



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Öğütülmüş Kolemanit İçeren Betonlarda Sodyum Klorür Etkisi

 Cuma KARA ^{a,*},  Tuba KÜTÜK-SERT ^b,  Sezai KÜTÜK ^c

^a İnşaat Bölümü, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

^c Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Turgut Kıran Denizcilik Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cumakara@artvin.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.553523

ÖZET

Bu çalışmada, %0 (Referans), %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında öğütülmüş kolemanit minerali çimento ile ikame edilerek beton karışımları hazırlanmıştır. Beton karışımlar 150 x 150 x 150 mm boyutlu küp kalıplara yerleştirilmiştir. Sertleşmiş beton numuneler 28 gün suda kür edilerek, sonrasında 90. güne kadar sodyum klorür (NaCl) çözeltisine maruz bırakılmıştır. Ayrıca aynı özelliklerde üretilen kontrol beton örnekleri ise 90. güne kadar su küründe bekletilmiştir. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz bırakılmış beton numuneler üzerinde Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler üzerinden beton numunelerin NaCl çözeltisinin etkisi ile meydana gelen kayıplar hesaplanmıştır. Sonuç olarak, çimentoya ikame edilen %5 kolemanit ikameli numunenin, kolemanit içermeyen numuneye göre basınç dayanımını azalttığı, ancak %4' kadar ikame oranlarında ise dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir. NaCl çözeltisi kürü sonucunda, en yüksek basınç dayanımı ve en az basınç dayanımı kaybının %3 kolemanit ikameli beton karışımına ait olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kolemanit, Beton, Sodyum klorür, Dayanım, Durabilite

The Effect of Sodium Chloride on Concretes Containing Milled Colemanite

ABSTRACT

In this study, concrete mixtures were prepared by substituting milled colemanite mineral with cement in the ratio of 0% (Reference), 1%, 2%, 3%, 4% and 5%. The concrete mixtures are placed in 150 x 150 x 150 mm cube molds. Hardened concrete samples were cured in water for 28 days and then exposed to sodium chloride (NaCl) solution until day 90. In addition, the control concrete samples produced with the same characteristics were kept in the water cure until the 90th day. Schmidt hammer, ultrasonic pulse velocity and compressive strength tests were performed on concrete samples exposed to control and NaCl solution. The losses occurring by the effect of NaCl solution of concrete samples were calculated. As a result, it was found that the strength of the sample with 5% colemanite decreased compared to the sample without colemanite, but the strengthes of samples with up to 4% colemanite increased. As a result of cured to NaCl solution, the highest compressive strength and minimum compressive strength losses were determined to belong to the sample with 3% colemanite.

Keywords: Colemanite, Concrete, Sodium chloride, Strength, Durability

I. GİRİŞ

Beton geniş uygulama alanına sahip ve dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Dolayısıyla kullanılan betonun uzun hizmet ömrüne sahip olması istenmekte ve betonun dayanıklılık kavramı ön plana çıkmaktadır. Dayanıklılık, yapı ve yapı ürünlerinin işlevlerini uzun yıllar boyunca bozulmadan yerine getirmeleri olarak tanımlanmaktadır [1]. Ancak beton malzemelerin dayanıklılığı iç ve dış etkiler ile bozulabilmektedir. Heterojen bir yapıya sahip olan sertleşmiş betonun içerisinde daima boşluklar bulunur, bu boşluklara çevreden su ve hava ile giren birçok kimyasal bileşen betona zararlı etkiler yapabilmektedir [2]. Bu çevresel etkenler betonun performansının zamanla azalmasının veya dayanıklılığını kaybetmesinin nedeni olabilmektedir [3]. Çevresel etkenlerden biri de iklim koşulları altında incelenen yol üst yapısında kar ve buzla mücadele işlemleridir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de karayolu ve havaalanı kaplamalarında buz oluşumunu engellemek için kullanılan yöntemlerin başında kaplamaların üzerine buz çözücü kimyasal madde uygulanması gelmektedir [4], [5]. Ucuz olmaları sebebiyle en yaygın kullanılan buz çözücüler; sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl₂) ve kalsiyum klorür (CaCl₂) kimyasallarıdır. Kolay bulunabilir ve düşük maliyetli olmasından dolayı en çok tercih edilen kimyasal ise NaCl tuzudur [6]. Fakat bu kimyasalların kullanımının yol kaplamasının bozulmasına etki eden temel faktörlerden biri olduğu ve ayrıca özellikle kar ve buzla mücadelenin yoğun olduğu soğuk bölgeler için her kış sezonu sonunda yol üst tabakasını yenilenmek zorunda kalındığı belirtilmektedir [7].

Kar ve buz mücadelesi sırasında kullanılan NaCl tuzları suda kolayca çözünür ve zamanla beton yapıya nüfuz ederler. NaCl gibi tuzlu buz çözücü çözeltiler betonun boşluk yapısında tuz kristalleri oluşumuna sebep olmaktadır. Tuz kristalleri ise betonda hacim genişlemesine yol açmakta ve zamanla çatlak oluşumu, yüzey hasarları ile betonun geçirimsizliğinin artmasına neden olmaktadır [8]–[12]. Kullanılan buz çözücünün miktarı ve uygulanma sıklığı betonda oluşan hasarları artırır. Ayrıca buz çözücü çözeltilerdeki tuzlar betonun donma noktasını düşürmekte ve donma-çözülme kaynaklı beton hasarlarının oluşumuna yol açabilmektedir [13], [14]. Dolayısıyla betonun dış etkenlerden korunamaması veya tasarım aşamasında bu etkenlerin göz önünde bulundurulmaması ise hizmet ömrünü kısaltmaktadır. Beton yapının uzun yıllar amacına uygun hizmet edebilmesi için betonu oluşturan bileşenlerin doğru olarak seçilmesi ve uygulanmasını gerektirmektedir [15].

