



İslahiye-Hassa Trası Katkılı Çimento Harçlarının Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 11.04.2023

Kabul/Accepted: 11.01.2024

Yayımlandı/Published: 27.02.2024

Investigation of the Strength and Durability Properties of Cement Mortars with İslahiye-Hassa Trace Additive

Hadan PEHLİVAN^{1*}, Mahmut AYTEKİN²

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Programı, Kilis, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışmada çimento ikamesi olarak %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında İslahiye-Hassa Trası (T) içeren donatılı ve donatısız harç numuneler üretilmiştir. Çimento harçlarının kimyasal analiz, moleküler analiz ve termal değişimlerini incelemek için XRF, FT-IR ve TGA uygulamaları yapılmıştır. Çimento harçlarının dayanım testleri için 40x40x160mm boyutunda prizmatik ve elektrokimyasal korozyon ölçümleri için donatılı 50x100 mm silindirik harç numuneleri üretilmiştir. Üç elektrotlu ölçüm yöntemi ile donatının elektrokimyasal korozyon davranışını belirlemek için voltametrik ölçümler yapılmıştır. Korozif ortamda bekleyen donatılara yarı hücre potansiyel yöntemi ile açık devre potansiyel ölçümleri (EADP), kulometri uygulaması ile açık devre potansiyelinde korozyon yüklerinin (QADP) ölçümü gibi tahribatsız elektrokimyasal testler yapılmıştır. Sonuç olarak %10 tras katkılı çimento harç numunelerinde sıcaklığa bağlı kütle değişiminin en düşük olduğu, 180 günlük eğilme (9.72 MPa) ve basınç (50.85 MPa) dayanımının en yüksek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda %10 tras katkısı donatı yüzeyinde pasif film oluşmasına katkı sağlayarak korozyona karşı koruyucu bir ortam oluşturmuştur.

Abstract

In this study, reinforced and unreinforced mortar samples containing İslahiye-Hassa Trace (T) at the rates of 0%, 10%, 20%, 30% and 40% were produced as a cement substitute. XRF, FT-IR and TGA applications were made to examine chemical analysis, molecular analysis and thermal changes of cement mortars. For the strength tests of cement mortars, prismatic 40x40x160 mm mortar samples and reinforced cylinder 50x100 mm mortar samples for electrochemical corrosion measurements were produced. Voltametric measurements were made to determine the electrochemical corrosion behavior of the reinforcement with the three-electrode measurement method. Non-destructive electrochemical tests such as open circuit potential measurements (EOCP) with half-cell potential method and measurement of corrosion charge (QOCP) at open circuit potential with coulometry application were performed on the reinforcements waiting in a corrosive environment. As a result, it was observed that the mass change due to temperature was the lowest and the 180-day flexural (9.72 MPa) and compressive (50.85 MPa) strength was the highest in the 10% tras added cement mortar samples. At the same time, 10% trass additive contributed to the formation of a passive film on the reinforcement surface, creating a protective environment against corrosion

Anahtar Kelimeler: İslahiye-Hassa Trası, XRF, FT-IR, TGA, Dayanım, Korozyon

Keywords: İslahiye-Hassa Trace; XRF; FT-IR; TGA; Strength; Corrosion

1. Giriş

İnşaat uygulamalarında yapı malzemesi olarak en yaygın kullanılan çimento yaşam döngüsünün çevre dostu olabilmesi konusunda puzolanlar önemli bir yer almaktadır. Çimento esaslı malzemelere çeşitli agresif çözümlerin temas etmesi ekonomik ömrünü azaltmakta ve güvenlik sorunları yaratmaktadır. Bu sorunlardan en önemlisi malzemede ciddi bozunmalara yol açan kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya

çıkan korozyondur. Agresif ortamlarda yapıların deprem güvenliği, donatı korozyonu ve dayanıklılık arasındaki ilişkinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Çimento esaslı malzemeler, aşırı yüklenme ve sismik etkilerle birlikte çevre ve iklim şartlarından da etkilenecek zaman içerisinde hasara uğramaktadır. Bu nedenle çeşitli çevresel faktörlerden kaynaklanan bozulmaları engellemek için çimentolu sistemlerin

fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin detaylı incelenmesi gerekmektedir (Erdoğan 2013).

Doğal puzolanlar silis ve alümin oksitler bakımından zengin tuf çeşiti olup ince öğütülebildiği için çimento hamurunun mikro boşluklarını hızlı bir şekilde doldurmakta aynı zamanda dayanıklılığını artırmaktadırlar. Mikro yapıda olan doğal puzolanlar çimento esaslı malzemelerin kıvam ve işlenebilirlik özelliklerine de katkı sağlamaktadır (Pan et al. 2003, Sabir vd. 2001, Shannag 2000, Vu 2001).

Dayanıklılık hizmet koşullarına bağlı olduğundan, bir malzemenin kendine özgü bir özelliği değildir. Bu nedenle betonun maruz kaldığı ortamın türüne göre değiştiği bilinmektedir. Betonarmenin karşılaştığı en büyük tehdit çatlama, tabakalara ayrılma ve ciddi durumlarda yapının kısmen veya tamamen çökmesi nedeniyle donatı çeliğinin korozyona uğramasıdır. Bu durumun en önemli nedeni CO₂ gibi agresif ortamlara maruz kalma ve/veya klorür (Cl⁻) iyonlarının girişidir (Aguirre-Guerrero et al. 2021).

Gömülü çeliğin korozyonu süreci genellikle karbonatlaşma veya betonun klorür kirlenmesi sonucu başlar. Sonrasında çeliğin korozyon hızı başta betonun nemi olmak üzere çevre koşullarına ve oksijen erişimine bağlıdır. Korozyon inşaat demirini kademeli olarak metalden daha yüksek hacme (2 ila 6 kat) sahip oksitlere dönüştürür. Korozyon ürünlerinin önemli bir kısmı sürekli olarak inşaat demiri çevresinde katı bir tabaka halinde birirmektedir. Bu durum mekanik bir bakış açısıyla çelik korozyon ürünlerinin oluşumuna bağlı genleşme, dahili çekme gerilmeleri oluşturan inşaat demirinin hacim artışı olarak yorumlanabilir. Bununla birlikte özellikle çok nemli betonda korozyon ürünlerinin bir kısmının inşaat demirinden uzağa taşınabileceği için inşaat demiri etrafındaki çekme gerilmeleri kısmen azalabilmektedir. Sonunda çekme gerilmeleri betonun çekme mukavemetini yenebilir bu da çimentolu kompozitte mikro ve makro çatlaklara yol açarak betonu hasara uğratar (Segovia et al. 2021).

Genel olarak çelik donatılar fiziksel ve kimyasal mekanizmalara dayalı olarak korozyondan korunabilir. Çelik çubukların koruyucu tabakası olan beton örtü aynı zamanda agresif ajanların istilasını önleyen fiziksel bir bariyer görevi görür. Bununla birlikte beton gözenek çözümlerinin pH'ı çelik donatıların yüzeyinde pasif bir koruma filmi oluşumunu destekler. Bununla birlikte su, oksijen, klorürler veya karbon dioksit ile birlikte çelik donatıların yüzeyine ulaştığında, bu filmin pasifliği azalabilir ve hasar görebilir; donatılar ve beton arasındaki ara yüz ve örtü betonunda çatlaklara neden olur.

Betondaki çimentolu bağlayıcıların, hidratasyon ürünlerini ve betonun mikro yapısını belirleyen çok önemli faktörler olduğu ve bu nedenle donatıların korozyon davranışında önemli bir rol oynadığı kabul edilmiştir (You et al. 2020).

