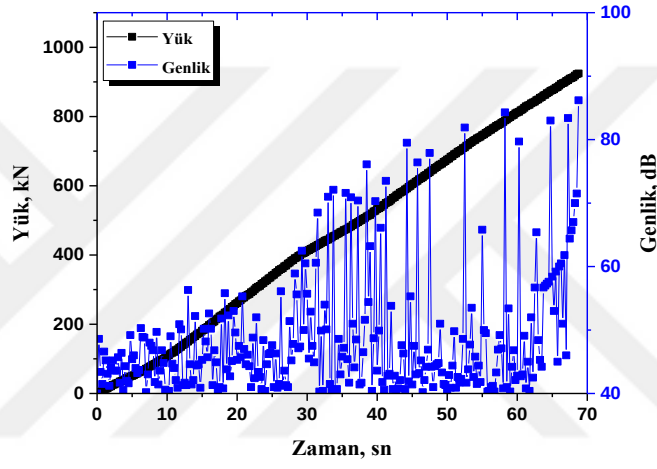
4.2.8. AE Deney Sonuçları

4.2.8.1. AE Basınç Dayanımı Sonuçları

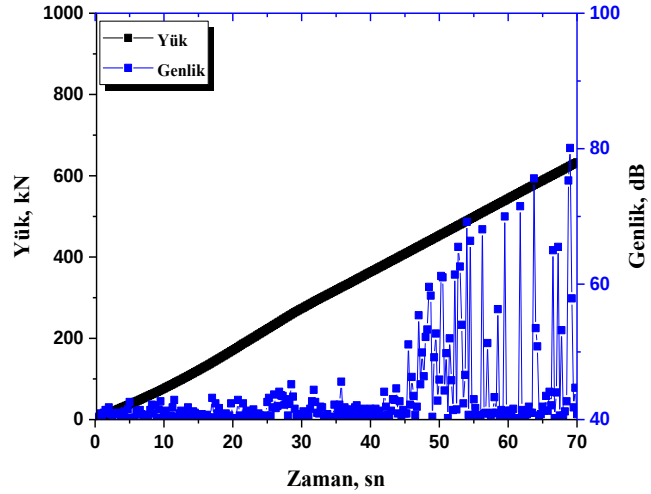
KYB'lerin aksenal yük altında alınan eş zamanlı genlik ölçümleri Şekil 4.22'de verilmiştir. Şekil 4.22'de grafiğin sol eksenini kaydedilen yükü, sağ eksen kayıtları alınan genlik değerlerini ortak eksen ise deney süresini temsil etmektedir. KYB'lerin taşıma kapasitelerine bakıldığında da yüksekte düşüğe doğru UK, MT ve REF numunesinde sırasıyla 61.92, 56.23 ve 40.22 MPa olarak belirlenmiştir. KYB sadece çimento yerine mineral katkı ilavesiyle dayanım artışı gözlemlenmiştir. UK katkısının MT katkısından daha yüksek dayanım artışına sebep olduğu görülmüştür. Genlik ölçümlerinde laboratuvar ortamındaki dış gürültüleri azaltmak için eşik değeri olarak 40 dB seviyesi seçilmiştir (Tabrizi vd. 2019). Deney sırasında eş zamanlı alınan genlik sinyalleri KYB'ler de oluşan çatlakların büyüklüğü arasında doğrudan bir ilişki vardır. Çatlaklar mikro boyutta iken daha düşük genliklere rastlanırken çatlak boyutunun artmasıyla genlik değerlerinde artış gözlemlenir (Ma ve Du 2020). Yük artışıyla birlikte çatlak gelişimi hızlandığından genlik değerleri de arttığı gözlemlenmiştir. Düşük ortalama genlikler küçük yüklere karşılık gelirken yük kuvveti yüksek olduğunda en yüksek genliğe ulaşılır ve betonun taşıma kapasitesine yaklaştığı anlamına gelmektedir. En yüksek genlik 87 dB ile UK20 numunesinde görülürken REF numunesi 85 dB ile, MT20 numunesi ise 80 dB ile takip etmektedir. Basınç dayanımları ile genlik büyüklükleri arasında doğrudan bir bağlantı olduğu görülmüştür. KYB'lerin taşıma kapasitesi arttıkça kırılmada meydana gelen çatlak büyüklüğü de artmaktadır. Böylece daha yüksek genlikler kayıtları alınmıştır.



(a)



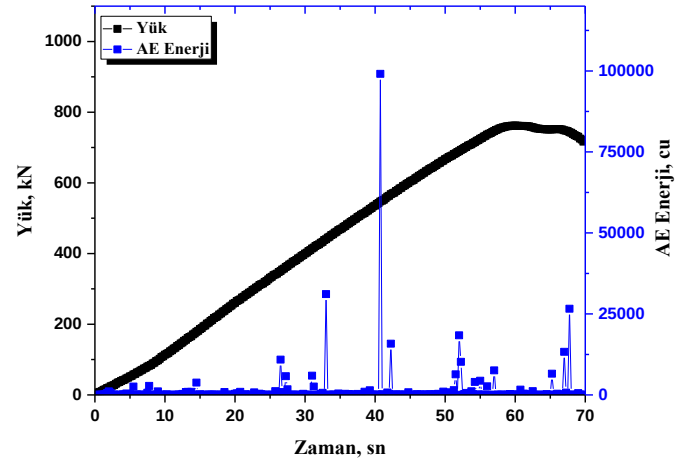
(b)



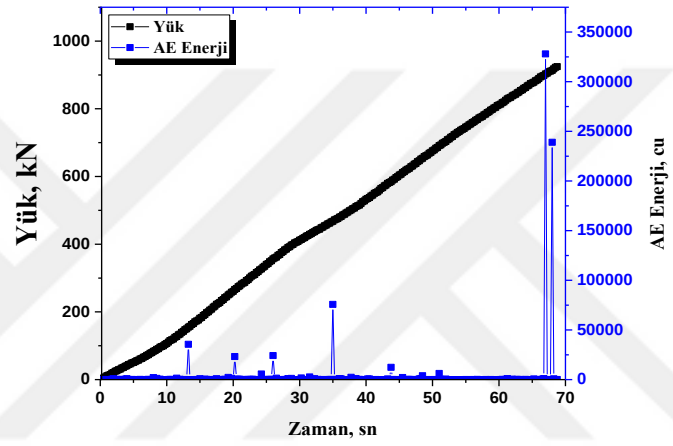
(c)

Şekil 4.22. Basınç dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE genlik sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20

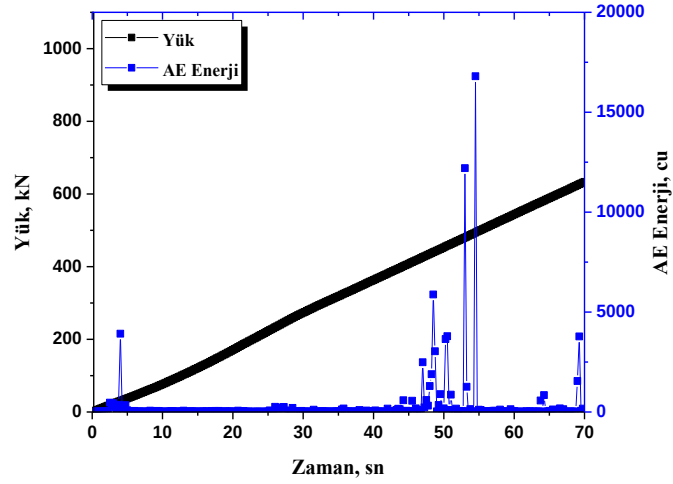
KYB'nin yük altında eş zamanlı olarak ölçülen AE enerji değerleri Şekil 4.23'te verilmiştir. Şekil 4.23'te grafiğin sol eksen kaydedilen yükü, sağ eksen kayıt alınan AE enerji değerlerini ortak eksen ise deney süresini göstermektedir. AE enerji sayımı, sinyal algılama zarfının altındaki alandır ve enerji sayım oranını içerir (Kim vd. 2015; Suzuki vd. 2020). Enerji sayma hızı, birim zaman başına enerjideki değişim oranıdır. AE enerji sinyalinin sonuçları, betonun hasar tahmini için en faydalı parametrelerden biridir (Morozova vd. 2023). Hasarsız betonda, basınç gerilmesi alanında çatlakların oluşumu ve gelişim süreci ayrıntılı olarak değerlendirilebilir. Yükleme başladığında, yük-zaman eğrilerinin sıkıştırma ve elastik aşamalarında çok az AE aktivitesi bulunurken ve sadece küçük bir miktar enerji serbest bırakmaktadır. Yük artmasıyla birlikte çatlak oluşumu arttığından bırakılan AE enerjisinin büyüklüğü artmaktadır. AE enerjisi bazı zamanlarda ani şekilde bazı zamanlarda da kademeli şekilde artmıştır. AE enerji/zaman grafiğinden ani artışların gevrek kırılmaları, kademeli artışların da sünek kırılmaları oluşturduğu söylenebilir. Betonlardan çıkan AE enerjisinin keskin artışı taşıma kapasitesini kaybettiği anlamına gelmektedir. Basınç dayanımı en düşük olan REF betonu diğer iki betondan daha erken aşamada yüksek AE enerjisi vermiştir. Taşıma kapasitesi arttıkça rastlanan ani AE enerji artışlarının süreside artmıştır. Basınç dayanımları ile benzer sıralama göstermiştir. Yüksek dayanıma sahip malzemeler için, enerjiyi emme yeteneği ne kadar yüksekse, çatlaklar oluştuğunda salınan elastik dalga enerjisi de o kadar yüksek olmaktadır (Deng vd. 2022). Çatlakların oluşumu aşaması ve büyüklüğü hakkında basınç dayanımları ile orantılı bir şekilde fikir vermiştir. Taşıma kapasitesi yüksek olan beton daha geç aşamalarda çatlayarak daha geç aşamada yüksek AE enerjisi kayıt alınmıştır.



(a)



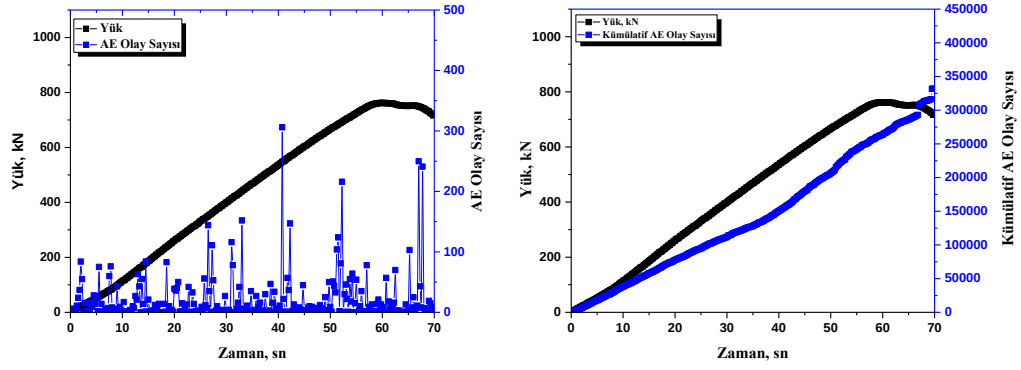
(b)



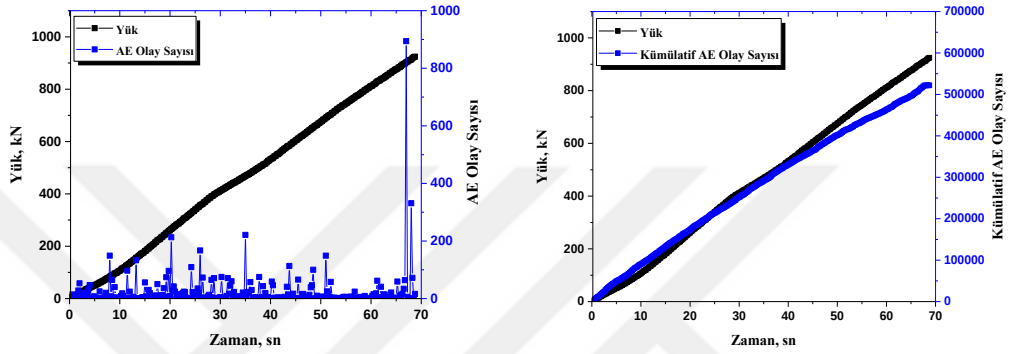
(c)

Şekil 4.2313. Basınç dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE enerji sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20

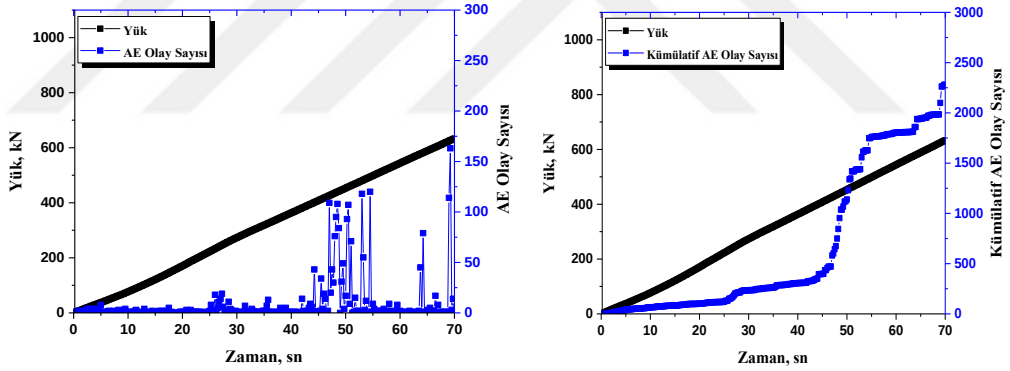
KYB'nin yük altında eş zamanlı olarak ölçülen AE olay sayısı ve kümülatif AE olay sayısı Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.24'te grafiğin sol eksen kaydedilen yükü, sağ eksen kayıt alınan AE olay sayısını değerlerini ortak eksen ise deney süresini göstermektedir. AE olay sayısı, beton malzemelerde iç çatlakların oluşumunu ve gelişimini yansıtmak için eşik sinyali geçen şokların sayısıdır. Yükün artmasıyla birlikte çatlak gelişimi artmakta bu da AE olay sayılarında artışa sebep olmaktadır. Yük tepe noktasına yaklaştıkça numune içerisinde yeni çatlak gelişimi ile olay sayısı en yüksek değerlerine ulaşmakta ve KYB'de artık gözle görülür çatlaklar meydana gelmektedir (Guan vd. 2019). Kümülatif AE olayları incelendiğinde yük artışıyla birlikte doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Buda yük artışıyla KYB'de meydana gelen çatlak yoğunluğunun arttığını göstermektedir. Mineral katkı ilave edilen KYB'lerin basınç dayanımı arttırmasıyla birlikte KYB'de çatlak oluşumunu daha geciktirdiği ve çatlak ilerlemesini yavaşlattığı saptanmıştır. Çatlak oluşumu gecikirken oluşan çatlakların sayısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Dayanım artışıyla birlikte çatlak oluşumu gecikirken, çatlak oluşmaya başladıktan sonra daha hızlı bir şekilde çatlak gelişimi olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