Betonu oluşturan hammaddeler kolay bulunabilir, bu nedenle yerel ve ekonomiktir. Ancak çimento endüstrisi büyük miktarda enerji talep ettiğinden, çimento kullanım artışı enerji gereksinimini de arttırmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır [16], [17]. Çimentoya endüstriyel atıkların veya yan ürünlerinin kısmen ikame edilmesi önemli ekonomik ve çevresel faydalar sağlayabilir. Bu nedenle, endüstriyel yan ürünlerin ve atık malzemelerin kullanım olanaklarını keşfederek çimento için alternatif, düşük maliyetli enerji tasarruflu alternatifler bulmak ve tedarik etmek için acil bir ihtiyaç vardır. Endüstriyel atıklar beton yapımında hammadde olarak kabul edilmiştir [17]. Çok sayıda araştırmacı endüstriyel atıkların ve yan ürünlerinin çimentoya ikame olarak kullanılmasının betonun performansını arttırmakta etkili olduğunu belirtmektedir [18]–[20]. Ayrıca, betonun performansının artmasının yanında atık malzemeler geri dönüşüme kazandırılarak, çevreye olan zararı ile depolanması veya bertaraf edilmesi için gerekli yer ve maliyet ortadan kalkmaktadır [18], [21].

Çimento esaslı malzemelerin çevre dostu olmasını sağlamak, beton teknolojisinin amaçlarındandır. Bu sebeple, sadece taze durumda iyi işlenebilirlik, sertleşmiş halde mükemmel mekanik özellikler ve dayanıklılık değil, aynı zamanda çevre dostu ve ekonomik olması da beton malzemelerin üretiminde göz önünde bulundurulmalıdır [22]. Betona olan talep, gün geçtikçe dünya çapında artmakta ve alternatif çimentolu malzemelerin kullanılmasını gerektirmektedir [17].

Maden endüstrisinde önemli bir yere sahip olan elementlerden bir tanesi de bordur. Bor element olarak doğada tek başına bulunmaz, ancak oksitli bileşen halinde (B₂O₃) bor minerallerinin bünyesinde bulunur. Bor minerallerinin büyük miktarı borat mineralleridir ve Türkiye rezerv bakımından 955 milyon ton kapasitesi ile oldukça zengin bir ülkedir [23]. Başka bir ifadeyle, Dünya bor rezervlerinin

(B₂O₃) %73,4'ü Türkiye'de bulunmaktadır [24]. Bor mineralleri yapılarında farklı oranlarda B₂O₃ içeren doğal bileşiklerdir. Türkiye'de yaygın olarak bulunan bor minerali ise kolemanittir [25], [26]. Kolemanit minerali ve kolemanit cevher atıklarının çimentolu malzemelerde kullanılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Kolemanitin çimentolu malzemelerde kullanılması ile sertleşme süresinin uzadığı ve erken yaşlarda dayanım değerlerini düşürdüğü bilinmekte ve maksimum %5 ile %7 oranlarda kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir [27], [28]. Ayrıca, çimento üretiminde %8 kolemanit minerali kullanıldığında klinker pişirme sıcaklığı azalmaktadır. Bor katkılı çimento; dayanım, su ve gaz geçirgenliği, hidrasyon ısı gibi etkenler bakımından portland çimentosundan daha iyi özellikler göstermektedir. Hidrasyon ısısının az olması, bilhassa kütle betonlarında soğutma gereksinimini ciddi miktarda düşürmektedir. Daha da önemlisi, çimento üretimi için kolemanit katkısı atmosfere yayılan karbon dioksiti yaklaşık %25 ile %30 arasında azalmaktadır. Kyoto protokolünün getirmiş olduğu sorumluluklar çerçevesinde endüstri açısından bor katkılı çimento üretimi can simidi olma özelliğine haizdir [29].

Kolemanitin ağırlıkça %3, %5, %10 ve %15 oranlarda çimentoya ikame edilmesi ile farklı beton numunelerin üretildiği deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara göre; basınç dayanımının %3 kolemanit ikamesi ile arttığı belirlenmiştir. Ayrıca düşük su/çimento oranına sahip beton numunelerde kolemanitin bütün ikame oranları ile yüksek yarmada çekme dayanımı elde edildiği tespit edilmiştir [30]. Başka bir çalışmada ise; yüksek sıcaklık öncesi en yüksek dayanım değerinin %3 kolemanit ikamesi ile elde edildiği ve yüksek sıcaklıktan en az etkilenen numunenin yine %3 kolemanit ikamesi ile elde edildiği belirtilmiştir [31]. Kolemanit minerali ile beton endüstrisi için gerekli çimento miktarı azalmakta ve betonun bazı durabilite özelliklerine de olumlu etkisinin olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir.