Beton yapılarda çeliğin korozyonunun izlenmesi ve değerlendirilmesi için çeşitli elektrokimyasal teknikler geliştirilmiştir. Yerinde korozyon testlerinin en yaygın olanı yarı hücre potansiyel ölçümüdür. Bu yöntemin kullanımı ve sonuçlarının yorumlanması ASTM C876-22b (2022)'de açıklanmıştır. Ancak yarı hücre potansiyel değerleri korozyon hızı hakkında değil yalnızca korozyon olasılığı hakkında bilgi verdiği için başka tahribatsız test yöntemleriyle de desteklenmesi gerekir. Beton yapılarda korozyon olasılığının beton elektrolitinin iyonik iletkenliğine, neme, sıcaklığa ve kabuk betonun kalitesine bağlı olduğu iyi bilinmektedir. İyonik iletkenlik nicel olarak betonun öz direnci olarak ölçülür (Sadowski 2013). Bu çalışmada doğal puzolan olarak İslahiye-Hassa trasının (T) çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Doğal puzolanlar puzolanik aktivite özelliğine sahip volkanik cam, opal, kil mineralleri, zeolitler ve alüminyum hidroksit grubu malzemelerden oluşabilir. Volkanik faaliyetlerin oldukça yoğun görüldüğü Anadolu topraklarında volkanik tuf rezervleri çok yaygındır. Literatür taraması yapıldığında Antakya Hassa Lav Tüpü mağarası olarak envantere geçen ilk volkanik doğal mağara bulunduğu bilgisine ulaşılmıştır. Antakya ve Gaziantep arasında kalan bu bölgede de volkanik saha olarak tanımlanabilecek yerlerin bulunma olasılığı yüksek olduğu için detaylı araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda tras katkılı harçlarda dayanım özelliklerinin yanında sodyum klorür çevresel etkisinde dayanıklılık sorunları araştırılmıştır. Özellikle bölgesel önemi olan hammaddelerin değerlendirilmesine yönelik yapılan bu çalışmada çimento esaslı bağlayıcı malzemeler içinde belli oranda tras kullanımının donatı korozyon davranışına etkisi ayrıntılı elektrokimyasal ölçümlerle araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

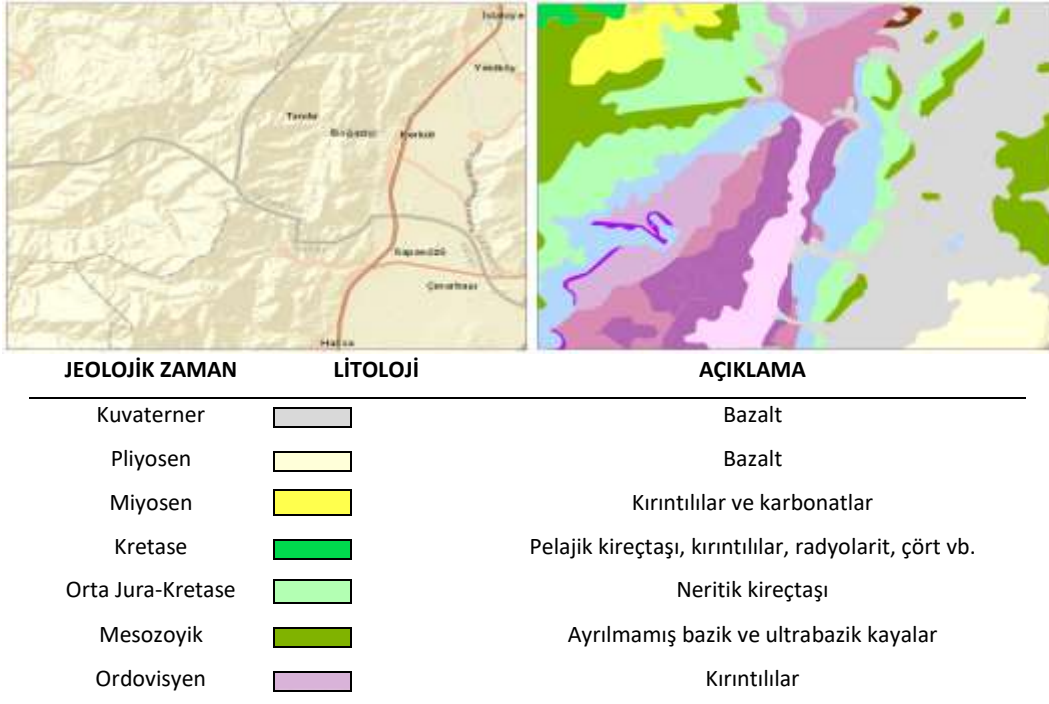
2.1 Materyal

Bu çalışmada çimento olarak CEM I 42,5 R Portland Çimentosu, puzolan olarak İslahiye-Hassa Trası (T), CEN standart kumu, içme suyu, NaCl çözeltisi, donatı, referans elektrot ve karşı elektrot kullanılmıştır.

Bu çalışmada çimento harçlarının üretiminde kullanılan Kahramanmaraş KİPAŞ Çimento Fabrikası'ndan sağlanan TS EN 197-1 (2012) 'e uygun çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Çimento fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel özellik	KÇS	Standart	Birim	Kimyasal özellik	KÇS	Standart	Birim
Priz başlangıcı	200	En düşük 60	dk	SO ₃	2.48	En yüksek 3.15	%
Priz sonu	240	-	dk	MgO	0.85	-	%
Özgül Ağırlığı	3.15		g/cm ³	Kızdırma kaybı	2	En yüksek 5	%
Hacim Genleşmesi	1.3	En yüksek 10	mm	Çözünmeyen kalıntı	0.4	En yüksek 5	%
Özgül Yüzey	3880	-	cm ² /g	Cl ⁻	0.0092	En yüksek 0.1	%
Litre ağırlığı	950	-	g/l				
2 günlük dayanım	28.1	En düşük 20.0	MPa				
		En düşük 42.5					
28 günlük dayanım	45.7	En yüksek 62.5					



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası(MTA Web Sitesi kullanılarak hazırlanmıştır)

Bu çalışmada mineral katkı olarak kullanılan tras İslahiye-Hassa yöresinde yüzeylenen kayalardan elde edilmiştir. Volkanik sahanın jeoloji haritası Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan materyal ve uygulanan yöntemle ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Genç volkanik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde yeryüzüne yakın magmatik ve tektonik faaliyetlerin etkinliği söz konusudur. Hassa Leçeleri olarak bilinen Antakya-Kahramanmaraş grabeni içerisinde oldukça genç bir volkanik saha bulunmaktadır (Bilgin 1969).

Antakya-Kahramanmaraş graben alanı Ölü Deniz ve Doğu Anadolu Fayları ile Kıbrıs Yay'ının etkisi ile ortaya çıkmıştır. Grabenin çevresi genellikle temel kayaların oluşturduğu ve fayların yükselen bloklarında kalan topoğrafik yükseltilerden oluşur. Grabenin batı kesimini oluşturan Amanos Dağları Kambriyen-Eosen yaşlı

kayaçlardan, doğusunu sınırlayan Kurt Dağları ise Kretase-Miyosen yaşlı birimlerden oluşur. Güneyi ise Kretase yaşlı ofiyolitler ve Miyosen yaşlı kayalardan oluşur.

Pliyosen yaşlı kayalar genellikle karasal kırıntılar ve gölsel birimlerden oluşur.

Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar genellikle bazalt karakterlidir. Karasu vadisi boyunca gözlenen ve Reyhanlı-Kırıkhan, Hassa-Fevzipaşa arasında yoğun yüzeylenmektedir. Vadinin batı kenarını denetleyen faylar boyunca yaygın dizili alüvyon yelpazesi gelişimi gözlenmiştir (Toprak vd. 2002).