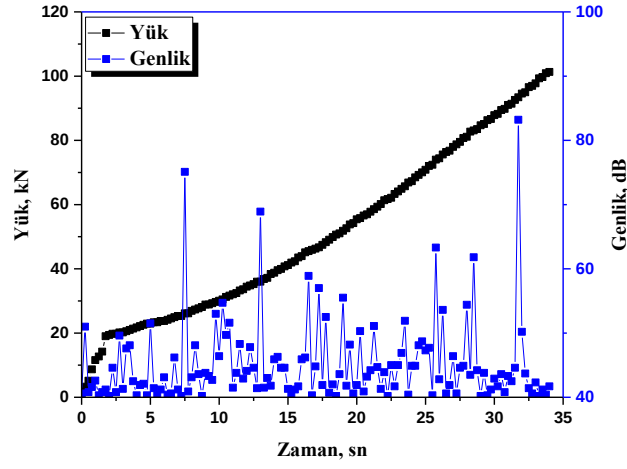
Şekil 4.24. Basınç dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE olay sayıları sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20

4.2.8.2. AE Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

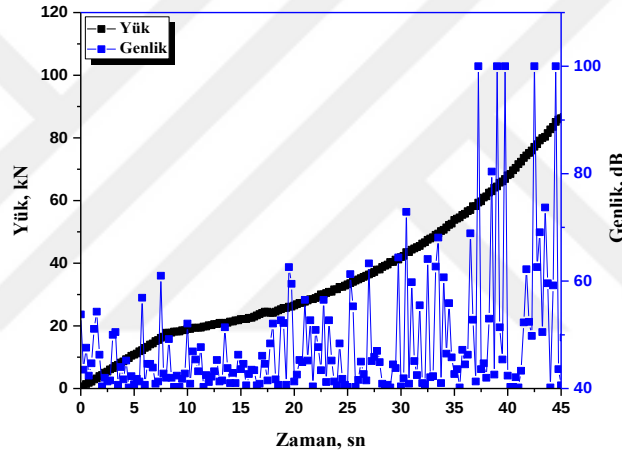
KYB'lerin yarmada çekme deneyi esnasında eş zamanlı genlik ölçümleri Şekil 4.25'te verilmiştir. Şekil 4.25'te grafiğin sol eksen kaydedilen yükü, sağ eksen kayıt alınan genlik değerlerini ortak eksen ise deney süresini göstermektedir. Basınç dayanımındaki eksenel yük altında kaydedilen genliklere oranla daha güçlü ve ani artışların olduğu görülmektedir. Yarmada çekme deneyi ile KYB'lerin dolaylı yoldan

çekme dayanımı ölçülmektedir (Suda ve Paul 2022). KYB’de basınç dayanımına oranla çekme dayanımı düşük kalmaktadır çünkü beton basınca çalışan bir yapı malzemesidir. Bundan kaynaklı genlik kayıtlarını incelediğimizde basınç dayanımına oranla daha erken ve daha yoğun çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Deney süresine de baktığımızda 35-40 sn arasında deney tamamlanmıştır. En yüksek genlik 100 dB ile UK20 numunede görülürken referans numunesini MT20 numunesi 85 dB ile, REF numunesin ise 84 dB ile takip etmektedir. Yarmada çekme dayanımları ile genlik büyüklükleri arasında doğrudan bir bağlantı olduğu saptanmıştır. KYB’lerin taşıma kapasitesi arttıkça kırılmada meydana gelen çatlak büyüklüğü de artmaktadır. Böylece daha yüksek genlikler kayıt alınmıştır. Basınç ve yarmada çekme dayanımı arasında genlik izlenmesiyle farklılıkların olduğu çatlak gelişiminin farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir.

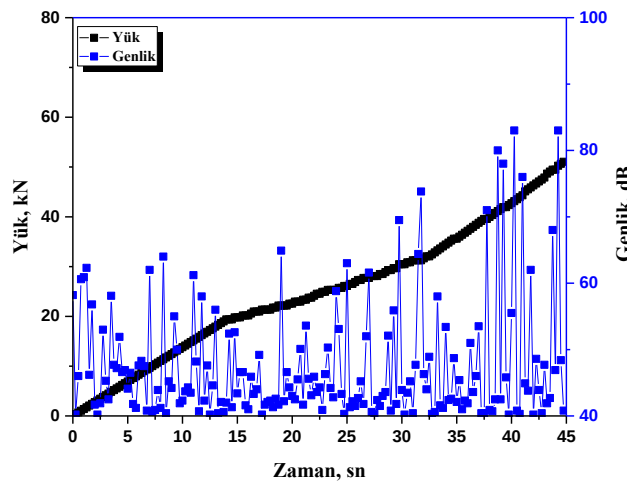
KYB’nin yarmada çekme deneyi esnasında eş zamanlı olarak ölçülen AE enerji değerleri Şekil 4.26’da verilmiştir. Şekil 4.26’da grafiğin sol eksen kaydedilen yükü, sağ eksen kayıt alınan AE enerji değerlerini ortak eksen ise deney süresini göstermektedir. Basınç dayanımı esnasında izlenen AE verilerinde bahsedildiği gibi, AE enerji parametresi hasar tespitinde kullanılan en faydalı parametrelerden biridir (Morozova vd. 2023). Yükün ilk aşamalarında çok fazla aktivite olmamıştır ve küçük bir miktar AE enerjisi salınmıştır ancak yükün artışı ve çatlak oluşumunun hızlanmasıyla daha yüksek AE enerjisi salındığı görülmektedir. AE enerji/zaman grafiğinden ani artışların gevrek kırılmaları, kademeli artışların da sünek kırılmaları göstermektedir. KYB çekmeye çalışan bir yapı malzemesi olmadığı için basınç dayanımına kıyasla daha ani ve yoğun enerji çıkışı olmuştur. En yüksek ve yoğun AE enerji salınımı, yarmada çekme dayanımı en yüksek olan UK20 numunesinde görülmektedir. Yarmada çekme dayanımı düşük olan REF numunesinde ise çok daha az sayıda ve erken aşamalarda AE enerji salınımı gerçekleşmiştir. Çatlakların oluşumu aşaması ve büyüklüğü hakkında yarmada çekme dayanımları ile orantılı bir şekilde fikir vermiştir. Taşıma kapasitesi yüksek olan KYB daha geç aşamalarda çatlayarak daha geç aşamada daha yüksek AE enerjisi kayıt alınmıştır.



(a)

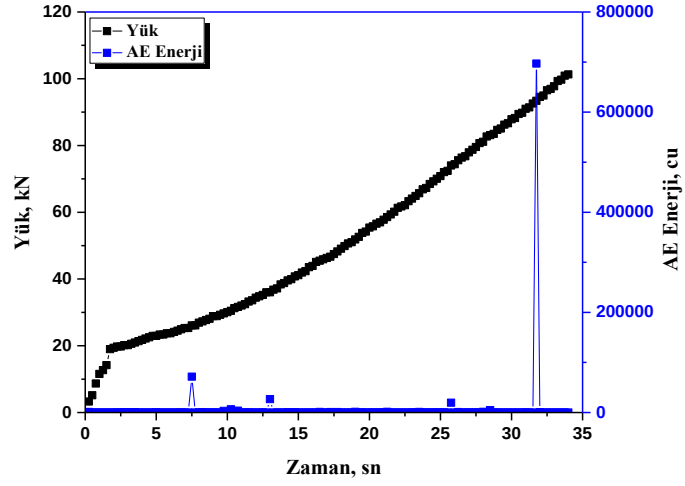


(b)

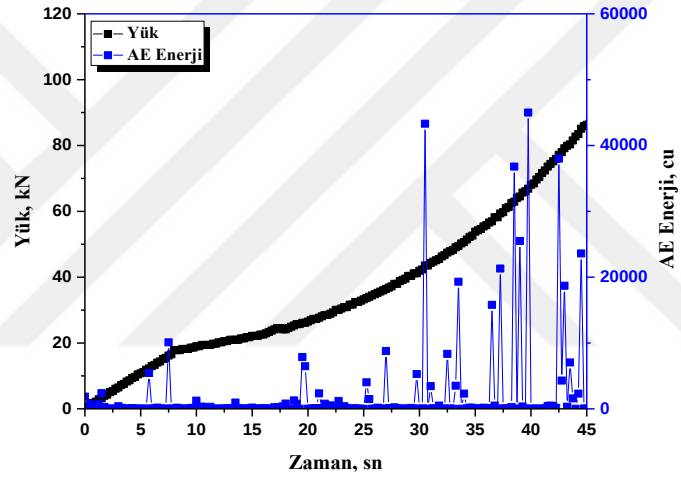


(c)

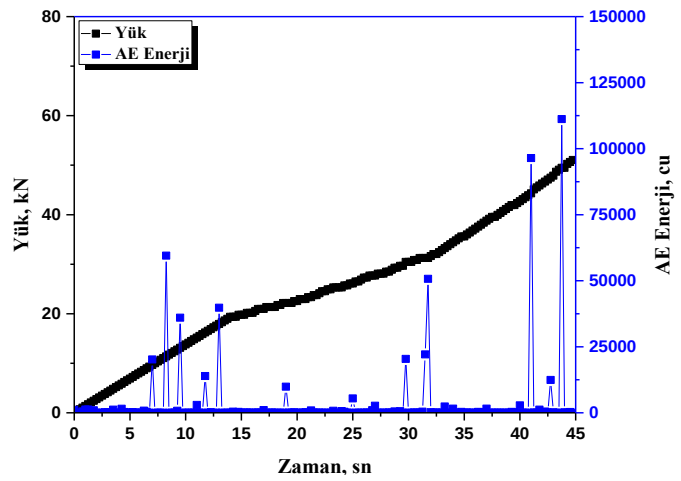
Şekil 4.25. Yarmada çekme dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE genlik sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20



(a)



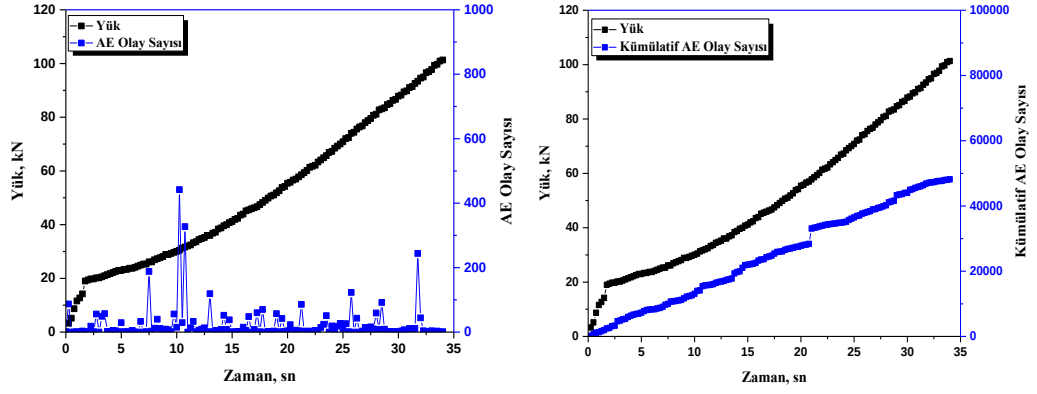
(b)



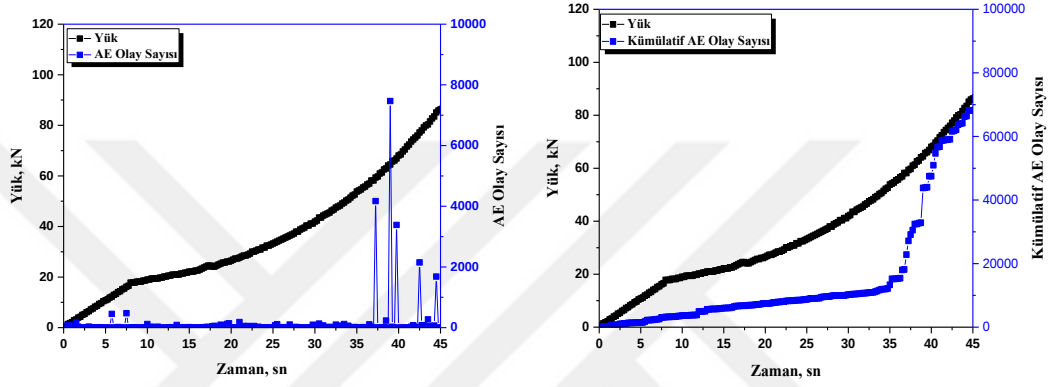
(c)

Şekil 4.26. Yarmada çekme dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE enerji sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20

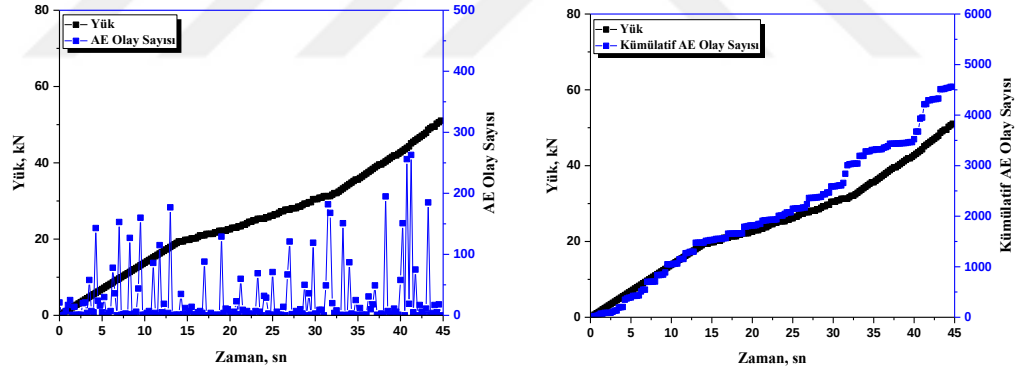
KYB'nin yarmada çekme deneyi sırasında eş zamanlı olarak ölçülen AE olay sayısı ve kümülatif AE olay sayısı Şekil 4.27'de verilmiştir. Şekil 4.27'de grafiğin sol eksenini kaydedilen yükü, sağ eksen kayıtları alınan AE olay sayısını değerlerini ortak eksen ise deney süresini göstermektedir. KYB'lerin yarmada çekme dayanımının basınç oranla daha az olmasından kaynaklı olay sayılarında daha erken artışlar gözlemlenmiştir. Çekme çatlaklarının daha erken oluştuğu ve hızlı bir şekilde çatlak oluşumunun arttığı görülmüştür. Yük artışıyla birlikte çatlak gelişiminin artışıyla AE olay sayıları da artmıştır (Chu vd. 2023). Kümülatif AE olayları incelendiğinde yük artışıyla birlikte doğrusal olarak arttığı görülmüştür. AE olay sayısının daha yoğun olduğu numune yarmada çekmede dayanımı en yüksek olan UK20 numunesidir. Yarmada çekme dayanımı ne kadar yüksek ise AE olay sayıları o kadar geç oluşmakta ancak çok sayıda hızlı bir şekilde çatlak oluşumunun olduğu görülmektedir. Mineral katkı kullanımıyla KYB'lerin yarmada çekme dayanımı artışıyla birlikte basınç dayanımındaki gibi çatlak oluşumunun geciktiği ancak oluşan çatlakların sayısının hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Yarmada çekme dayanımı artışı çatlak oluşumunu geciktirirken taşıma kapasitesine yaklaştıkça daha yoğun çatlak oluşumuyla gevrekleştiği anlamına gelmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.27. Yarmada çekme dayanım deneyi esnasında ölçülen yük ve AE olay sayısı sonuçları(a):