Bu çalışmada kolemanit minerali farklı miktarlarda çimento yerine kullanılmıştır. Kolemanit çimentoya ağırlıkça %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarda ikame edilmiştir. Kolemanit ikamesi ile üretilen beton numuneler 28 gün standart kür süresinden sonra 90. güne kadar NaCl çözeltisine maruz bırakılmıştır. NaCl çözeltisinin beton numuneler üzerindeki etkilerini belirlemek için ayrıca 90 gün suda kür edilen kontrol beton numuneler hazırlanmıştır. NaCl çözeltisine maruz beton numuneler ile kontrol beton numuneleri üzerinde kütle kaybı, Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımları deneyleri gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

A. MATERYAL

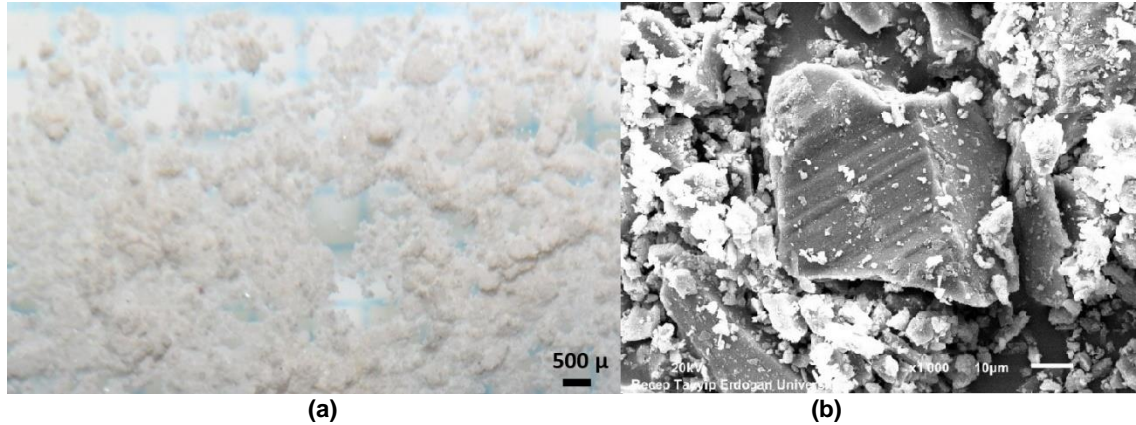
Beton üretiminde CEM I 42,5 R Portland çimentosu, kırmataş agrega, kolemanit minerali, süper akışkanlaştırıcı katkısı ve şebeke suyu kullanılmıştır. CEM I 42,5 R çimentosuna ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42.5 R çimentosuna ait özellikler

Analiz	Oksitler	Değerler	Analiz	Deneyler	Değerler
Kimyasal (%)	CaO	62,64	Fiziksel	Özgül yüzey (cm ² /g)	3269
	Al ₂ O ₃	4,56		Hacim genleşmesi (mm)	2,0
	Fe ₂ O ₃	3,36		Yoğunluk (g/cm ³)	3,12
	SiO ₂	19,05		Priz başlama süresi (dakika)	150
	SO ₃	2,88		Priz bitiş süresi (dakika)	210
	MgO	2,98	Basınç Dayanımı	Gün	MPa
	Na ₂ O	0,15		2. gün	32,5
	Kızdırma kaybı	3,02		7. gün	43,4
	Çözünmeyen kalıntı	0,30		28. gün	53,6

Beton üretiminde kullanılan agregaların yoğunluk ve su emme değerleri standartta belirtilen şartlara uygun olarak belirlenmiştir [32]. Agregata tane boyutları 0-5 mm, 5-12 mm ve 12-25 mm olup yoğunlukları sırasıyla 2,63, 2,70 ve 2,72 g/cm³'tür. Agregalara ait su emme değerleri ise %2,30, %1,65 ve %1,20 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca agregaların tane dağılımı belirlenmiş olup, agregaların beton üretimine uygun olduğu görülmüştür [33], [34].

Çalışmada kullanılan kolemanit minerali, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'ne ait maden ocağından temin edilmiştir. Öğütülmüş kolemanit minerali, normal kolemanit mineraline göre ince taneli tozdur. Toz boyutunun küçük olmasının birçok teknik özellikler üzerinde bilhassa da mekanik özellikler üzerinde pozitif avantajları vardır [35, 36]. Bu sebepten yapılan çalışmada, öğütülmüş kolemanit minerali tercih edilmiştir. Kolemanit mineralinin %82'si 75 µm elek altıdır [37]. Bu veri, tüm partiküllerin boyut olarak 75 µm'den küçük olduğunu ifade etmektedir. Malzemenin yoğunluğu 2,39 g/cm³ ve özgül yüzeyi ise 3432 cm²/g olarak belirlenmiştir. Kolemanit mineralinin optik mikroskop ve elektron mikroskobu görüntüleri sırasıyla Şekil 1 (a) ve (b)'de verilmiştir [38]. Optik mikroskop görüntüsünde, kolemanit mineralinin gri renkte olduğu gözükmektedir. Bununla birlikte, hem X-ışını difraktometresi ile yapılan kristal yapı analizinde hemde enerji ayrımlı X-ışını spektrometresi yapılan elementel yapı analizinde, kolemanit mineralinin saf olmadığı tetkik edilmiştir [25]. Elektron mikroskobu görüntüsünde kolemanit mineralinin yer yer keskin kenarlı ve genel olarak düzgün geometrik şekilli partiküllere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Partikül boyutunun kabaca 100 µm ile 1 µm arasında değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte, partikül boyutunun ortalama değerinin 20,683 µm olduğu bir lazer partikül boyut analizöründe ölçülmüştür. Çimentoya ikame olarak kullanılan C-75 µm kolemanit mineralinin kimyasal (oksitli bileşen) analiz sonuçları ise Tablo 2'de verilmiştir [37]. Burada, kolemanit mineralinin içinde değerli olan B₂O₃ miktarı %40'dır.