Çimento harç numunelerinin üretiminde TS EN 196-1 (2009)' uygun dmax'ı yaklaşık 2.0 mm ve yoğunluğu 2.63 g/cm³ olan CEN standart kumu kullanılmıştır.

Donatı gömülü çimento harçlarının elektrokimyasal korozyon ölçümleri 10 mm çapında 140 mm uzunluğunda nervürlü donatı kullanılarak %3.5 NaCl ortamında alınmıştır.

2.2 Yöntem

Bu çalışmada İslahiye-Hassa Trası (T) ağırlıkça %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında çimentoya ilave edilerek donatısız ve donatılı harç numuneleri sırasıyla; T0, T10, T20, T30, T40 kodlu üretilmiştir.

2.2.1 İslahiye-Hassa Trası malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışmada çimento katkı maddesi olarak kullanılacak tras numunesinin öncelikle kimyasal ve fiziksel özelliklerini incelemeye yönelik deneyler yapılmıştır. 105°C etüvde 24 saat süreyle kurutulan tras numunesinin öğütme öncesi ve sonrası durumu Şekil 2'de görülmektedir. ASTM C618-19 (2019)'a göre 45µ elekten geçen puzolanik katkı miktarı sınır değerlerine göre öğütülmüştür.

Çalışmada kullanılan öğütülmüş İslahiye-Hassa trasının (T) kimyasal özelliklerini incelemek için X-Işını Floresans (XRF) analizi ve fiziksel özelliklerini incelemek için incelik, özgül ağırlık tayini yapılmıştır.

Çimento harçlarında malzemede termal ağırlık değişimlerini belirlemek için termogravimetrik analiz (TGA) ve tanecikteki molekül gruplarını tanımlamak için Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FT-IR) analizleri yapılarak numunelerin mineralojik yapısında meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Bu analizleri yapmak için Şekil 3'de görüldüğü gibi harç numuneler kırıldıktan sonra öğütülerek toz haline getirilmiştir.



Şekil 2. İslahiye-Hassa Trası öğütme öncesi ve sonrası



Şekil 3. TGA ve FT-IR analizleri için hazırlanan öğütülmüş numuneler

Hidratasyona tabi tutulan kontrol ve tras katkılı çimento numunelerin termal analizleri (TGA) İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Analizler ASTM C1872-18 (2018) referans alınarak 30°C -1050 °C arasında 10°C sıcaklık artışı ile ısıtılarak ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. FT-IR analizleri İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Analizler için dalga sayısı aralığı 400-4000 cm⁻¹ olarak seçilmiştir.

2.2.2 Çimento harç numunelerinin hazırlanması

Çalışmada kullanılan İslahiye- Trası (T) CEM I 42.5 R çimentosuyla ağırlıkça %0-40 oranlarında yer değiştirilerek hazırlanan donatılı ve donatısız harç numuneleri Çizelge 2'de verilen karışım oranlarına göre üretilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde tras ikame oranlarının artması ile harçların su ihtiyacının arttığı görülmüştür. %40 tras katkılı harçlarda su ihtiyacının en fazla (235 gram), katkısız harçlarda ise su ihtiyacının en az (218 gram) olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Harç numunelerine ait malzeme karışım oranları

Kod	Çimento (g)	Tras (g)	Kum (g)	s/b	s (g)
T0	450	0	1350	0.48	218
T10	405	45	1350	0.50	225
T20	360	90	1350	0.51	230
T30	315	135	1350	0.52	233
T40	270	180	1350	0.52	235

Tras katkılı ve katkısız çimento harç karışımlarının tasarımı Şekil 4'de görüldüğü gibi; normal kıvam için gerekli su miktarları ASTM C187-16 (2016)' ya göre, referans numuneye göre yayılma çapları ise ASTM C230/C230M-98E1 (2017)'ye göre belirlenmiştir.



Şekil 4. Çimento harç yayılma tablası

Şekil 5'de görüldüğü gibi çimento harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek için 40x40x160mm çimento harç prizma numuneleri, elektrokimyasal korozyon ölçümleri için ise Ø10 donatı kullanılarak 50x100 mm silindirik numuneler üretilmiştir.

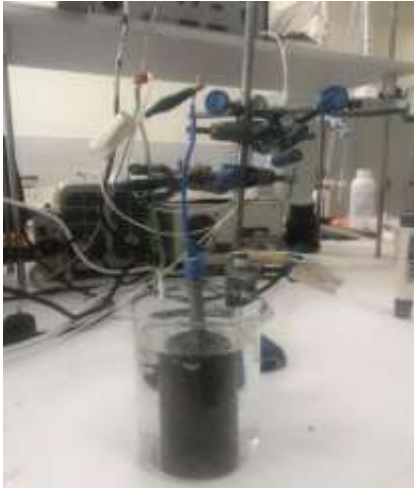
2.2.3 Elektrokimyasal ölçümler

Çimento harcı içerisine gömülü donatının elektrokimyasal ölçümleri için Şekil 6'da görüldüğü gibi ASTM C876-22b(2022) göre üç elektrotlu sistem ile potansiyostat cihazı kullanılmıştır. Bu yöntemle göre; donatı çalışma elektrotu, platin karşıt elektrot olarak ve Ag/AgCl elektrodu ise karşılaştırma elektrodu olarak kullanılmıştır.

Donatılı silindir çimento harç numuneleri %3,5 NaCl çözeltisi içinde 120 gün boyunca bekletilmiş ve 24 günlük periyotlarla tahribatsız korozyon ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler zamana bağlı elde edilen açık devre potansiyelleri (E_{ADP}) ve açık devre potansiyelinde korozyon yüklerinin (Q_{ADP}) belirlenmesine yönelik deneysel yöntemlerdir.



Şekil 5. Çimento harç prizma ve silindir numuneler



Şekil 6. Donatılı çimento harçlarının üç elektrotlu sistemle korozyon ölçümü

analizlerine göre Şekil 7'de görüldüğü gibi çimento hamurlarının faz gelişimleri açıklanmıştır.

Çizelge 3. İslahiye-Hassa Trasına ait XRF analiz sonuçları

Rapor Adı	Miktar (%)
Kızdırma kaybı	0.38
SiO ₂	51.45
Al ₂ O ₃	15.76
Fe ₂ O ₃	13.39
CaO	8.84
MgO	4.31
K ₂ O	1.44
Na ₂ O	0.93
SO ₃	0.03

Çizelge 4. İslahiye-Hassa Trasına ait fiziksel özellikler

Fiziksel Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	2.9
Özgül yüzey (cm ² /g)	3964