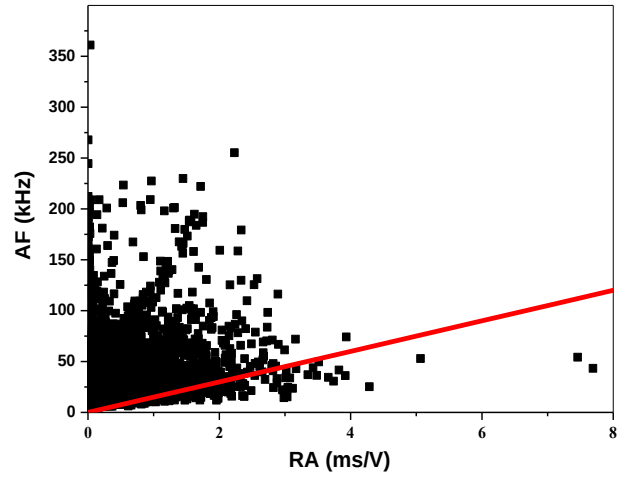
REF, (b):UK20, (c):MT20

4.2.8.3. AE Çatlak Analizi Sonuçları

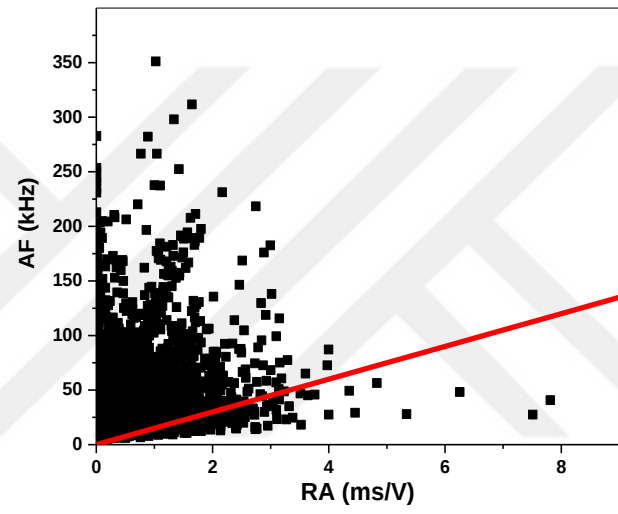
KYB'nin basınç deneyi sırasında alınan eş zamanlı ölçümlerle çizilen AF-RA grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir. AE aktivitesine yol açan hasar, çeşitli mekanizmalardan kaynaklanabilir. Bu nedenle, AE sinyallerini sınıflandırmak ve çatlak analizi yaparak çatlakların kesme çatlak mı olduğu yoksa çekme çatlak mı olduğunu ayırt etmede

kullanılır. Çatlak sınıflandırması RA değeri ve AF grafiğinden tanımlanır. Daha yüksek frekanslar ve daha düşük RA değerleri tipik olarak çekme moduna atanırken, daha düşük frekanslar ve daha yüksek RA değerleri kesme moduna atanır. Bu değerlendirme sistemine göre bir doğru seçilir ve seçilen doğrunun üzerinde kalan değerler çekme çatlak, altında kalan değerler ise kesme çatlak olarak adlandırılmaktadır. Donatısız beton veya KYB üzerine yapılan araştırmalarda limit, AF ve RA arasındaki 1/15 oran (kHz cinsinden) olarak önerilmektedir (Aggelis vd. 2017; Isla vd., 2015; Aggelis vd., 2011b). Bu nedenle çatlak ayırım limiti 1/15 olarak seçilmiştir. Basınç dayanımı sırasında alınan sonuçlarda tüm numunelerde benzer çatlak modlarının oluştuğu görülmektedir. REF numunesinde çatlakların %98.58, UK numunesinde %99.06 ve MT numunesinde çatlakların %98.95 çekme çatlak olduğu gözlemlenmiştir. Dayanımları ve içerikleri farklı olsa da kırılma modunu etkilemediği sonucuna varılmıştır (Yue vd., 2020). Hasarın çoğu çekme çatlakına aittir, toplam AE olay miktarının sadece %1 ila %2'si arasında bir kısmın kesme bölgesinde yer aldığı saptanmıştır.

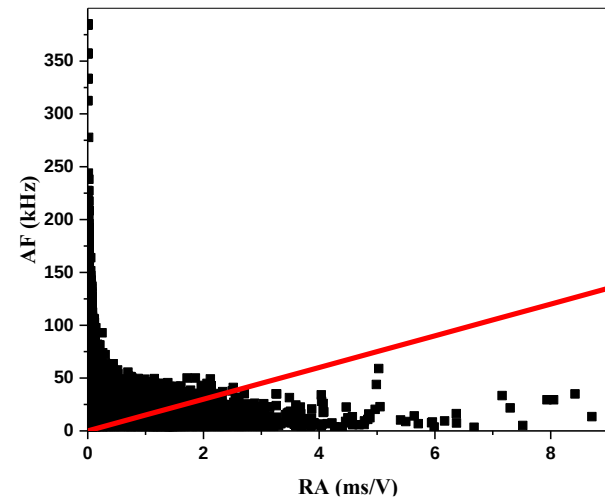
KYB'nin yarmada çekme deneyi sırasında alınan eş zamanlı ölçümlerle çizilen AF-RA grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir. Yarmada çekme dayanımı sırasında ise REF numunesinde çatlakların %96.40, UK numunesinde %97.92 ve MT numunesinde çatlakların %97.54 çekme çatlak olduğu saptanmıştır. Hasarın çoğu çekme çatlakına ait olduğu, toplam AE olay miktarının yaklaşık %2 ila %4 arasında bir kısmın kesme bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Yarmada çekme dayanımı sırasında çizgisel yük uyguladığından dolayı basınç dayanımına oranla daha fazla kesme çatlak oluştuğu görülmüştür. KYB içerisine mineral katkı ekleyerek yarmada çekme dayanımı sırasında oluşan kesme çatlaklarının azaldığı gözlemlenmiştir.



(a)

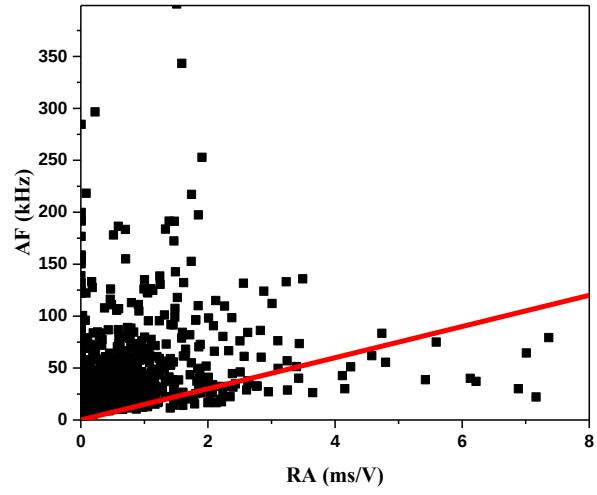


(b)

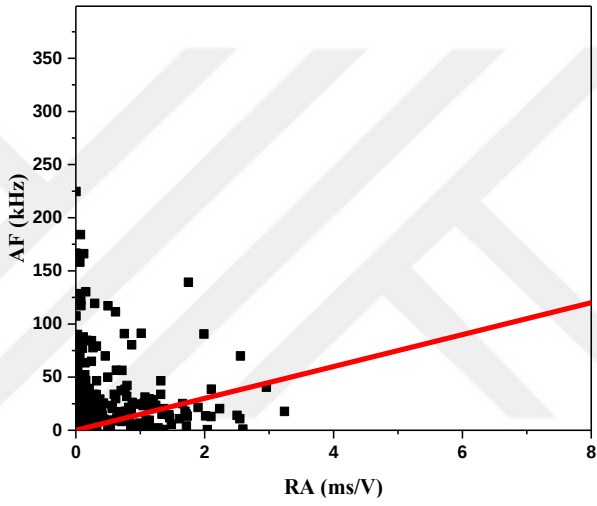


(c)

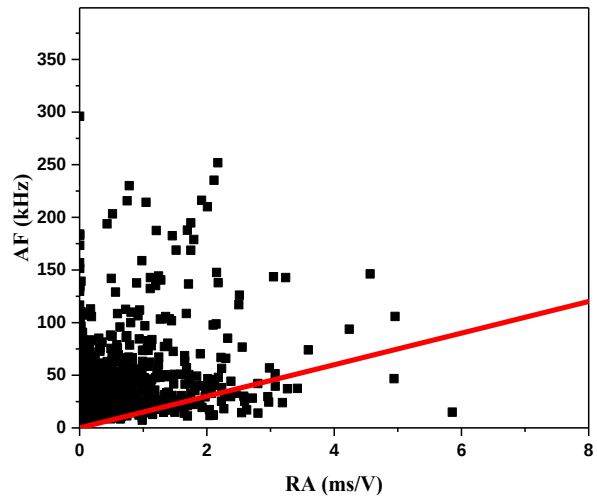
Şekil 4.28. Basınç dayanımı deneyi esnasında AF-RA sonuçları (a): REF, (b):UK20, (c):MT20



(a)



(b)

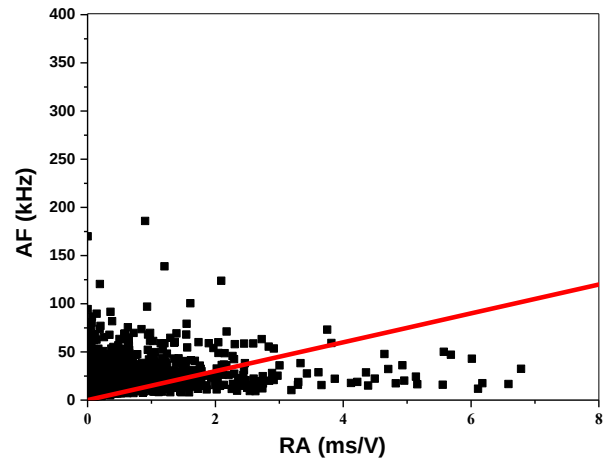


(c)

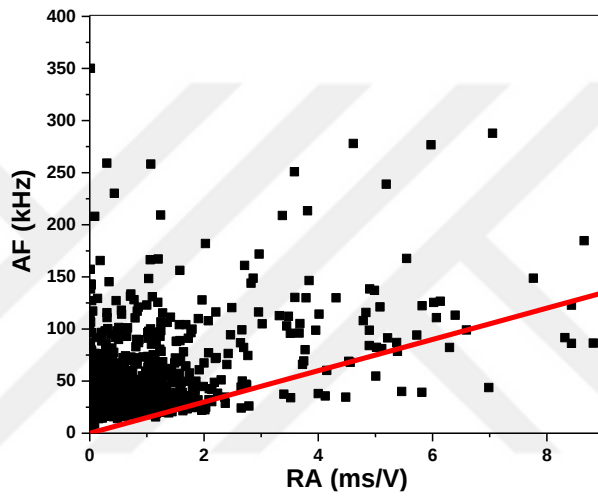
Şekil 4.29. Yarmada çekme dayanımı deneyi esnasında AF-RA sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20

KYB'nin hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında alınan eş zamanlı ölçümlerle çizilen AF-RA grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir. Literatürde, kesme modunun esas olarak korozyon başlangıcında ayırt edilebildiği, çekme modunun ise çatlama sırasında üretildiği bulunmuştur (Leelalerkiet vd. 2005; Van Steen vd. 2019). Hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında ise REF numunesinde çatlakların %98.84, UK numunesinde %98.48 ve MT numunesinde çatlakların %98.74 çekme çatlağı olduğu saptanmıştır. Hasarın çoğu çekme çatlağına ait olduğu, toplam AE olay miktarının yaklaşık %1 ila %2 arasında bir kısmın kesme bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Pas ürünleri hacim genişlemesiyle KYB de çoğunlukla çekme çatlaklarına sebep olmuştur.