Şekil 1. Kolemanit mineralinin (a) optik mikroskop ve (b) elektron mikroskobu görüntüleri

Tablo 2. Kolemanit mineraline ait ağırlıkça kimyasal analiz sonuçları

Oksitler	B ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	SO ₄	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SrO	Na ₂ O	Nem	K. kaybı
Değerler (%)	40,0±0,5	27,0±1,0	4,0~6,5	≤0,6	≤0,08	≤0,4	≤3,0	≤1,5	≤0,5	≤1,0	≤25,0

B. YÖNTEM

Çimentoya %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında kolemanit ikamesi ile beton tasarım ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Beton karışımları TS 802 ve TS EN 206-1 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [39], [40]. %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarda kolemanitin çimentoya ikame edilmesiyle C30/37 sınıfı 150x150x150 mm³ boyutlu toplamda altı farklı 36 adet beton numune üretilmiştir. Üretilen beton numuneler sırasıyla KLMNT-0, KLMNT-1, KLMNT-2, KLMNT-3,

KLMNT-4 ve KLMNT-5 olarak etiketlenmiştir. Beton karışımına giren malzeme miktarları ağırlık olarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Beton karışımlarına ağırlıkça giren malzeme miktarları

Etiketler	KLMNT-0	KLMNT-1	KLMNT-2	KLMNT-3	KLMNT-4	KLMNT-5
İkame oranları	(%0)	(%1)	(%2)	(%3)	(%4)	(%5)
Çimento (kg)	350	346,5	343	339,5	336	332,5
Kolemanit (kg)	0	3,5	7	10,5	14	17,5
Su (lt)	157,5	157,5	157,5	157,5	157,5	157,5
Katkı (lt)	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
0-5 kırma kum (kg)	926	925	925	924	924	923
5-12 kırmataş (kg)	409	409	408	408	408	408
12-25 kırmataş (kg)	589	589	588	588	588	588

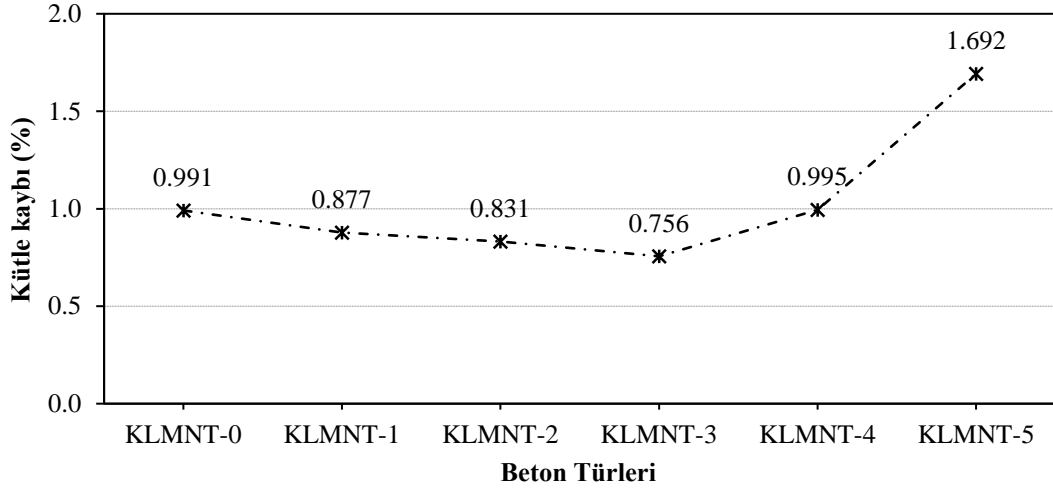
KLMNT-0, KLMNT-1, KLMNT-2, KLMNT-3, KLMNT-4 ve KLMNT-5 olarak her bir beton türünden 3'er adet numune 28 gün boyunca kür edildikten sonra 90. güne kadar %5 NaCl çözeltisine tabi tutulmuştur. Hazırlanan diğer 3'er adet (Kontrol) numuneler ise 90 gün su küründe bekletilmiştir. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz bırakılmış beton örnekleri üzerinde kütle kaybı, Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir [41]–[43]. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz beton örneklerinde gerçekleştirilen ölçümler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz beton örneklerinde gerçekleştirilen ölçümler

Kür ortamı ve süresi	Kontrol numuneler	%5 NaCl çözeltisine maruz numuneler
	<i>90 gün su kürü</i>	<i>28 gün su kürü, 62 gün NaCl çözeltisi</i>
Ağırlık (gr)	✓	✓
Schmidt çekici (MPa)	✓	✓
Ultrases geçiş hızı (km/s)	✓	✓
Basınç dayanımı (MPa)	✓	✓

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

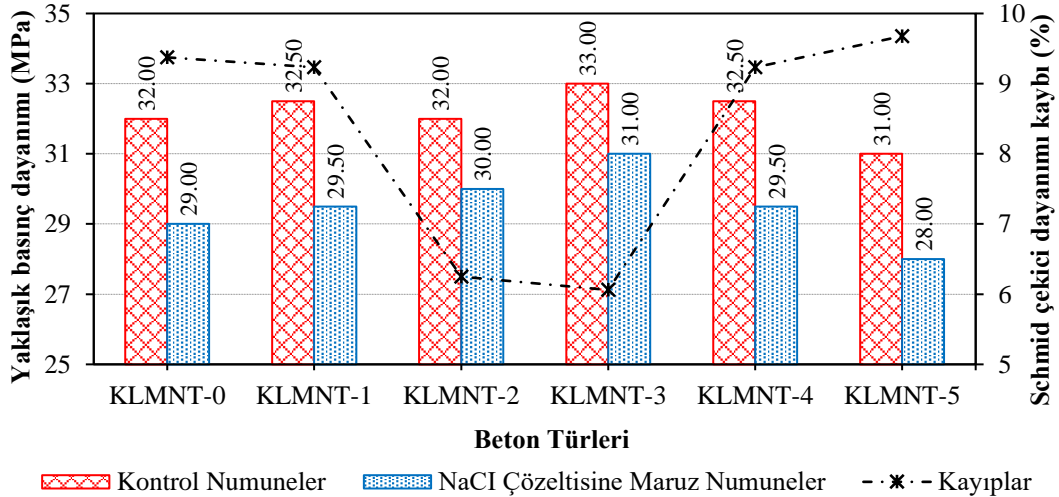
Kolemanit mineralinin çimentoya ikame edilmesiyle üretimi gerçekleştirilen beton numuneler %5 NaCl çözeltisine maruz bırakılmıştır. NaCl çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin deney sonunda kütleleri belirlenmiş olup, kontrol numunelere (90 gün suda kür) göre kayıpları hesaplanmıştır. NaCl çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin hesaplanan kütle kayıpları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. NaCl çözeltisine maruz beton numunelerin kütle kayıpları