3. Bulgular ve Tartışma

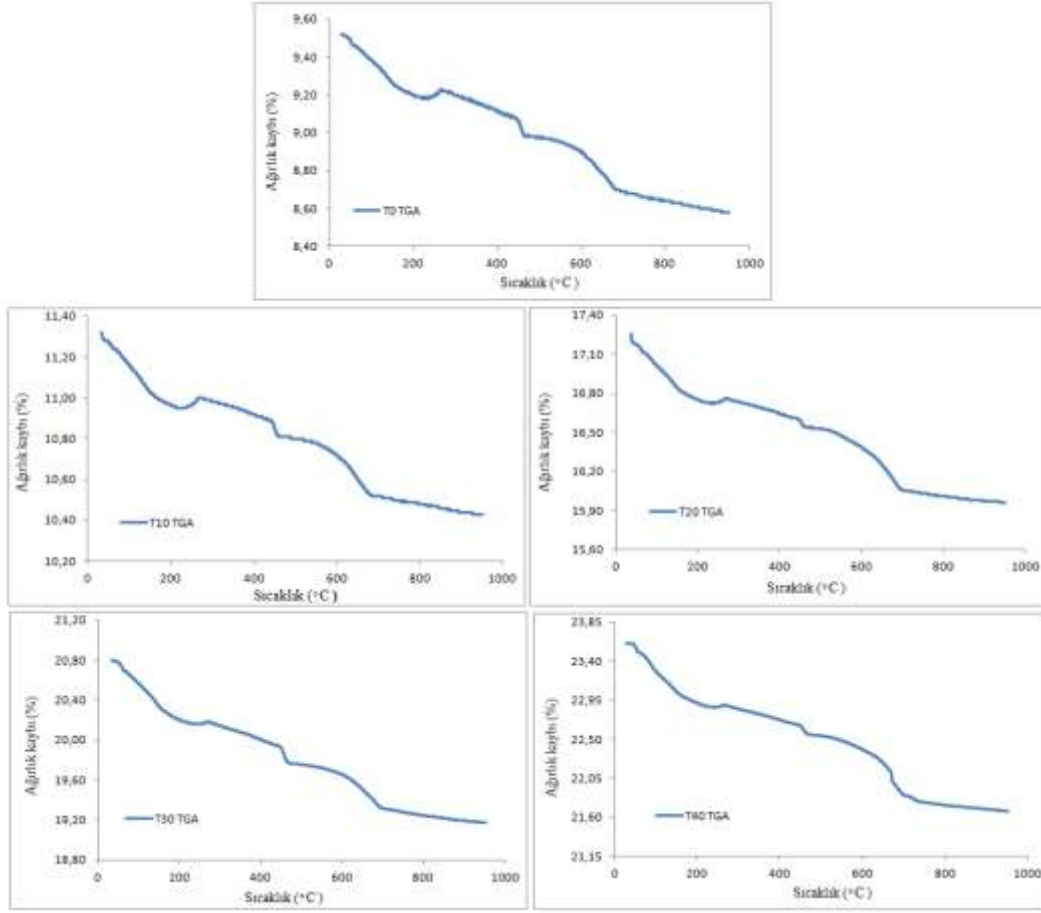
3.1 İslahiye-Hassa Trası Malzeme Özelliklerine Ait Bulgular

Çalışmada kullanılan İslahiye-Hassa trasının Çizelge 3'de verilen XRF analizi sonuçları TS 25/T1 (2011)'e göre karşılaştırdığında; trasının SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ içeriği % 80.60 olarak standart değerlerin üzerinde kalmıştır. Trasa ait fiziksel özellikler Çizelge 4'de verilmiştir. Çimentolu kompozitlerin termal kütle kayıplarının belirlenmesi ve oluşan hidratasyon ürünlerinin ayrıntılı incelenmesi için TGA bulgularına başvurulmuştur. Farklı oranlarda tras ilave edilmiş çimentolu kompozitlere yapılan TGA

Hidrate çimentolu kompozitlerin farklı sıcaklık aralıklarında TGA analizlerinden elde edilen kütle kayıpları Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5'de görüldüğü gibi CSH, Ca(OH)₂ ve CaCO₃ içeriklerinin dehidrasyonu ve dekarbonasyonuna bağlı olarak T0, T10, T20, T30 ve T40 karışımlarda kütle kayıpları sırasıyla; %9.4, %8.7, %13.0, %16.1 ve %19.3 olarak bulunmuştur. Bu durumda %10 tras katkılı numunelerde sıcaklığa bağlı kütle değişimi en az olmuştur (Hager 2013, Fichet *et al.* 1998, Dorum vd. 2010, Ubbriaco ve Calabrese 1998, Akça ve Özyurt 2018, Singh and Singh 2016).

25 ve 150 °C sıcaklık aralığında gözlenen ağırlık kaybı ve geniş endotermik pik, serbest suyun buharlaşması ve

CSH'nin ayrışması olarak değerlendirilebilir (Hager 2013, Fichet et al. 1998).



Şekil 7. Farklı oranlarda tras katkılı çimentolu kompozitlerin TGA analizleri

Çizelge5. Çimentolu kompozitlerin farklı sıcaklıklardaki kütle kayıpları (%)

Numune Kodu	Sıcaklık aralığı (°C)				
	25-200	200-400	400-500	500-750	100-1000
T0	3.2	0,8	1,4	3.3	8.0
T10	3.6	0.5	1.1	3.0	7.2
T20	5.1	1.1	1.0	5.0	10.4
T30	6.1	2.0	2.4	4.7	13.8
T40	7.0	1.9	1.7	6.9	15.8

25-200 °C sıcaklık aralığında tüm tras katkılı numunelerde yapısal ve kristal suyun daha fazla olduğu dehidrate CSH fazlarının oluştuğu görülmüştür. 400-500 °C sıcaklık aralığında %10 tras katkılı numunelerde CH daha az dehidratasyona uğramıştır.

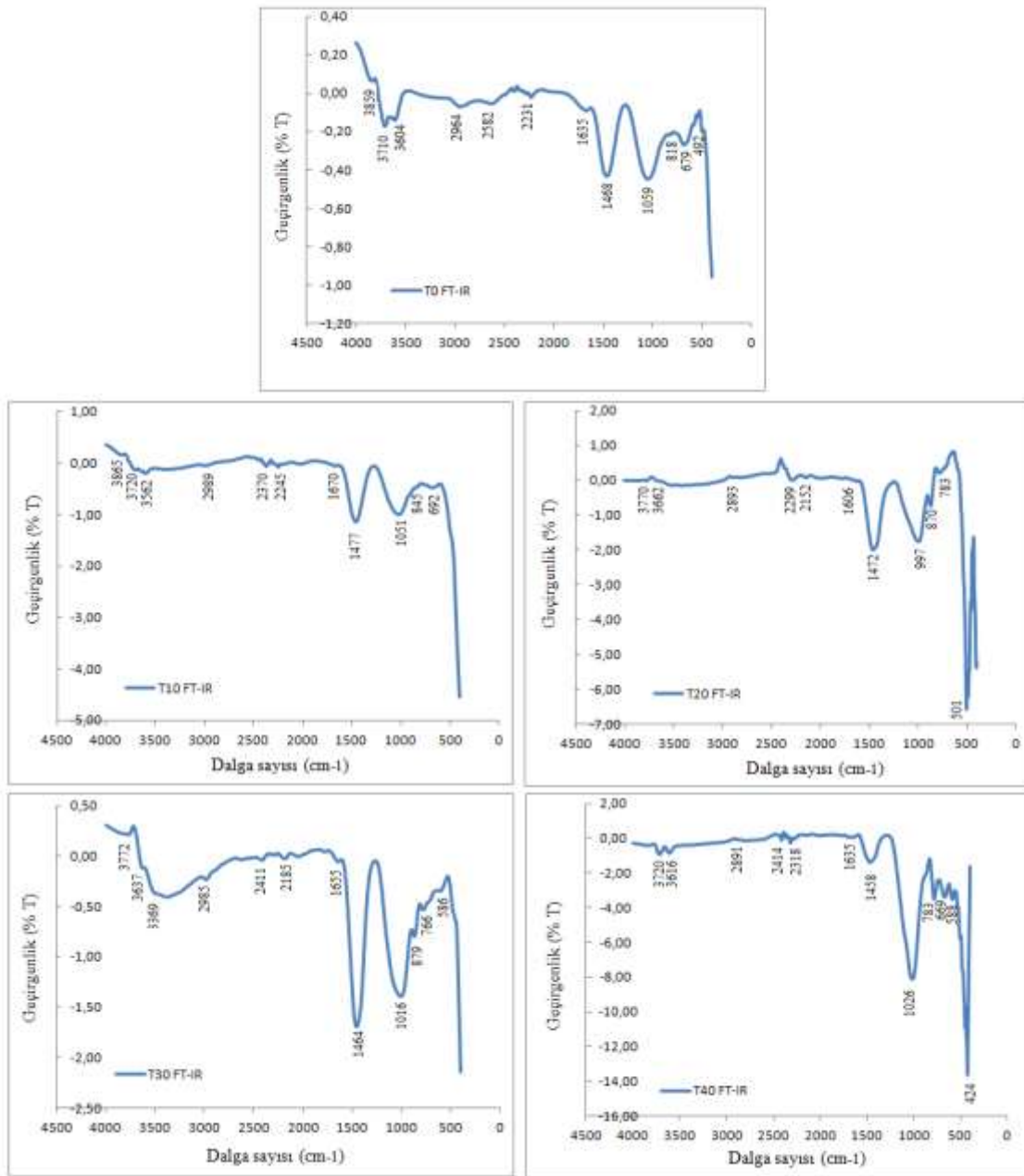
jellerinin farklı aşamalarındaki dehidratasyonu olarak geliştiğini, 478-498 °C aralığında $Ca(OH)_2$ 'nin dehidratasyonunun geliştiğini bildirmiştir. 757-773 °C aralığında ise $CaCO_3$ 'ün dekarbonasyonunun geliştiğini belirtmiştir.