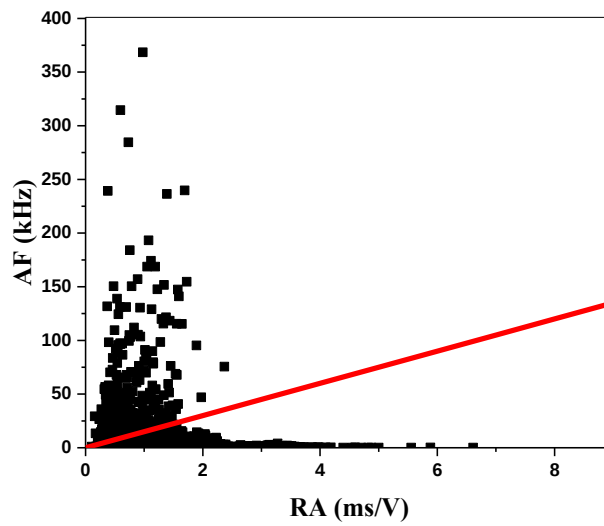




(a)



(b)

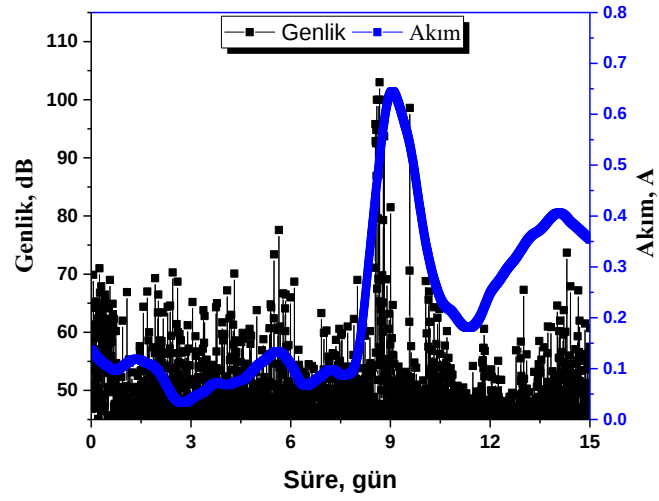


(c)

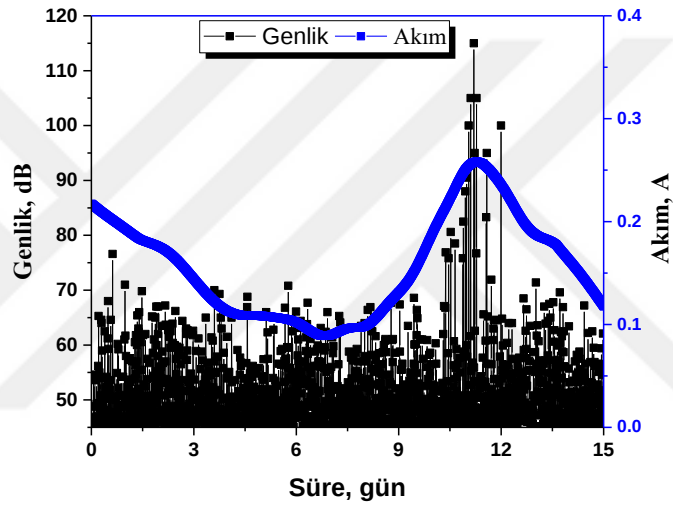
Şekil 4.30. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında AF-RA sonuçları (a): REF, (b):UK20, (c):MT20

4.2.8.4. AE Hızlandırılmış Korozyon Deneyi Sonuçları

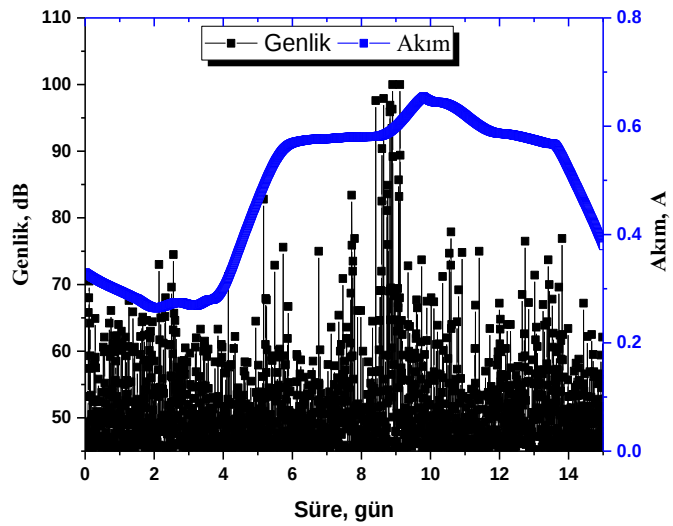
KYB'lerin yarmada çekme deneyi esnasında eş zamanlı genlik ölçümleri Şekil 4.31'de verilmiştir. Şekil 4.31'de grafiğin sol eksen kaydedilen yükü, sağ eksen kayıt alınan genlik değerlerini ortak eksen ise deney süresini göstermektedir. AE izlemenin birincil avantajı, mikro çatlama sürecini meydana geldiği anda algılama ve ölçme konusundaki benzersiz yeteneğidir ve bu da onu son derece hassas bir izleme yöntemi haline getirir. Görünür yüzey çatlaması gibi korozyon hasarının sonraki aşamaları da gözle tespit mümkünken AE yöntemi sayesinde korozyon başlangıcında haber vermektedir (Elbatanouny vd. 2013; ElBatouny vd. 2014). AE ölçümü alınması için üretilen donatılı KYB numunelerinde donatı korozyon alanı 5 cm'lik kısımla sınırlandırılmıştır. Bundan kaynaklı korozyon süresi ham donatılı KYB numunelerinde 6 gün sürerken epoksi kaplanan donatı kullanılan KYB numunelerinde 15 gün sürmüştür. Kayıt alınan akım verilerinde daha önce hızlandırılmış korozyon deney sonuçlarında bahsedildiği gibi akımın artışa başladığı süre korozyon başlama süresi olarak kabul edilir. Kayıt alınan genlik değerleri incelendiğinde REF numunede korozyonun başladığı yaklaşık 3. günde kümelenme olduğu korozyon ürünlerinin oluşmaya başlamasıyla bu noktada 70-80 dB arasında, akımın en yüksek olduğu korozyon çatlaklarının makro boyuta geçerek 100 dB civarında daha yüksek genlik değerleri okunmuştur. UK20 numunesinde ise korozyon 6. Gün civarında başlamıştır ve 70-80 dB arasında, akımın en yüksek olduğu makro çatlakların oluştuğu zamanda 115 dB civarında genlik değeri okunmuştur. MT20 numunesinde ise korozyon 4. Gün civarında başlamıştır ve 70-80 dB arasında, akımın en yüksek olduğu makro çatlakların oluştuğu zamanda 100 dB civarında genlik değeri okunmuştur. Korozyon mekanizmasıyla tutarlı bir şekilde ilk aşamada mikro çatlak ve sonrasında mikro çatlakların makro çatlağa döndüğü AE genlik değerleriyle teyit edilmiştir.



(a)



(b)

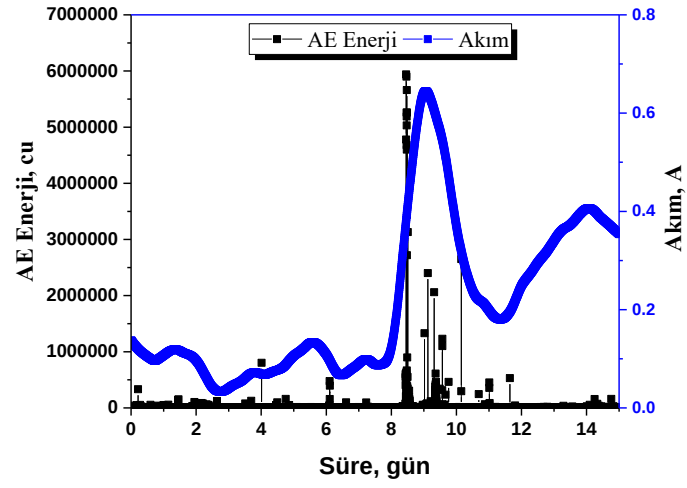


(c)

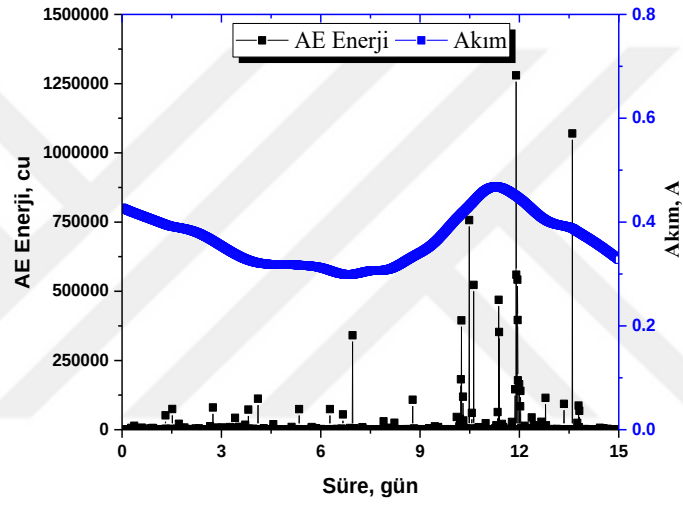
Şekil 4.31. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında ölçülen akım ve AE genlik sonuçları(a): REF, (b):UK20, (c):MT20

KYB'lerin hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında eş zamanlı enerji ölçümleri Şekil 4.32'de verilmiştir. Şekil 4.32'de grafiğin sol eksen kaydedilen enerjiyi, sağ eksen kayıt alınan akım değerlerini ortak eksen ise deney süresini göstermektedir. Daha önce bahsedildiği AE enerji sinyalinin sonuçları, betonun hasar tahmini için en faydalı parametrelerden biridir. Hızlandırılmış korozyon deneyinde oluşan pas ürünlerinin hacim genişlemesine sebep olmasından kaynaklı KYB'de mikro ve makro çatlaklara sebep olmaktadır. Çatlak oluşumunda AE aktivitelerinin enerji ölçümüyle çatlak yapısı hakkında fikir vermektedir (Kawasaki vd. 2014). Tüm numunelerde korozyon başlama süresine kadar çok düşük enerjiler kaydedilmiştir. Korozyonun başlamasıyla birlikte oluşan AE aktivitelerinin artması sonucunda yüksek AE enerji ölçümleri gözlemlenmiştir. Korozyonda kayıt alınan akım artışıyla birlikte AE enerjileri artmıştır. Özellikle akımın en yüksek olduğu korozyonun kararlı yapıya geçtiği, makro çatlakların oluştuğu noktada en yüksek AE enerji ölçümü gerçekleşmiştir. Korozyonun en son başladığı UK20 numunesinde en yüksek AE enerjisi gözlemlenmiştir. UK20 ile üretilen numunede hem beton kalitesi yüksek hem de korozyon direnci en yüksek numunedir ve bundan dolayı en yüksek enerjiyi UK20 numunesi vermiştir.

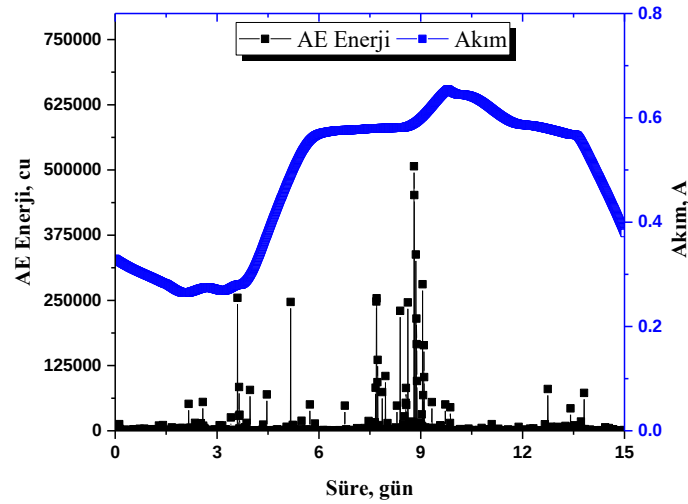
KYB'lerin hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında eş zamanlı AE olay sayısı ve kümülatif AE olay sayısı Şekil 4.33'te verilmiştir. Şekil 4.33'te grafiğin sol eksen kaydedilen kayıt alınan AE olay sayısını, sağ eksen kayıt alınan akım değerlerini ortak eksen ise deney süresini temsil etmektedir. AE olay sayısı çatlak oluşumunda gelişen elastik dalgaların eşik sınır değerini geçen dalgaların sayısıdır. AE olay sayıları tipik olarak doğrudan korozyon hasarının derecesi ile ilişkilidir (Kawasaki vd. 2013). Korozyon başlama sürelerine kadar standart tek düze ilerlemektedir. Çatlak başlangıç noktalarında artışlar gözlemlenmiştir. En yüksek olay sayıları akımın en yüksek olduğu gözle görülen makro çatlakların oluştuğu zamanlarda meydana gelmiştir. Kayıt alınan AE olay sayıları diğer AE parametreleri gibi korozyon başlama süresini ve en yüksek aktivitenin olduğu makro çatlakların olduğu sürelerde fark edilir bir şekilde değişiklik göstermiştir. Böylelikle gözle görülür makro çatlaklar oluşmadan AE izlemesiyle korozyon hasarının başladığı sürelerin tespitinin yapılabileceği saptanmıştır.



(a)

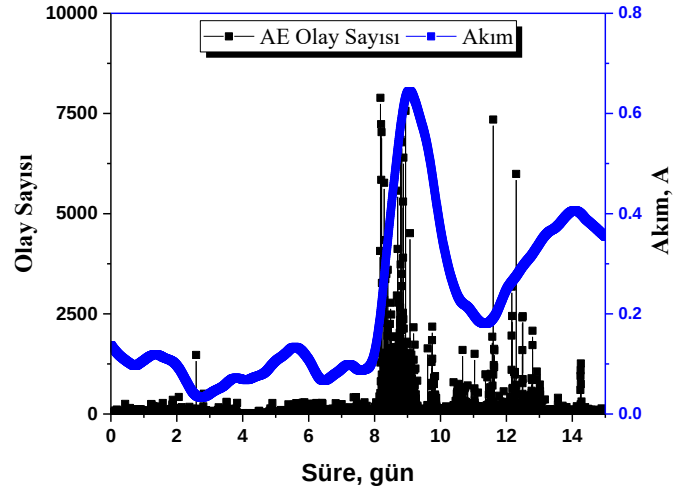


(b)

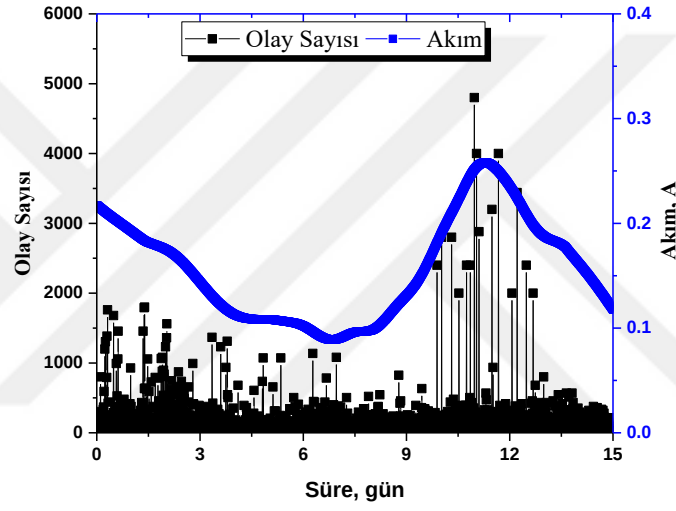


(c)

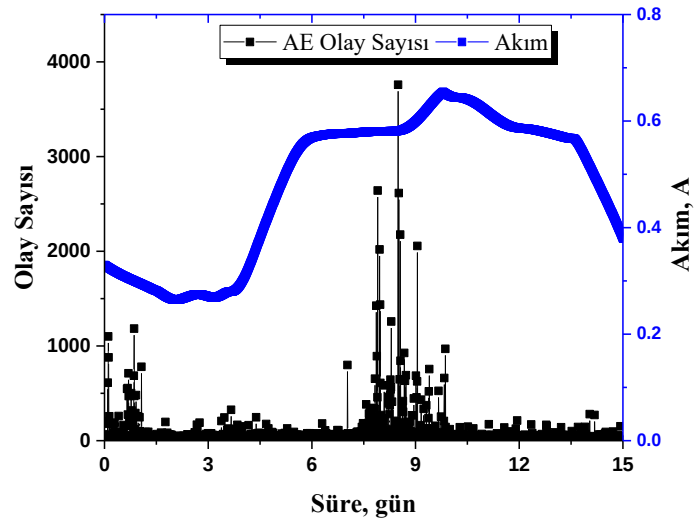
Şekil 4.32. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında ölçülen akım ve AE enerji sonuçları (a): REF, (b):UK20, (c):MT20