Kolemanit içeren KLMNT-1, KLMNT-2 ve KLMNT-3 beton türlerinde kütle kayıplarının KLMNT-0 beton türünden daha az olduğu belirlenmiştir. KLMNT-4 ve KLMNT-5 beton türlerinde ise kütle kaybı KLMNT-0 beton türünden fazla meydana geldiği görülmüştür. Beton numunelerde meydana gelen kütle kayıpları zamanla diğer fiziksel ve çevresel etkenlerin hasar etkisini arttıracaktır. NaCl çözeltisine karşı, KLMNT-3 beton türünün en yüksek direnci sağladığı, fakat en düşük direncin ise KLMNT-5 beton türünün sağladığı tespit edilmiştir.

Beton endüstrisinde üretimi gerçekleştirilen betonlar hakkında hızlı ve aynı zamanda ekonomik olarak dayanım belirlemek oldukça önemlidir. Bu amaç doğrultusunda en sık kullanılan yöntemler Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızı testleridir. Çalışmada üretimi yapılan beton numuneler üzerinde Schmidt çekici ile ölçümler gerçekleştirilmiş olup, elde edilen değerler yaklaşık basınç dayanımına dönüştürülmüştür. Schmidt çekici ölçümleri ile belirlenen yaklaşık basınç dayanımı sonuçları Şekil 3'de görülmektedir.

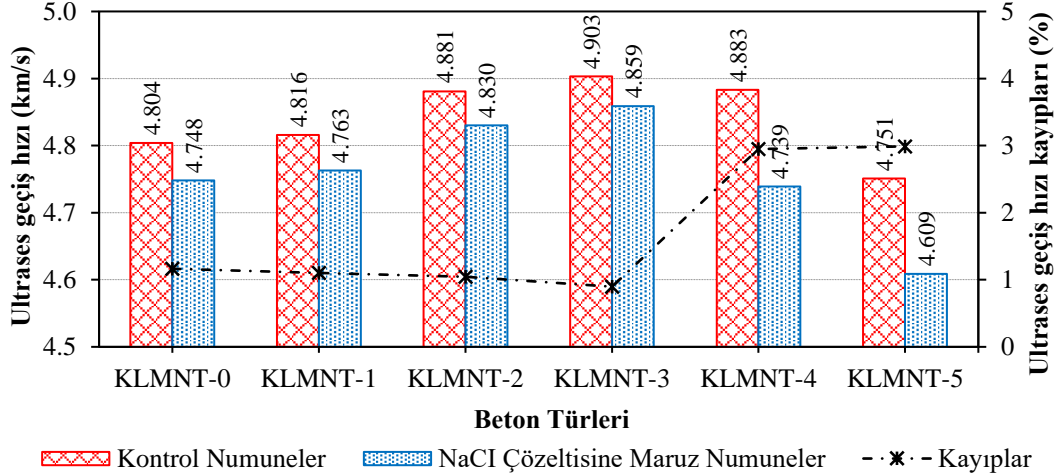


Şekil 3. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz beton numunelerin Schmidt çekici sonuçları

Çalışmada çimentoya kolemanit ikamesi ile üretilen beton numunelerin NaCl çözeltisine maruz bırakılması ile bütün beton türlerinde elde edilen yaklaşık basınç dayanımları, kontrol beton türlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz beton örneklerinin elde edilen yaklaşık basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde en yüksek dayanım KLMNT-3 beton numunesine aittir. En düşük dayanım değeri ise KLMNT-5 beton numunelerinde görülmüştür. Literatürde Schmidt

çekici sonuçlarının betonun yüzeyini temsil ettiği belirtilmektedir [44]. Şekil 3’te verilen sonuçlara göre %4’e kadar kolemanit ikamesi ile beton numunelerin yüzey sertliğini arttırmıştır.