Literatüre göre puzolanik özellikteki bir malzemenin miktarının artması ile birlikte mekanik performansın arttığı aynı zamanda CSH varlığının arttığı ve CH oranının düştüğü bilinmektedir (Akça ve Özyurt 2018, Du ve Tan 2017). Dorum vd. (2010) çalışmasında, hidratasyona uğrayan çimento hamurunun yaklaşık 100 °C'de kapiler boşluklardaki suyun dehidrate olduğunu, 100-200 °C aralığında endotermik etkilerin görüldüğünü, CSH

Ubbriaco ve Calabrese (1998) çalışmasında, 4x4x16cm boyutlarındaki çimento harcı örneklerine uçucu kül eklenmesi ile iç yapılarındaki değişiklikleri araştırmış, DTA/TG analizi sonucunda endotermik reaksiyon etkisi olarak 100° C'de etrenjit ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$) dehidratasyonu ve 700 °C'de dekarbonasyonun oluştuğunu bildirmiştir.

Toz halindeki numunelerin ısıtılması sırasında öncelikle boşluk suyu dehidrasyon ile numuneden uzaklaşır. Bu durum 38-125 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Daha sonra 125 °C sıcaklıkta kalsiyum silikat hidrat (CSH), etrenjit ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$) ve diğer hidratların dehidrasyon işlemi başlar. Bu hidratların dehidrasyonu 425 °C sıcaklığa kadar devam eder. Bu işlemden sonra portlandit [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] 425-475 °C sıcaklık aralığında dehidrasyona uğrar. En son CaCO_3 , 475-765 °C sıcaklık aralığında dekarbonasyon sonucu ayrışır. Harç ve/veya betondaki kimyasal bileşenlerin çoğu genellikle 800 °C civarında ayrışır. Bu sınır sıcaklığından sonra harç ve/veya betonun kütle kaybı yavaşlar (Akça ve Özyurt 2018, Singh and Singh 2016).

Çimentolu kompozitlerin hidrasyon reaksiyonları sonrası oluşan bağ yapılarının detaylı incelenmesi için FT-IR bulgularına başvurulmuştur. Farklı oranlarda tras ilave edilmiş çimentolu kompozitlere yapılan FT-IR analizlerine göre Şekil 8’de görüldüğü gibi yapısal dönüşümleri açıklanmıştır. FT-IR spektrumlarına göre, beton veya harcın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ piki 3606-3642 cm^{-1} bölgesi ve 3643 cm^{-1} civarındadır (Bulatovic’ *et al.* 2017, Dorum vd. 2010). Beton veya harcın karakteristik CaCO_3 piki 1391-1413 cm^{-1} , 846-868 cm^{-1} , 635-703 cm^{-1} bölgesi ve 1410-1510 cm^{-1} arasında değişmektedir (Witkowski and Koniorczyk 2018, Dorum vd. 2010, Skripkiunas *et al.* 2007).



Şekil 8. Farklı oranlarda tras katkılı çimentolu kompozitlerin FT-IR spektrumları

Şekil 8'de görüldüğü gibi 3606-3643 cm^{-1} civarındaki en düşük $\text{Ca}(\text{OH})_2$ piki T10 numunede görülmüştür. %10 tras katkılı numunede $\text{Ca}(\text{OH})_2$ içeriğinin diğer numunelere göre yüksek olmasının nedeni trasın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek harç içindeki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'yi azaltması olarak açıklanabilir. 1391-1510 cm^{-1} bölgesindeki pikler izlendiğinde %10 tras katkılı numunede CaCO_3 içeriğinin arttığı görülmektedir.

FT-IR spektrumlarında birinci bölge olarak adlandırılan 400-1100 cm^{-1} arasındaki bölge Si ile Al bağlarına denk gelmektedir. (Puertas *et al.* 2004, Fernandez-Jimenz 2003). S (kükürt) bölgesi olarak anılan ikinci bölge 1100-1300, 1620-1685 ve 3100-3600 cm^{-1} aralığında S-O bağı olarak görülmektedir (Akyol vd. 2011). 700-1500 cm^{-1} dalga sayılarında görülen üçüncü bölge C (C-O) titreşim bağlarını göstermektedir. Bununla birlikte karbonasyona bağlı 2500-3000 cm^{-1} aralığında ikinci bağlar ortaya çıkmaktadır (Varas *et al.* 2005). Su molekülleri içeren dördüncü bölgede 3400-3450 ve 1620-1650 cm^{-1} dalga sayıları aralığında O-H deformasyon bağları oluşmaktadır. 3400-3450 cm^{-1} dalga sayılarında susuz bileşikler ortaya çıkmaktadır. Çimento hidrasyonunda 3650 ve 3630 cm^{-1} aralığında sırasıyla; portlandit ve tobermorit görülmektedir (Puertas *et al.* 2003, Varas *et al.* 2005).

3.2 Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

Çimento harç numunelerine ait 7, 28, 90 ve günlük kür sonrasındaki eğilme sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilen çimento harçlarının 7 ve 28 günlük mukavemetleri incelendiğinde; en iyi basınç dayanımı sonucu T0 (Referans) numunesinde 28.72MPa ve 34.60 MPa olarak elde edilmiştir. T0 ve T10 numuneleri eğilme ve basınç dayanımı değerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Harç numunelerin 90 günlük kür sonrasında eğilme ve basınç dayanımı değerleri incelendiğinde; en iyi basınç ve eğilme dayanımı sonucu T10 numunesinde 46.96 MPa ve 7.90 MPa olarak elde edilmiştir. Harç numunelerin 180 günlük kür sonrasında eğilme ve basınç dayanımı değerleri incelendiğinde; en iyi basınç ve eğilme dayanımı sonucu T10 numunesinde 50.85 MPa ve 9.72 MPa olarak elde edilmiştir. Özınan (2010) çalışmasında sileks ve tras katkılı harç ve beton numunelerinin eğilme ve basınç deneylerinde %10 tras katkılı numunenin 28, 56 ve 120 günlük numunelerde en iyi dayanım sonucu verdiğini belirlemiş, tras ikamesinin % 30 ve üzerinde ikame edildiği numunelerde ise dayanımların düştüğünü gözlemlemiştir. Tuncer (2014) Gümüşhane yöresi

volkanik kayaların çimento yerine %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame edilerek hazırlanan harç çubuklarının 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanım sonuçları incelendiğinde; puzolanların %10 olarak kullanımının en uygun olacağı ve puzolan katkıların %20 ve %30 değerine kadar kullanılabileceğini bildirmiştir.