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.33. Hızlandırılmış korozyon deneyi esnasında ölçülen akım ve AE olay sayısı sonuçları(a):

REF, (b):UK20, (c):MT20

5. SONUÇLAR ve ÖNERİ

Mineral katkı olarak kullanılan UK ve MT %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek kullanılarak toplamda 7 seri KYB üretilmiştir. Tüm serilerin taze hal özellikleri, fiziksel, mekanik ve donatı korozyonu davranışı incelenmiştir. Bu serilerden REF, UK20 ve MT20 seçilerek basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve hızlandırılmış korozyon deneyleri esnasında eş zamanlı olarak AE yöntemiyle ölçümler alınmıştır. AE ölçümleriyle KYB davranışı, çatlak analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan tez çalışmasından elde edilen deneysel sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Taze halde yayılma çapı sonuçları incelendiğinde tüm numunelerin SF2 sınıfında olduğu görülmektedir. T50 süreleri de yayılma çaplarıyla paralellik göstermektedir. KYB üretiminde mineral katkı kullanımıyla yayılma çapı ve T50 süresinde %20 oranına kadar artış görülürken, mineral katkı oranının %30'a çıkmasıyla azalma görülmüştür.
- V hunisi akış yeteneği incelendiğinde tüm numuneler 8 sn'nin altında ölçüm alınmıştır ve tüm numunelerin VF1 sınıfında olduğu saptanmıştır. Mineral katkı kullanımıyla KYB'lerin akış süresinin MT30 numunesi dışında azaldığı görülmüştür. Tüm serilerin V hunisi sonuçları ilgili standartta belirtilen sınır değerleri arasında kalmıştır.
- Sık donatılı dar kesitlerden geçiş yeteneğini ölçmek için J halkası deneyi uygulanmıştır. J halkası deney sonuçlarında mineral katkı kullanımıyla sık donatılı dar kesitlerden geçiş yeteneğinin arttığı saptanmıştır.
- L kutusu deneyi de yine sıkı donatılı dar kesitlerden geçiş yeteneğini belirlemek için uygulanmıştır. Tüm numunelerin L kutusu deney sonucunda KYB özelliği taşıdığı belirlenmiştir.
- Geçiş ve akış yeteneğini belirlemek için uygulanan U kutusu deneyi uygulanmıştır. U kutusu deneyi sonucunda ölçülen seviye farklarının 0-3cm arasında olması beklenmektedir. Tüm numunelerde sınır değerleri arasında ölçülmüştür. En yüksek fark referans numunesinde görülmektedir mineral katkı ilave edilmesi ile geçiş ve akış yeteneğinin arttığı görülmektedir.
- Doldurma kutusu deneyi taze hal deneyleri arasında en sık donatının ve en dar kesitin bulunduğu ölçüm yöntemidir. Doldurma kutusu deneyinden doldurma

oranı belirlenen doldurma oranı tüm numunelerde %90'ın üzerinde olduğu görülmüştür.

- Tüm taze hal deneyleri sonucunda üretilen numunelerin tümünün KYB özelliği taşıdığı ilgili standartta sınır değerleri arasında kaldığı sık donatılı dar kesitlerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.
- Basınç dayanımlarının KYB yaşının artışıyla arttığı görülmüştür. Mineral katkı oranının artışıyla basınç dayanımları %20 oranına kadar artış gözlemlenirken %30 oranına çıkmasıyla birlikte düşüş gözlemlenmiştir. Ancak yine de REF numunesine oranla daha yüksek basınç dayanımlar elde edilmiştir. Mineral katkı ilavesiyle çimento miktarı azaltılmış, atık tüketimi sağlanmış ve aynı zamanda basınç dayanımlarında artış sağlanmıştır.
- Yarmada çekme dayanımları beklendiği üzere basınç dayanımlarıyla paralellik göstermiştir. Mineral katkı kullanımıyla yarmada çekme dayanımlarında da REF numunesine göre artış gözlemlenmiştir.
- Su emme ve porozite değerlerinde KYB yaşı arttıkça azalma gözlemlenmiştir. Özellikle mineral katkı kullanılan numunelerde ilerleyen yaşlarda su emme ve porozite değerlerinde azalmalar görülmüştür. Mineral katkı kullanımıyla REF numunesiyle kıyaslandığında MT30 numunesi dışında tüm numunelerde azalma görülmektedir.
- Elektriksel özdirenç ölçümleri 5 farklı frekansta gerçekleştirilmiştir ve frekans değerinin artışıyla elektriksel özdirençlerin azaldığı görülmüştür. Mineral katkı kullanımıyla tüm frekanslarda elektriksel özdirenç artışı gözlemlenmiştir. Mineral katkı kullanımıyla birlikte çimento hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksit iyonlarının bağlandığı ve C-S-H jellerine dönüştürüldüğü için iyon hareketliliğini azaltarak elektriksel özdirenç değerlerini arttırmıştır.
- Kapiler su emme katsayıları incelendiğinde su emme ve porozite ile paralellik göstermiştir. Mineral katkı kullanımı yalnızca çimento kullanımına oranla daha düşük kapiler boşluklara sebep olduğu saptanmıştır. UK'nın kullanımının MT kullanımından daha iyi kapiler boşluk doldurduğu gözlemlenmiştir.
- Ultrases geçiş hızları hem yaş hem de mineral katkı ilavesiyle artmaktadır. Ultrases geçiş hızı beton gibi yapı kompozit malzemelerinin boşluk yapısı hakkında bilgi veren tahribatsız deney yöntemlerinden biri olduğu için kapiler

su emme deneyiyle paralellik göstermektedir. Ultrases geçiş hızı sonucunda mineral katkı kullanımıyla boşluk oranının azalacağı daha dolu KYB numuneleri elde edileceğı sonucuna varılmaktadır.

- Hızlandırılmış klor geirgenliğı deneyi sonucunda tüm numunelerin klor geirgenliğı sınıfı çok düşük olarak belirlenmiştir. Klor geirgenliğı de elektriksel özdirenç ölçümü gibi donatı korozyonu ile doğrudan bağlantılıdır ve fikir verir. Mineral katkı kullanımıyla klor geçirgenliğinin azaldığı görölmüştür.
- Normal betonda genel olarak 3 günde tamamlanan hızlandırılmış korozyon deneyleri bu tez kapsamında üretilen numunelerde ise 6 günde tamamlanarak yüksek donatı korozyon direnci göstermiştir. Mineral katkı kullanımıyla hızlandırılmış korozyon deneyinde çekilen akım miktarlarında, çözelti sıcaklıklarında ve donatı ağırlık kayıplarında azalma görölmektedir. Korozyon başlama süreleri ise mineral katkı kullanımıyla artmıştır. Mineral katkı kullanımıyla elektriksel özdirenç değerlerinde artış, klor geçirgenliğinde azalış gözlemlenmiştir ve hızlandırılmış korozyon deneyi sonucuyla paralellik göstermiştir. Mineral katkı kullanımı KYB'nin donatı korozyonuna karşı direnci arttırmıştır.
- Taze halde işlenebilirlik, fiziksel ve mekanik özelliklerinden yola çıkarak özellikle MT oranının %30'a çıktığı MT30 numunesinde az da olsa düşüşler göröldüğünden kaynaklı en ideal mineral katkı oranı olarak %20 seçilmiştir. Bundan kaynaklı basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve hızlandırılmış korozyon deneyleri sırasında eş zamanla AE ölçümleri REF, UK20 ve MT20 numunelerinde gerçekleştirilmiştir.
- Basınç dayanım deneyi sırasında alınan eş zamanlı AE genlik ölçümünde yük artışıyla birlikte daha yüksek genlikler kayıt alınmıştır. Düşük genlikler küçük yüklere karşılık gelirken yük arttıkça maksimum genliğe ulaşmıştır ve betonun taşıma kapasitesine yaklaştığı anlamına gelerek bize sinyal vermektedir.
- Basınç dayanım deneyi sırasında alınan eş zamanlı AE enerji ölçümleri yük artışıyla birlikte oluşan çatlak büyüklüğü hakkında fikir vermiştir. Düşük yüklerde oluşan mikro çatlaklarda daha düşük enerjiler açığa çıkarken yük artışıyla birlikte oluşan makro çatlaklarda daha yüksek enerji açığa çıkmaktadır.

- Basınç dayanımı deneyi sırasında eş zamanlı alınan AE olay sayıları yükün artmasıyla birlikte çatlak gelişimi arttığından dolayı artmaktadır. KYB’de meydana gelen çatlak yoğunluğu arttıkça kayıt alınan AE olayları artmaktadır. Mineral katkı ilave KYB’lerin basınç dayanımı arttırmasıyla birlikte betonda çatlak oluşumunu daha geciktirdiği ve çatlak ilerlemesini yavaşlattığı görülmüştür. Ancak basınç dayanımı artışıyla çatlak oluşumu gecikirken, oluşmaya başladıktan sonra daha hızlı geliştiği görülmektedir.
- Yarmada çekme dayanımı davranışı sırasında alınan AE genlik ölçümlerinde basınç dayanımındaki eksenel yük altında kaydedilen genliklere oranla daha güçlü ve ani artışlar gözlemlenmiştir. KYB numunelerinin yarmada çekme dayanımı basınç dayanımı yanında çok düşük kalmaktadır. Bundan kaynaklı genlik kayıtlarını incelediğimizde basınç dayanımına oranla daha erken ve daha yoğun çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.
- Yarmada çekme dayanımı davranışı sırasında alınan AE enerji ölçümleri yük artışıyla artış göstermiştir. AE enerji/zaman grafiğinden ani artışların gevrek kırılmaları, kademeli artışların da sünek kırılmaları göstermektedir. KYB numuneleri çekmeye çalışan bir yapı malzemesi olmadığı için basınç dayanımına kıyasla daha ani ve yoğun enerji çıkışı olmuştur.
- Yarmada çekme dayanımı davranışı sırasında alınan AE olay sayıları yük artışıyla erken aşamada artmaktadır. Basınç dayanıma oranla daha erken aşamalarda çatlakların oluştuğu ve daha hızlı bir çatlak gelişiminin olduğu AE olay sayısı artışıyla görülmektedir. Mineral katkı kullanımıyla KYB numunelerinin yarmada çekme dayanımı artışıyla birlikte basınç dayanımındaki gibi çatlak oluşumunun geciktiği ancak oluşan çatlakların sayısının hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.
- Basınç ve yarmada çekme dayanımı arasında AE parametrelerinin farklılık gösterdiği iki deney arasında oluşan çatlak oluşum mekanizmalarındaki farkların net olarak ayırt edilebildiği görülmektedir.
- AF ve RA değerlerinden yararlanarak çatlak analizi basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve hızlandırılmış korozyon deneyleri sırasında yapılmıştır. Çatlak analizinde çatlakların çekme veya kesme çatlağı olduğu sınıflandırması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

- Basınç dayanımı ve yarmada çekme deneyler sırasında çatlakların çoğunun çekme çatlağı olduğunu tespit edilmiştir. Ancak basınç dayanımında yalnızca çatlakların %1 ila %2'sinin kesme çatlağı olduğu görülürken, yarmada çekme dayanımında çatlakların %2 ila %4'ünün kesme çatlağı olduğu belirlenmiştir. Yarmada çekme dayanımında uygulanan çizgisel yükten kaynaklı yalnızca iç kuvvetten oluşan çekme çatlaklarının yanı sıra kesme kuvveti basınç dayanımına oranla daha çok oluşmaktadır.
- Hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında kayıt alınan AE sinyallerinden elde edilen çatlak sınıflandırmasında, çatlakların çoğunlukla çekme çatlağı olduğu görülmektedir. Korozyon sürecinin başlamasıyla oluşan pas ürünlerinin sebep olduğu hacim genişlemesi KYB'de çekme çatlaklarına sebep olduğu görülmektedir.
- Hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında eş zamanlı alınan AE genlik ölçümlerinde korozyon başladığı sürelerde kümelenmeler görülmektedir. Akımın en yüksek olduğu zamanda korozyon çatlaklarının makro boyuta geçerek en yüksek genlik değerleri kayır alınmıştır. Genlik kümelenmesi REF numunesinde 6. günde, UK20 numunesinde 6. günde ve MT20 numunesinde 4. günde gerçekleştirmiştir. Akım verisi incelendiğinde genlik kümelenmesinin başladığı zamanlarda akım artışı olduğu görülmüştür.
- Hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında eş zamanlı alınan AE enerji ölçümlerinde tüm numunelerde korozyon başlama süresine kadar çok düşük enerjiler kayıt alınmıştır. Korozyonun başlamasıyla birlikte oluşan AE aktivitelerinin artması sonucunda yüksek AE enerji ölçümleri saptanmıştır.
- Hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında eş zamanlı alınan AE olay sayılarında ölçümlerinde kayıt alınan akım verileriyle paralellik göstermektedir. AE olay sayıları diğer AE parametreleri gibi korozyon başlama süresini ve en yüksek aktivitenin olduğu makro çatlakların olduğu sürelerde fark edilir bir şekilde değişiklik göstermiştir.

Eş zamanlı alınan AE ölçümlerinde basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deney sonucunda yük ile paralellik göstermiştir. Başarılı bir şekilde mekanik yük altında KYB davranışı gözlemlenmiş ve çatlak analizi gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımları arasında KYB'de meydana gelen davranış farklılıkları başarılı bir şekilde AE parametreleriyle ayırt edilebilmiştir. AE izlemesi

yapılarak KYB numunelerinin taşıma kapasitesine gelmeden mikro çatlak oluşumlarının fark edilip önlem alınabileceği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında özellikle korozyon başlangıç sürelerini AE parametreleriyle tespit edilebileceği görülmektedir. Böylelikle donatı korozyonundan kaynaklı bozulmalar erkenden tespit edilerek gözle görülür makro çatlaklara ulaşmadan fark edilebilir ve önlem alabilmemiz için erken haber vermektedir. AE yöntemi kullanılarak mekanik ve donatı korozyonu davranışının başarılı bir şekilde izlenmiş, hem mineral katkı kullanımının oluşturduğu davranış farklılıklarını hem de KYB davranışının basınç, yarmada çekme veya korozyon sürecinde oluşan farklılıkları ayırt edilebilmiştir. Bu sonuçlara doğrultusunda AE yönteminin geliştirilerek gömülü sensöre dönüştürülebilmesiyle hasar oluşumunu erken aşamalarda tespit etmede ve hasar türü hakkında fikir vermede başarılı olabileceği düşünülmektedir, bundan kaynaklı bu yöntemin geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abouhussien, A. A., Hassan, A. A. A. Acoustic Emission Monitoring of Corrosion Damage Propagation in Large-Scale Reinforced Concrete Beams. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(2), 2018.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001127](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001127)
- Aggelis, D. G. Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters. *Mechanics Research Communications*, 38(3), 153-157, 2011a.
<https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2011.03.007>
- Aggelis, D. G. Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters. *Mechanics Research Communications*, 38(3), 153-157, 2011b.
<https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2011.03.007>
- Aggelis, D. G., El Kadi, M., Tysmans, T., Blom, J. Effect of propagation distance on acoustic emission fracture mode classification in textile reinforced cement. *Construction and Building Materials*, 152, 872-879, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.166>
- Aggelis, D. G., Soulioti, D. V., Barkoula, N. M., Paipetis, A. S., Matikas, T. E. Influence of fiber chemical coating on the acoustic emission behavior of steel fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 34(1), 62-67, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.07.003>
- Ahmed, S. M., Kamal, I. Electrical resistivity and compressive strength of cement mortar based on green magnetite nanoparticles and wastes from steel industry. *Case Studies in Construction Materials*, 17, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01712>
- Al-Akhras, N., Aleghnimat, R. Evaluating corrosion deterioration in self-compacted reinforced concrete beams and prisms using different tests. *Construction and Building Materials*, 256, 119347, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119347>
- Ali-Benyahia, K., Kenai, S., Ghrici, M., Sbartaï, Z. M., Elachachi, S. M. Analysis of the accuracy of in-situ concrete characteristic compressive strength assessment in real structures using destructive and non-destructive testing methods.