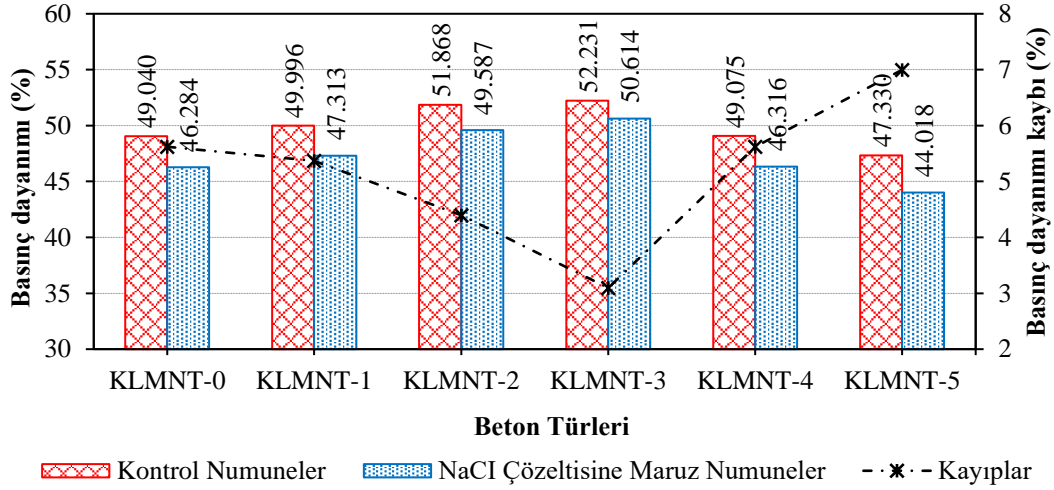
Numuneler üzerinde belirlenen ultrases geçiş hızı ölçüm sonuçları Şekil 4’te verilmiştir. Kolemanit ikamesi ile üretilen beton numunelerin ultases geçiş hızları incelendiğinde bütün değerler 4,5 km/s üzerinde olduğu görülmektedir. Ultrases geçiş hız ve beton kalitesi arasında ilişki olduğu bilinmektedir. Ultrases geçiş hızı ölçüm sonucu 4,5 km/s ve üzerinde ölçülen betonların kalitesi mükemmel olarak nitelendirilmektedir [45], [46].



Şekil 4. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz beton numunelerin ultrases geçiş hızı sonuçları

Ultrases geçiş hızı ölçüm değeri benzer betonlar içinde boşluk yapısı arttıkça düşük sonuçlanmaktadır [47]. KLMNT-4 ve KLMNT-5 beton türlerinin NaCl çözeltisine maruz bırakılması ile boşluk yapısından kaynaklı hasar miktarında artış meydana geldiği düşünülmekte ayrıca KLMNT-4 kontrol betonu KLMNT-0 betonundan yüksek ultrases geçiş hızına sahipken NaCl çözeltinin etkisiyle daha düşük ultrases geçiş hızı değerini vermiştir.

Betonun basınç dayanımı, yapıların tasarımında en önemli parametrelerden biridir [48]. Beton teknolojisinde, sertleşmiş betonun diğer özellikleri için basınç dayanımı nicel bir ölçüttür [49]. Ayrıca genel olarak basınç dayanımı, dayanıklılığın da göstergesi olarak kabul edilmektedir [50], [51]. Kontrol beton numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde en düşük basınç dayanımı %5 kolemanit ikameli KLMNT-5 beton türünde görülmüştür. Kolemanitin %4’e kadar çimentoya ikame edilmesi ise referans beton türüne göre basınç dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. NaCl çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde de en düşük basınç dayanımı değerinin KLMNT-5 beton türüne ait olduğu belirlenmiştir. Üstelik bütün beton türlerinde NaCl çözeltisi, beton numunelerin basınç dayanımının düşürdüğü görülmüştür. Mangi vd. (2018)’nin araştırma sonuçları ile elde edilen bulgular benzerlik göstermektedir [52]. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz beton numunelerin basınç dayanımları Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Kontrol ve NaCl çözeltisine maruz beton numunelerin basınç dayanımı sonuçları

Beton numuneler üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneyler gerçekleştirilmiş olup NaCl çözeltisine maruz bırakılmayan kontrol beton numuneler ile karşılaştırılmıştır. Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımları belirlenen beton numunelerin NaCl çözeltisinin etkisi ile kontrol beton türlerine göre ölçüm yapılan deneylerde meydana gelen kayıplar hesaplanmıştır. Beton türlerinde hesaplanan dayanım kayıpları Tablo 5’te verilmiştir.

NaCl çözeltisine maruz beton numunelerin yaklaşık basınç dayanımları kontrol numuneler ile karşılaştırıldığında ve hesaplanan kayıplar incelendiğinde en az dayanım kayıpları KLMNT-2 ve KLMNT-3 beton türlerinde olduğu saptanmıştır. Ultrases geçiş hızı ölçümlerinde ise en az kayıp KLMNT-3 beton türünde görülmüştür. Tahribatsız deneylerden sonra gerçekleştirilen basınç dayanımı sonuçlarına göre ise gerçekleşen kayıplar sırasıyla %5,620, %5,366, %4,398, %3,096, %5,622 ve %6,998 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. NaCl çözeltisine maruz betonlarda hesaplanan dayanım kayıpları

Beton türleri	KLMNT-0	KLMNT-1	KLMNT-2	KLMNT-3	KLMNT-4	KLMNT-5
İkame oranları	(%0)	(%1)	(%2)	(%3)	(%4)	(%5)
Schmidt çekici kaybı (%)	9,375	9,231	6,250	6,031	9,231	9,677
Ultrases geçiş hızı kaybı (%)	1,166	1,100	1,045	0,897	2,949	2,989
Basınç dayanımı kaybı (%)	5,620	5,366	4,398	3,096	5,622	6,998

Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerde meydana gelen kayıplar incelendiğinde ultrases geçiş hızında belirlenen kayıplar %0,897 ile %2,989 arasında iken Schmidt çekicinde ise %6,031 ile %9,677 arasında olduğu belirlenmiştir. Nihai kayıplar ise basınç dayanımı deney sonuçlarına göre %3,096 ile %6,998 olarak bulunmuştur. Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızı yöntemlerinde basınç dayanımından farklı kayıplar meydana gelmesi NaCl çözeltisinin beton üzerindeki etkisi ile açıklanabilir. NaCl çözeltisi betona nüfuz ettiğinde meydana gelen kristalize tuzun boşlukları doldurması ile beton numunelerde hacim artışı ve çatlaklar oluşmaktadır. Beton yüzeyinde meydana gelen hasarlar Schmidt çekici ölçümlerinde kayıp ölçümlerinin yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Ultrases geçiş hızında meydana gelen düşük kayıplar ise beton numunelerde çatlaklar meydana gelmesine rağmen kristalize tuzların boşlukları doldurması ile açıklanabilir.