Çizelge 6. Üretilen harç numunelerinin 7, 28 ,90 ve 180 günlük eğilme dayanımı sonuçları

Kod	Eğilme Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	180 Günlük
T0	6.15	6.48	7.77	8.30
T10	5.86	6.37	7.90	9.72
T20	5.62	6.16	6.83	7.74
T30	5.30	5.89	6.70	7.60
T40	4.31	5.20	6.07	7.43

Çimento harç numunelerine ait 7, 28 ,90 ve 180 günlük kür sonrasındaki eğilme sonuçları Çizelge 7'da verilmiştir

Çizelge 7. Üretilen harç numunelerinin 7, 28 ,90 ve 180 günlük basınç dayanımı sonuçları

Kod	Basınç Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	180 Günlük
T0	28.72	34.60	44.80	48.30
T10	28.10	30.45	46.96	50.85
T20	22.34	28.83	30.90	43.80
T30	21.85	25.36	28.55	39.42
T40	20.87	21.70	25.78	37.60

Bu çalışmada çimento harçlarının üretiminde kullanılan %10 tras katkısının en iyi dayanım sonuçları vermesi literatürle örtüşmektedir. CEM I 42.5R tipi Portland çimentosunun 28 günlük dayanımının 34.6 MPa olmasının nedeninin ise laboratuvar ortamının soğuk iklim şartlarının çimento hidrasyon reaksiyonlarını bir miktar geciktirmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Çimento harçlarının 90 günlük dayanımlarında yeterli sonuç (44.80 MPa) verdiği görülmüştür. Ayrıca bu durumun eğilme sonrası basınç dayanımı testi yapılan numunelerde mikro çatlaklardan da (hidrasyon ürünlerinin boşlukları gecikmeli doldurmasına bağlı olarak) kaynaklanabileceği ilgili literatüre göre (Ün 2005, Öztürk 2009) düşünülmektedir.

3.3 Elektrokimyasal Ölçümlere Ait Bulgular

Bu aşamada farklı oranlarda tras katkısı içeren 50x100 mm donatı gömülü silindir çimento harç numunelerinin %3,5 NaCl çözeltisi içinde 120 gün boyunca belirli

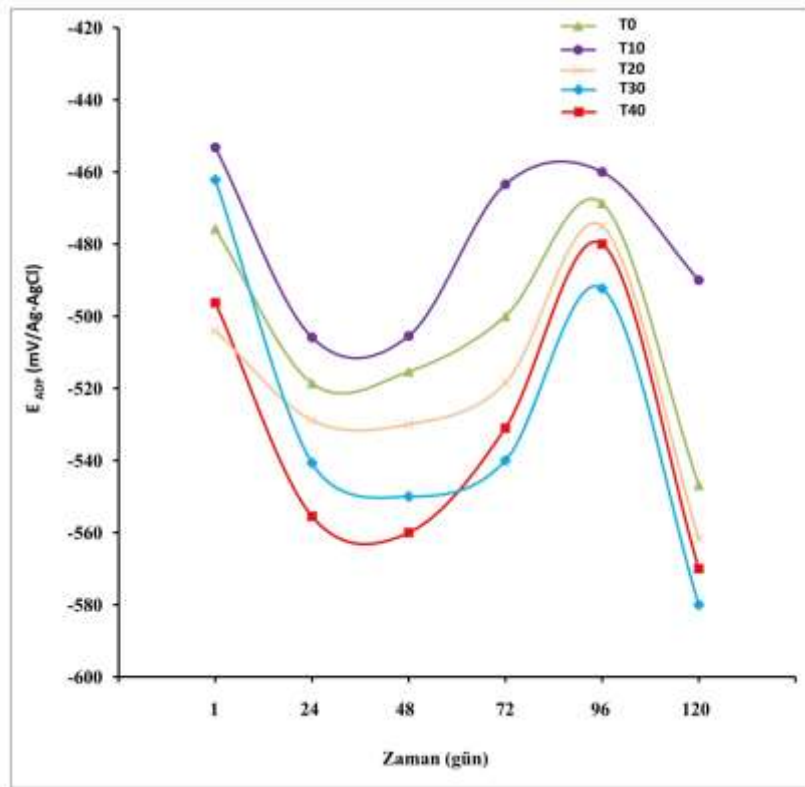
günlerde alınan elektrokimyasal ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

3.3.1 Açık devre potansiyel ölçümleri

ASTM C 876-22b (2019)'a göre betonarme demirlerinin elektrot potansiyelleri -256 mV/Ag-AgCl değerinden daha negatif olduğunda %90 'dan daha fazla olasılıkla korozyon görülebilir. Yarı hücre potansiyel yöntemi olarak bilinen bu yöntemde tras katkılı donatılı çimento harç numunelerinin 1., 24., 48., 72., 96. ve 120. günlerde ölçülen açık devre potansiyellerinin (E_{ADP}) grafikleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'a göre donatılı çimento harç numunelerinin tümünde açık devre potansiyellerinin (E_{ADP}) standart sınır değerlerinden (-256 mV/Ag-AgCl) negatif değerler aldığı görülmüştür. Açık devre potansiyelleri (E_{ADP}) 120 günde tras katkısız numunelerde

$-475,79 \text{ mV}$ ile $-546,88$ arasında görülmüştür. Sırasıyla %10, %20, %30 ve %40 tras katkılı numunelerde ise; $-453,20 \text{ mV}$ ile $-492,18$ arasında, $-504,04 \text{ mV}$ ile $-561,75$ arasında, $-462,21 \text{ mV}$ ile $-580,16$ arasında ve $-496,27 \text{ mV}$ ile $-571,12$ arasında değişim göstermiştir.

Yüksek negatif potansiyel değerler, betondaki donatılar için daha fazla paslanma eğilimi anlamına gelir (Gurten vd. 2005). Düşük negatif potansiyel değerler ise harç içindeki çelik çubukların pasivasyonunun sürdürüldüğünün bir göstergesidir (Zhao *et al.* 2020). Bu durumda en düşük negatif potansiyel değer T40 numunelerde, en yüksek negatif potansiyel değer ise T10 ve sonrasında T0 referans numunelerde görülmüştür. Tüm katkılı numuneler T10 hariç tüm günlerde referans numunesinden daha negatif potansiyel değer göstermiştir.



Şekil 9. Donatılı çimento harç numunelerinin zamana bağlı ortalama açık devre potansiyelleri (E_{ADP})

Yaklaşık 10 gün korozif çözeltide bekletilen çimentolu sistem içerisine gömülü donatıların elektrot potansiyellerinin -250 ile -150 mV aralığında olması demir yüzeyinde pasifliğin devam ettiğine işaret etmektedir. Korozif çözeltide bekletilen donatıların elektrot potansiyellerinin; 30 günden daha uzun sürede -400 ile -600 mV geniş bir saçılma aralığında; 90 gün ve sonrasında -450 ile -550 mV gibi daha dar kararlı aralıkta olduğu bilinmektedir (Pourbaix 1974, Yoon-Seok *et al.* 2006).