- Construction and Building Materials, 366, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130161>
- Alizadeh, R., Naderi, R., Saremi, M., Hamidi, H., Shojaei, F. Corrosion inhibition effect of sodium tri-polyphosphate on reinforcing steel in simulated concrete pore solution with different pHs. Construction and Building Materials, 363, 129819., 2023. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.129819>
- Almalki, M. Application of Non-destructive Geophysical Methods for Testing Concrete Structures. Journal of King Saud University - Science, 102916, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102916>
- Almuwbber, O., Haldenwang, R., Mbasha, W., Masalova, I. The influence of variation in cement characteristics on workability and strength of SCC with fly ash and slag additions. Construction and Building Materials, 160, 258-267, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.039>
- Anandaraj, S., Karthik, S., Elango, K. S., Nishiketan, S., Pandiyarajan, G., Nithis Kumar, P., Palanikumar, R., Harihanandh, M. An experimental study on Fly Ash (FA) and marble powder in the properties of Self-Compacting Concrete (SCC). Materials Today: Proceedings, 52, 1771-1774, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.441>
- Arun Kumar, M., Balaji, S., Selvapraveen, S., Kulanthaivel, P. Laboratory study on mechanical properties of self-compacting concrete using marble waste and polypropylene fiber. Cleaner Materials, 6(September), 100156, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100156>
- ASTM C618 93. Standard Test Method for Fly Ash. Manual book of ASTM, USA, 1991.
- ASTM C1202-12. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. ASTM, USA, 2017.
- ASTM C1760. Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete. West Conshohocken (PA). ASTM, USA, 2012.

- Behnia, A., Chai, H. K., Shiotani, T. Advanced structural health monitoring of concrete structures with the aid of acoustic emission. *İçinde Construction and Building Materials*, 65, 282-302, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.103>
- Benaicha, M., Hafidi Alaoui, A., Jalbaud, O., Burtschell, Y. Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete: Correlation between rheology and strength. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 2063-2069, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.015>
- Bhosale, A., Rasheed, M. A., Prakash, S. S., Raju, G. A study on the efficiency of steel vs. synthetic vs. hybrid fibers on fracture behavior of concrete in flexure using acoustic emission. *Construction and Building Materials*, 199, 256-268, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.011>
- Boniface, A., Saliba, J., Sbartai, Z. M., Ranaivomanana, N., Balayssac, J. P. Evaluation of the acoustic emission 3D localisation accuracy for the mechanical damage monitoring in concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 223, 2019. 106742, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106742>
- Choudhary, R., Gupta, R., Alomayri, T., Jain, A., Nagar, R. Permeation, corrosion, and drying shrinkage assessment of self-compacting high strength concrete comprising waste marble slurry and fly ash, with silica fume. *Structures*, 33(May), 971-985, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.05.008>
- Chu, Y., Ren, G., Zhang, C., Zheng, Y., Li, D. Acoustic emission parameters and energy dissipation law of cyclic load and unload damage of dihydrate gypsum under different loading rate. *Geohazard Mechanics*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2023.06.001>
- Çınar, E., Dündar, B., Uygunoğlu, T. Investigation on High-Temperature Effect of Recycled Concrete Aggregate on Mortars, *Materials International* 2(2):236-241, 2020. <https://doi.org/10.33263/Materials22.236241>
- Daczko J.A. *Self-consolidating Concrete: Applying What We Know* CRC Press, Boca Raton, Florida, 2012.

- Dadsetan, S., Bai, J. Mechanical and microstructural properties of self-compacting concrete blended with metakaolin, ground granulated blast-furnace slag and fly ash. *Construction and Building Materials*, 146, 658-667, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.04.158>
- Danish, P., Mohan Ganesh, G. Durability properties of self-compacting concrete using different mineral powders additions in ternary blends. *Revista Romana de Materiale/ Romanian Journal of Materials*, 50(3), 369-378, 2020.
- Danish, P., Mohan Ganesh, G. Study on influence of Metakaolin and waste marble powder on self-compacting concrete - A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, 44, 1428-1436, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.629>
- De Smedt, M., Vrijdaghs, R., Van Steen, C., Verstrynghe, E., Vandewalle, L. Damage analysis in steel fibre reinforced concrete under monotonic and cyclic bending by means of acoustic emission monitoring. *Cement and Concrete Composites*, 114, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103765>
- Deng, H. S., Fu, H. L., Zhao, Y. B., Shi, Y., Huang, X. Using acoustic emission parameters to study damage and fracture characteristics of concrete with different pour intervals cold joints. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 122, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2022.103601>
- Dev, A., Chellapandian, M., Prakash, S. S., Kawasaki, Y. Failure-mode analysis of macro-synthetic and hybrid fibre-reinforced concrete beams with GFRP bars using acoustic emission technique. *Construction and Building Materials*, 249, 118737, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118737>
- EFNARC. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete - Specification, production and use. The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC), 68, 2005.
- ElBatanouny, M. K., Mangual, J., Ziehl, P. H., Matta, F. Early Corrosion Detection in Prestressed Concrete Girders Using Acoustic Emission. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(3), 504-511, 2014. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000845](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000845)

- Elbatanouny, M. K., Ziehl, P., Matta, F. Acoustic-Emission-Based Characterization of Corrosion Damage in Cracked Concrete With Prestressing Strand DOE project View project ASME Code Cases View project, 2013. <https://www.researchgate.net/publication/256486282>
- Elfergani, H. A., Pullin, R., Holford, K. M. Damage assessment of corrosion in prestressed concrete by acoustic emission. *Construction and Building Materials*, 40, 925-933, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.071>
- Elsayed, M., Tayeh, B. A., Abu Aisheh, Y. I., El-Nasser, N. A., Elmaaty, M. A. Shear strength of eco-friendly self-compacting concrete beams containing ground granulated blast furnace slag and fly ash as cement replacement. *Case Studies in Construction Materials*, 17(July), e01354, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01354>
- Franco-Luján, V. A., Maldonado-García, M. A., Mendoza-Rangel, J. M., Montes-García, P. Chloride-induced reinforcing steel corrosion in ternary concretes containing fly ash and untreated sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 198, 608-618, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.004>
- Gagan, G. S., Singh, N. Reviewing the performance of concrete comprising recycled coarse aggregates using non-destructive tests. *Materials Today: Proceedings*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.026>
- Ghafari, N. Corrosion control in underground concrete structures using double waterproofing shield system (DWS). *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(4), 603-611, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2013.07.021>
- Goldaran, R., Turer, A. Application of acoustic emission for damage classification and assessment of corrosion in pre-stressed concrete pipes. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 160, 107855, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107855>
- Guan, X., Qiu, J., Song, H., Qin, Q., Zhang, C. Stress–strain behaviour and acoustic emission characteristic of gangue concrete under axial compression in frost

- environment. *Construction and Building Materials*, 220, 476-488, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.008>
- Hasim, A. M., Shahid, K. A., Ariffin, N. F., Nasrudin, N. N., Zaimi, M. N. S. Study on mechanical properties of concrete inclusion of high-volume coal bottom ash with the addition of fly ash. *Materials Today: Proceedings*, 51, 1355-1361, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.400>
- Hassan, A. A. A., Hossain, K. M. A., Lachemi, M. Structural assessment of corroded self-consolidating concrete beams. *Eng. Struct.*, 32(3), 874-885, 2010.
- Hay, R., Ostertag, C. P. Acidification at rebar-concrete interface induced by accelerated corrosion test in aggressive chloride environment. *Cement and Concrete Composites*, 110(February), 103573, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103573>
- He, S., Wang, Z., Hu, J., Zhu, J., Wei, L., Chen, Z. Formation of superhydrophobic micro-nanostructured iron oxide for corrosion protection of N80 steel. *Materials and Design*, 160, 84-94, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.09.002>
- Hemalatha. T., Ramaswamy, A., Kishen, J. M. C. Simplified mixture design for production of self- consolidating concrete. *ACI Mater. J.*, 112(2), 277-286, 2015.
- Hossain, K. M. A., Hossain, M. A., Manzur, T. Structural performance of fiber reinforced lightweight self-compacting concrete beams subjected to accelerated corrosion. *Journal of Building Engineering*, 101291, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101291>
- Huang, F., Li, H., Yi, Z., Wang, Z., Xie, Y. The rheological properties of self-compacting concrete containing superplasticizer and air-entraining agent. *Construction and Building Materials*, 166, 833-838, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.169>
- Hussain, R. R. Underwater half-cell corrosion potential benchmark measurements of corroding steel in concrete influenced by a variety of material science and environmental engineering variables. *Measurement*, 44, 274-280, 2011.

- Isla, F., Ruano, G., Luccioni, B. Analysis of steel fibers pull-out. Experimental study. *Construction and Building Materials*, 100, 183-193, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.034>
- Jarugumalli, V., Madupu, L. N. K. S. The flow properties of SCC with marble waste powder as a partial substitute for cement. *Materials Today: Proceedings*, 52, 617-621, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.047>
- Jin, Z., Chang, H., Du, F., Zhao, T., Jiang, Y., Chen, Y. Influence of SAP on the chloride penetration and corrosion behavior of steel bar in concrete. *Corrosion Science*, 171, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108714>
- Kamde, D. K., Pillai, R. G. Corrosion initiation and its effect on bond characteristics and service life of reinforced concrete systems with Cement-Polymer-Composite coated steel rebars. *Structures*, 44, 248-260, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.003>
- Kannan, V., Ganesan, K. Chloride and chemical resistance of self-compacting concrete containing rice husk ash and metakaolin. *Construct. Build. Mater.*, 51, 225-234, 2014.
- Karahan, O., Hossain, K. M. A., Ozbay, E., Lachemi, M., Sancak, E. Effect of metakaolin content on the properties self-consolidating lightweight concrete. *Construct. Build. Mater.*, 31, 320-325, 2012.
- Kawasaki, Y., Wakuda, T., Kobarai, T., Ohtsu, M. Corrosion mechanisms in reinforced concrete by acoustic emission. *Construction and Building Materials*, 48, 1240-1247, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.020>
- Kawasaki, Y., Wasada, S., Okamoto, T., Izuno, K. Evaluation for RC specimen damaged from rebar corrosion by acoustic emission technique. *Construction and Building Materials*, 67(PART B), 157-164, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.074>
- Kim, J., McCarter, W. J., Suryanto, B. Cover-zone protective qualities under corrosive environments. *Journal of Building Engineering*, 33, 101618, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101618>

- Kim, J. S., Lee, K. S., Cho, W. J., Choi, H. J., Cho, G. C. A Comparative Evaluation of Stress–Strain and Acoustic Emission Methods for Quantitative Damage Assessments of Brittle Rock. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48(2), 495-508, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0590-0>
- Klein, N., Gómez, E. D., Duffó, G. S., Farina, S. B. Effect of sulphate on the corrosion of reinforcing steel in concrete. *Construction and Building Materials*, 354, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129214>
- Kong, D., He, G., Pan, H., Weng, Y., Du, N., Sheng, J. Influences and mechanisms of Nano-C-S-H gel addition on fresh properties of the cement-based materials with sucrose as retarder. *Materials*, 13(10), 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13102345>
- Kong, L., Lu, Z. F., He, Z. Y., Shen, Z. Z., Xu, H., Yang, K., Yu, L. Characterization of crack resistance mechanism of fiber modified emulsified asphalt cold recycling mixture based on acoustic emission parameters. *Construction and Building Materials*, 327, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126939>
- Korpa, A., Kowald, T., Trettin, R. Hydration behavior, structure and morphology of hydration phases in advanced cement-based systems containing micro and nanoscale pozzolanic additives. *Cement and Concrete Research*, 38(7), 955-962, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.02.010>
- Leelalerkiet, V., Shimizu, T., Tomoda, Y., Ohtsu, M. Estimation of Corrosion in Reinforced Concrete by Electrochemical Techniques and Acoustic Emission. *Içinde Journal of Advanced Concrete Technology* 3(1), 2005.
- Li, C., Jiang, L., Li, S. Effect of limestone powder addition on threshold chloride concentration for steel corrosion in reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 131, 10601, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106018>
- Li, Q., Li, H., Liang, T. Effect of non-intumescent fireproof coating on the durability of concrete exposed to elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 404, 133211, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133211>
- Li, W. W., Cheng, W. L., Xie, B., Liu, N., Zhang, L. S. Thermal sensitive flexible phase change materials with high thermal conductivity for thermal energy

- storage. *Energy Conversion and Management*, 149, 1-12, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.019>
- Li, W., Xu, C., Ho, S. C. M., Wang, B., Song, G. Monitoring concrete deterioration due to reinforcement corrosion by integrating acoustic emission and FBG strain measurements. *Sensors (Switzerland)*, 17(3), 1-12, 2017.
<https://doi.org/10.3390/s17030657>
- Lian, S., Zheng, kun, Zhao, Y., Bi, J., Wang, C., Huang, Y. sen. Investigation the effect of freeze–thaw cycle on fracture mode classification in concrete based on acoustic emission parameter analysis. *Construction and Building Materials*, 362, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129789>
- Lun, P. Y., Lu, Z. H., Zhang, X. gang, Zhang, Q., Zhao, R. Experimental study and suggested mathematical model for chloride-induced reinforcement corrosion rate. *Structures*, 34, 2014-2029, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.099>
- Ma, G., Du, Q. Structural health evaluation of the prestressed concrete using advanced acoustic emission (AE) parameters. *Construction and Building Materials*, 250, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118860>
- Ma, G., Wu, C. Crack type analysis and damage evaluation of BFRP-repaired pre-damaged concrete cylinders using acoustic emission technique. *Construction and Building Materials*, 362, 129674, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129674>
- Ma, G., Wu, C., Hwang, H. J., Li, B. Crack monitoring and damage assessment of BFRP-jacketed concrete cylinders under compression load based on acoustic emission techniques. *Construction and Building Materials*, 272, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121936>
- Mahapatra, C. K., Barai, S. V. Sustainable self-compacting hybrid fiber reinforced concrete using waste materials. *Structural Concrete*, 20(2), 756-765, 2019.
<https://doi.org/10.1002/suco.201700239>
- Malazdrewicz, S., Adam Ostrowski, K., Sadowski, Ł. Self-compacting concrete with recycled coarse aggregates from concrete construction and demolition waste –