IV. SONUC

Çimentoya ağırlıkça %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarına kolemanit ikamesi ile üretilen beton numunelerin NaCl çözeltisine maruz kalması ile betonlarda meydana gelebilecek hasarların etkisinin belirlenmesi için, elde edilen deney sonuçları üzerinden değerlendirilmeler yapılmıştır. Kontrol ile NaCl çözeltisine maruz beton türleri incelendiğinde kolemanit ikamesinin %4'e kadar kullanılması referans beton türüne göre Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerini arttırmıştır. Ancak beton numunelerde meydana gelen kayıplar hesaplandığında KLMNT-4 beton türü KLMNT-0 beton türünden yüksek dayanım sağlamasına rağmen daha fazla dayanım kaybı verdiği görülmüştür.

Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında, kolemanitin çimentoya ağırlıkça %4'e kadar ikame edilmesi basınç dayanımını arttırmış ve referans numuneye yakın kütle kaybı vermiştir. Ancak en yüksek basınç dayanımı artışı ve en az kütle kaybı %3 kolemanit ikamesi ile elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR: Kolemanit mineralini tedarik eden Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] G. Durmuş, İ. Bekem, "Yüksek sıcaklığın ve farklı soğutma koşulunun kalker agregalı betonlar üzerindeki etkilerinin araştırılması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 25, s. 4, ss. 741-748, 2010.
- [2] H. Yalçın, M. Gürü, *Çimento ve Beton*, Ankara, Türkiye: Palme Yayıncılık, 2006, böl. 8, ss. 201-234.
- [3] I. Bekem Kara, M. Arslan, "Investigation of high temperature effects on concrete additive antifreeze," *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, c. 2, s. 1, ss. 1-12, 2018.
- [4] E. Açar, S. Kutluhan, "Karayollarında kış bakımı - kar ve buz kontrolü," *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İstanbul Bülten*, s. 76, ss. 10-16, 2005.
- [5] P. Ahmedzade, M. Yılmaz ve M. Yılmaz "Kar ve buz ile mücadele etmek amacıyla geliştirilen daha etkili ve ekonomik yeni yöntemler," 7. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2007, ss. 186-195.
- [6] L. Fay, X. Shi, "Environmental impacts of chemicals for snow and ice control: State of the knowledge," *Water Air Soil Pollut*, c. 223, s. 5, ss. 2751-2770, 2012.
- [7] A. G. Seferoğlu, M. T. Seferoğlu ve M. V. Akpınar, "Karayolu ve havayolu kaplamalarında kullanılan kar ve buzla mücadele yöntemlerinin mali analizi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji*, c. 3, s. 1, ss. 407-416, 2015.
- [8] N. Cilason, N. Aksoy, "Beton yapı hasarları onarım ve korunması ve sıcak iklimlerde beton," İstanbul, Türkiye: Lebib Yalkın Yayınları, 2000, böl. 2, ss. 7-18.
- [9] E. Yörükoğulları, "Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanımı," *Madencilik Bülteni*, s. 75, ss. 40-42, 2005.
- [10] Q. Yuan, C. Shi, G. De Schutter, K. Audenaert and D. Deng, "Chloride binding of cement-based materials subjected to external chloride environment - A review," *Construction and Building Materials*, c. 23, s. 1, ss. 1-13, 2009.

- [11] C. Qiao, P. Suraneni and J. Weiss, "Damage in cement pastes exposed to NaCl solutions," *Construction and Building Materials*, c. 171, ss. 120-127, 2018.
- [12] Y. Wang, T. Ueda, F. Gong and D. Zhang, "Meso-scale mechanical deterioration of mortar due to sodium chloride attack," *Cement and Concrete Composites*, c. 96, ss. 163-173, 2019.
- [13] N. Kuloğlu, B. V. Kök, "Karayollarında kar ve buz mücadelesinde kullanılan tuzun beton asfalt kaplamaya etkisi," *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 87-96, 2005.
- [14] K. Wang, D. E. Nelsen and W. A. Nixon, "Damaging effects of deicing chemicals on concrete materials," *Cement and Concrete Composites*, c. 28, s. 2, ss. 173-188, 2006.
- [15] İ. Bekem, A. B. Gültekin ve Ç. B. Dikmen, "Yapı Ürünlerinin hizmet ömrü açısından irdelenmesi: Betonarme örneği," 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 2009, ss.2155-2160.
- [16] H. Y. Aruntaş, M. Gürü, M. Dayı ve İ. Tekin, "Utilization of waste marble dust as an additive in cement production," *Materials and Design*, c. 31, s. 8, ss. 4039-4042, 2010.
- [17] P. K. Acharya, S. K. Patro, "Strength, sorption and abrasion characteristics of concrete using ferrochrome ash (FCA) and lime as partial replacement of cement," *Cement and Concrete Composites*, c. 74, ss. 16-25, 2016.
- [18] Z. Tang, W. Li, G. Ke, J. L. Zhou and V. W. Tam, "Sulfate attack resistance of sustainable concrete incorporating various industrial solid wastes," *Journal of Cleaner Production*, c. 218, ss. 810-822, 2019.
- [19] N. K. Bui, T. Satomi and H. Takahashi, "Influence of industrial by-products and waste paper sludge ash on properties of recycled aggregate concrete," *Journal of Cleaner Production*, c. 214, ss. 403-418, 2019.
- [20] E. T. Tunc, "Recycling of marble waste: A review based on strength of concrete containing marble waste," *Journal of environmental management*, c. 231, ss. 86-97, 2019.
- [21] M. Singh, A. Srivastava and D. Bhunia, "Long term strength and durability parameters of hardened concrete on partially replacing cement by dried waste marble powder slurry," *Construction and Building Materials*, c. 198, ss. 553-569, 2019.
- [22] G. Long, X. Wang and Y. Xie, "Very-high-performance concrete with ultrafine powders," *Cement and concrete research*, c. 32, ss. 601-605, 2002.
- [23] S. Kutuk, T. Kutuk-Sert, "Effect of PCA on nanosized ulexite material prepared by mechanical milling," *Arabian Journal for Science and Engineering*, c. 42, s. 11, ss. 4801-4809, 2017.
- [24] Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, *Bor sektör raporu*, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Mayıs 2018, ss. 34.
- [25] S. Kutuk, "Öğütülmüş nano boyutlu kolemanit mineralinin elementel ve kristal yapı özellikleri," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 10, s. 2, ss. 303-313, 2017.
- [26] Boren Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü. (2019, 30 Mart). [Online]. Erişim: <https://www.boren.gov.tr/Sayfa/rezervler/26>.
- [27] Y. Erdoğan, M. S. Zeybek ve A. Demirbaş, "Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes," *Cement and Concrete Research*, c. 28, s. 4, ss. 605-609, 1998.