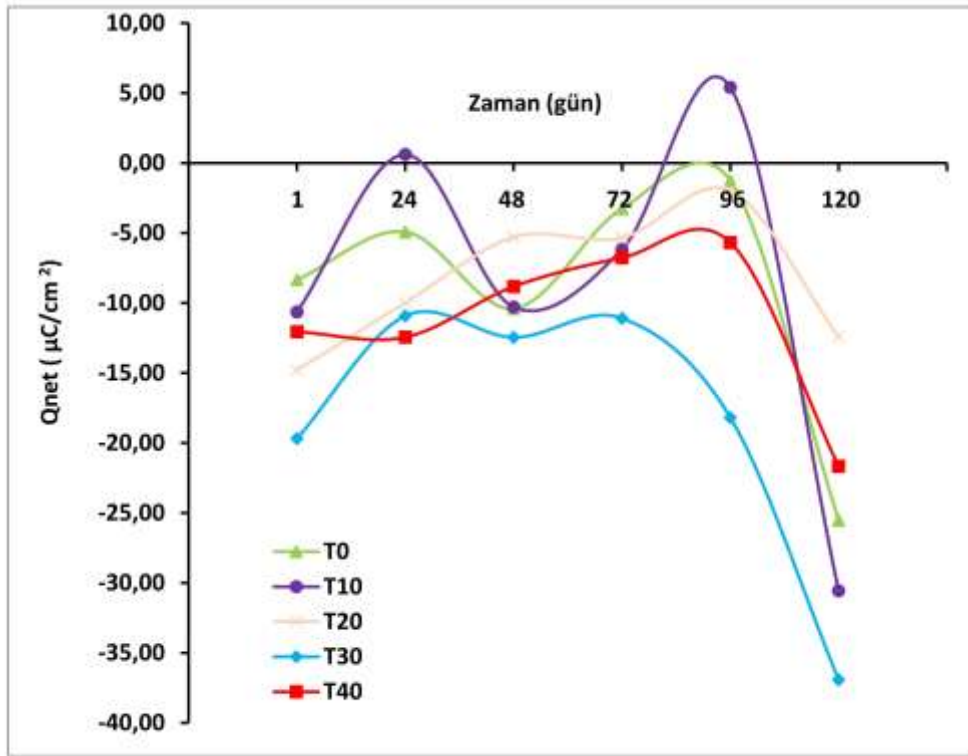
Korozif çözeltiler özellikle donatı gibi yumuşak çelik özelliğindeki malzemelerde zaman içerisinde genel korozyona göre daha tehlikeli olan lokalize korozyona neden olmaktadır. Bu durum korozyon akımında ve direncinde önemli değişim yapmadan yıkıcı bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Böyle bir durumun oluşma olasılığına karşın donatı korozyon davranışına sadece açık devre potansiyel ölçümleriyle karar vermemek gerekmektedir. Açık devre potansiyelleri donatı oksit tabakasının kalınlaşmasıyla pozitif değerler alır, incilmesiyle ise

negatif değerler alır. Oluşan oksit tabakası ince ve dirençli olduğunda korozyon yavaşlamasına rağmen potansiyeller negatif değerlerde olabilir.

3.3.2 Açık devre potansiyelinde korozyon yükleri

Korozif ortamda 120 gün bekletilen tüm numunelerin açık devre potansiyellerinde elde edilmiş demir yüzey korozyon yükleri Şekil 10'da verilmiştir. Bekletme süreleri sonunda tüm numunelerde görülen katodik korozyon yükleri dikkat çekmekle birlikte bu yükler T30 ve T40 numunelerde daha büyük değerler almıştır. Bu

durum lokalize korozyon açısından riskli olan çimento harcı/donatı ara yüzeyinde oksijen indirgenmesinin hızlanmasına ve çimento harcının boşluk oranının artmasına işaret etmektedir. T10 numunelere ait katodik yüklerin daha küçük değerler alması, anodik yük değerleri de göstermesi lokalize korozyon açısından daha az riskli olabileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte T10 numunelerde harcın boşluk miktarının azalmasına bağlı dayanım artışları da bu durumu desteklemektedir. T0 referans numunelerde de aynı şekilde küçük katodik yükler görülmüştür ancak anodik yükler oluşmamıştır.



Şekil 10. Donatılı çimento harç numunelerinin zamana bağlı açık devre koşullarındaki ortalama korozyon yükleri

Şekil 10'a göre T0, T10, T20, T30 ve T40 numunelerinde tüm günlerde korozyon akım yoğunluğu sırasıyla; -1.26 ile -25.51, +0.62 ile -30.16, -1.98 ile -14.79, -10.92 ile -36.92, -5.68 ile -21.66 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ aralığında görülmüştür.

4. Sonuçlar

Çalışmada kullanılan İslahiye-Hassa trasının içerisinde XRF analizi sonuçlarına göre; %51.45 oranında SiO_2 , %15.76 oranında Al_2O_3 , %13.39 oranında Fe_2O_3 , %8.84 oranında CaO , %4.31 oranında MgO ve %6.25 diğer bileşenlerin olduğu belirlenmiştir. Trasın özgül ağırlığı 2.90 ve özgül yüzey değeri $3964 \text{ cm}^2/\text{g}$ olarak bulunmuştur.

Çimento harçlarının su ihtiyacının %40 tras katkılı numunede en fazla, katkısız numunede ise en az olduğu

görülmüştür. Çimento harçlarının 7, 28 günlük kür sonrasında en iyi basınç ve eğilme dayanımı sonucu sırasıyla tras katkısız numunelerde 28.72MPa , 34.60 MPa ve 6.15 MPa, 6.48 MPa olarak bulunmuştur. Harç numunelerin 90, 180 günlük kür sonrasında en iyi basınç ve eğilme dayanımı sonucu %10 tras katkılı numunelerde sırasıyla 46.96 MPa ve 50.85 MPa; 7.90 MPa ve 9.72 MPa olarak elde edilmiştir.

CEM I 42.5R tipi Portland çimentosunun 28 günlük basınç dayanımının 34.6 MPa olmasının nedeninin ise laboratuvar ortamının iklim şartlarına bağlı çimento hidratasyon reaksiyonlarının gecikmesi ve hidratasyon ürünlerinin boşlukları gecikmeli doldurmasına bağlı mikro çatlaklardan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Çimento harçlarının 90 günlük basınç dayanımlarının 44.80 MPa olduğu görülmüştür.

CSH, Ca(OH)₂ ve CaCO₃ içeriklerinin dehidrasyonuna ve dekarbonasyonuna bağlı olarak % 0, %10, %20, %30 ve %40 tras katkılı karışımlarda kütle kayıpları sırasıyla; %9.4, %8.7, %13.0, %16.1 ve %19.3 olarak bulunmuştur. Bu durumda %10 tras katkılı numunelerde sıcaklığa bağlı kütle değişimi en az olmuştur.

FT-IR spektrumlarına göre 3606-3643 cm⁻¹ ve 1391-1510 cm⁻¹ bölgesindeki pikler izlendiğinde %10 tras katkılı numunede sırasıyla; harç içindeki Ca(OH)₂ içeriğinin azaldığı ve CaCO₃ içeriğinin arttığı görülmektedir.

Tüm donatılı harç numunelerde en düşük en ve en yüksek negatif açık devre potansiyel değerleri sırasıyla; %10 tras katkılı numunelerde -453,20 mV ile -492,18 mV ve %40 tras katkılı numunelerde -496,27 mV ile -571,12 mV arasında değişim göstermiştir. Donatıların daha az korozyona uğramasına işaret eden referans numunesine göre daha pozitif potansiyel değerleri %10 tras katkılı numunelerde tüm günlerde görülmüştür.

Korozif çözeltilerde 120 gün bekletilen tüm numunelerde oluşan katodik korozyon yükleri %30 ve %40 tras katkılı numunelerde daha büyük değerler almıştır. %10 tras katkılı numunelerde katodik yüklerin daha küçük olması aynı zamanda anodik yük değerleri de göstermesi lokalize korozyon açısından daha güvenli olabileceğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak %10'dan fazla tras katkılı harçlarda tüm günlerdeki açık devre potansiyelinde korozyon yükleri sonuçları, metalik malzemelerin çevresindeki kimyasal sayısının artmasına bağlı korozyon tehlikesinin artışı ilkesine uygun davranış göstermiştir. Bu nedenle özellikle korozyon riski altında olan çimentolu sistemlerde çok yüksek miktarda tras kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Proje yönetimi, Metodoloji/Çalışma, deneysel tasarım, deney, Analiz ve yorumlama, Yazma/orijinal taslak, inceleme ve düzenleme, Görselleştirme, Araştırma, Kaynak sağlama.