- Current state-of-the art and perspectives. *Construction and Building Materials*, 370, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130702>
- Mansoor, J., Shah, S. A. R., Khan, M. M., Sadiq, A. N., Anwar, M. K., Siddiq, M. U., Ahmad, H. Analysis of mechanical properties of self-compacted concrete by partial replacement of cement with industrial wastes under elevated temperature. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(3), 2018. <https://doi.org/10.3390/app8030364>
- Manzano, H., Kunhi Mohamed, A., Mishra, R. K., Bowen, P. A discussion on the paper “Role of porosity on the stiffness and stability of (001) surface of the nanogranular C–S–H gel” *Cement and Concrete Research* 102, 227-230, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.019>
- Meera, M., Anuj, Dash, A. K., Gupta, S. Rheological and strength properties of self-compacting concrete incorporating marble and granite powders. *Materials Today: Proceedings*, 32, 1005-1013, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.531>
- Morozova, N., Shibano, K., Shimamoto, Y., Tayfur, S., Alver, N., Suzuki, T. Frost damage evaluation of concrete irrigation structure by X-ray CT and AE energy release trend at the initial loading stage. *Case Studies in Construction Materials*, 18, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02088>
- Mousavinejad, S. H. G., Saradar, A., Jabbari, M., Moein, M. M. Evaluation of fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing different percentages of waste tiles. *Içinde Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 8 (2), 2023. <https://doi.org/10.1007/s41024-023-00329-8>
- Mustapha, F. A., Sulaiman, A., Mohamed, R. N., Umara, S. A. The effect of fly ash and silica fume on self-compacting high-performance concrete. *Materials Today: Proceedings*, 39, 965-969, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.493>
- Nochaiya, T., Wongkeo, W., Chaipanich, A. Utilization of fly ash with silica fume and properties of Portland cement–fly ash–silica fume concrete. *Fuel*, 89(3), 768-774, 2010.
- Nguyen-Tat, T., Ranaivomanana, N., Balayssac, J. P. Characterization of damage in concrete beams under bending with Acoustic Emission Technique (AET).

- Construction and Building Materials, 187, 487-500, 2018a.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.217>
- Nguyen-Tat, T., Ranaivomanana, N., Balayssac, J. P. Characterization of damage in concrete beams under bending with Acoustic Emission Technique (AET). Construction and Building Materials, 187, 487-500, 2018b.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.217>
- Ohno, K., Ohtsu, M. Crack classification in concrete based on acoustic emission. Construction and Building Materials, 24(12), 2339-2346, 2010a.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.004>
- Ohno, K., Ohtsu, M. Crack classification in concrete based on acoustic emission. Construction and Building Materials, 24(12), 2339-2346, 2010b.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.004>
- Ohno, K., Ohtsu, M. Crack classification in concrete based on acoustic emission. Construction and Building Materials, 24(12), 2339-2346, 2010c.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.004>
- Ohtsu, M., Shiotani, T., Shigeishi, M., Kamada, T., Yuyama, S., Watanabe, T., Suzuki, T., van Mier, J. G. M., Vogel, T., Grosse, C., Helmerich, R., Forde, M. C., Moczko, A., Breysse, D., Ivanovich, S. A., Sajna, A., Aggelis, D., Lacidogna, G. Recommendation of RILEM TC 212-ACD: Acoustic emission and related NDE techniques for crack detection and damage evaluation in concrete: Test method for classification of active cracks in concrete structures by acoustic emission. Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 43(9), 1187-1189, 2010.
<https://doi.org/10.1617/s11527-010-9640-6>
- Patil, S., Goyal, S., Karkare, B. Current Science Association Acoustic emission-based mathematical procedure for quantification of rebar corrosion in reinforced concrete. Source: Current Science, 109(5), 943-948, 2015.
<https://doi.org/10.18520/vl09/i5/943-948>
- Patil, S., Karkare, B., Goyal, S. Acoustic emission vis-à-vis electrochemical techniques for corrosion monitoring of reinforced concrete element. Construction

- and Building Materials, 68, 326-332, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.068>
- Patil, S., Karkare, B., Goyal, S. Corrosion induced damage detection of in-service RC slabs using acoustic emission technique. Construction and Building Materials, 156, 123-130, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.177>
- Pelisser, F., Vieira, A., Bernardin, A. M. Efficient self-compacting concrete with low cement consumption. Journal of Cleaner Production, 175, 324-332, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.084>
- Pereira, M. M. L., Capuzzo, V. M. S., Lameiras, R. de M. Evaluation of use of marble and granite cutting waste to the production of self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 345, 128261, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128261>
- Prem, P. R., Murthy, A. R. Acoustic emission monitoring of reinforced concrete beams subjected to four-point-bending. Applied Acoustics, 117, 28-38, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.006>
- Qiao, G., Hong, Y., Ou, J. Quantitative monitoring of pitting corrosion based on 3-D cellular automata and real-time ENA for RC structures, Measurement, 2014.
- Ranjbar, M. M., Madandousr, R., Mousavi, S. Y., Yosefi, S. Effects of natural zeolite on the fresh and hardened properties of self-compacted concrete. Constr. Build. Mater., 47, 806-813, 2013.
- Rezakhani, D., Jafari, A. H., Hajabassi, M. Durability, mechanical properties and rebar corrosion of slag-based cement concrete modified with graphene oxide. Structures, 49, 678-697, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.149>
- Robles, K. P. V., Kim, D. W., Yee, J. J., Lee, J. W., Kee, S. H. Electrical resistivity measurements of reinforced concrete slabs with delamination defects. Sensors, 20(24), 1-19, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20247113>
- Salami, B. A., Rahman, S. M., Oyehan, T. A., Maslehuddin, M., Al Dulaijan, S. U. Ensemble machine learning model for corrosion initiation time estimation of embedded steel reinforced self-compacting concrete. Measurement: Journal of

- the International Measurement Confederation, 165, 108141, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108141>
- Seddik, A., Berounal, A. Guetteche, M.N. Self compacting concrete under local conditions, *Open Journal of Civil Engineering*, 3(2), 2013.
- Seye, M. M., Kawasaki, Y. Failure mechanisms of corroded/non-corroded RC cylinder under axial compressive loading evaluated by AE technique. *Frontiers in Built Environment*, 8, 1-16, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.947310>
- Shen, W., Zhang, Z., Li, J., Li, Z., Wang, Z., Cao, L., Rong, G., Wu, M., Zhao, D., Zhao, Z. Experimental investigation on the high-volume fly ash ecological self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 60, 105163, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105163>
- Singh E.S., Husain, E.S.A., Madhav, E.P. Praneet Madhav. Strength and Durability Properties of Concrete using Fly Ash and Silica Fumes, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 5 (11), 2016.
- Sohail, M. G., Kahraman, R., Al Nuaimi, N., Gencturk, B., Alnahhal, W. Durability characteristics of high and ultra-high performance concretes. *Journal of Building Engineering*, 33, 101669, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101669>
- Sohail, M. G., Kahraman, R., Alnuaimi, N. A., Gencturk, B., Alnahhal, W., Dawood, M., Belarbi, A. Electrochemical behavior of mild and corrosion resistant concrete reinforcing steels. *Construction and Building Materials*, 232, 117205, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117205>
- Song, Y., Wightman, E., Kulandaivelu, J., Bu, H., Wang, Z., Yuan, Z., Jiang, G. Rebar corrosion and its interaction with concrete degradation in reinforced concrete sewers. *Water Research*, 182, 115961, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115961>
- Soulioti, D., Barkoula, N. M., Paipetis, A., Matikas, T. E., Shiotani, T., Aggelis, D. G. Acoustic emission behavior of steel fibre reinforced concrete under bending. *Construction and Building Materials*, 23(12), 3532-3536, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.042>

- Sua-iam, G., Makul, N. Incorporation of high-volume fly ash waste and high-volume recycled alumina waste in the production of self-consolidating concrete. *Journal of Cleaner Production*, 159, 194-206, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.075>
- Suda, V. B. R., Priyatham Paul, S. Relationship between compressive, split tensile and flexural strengths of ternary blended concrete. *Materials Today: Proceedings*, 65, 1112-1119, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.162>
- Sun, Y., Qiao, G. Influence of constant current accelerated corrosion on the bond properties of reinforced concrete. *International Journal of Electrochemical Science*, 14(5), 4580-4594, 2019. <https://doi.org/10.20964/2019.05.36>
- Suzuki, T., Nishimura, S., Shimamoto, Y., Shiotani, T., Ohtsu, M. Damage estimation of concrete canal due to freeze and thawed effects by acoustic emission and X-ray CT methods. *Construction and Building Materials*, 245, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118343>
- Tabrizi, I. E., Khan, R. M. A., Massarwa, E., Zanjani, J. S. M., Ali, H. Q., Demir, E., Yildiz, M. Determining tab material for tensile test of CFRP laminates with combined usage of digital image correlation and acoustic emission techniques. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 127, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105623>
- Tang, Y., Guo, Y., Chen, X., Wang, Z., Wei, Y. Acoustic emission characteristics of concrete cylinders reinforced with steel-fiber-reinforced composite bars under uniaxial compression. *Journal of Building Engineering*, 59, 105074, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105074>
- Topçu, İ. B., Uzunömeroğlu, A., Pat, S., Uygunoğlu, T. Development of corrosion resistance of reinforcement steel bars with nano-silver coatings. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 37, 2022. <https://doi.org/10.1080/01694243.2022.2129148>
- TS 706 EN 12620+A1. Beton Agregaları. TSE, Ankara, Türkiye, 2009.
- TS 708. Çelik, Betonarme için Donatı Çeliği, TSE. Ankara, Türkiye, 2016.

- TS EN 197-1. Çimento: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE. Ankara, Türkiye, 2012.
- TS EN 772-11. Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 11: Betondan, gazbetondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini . TSE, Ankara, Türkiye, 2012.
- TS EN 1008. Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları TSE. Ankara, Türkiye, 2003.
- TS EN 12350-8. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 8: Kendiliğinden yerleşerek sıkışan beton - Çökme yayılma deneyi. TSE, Ankara, Türkiye, 2019.
- TS EN 12350-9. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 9: Kendiliğinden yerleşen beton - V hunisi deneyi. TSE, Ankara, Türkiye, 2011.
- TS EN 12350-10. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 10: Kendiliğinden yerleşen beton - L kutusu deneyi. TSE, Ankara, Türkiye, 2011.
- TS EN 12350-12. Beton-Taze beton deneyleri - Bölüm 12: Kendiliğinden yerleşen beton - J halkası deneyi. TSE, Ankara, Türkiye, 2011.
- TS EN 12390-3. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin. TSE, Ankara, Türkiye, 2019.
- TS EN 12390-6. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini. TSE, Ankara, Türkiye, 2010.
- TS EN 12504-4. Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini. TSE, Ankara, Türkiye, 2021.
- Uygunoğlu, T., Topçu, İ. B., Çinar, E., Eryeşil, Ö. Investigation of some durability properties of surface water proofed concretes. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 7(3), 1245-1257, 2020. <https://doi.org/10.31202/ecjse.742967>
- Van Steen, C., Pahlavan, L., Wevers, M., Verstryng, E. Localisation and characterisation of corrosion damage in reinforced concrete by means of acoustic emission and X-ray computed tomography. Construction and Building Materials, 197, 21-29, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.159>

- Van Steen, C., Verstrynge, E., Wevers, M., Vandewalle, L. Assessing the bond behaviour of corroded smooth and ribbed rebars with acoustic emission monitoring. *Cement and Concrete Research*, 120, 176-186, 2019a. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.03.023>
- Van Steen, C., Verstrynge, E., Wevers, M., Vandewalle, L. Assessing the bond behaviour of corroded smooth and ribbed rebars with acoustic emission monitoring. *Cement and Concrete Research*, 120, 176-186, 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.03.023>
- van Zijl, G. P. A. G., Paul, S. C. A novel link of the time scale in accelerated chloride-induced corrosion test in reinforced SHCC. *Construction and Building Materials*, 167, 15-19, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.019>
- Vidya Sagar, R., Basu, D. J. Damage progression and crack classification in Reinforced Concrete structures under quasi-static monotonically increasing loading based on acoustic emission waveform parameters. *Journal of Building Engineering*, 76, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107332>
- Wang, C., Li, C., Zhu, S., Tu, D., Wu, L., Chen, Y., Guo, Y. Exploring an efficient non-destructive approach to characterize damage behavior and crack propagation of highly-filled wood-plastic composites during three-point bending test. *Construction and Building Materials*, 364, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129920>
- Wasim, M., Duc Ngo, T., Abid, M. Investigation of long-term corrosion resistance of reinforced concrete structures constructed with various types of concretes in marine and various climate environments. *Construction and Building Materials*, 237, 117701, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117701>
- Witkowska-Dobrev, J., Szlachetka, O., Francke, B., Chyliński, F., Małek, M., Šadzevičius, R., Ramukevičius, D., Frąk, M., Dzieciół, J., Kruszewski, M., Klimek, A., Dohojda, M., Sas, W. Effect of different water-cement ratios on the durability of prefabricated concrete tanks exposed to acetic acid aggression. *Journal of Building Engineering*, 78, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107712>