- [28] A. Olgun, T. Kavas, Y. Erdogan and G. Once, "Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron," *Building and Environment*, c. 42, s. 6 ss. 2384-2395, 2007.
- [29] Boren ulusal bor araştırma enstitüsü. (2019, 30 Mart). [Online]. Erişim: <https://www.boren.gov.tr/Sayfa/cimento/36>.
- [30] U.K. Sevim, M. Ozturk, M.B. Bankir ve U. Aydın, "Utilization of Colemanite waste in Concrete Design," *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, c.4, s. 12, ss. 170-175, 2017.
- [31] M.Y. Durgun ve A.H. Sevinç, "High temperature resistance of concretes with GGBFS, waste glass powder, and colemanite ore wastes after different cooling conditions," *Construction and Building Materials*, c.196, s. 2019, ss. 66-81, 2019.
- [32] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1097-6, 2013.
- [33] *Beton agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 706 EN 12620+A1, 2009.
- [34] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 1: tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 933-1:2012(EN), 2012.
- [35] S. Kutuk, "Influence of milling parameters on particle size of ulexite material," *Powder Technology*, c. 301, ss. 421-428, 2016.
- [36] S. Kutuk, T. K. Sert, "Particle size distribution of nanoscale ulexite mineral prepared by ball milling," *MATTER: International Journal of Science and Technology*, c. 3, s. 3, ss. 86-103, 2017.
- [37] Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2018, 20 Aralık). [Online]. Erişim: <http://www.etimaden.gov.tr/storage/uploads/2018/01/16-2017-Ground-Colemanite-75-Micron.pdf>.
- [38] T. Kutuk-Sert, "Stability analyses of submicron-boron mineral prepared by mechanical milling process in concrete roads," *Construction and Building Materials*, c. 121, ss. 255-264, 2016.
- [39] *Beton karışım tasarımı hesap esasları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 802, 2016.
- [40] *Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 206:2013+A1, 2017.
- [41] *Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene- Geri sıçrama sayısının belirlenmesi*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12504-2, 2013.
- [42] *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, American Society for Testing and Materials Standarts ASTM C 597, 2009.
- [43] *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-3, 2010.
- [44] J. Malek, M. Kaouther, "Destructive and non-destructive testing of concrete structures," *Jordan Journal of Civil Engineering*, c. 8, s. 4, ss. 432-441, 2014.
- [45] H. Y. Qasrawi, "Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted," *Cement and Concrete Research*, c. 30, s. 5, ss. 739-746, 2000.

- [46] C. Kara, İ. Bekem, “Endüstriyel atıkların beton dayanımı etkisi üzerine bir çalışma: Çay fabrikası kömür külü örneği,” *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 75-85, 2018.
- [47] S. A. Abo-Qudais, “Effect of concrete mixing parameters on propagation of ultrasonic waves,” *Construction and Building Materials*, c. 19, s. 4, ss. 257-263, 2005.
- [48] A. K. Al-Shamiri, J. H. Kim, T. F. Yuan, and Y. S. Yoon, “Modeling the compressive strength of high-strength concrete: An extreme learning approach,” *Construction and Building Materials*, c. 208, ss. 204-219, 2019.
- [49] M. A. Elaty, “Compressive strength prediction of Portland cement concrete with age using a new model,” *Housing and Building National Research Center Journal*, c. 10, s. 2, ss. 145-155, 2014.
- [50] T. Y. Erdoğan, *Beton*, Genişletilmiş 2. Baskı, Ankara, Türkiye: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 2003, böl. 18, ss. 440-510.
- [51] B. Baradan, H. Yazıcı ve S. Aydın, *Beton*, İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2012, ss. 825.
- [52] S. A. Mangi, M. H. W. Ibrahim, N. Jamaluddin, M. F. Arshad and R. P. Jaya, “Short-term effects of sulphate and chloride on the concrete containing coal bottom ash as supplementary cementitious material,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, c. 22, s. 2, ss. 515-522, 2019.