Yazar 2: Deney, Yazma/inceleme ve düzenleme, Araştırma, Kaynak sağlama.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kilis 7 Aralık Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından Proje No: BAP 12171 adıyla desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

Aguirre-Guerrero, A.M., Robayo-Salazar, R.F. and Mejía de Gutiérrez, R., 2021. Corrosion resistance of alkali activated binary reinforced concrete based on natural volcanic pozzolan exposed to chlorides. *Journal of Building Engineering*, **33**, 101593. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00091-3)

Akça, A.H. and Özyurt, N., 2018. Effects of re-curing on microstructure of concrete after high temperature exposure. *Construction and Building Materials*, **168**, 431-441. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.216>

Akyol, M., Kıymaç, K. ve Ekicibil, A., 2011. Geçiş metali Dy katkılı Zn0.80-4yDyyOx bileşiklerinin yapısal ve manyetik özelliklerinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **26-2**, 173-182.

ASTM C618-19, 2019. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. *ASTM International*, West Conshohocken, PA.

ASTM C1872-18, 2018. Standard test method for thermogravimetric analysis of hydraulic cement. *ASTM International*, West Conshohocken, PA.

ASTM C187-16, 2016. Standard test method for amount of water required for normal consistency of hydraulic cement paste. *ASTM International*, West Conshohocken, PA.

ASTM C876-22b, 2022. Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. *ASTM International*, West Conshohocken, PA.

ASTM C230/C230M-98E1. Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. *ASTM International*, West Conshohocken, PA.

Bilgin, T., 1969. Ceyhan doğusunda volkanik şekiller ile Hassa Leçesi. *İstanbul Üniversitesi Yayınları*. 1494, 5-26.

Bulatović, V., Melešev, M., Radeka, M., Radonjanin, V. and Lukić, I., 2017. Evaluation of sulfate resistance of

- concrete with recycled and natural aggregates. *Construction and Building Materials*, **152**, 614-631. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.161>
- Dorum, A., Koçak, Y., Yılmaz, B. ve Uçar, A., 2010. Uçucu kül katkılı çimento hidrasyonuna elektrokinetik özelliklerin etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*. **25**, 3, 449-457.
- Du, H. and Tan, K.H., 2017. Properties of high volume glass powder concrete. *Cement and Concrete Composites*. **75**, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.10.010>
- Erdoğan, T.Y., 2013. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- Fichet, R.O., Gauthier, C., Clamen, G. and Boch, P., 1998. Microstructural aspects in a polymer-modified cement. *Cement and Concrete Research*. **28**, 12, 1687-1693. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00153-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00153-7)
- Gurten AA., Erbil M. and Kayakırılmaz K., 2005. Effect of polyvinylpyrrolidone on the corrosion resistance of steel. *Cement and Concrete Composites*, **27**, 7-8, 802-808. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.03.002>
- Hager, I., 2013. Behaviour of cement concrete at high temperature, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, **61**, 1, 145-154. <https://doi.org/10.2478/bpasts-2013-0013>
- Özinan, İ.E., 2010. Silex ve tras katkılı harç ve beton karışımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul, 87.
- Öztürk, A.U., 2009. Çimento harçlarının mikroyapı-basınç dayanımı ilişkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, FBE, İzmir, 254.
- Pan, S.C., Tseng, D.H, Lee, C.C. and Lee, C., 2003. Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties. *Cement and Concrete Research*, **33**, 1749-1754. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00165-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00165-0)
- Puertas, F., Fernandez-Jimenez, A. and Blanco-Varela, M.T., 2004. Pore solution in alkali-activated slag cement pastes. Relation to the composition and structure of calcium silicate hydrate. *Cement and Concrete Research*, **34**, 1, 139-148. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00254-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00254-0)
- Puertas F. and Fernandez-Jimenez, A., 2003. Mineralogical and microstructural characterisation of alkali-activated fly ash/slag paste. *Cement and Concrete Composites*, **25**, 287-292. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00059-8](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00059-8)
- Pourbaix, M. 1974. Atlas of Electrochemical Equilibria. NACE, Houston, TX, 307.
- Sabır, B.B., Wild, and Bai, J., 2001. Metacaolin and calcined clays as pozzolan for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*, **23**, 441-454. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5)
- Segovia, E.G., de Vera, G., Miró, M. Ramis, J. and M.A. Climent, 2021. Cement mortar cracking under accelerated steel corrosion test: A mechanical and electrochemical model. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **896**, 115222. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115222>
- Sadowski, L., 2013. Methodology for assessing the probability of corrosion in concrete structures on the basis of half-cell potential and concrete resistivity measurements. *Hindawi Publishing Corporation, The Scientific World Journal*, 714501. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/71450>
- Shannag, M.J, 2000. High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume. *Cement and Concrete Composites*, **22**, 399-406. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00037-8)
- Singh, N. and Singh, S.P., 2016. Carbonation resistance and microstructural analysis of low and high volume fly ash self compacting concrete containing recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*. **127**, 828-842. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.067>
- Skripkiunas, G., Sasnauskas, V. Dauksys, M. and Palubinskaite, D., 2007. Peculiarities of hydration of cement paste with addition of hydrosodalite. *Materials Science*, **25**, 3, 627-635.
- Toprak, V., Rojay ve B., Heimann, A., 2002. Hatay Grabenin Neotektonik Evrimi ve Ölüdeniz Fay Kuşağı ile İlişkisi, Proje No: YDABAG-391, Ankara.
- Tuncer, E., 2014. Gümüşhane yöresi volkanik kayaların puzolanik aktivitesinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi FBE, Gümüşhane, 89.
- TS EN 197-1, 2012. Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar: bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. TSE., Ankara.

- TS 25/T1, 2011. Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. TSE, Ankara.
- Ubbriaco, P. and Calabrese, D., 1998. Solidification and stabilization of cement paste containing fly ash from municipal solid waste., *Thermochimica Acta*, 321, 143-150.
<https://doi.org/10.3390/ma13010141>
- Ün H., 2005. Değişik tip çimentolarla hazırlanan harçların eğilme sonrası basınç dayanımı ile doğrudan basınç dayanımlarının karşılaştırılması. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7, 97-109.
- Varas, M. J., Alvarez De Buergo, M. and Fort, R., 2005. Natural cement as the precursor of portland cement: methodology for its identification. *Cement and Concrete Research*, 35, 11, 2055-2065.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.045>
- Vu, D.D, Stroeven, P. and Bui, V.B, 2001. Strength and durability aspects of calcined caolin - blended portland cement mortar and concrete, *Cement and Concrete Composites*, 23, 471-478.
[https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00091-3)
- Witkowski, H., Koniorczyk, M., 2018. New sampling method to improve the reliability of FTIR analysis for Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, 172,196-203.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.216>
- Yoon-Seok, C., Jung-Gu K. and Kwang-Myong L., 2006. Corrosion behavior of steel bar embedded in fly ash concrete. *Corrosion Science*, 48, 1733-17.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.05.019>
- You, N., Shi, J. and Zhang, Y., 2020. Corrosion behaviour of low-carbon steel reinforcement in alkali-activatedslag-steel slag and Portland cement-based mortars under simulated marine environment. *Corrosion Science*, 175, 108874.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108874>
- Zhao, K., Liang, Y., Ji, T. Lu, Y. and Lin, X., 2020. Effect of activator types and concentration of CO₂ on the steel corrosion in the carbonated alkali-activated slag concrete. *Construction and Building Materials*, 262, 120044.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120044>