- Whitehurst E.A. Use of the Soni scope for Measuring Stetting Time of Concrete, ASTM vol, 51, 1166-76, 1951.
- Xiang, Z., Wang, J., Niu, J., Zhou, J., Wang, J. Axial compressive responses of concrete canvas and CFRP reinforced corroded concrete short columns. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01661, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01661>
- Xu, J., Niu, X., Ma, Q., Han, Q. Mechanical properties and damage analysis of rubber cement mortar mixed with ceramic waste aggregate based on acoustic emission monitoring technology. *Construction and Building Materials*, 309, 125084, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125084>
- Yang, J., Zhao, G., Yin, H., Feng, Y., Zhang, P. Effects of C-S-H gel surface structure on sodium chloride evaporation crystallization in C-S-H gel nanopores with molecular dynamics analysis. *Applied Surface Science*, 639, 158159, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2023.158159>
- Yaşar, E., Erdoğan, Y., Kılıç, A. Effect of limestone aggregate type and water cement ratio on concrete strength. *Mater. Lett.*, 58(5), 772-777, 2004.
- Yeganeh, M., Omid, M., Mortazavi, H., Etemad, A., Rostami, M. R., Shafiei, M. E. Enhancement routes of corrosion resistance in the steel reinforced concrete by using nanomaterials. *Smart Nanoconcretes and Cement-Based Materials: Properties, Modelling and Applications*, 583-599, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817854-6.00026-X>
- Yin, S., Zhou, Y., Chen, X., Li, G. A new acoustic emission characteristic parameter can be utilized to evaluate the failure of cemented paste backfill and rock combination. *Construction and Building Materials*, 392, 132017, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132017>
- Yodsuddjai, W., Pattarakittam, T. Factors influencing half-cell potential measurement and its relationship with corrosion level. *Measurement*, 104, 159-168, 2017.
- Yu, A. P., Naqvi, M. W., Hu, L. B., Zhao, Y. L. An experimental study of corrosion damage distribution of steel bars in reinforced concrete using acoustic emission

- technique. *Construction and Building Materials*, 254, 119256, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119256>
- Yu, A. P., Naqvi, M. W., Hu, L. B., Zhao, Y. L. An experimental study of corrosion damage distribution of steel bars in reinforced concrete using acoustic emission technique. *Construction and Building Materials*, 254, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119256>
- Yue, J. G., Kunnath, S. K., Xiao, Y. Uniaxial concrete tension damage evolution using acoustic emission monitoring. *Construction and Building Materials*, 232, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117281>
- Yurt, Ü. Kriyojenik sıcaklık etkisindeki kendiliğinden yerleşen betonlarda kırılma mekaniği performansının belirlenmesi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Düzce/Türkiye, 2015.
- Zhang, G., Wang, J., Jiang, Z., Peng, C., Sun, J., Wang, Y., Chen, C., Morsy, A. M., Wang, X. Properties of sustainable self-compacting concrete containing activated jute fiber and waste mineral powders. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 1740-1758, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.148>
- Zhang, M., Yu, H., Zhang, J., Chen, B., Ma, H., Gong, X., Guo, J., Yu, W., Li, L. Finite element analysis of stress–strain relationship and failure pattern of concrete under uniaxial compression considering freeze–thaw action. *Engineering Fracture Mechanics*, 290, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2023.109520>
- Zhang, X., Li, B. Damage characteristics and assessment of corroded RC beam-column joint under cyclic loading based on acoustic emission monitoring. *Engineering Structures*, 205, 110090, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110090>
- Ziehl, P., ElBatanouny, M. Acoustic emission monitoring for corrosion damage detection and classification. *Corrosion of Steel in Concrete Structures*, 265-282, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821840-2.00009-2>

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI

2. Doğum Tarihi :

3. Ünvanı : Araştırma Görevlisi

4. Öğrenim Durumu : Doktora

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Afyon Kocatepe Üniversitesi	2016
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği, Yapı Malzemeleri A.B.D.	Afyon Kocatepe Üniversitesi	2018
Doktora	İnşaat Mühendisliği, Yapı Malzemeleri A.B.D.	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2023

5. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl
Araştırma Görevlisi	İnşaat Mühendisliği Bölümü	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2018-

6. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2018-

7. Yayınlar:

7.1. Çınar Resuloğulları, E., Uygunoğlu, T., Dündar, B., (2022). Investigation of Physical and Mechanical Properties of Mortars Produced with Recycled Asphalt Waste under the Influence of High Temperature. Journal of Material Cycles and Waste Management, 24(2), 743-750.

7.2. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Çınar E., Resuloğulları, D. (2019). Electrical and mechanical properties of historical mortars in Bursa/Turkey. Revista de la Construcción, 18(1), 54-67., Doi: 10.7764/RDLC.1.1.54

7.3. Küçük, V.A., Çınar, E., Korucu, H., Şimşek, B., Güvenç, A.B., Uygunoğlu, T., Kocakerim, M.M., (2019). Thermal, electrical and mechanical properties of filler-

doped polymer concrete. Construction and Building Materials, 226, 188-199., Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.256

7.4. Çınar, E., Uygunoğlu, T., Şimşek, B., Topçu, İ.B., (2020). Effect of carbon black on electrical curing of fresh concrete for cold regions. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, 247, 118572, Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118572

7.5. KARCI Turhan Can, Dündar, B., Çınar Resuloğulları, E., (2022). Kazınmış Asfalt Atığı ve Cam Elyaf ile Üretilen Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(3), 480-490. (Yayın No: 8054843)

7.6. Kayıhan, M.R., Dündar, B., Çınar Resuloğulları, E., (2022). Öğütülmüş Pomza Tozlu Harçların Hidroklorik Asit Direncinin İncelenmesi. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 5(2), 160-170., Doi: 10.51764/smutgd.1199413 (Yayın No: 7947991)

7.7. Çınar Resuloğulları, E., Dündar, B., (2022). Investigation of Engineering Properties of Self-Compacting Concretes Produced with Different Mineral Additives. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 10(4), 699-710., Doi: 10.29109/gujsc.1179165 (Yayın No: 8014962)

7.8. Dündar, B., Çınar Resuloğulları, E., Kaplan, C., (2022). The Effect of Using Plasticizer Additive in Different Proportions on the Abrasion Resistance of Concretes. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5, 66-79., Doi: 10.47495/okufbed.1035145

7.9. Dündar, B., Çınar Resuloğulları, E., (2021). Investigation of high temperature effects in different mineral additive light. Turkish Journal of Engineering, 5(4), 165-170., Doi: 10.31127/tuje.695328

7.10. Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Çelik, A.G., Çınar Resuloğulları, E., (2021). Microstructural Characterization and Corrosion-Resistance of Borided Rebar. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(3), 1135-1148., Doi: 10.31202/ecjse.892342

7.11. Dündar, B., Çınar, E., Peşin S. (2020). Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(4), 1039-1048., Doi: 10.17714/gumusfenbil.700956

7.12. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., **Çınar, E.**, Eryeşil, Ö., (2020). Yüzeysel Su Yalıtımlı Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 7(3), 1245-1257., Doi: 10.31202/ecjse.742967

7.13. **Çınar, E.**, Dündar, B., Uygunoğlu, T., (2020). Investigation on High-Temperature Effect of Recycled Concrete Aggregate on Mortars. Materials International, 2(2), 236-241.

7.14. Dündar, B., **Çınar, E.**, Çalışkan, A.N., (2020). An investigation of high temperature effect on pumice aggregate light mortars with brick flour. Research on Engineering Structures and Materials.

8. Yazılan ulusal kitaplar veya kitaplarda bölümler:

8.1. İnşaat Mühendisliğinde Farklı Yaklaşımlar, Bölüm adı:(Geopolimer Beton) (2021)., Dündar, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, Kaplan, C., Yurt, Ü., Nobel Bilimsel Eserler, Editör:Dr. Öğr. Üyesi Hakan Çağlar, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 96, ISBN:978-625-7566-96-4, Türkçe (Bilimsel Kitap)

9. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

9.1. Dündar, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, Karıcı, T.C., Dönmez, A., (2022). Cam Tozu ve Uçucu Kül Katkılı Harçların Zamana Bağlı Elektriksel Özdirenç ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(5), 91-106., Doi: 10.29130/dubited.1093355

9.2. **Çınar Resuloğulları, E.**, Dündar, B., Uygunoğlu, T., (2021). Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası Kullanılarak Üretilen Harçlarda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 108-115., Doi: 10.21923/jesd.711026

9.3. Dündar, B., **Çınar, E.**, Özkaya, H., (2020). Profillit Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 8(2), 17-27.

9.4. Dündar, B., **Çınar, E.**, (2020). Farklı Mineral Katkılı Hafif Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9(2), 42-49., Doi: <https://doi.org/10.46810/tdfd.729752>

9.5. **Çınar, E.**, Dündar, B., Şahin Ebru (2020). Cam Tozu Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 17-23.

9.6. Yurt, Ü., Dündar, B., **Çınar, E.**, (2020). Jeopolimer Betonlarda Sülfürik Asit Etkisinin Araştırılması. Duzce University Journal of Science and Technology, 8(2), 1548-1561.

9.7. Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Çelik A.G., **Çınar, E.**, (2018). Rapid Acidic Corrosion of Ribbed Reinforcing Steel Bars. International Journal Natural and Engineering Sciences (IJNES), 12(2), 5-9.

9.8. Uygunoğlu, T., **Çınar, E.**, (2018). Soğuk Hava Şartlarında Elektriksel Kür Yöntemi İle Prefabrik beton Eleman Üretiminin Araştırılması. Beton Prefabrikasyon, 32(128), 6-13.

9.9. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Şimşek, B., **Çınar, E.**, (2018). Kendiliğinden Yerleşen Harçların Elektriksel Özdirenci Üzerine Mineral Katkıların Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2)

10. Ulusal ve Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

10.1. Yurt, Ü. Dündar, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, (2019). Geopolimer Betonlarda Sülfürik Asit Etkisinin Araştırılması. 3rd International Engineering Research SymposiumINERS'19, 43-43. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

10.2. Kaplan, C., Dündar, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, (2021). Investigation of Weight Changes of Mineral Additive Mortars Under the Effect of 5% Sulfuric Acid. Icenas'21 - International Conference on Engineering, Natural and Applied Science, 75-75. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

10.3. Dündar, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, Kaplan, C., (2021). The Effect Of Using Plasticizer Additive In Different Proportions On The Abrasion Resistance Of

Concretes. Icenas'21 - International Conference On Engineering, Natural And Applied Science, 74-74. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

10.4. Dünder, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, Karcı, T.C., Dönmez, A., (2022). Cam Tozu ve Uçucu Kül Katkılı Harçların Zamana Bağlı Elektriksel Özdirenç Değişimlerinin İncelenmesi. 4th International Engineering Research Symposium INERS'22 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

10.5. Kayhan, M.R., Dünder, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, (2022). Geri Dönüştürülmüş Asfalt Atığı ile Üretilen Ögütülmüş Pomza Katkılı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. International Korkut Ata Scientific Researches Conference, 664-676. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

10.6. Büyükkurt, Y., Dünder, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, (2022). Cam Tozu Katkılı Betonların Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. International Korkut Ata Scientific Researches Conference, 652-663. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

10.7. Karcı, T.C., Dünder, B., **Çınar Resuloğulları, E.**, (2022). Cam Elyaf Katkılı Betonların Aşınma Direncinin İncelenmesi. Ahi Evran 2. International Conference on Scientific Research (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

10.8. **Çınar Resuloğulları, E.**, Dünder, B., (2022). Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Hal Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. Ahi Evran 2. International Conference on Scientific Research (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

10.9. Dünder, B., **Çınar, E.**, Dokuzlar, G., (2020). Atık Kırmızı Ve Beyaz Mermer Tozu Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. 6th International Conference on Engineering Natural Sciences (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

10.10. Dünder, B., **Çınar, E.**, Fidan, O., (2020). Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. 6th International Conference on Engineering Natural Sciences (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

10.11. Tokgöz, H., Dünder, B., **Çınar, E.**, (2019). Sülfürik Asit Kolesterol Katkılı Harçlar Üzerine Etkisinin Araştırılması. International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, 216-230. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

- 10.12. Çınar, E., Dündar, B., Şahin, E., (2019).** Cam Tozu Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Internationally Participated The 1stInnovation, Sustainability, Technology and Educationin Civil Engineering Conference, 948-959. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.13. Dündar, B., Çınar, E., Çalışkan, A.N., (2019).** Tuğla Unu Katkılı Pomza Agregalı Hafif Harçların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri. iSTE-CE'xx2019-International Conference on Innovation, Sustainability, Technology andEducation in Civil Engineering (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.14. Uygunoğlu, T., Çınar, E., (2018).** Elektriksel Kürün Beton İç Sıcaklıkları ve Priz Sürelerine Etkisi. 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.15. Uygunoğlu, T., Güneş, İ., ÇELİK A.G., Çınar, E., (2018).** Rapid acidic corrosion of ribbed reinforcing steel bars. 4th International Conference on Natural and Engineering Science (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.16. Uygunoğlu, T., Çınar, E., Şimşek, B., Topçu, İ.B., (2018).** Mechanical and Physical Properties of Carbon Black Reinforced Concrete. IV. Uluslararası Seramik Cam Emaye Sır ve Boya Kongresi (SERES18) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.17. Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Çelik, A.G., Çınar, E., (2018).** Behavior of borided reinforced rebar under rapid corrosion. The International Conference on Agriculture, Technology, Engineering and Sciences (ICATES 2018) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.18. Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Çelik, A.G., Çınar, E., (2018).** Microwave curing process on polymer composites. The International Conference on Agriculture, Technology, Engineering and Sciences (ICATES 2018) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.19. Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Çelik, A.G., Çınar, E., (2018).** Behavior of Borided Reinforced Rebar Under Rapid Corrosion. International conference on agriculture,technology,engineering and sciences (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- 10.20. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hocaoglu, İ., Çınar, E., (2018).** The Impact of Stress Intensity on Porosity and Tensile Splitting Strength of Different Dosage

Concretes. 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering, (ICOCEE – Çeşme 2018) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4464997)

10.21. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hocaoglu, İ., **Çınar, E.**, (2018). The impact of stress intensity on mechanical abrasion resistance of different dosage concretes. 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering, (ICOCEE – Çeşme 2018) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

10.22. Uygunoğlu, T., Şimşek, B., **Çınar, E.**, (2018). Effect of Carbon Black on Electrical Rapid Curing of Concrete. II International Conference on Engineering Technology and Innovation (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

10.23. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., **Çınar, E.**, (2017). Enerji Verimliliği İçin Saydam (Işık Geçiren) Betonlar. V. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Çalıştayları (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

10.24. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., **Çınar, E.**, (2017). Translucent (light transmitting) concrete for energy efficiency, (enerji verimliliği için saydam (ışık geçiren) betonlar). V. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Çalıştayları (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

10.25. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Meşe, M., **Çınar, E.**, (2017). Polipropilen Lif Katkılı Harçların Elektriksel Ve Mekanik Özellikleri. V. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Çalıştayları (Özet Bildiri/Poster)

10.26. Uygunoğlu, T., **Çınar, E.**, Resuloğulları, D., (2016). Investigation of mortar properties of Bursa Turkey historical buildings. Third International Scientific Meeting on Civil Engineering (Tam Metin Bildiri/Poster)

11. Diğer yayınlar:

12. Projeler:

12.1. Çimento Esaslı Harç Bileşenlerinin Elektriksel Kür Yöntemine Etkisinin Araştırılması, -Tübitak 1002, Bursiyer: Çınar, E., Yürütücü: Hocaoglu, İ., Yürütücü: Uygunoğlu, T., 25/06/2017 - 25/09/2018 (ULUSAL)

13. Bilimsel Kuruluşlara Üyelikler:

14. Ödüller: