

Silis Dumanı Kullanımının Kolemanit ve Kolemanit Atığı İçeren Harç Karışımların Dayanımına Etkisi

Süleyman Özen^{1*}, Muhammet Gökhan Altun², Muhammed Yasin Durgun³ ve Musa Yıldırım¹

¹İnşaat Mühendisliği, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye

³İnşaat Mühendisliği, Bartın Üniversitesi, Türkiye

*(suleyman.ozen@btu.edu.tr)

Özet – Küresel ısınma sonucu insanların karşı karşıya kalacağı risklerin ve sera gazı salınımının azaltılması amacıyla iklim değişikliğine karşı dirençli kentlerin oluşturulması günümüzde tüm toplumların en öncelikli konuları arasındadır. Dirençli kentler oluşturmak amacıyla yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği, yeşil alanların artırılması, yaya ve bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması, sürdürülebilir atık yönetimi gibi birçok alanda birçok uygulama yapılmaktadır. Atıkların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanımı sürdürülebilir atık yönetimi kapsamında olup doğal kaynak tüketiminin fazla olduğu beton endüstrisinde atık malzemelerin geri kazanılması bu açıdan oldukça önemlidir. Bu çalışmada, silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atık kullanımının çimentolu sistemlerin basınç dayanımı ve su emme özelliklerine ayrı ayrı ve hibrid etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda çimento ağırlığının %5, 10 ve 15 oranlarında silis dumanı, %0,5, 1, 1,5 ve 2 oranlarında kolemanit ve %1, 3, 5 ve 7 oranlarında kolemanit atığı ikame edilmiştir. Hazırlanan karışımların yayılma, 1, 28, 63 ve 90 günlük basınç dayanımı ile 63 ve 90 günlük su emme kapasiteleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, mineral katkı kullanımı işlenebilirliği azaltmış dolayısıyla akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacını arttırmıştır. Silis dumanı ve kolemanit atığının aksine kolemanit kullanımının işlenebilirliği kısmen iyileştirdiği belirlenmiştir. Dayanım sonuçlarına göre, kolemanit ve kolemanit atığı kullanımı karışımların basınç dayanımını ve su emme oranlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Silis dumanı kullanımı ise kontrol karışımına kıyasla 1 günlük dayanımları düşürürken, nihai ve ileri yaş dayanımlarını arttırmıştır. Ayrıca silis dumanı ile kolemanit ve kolemanit atığının birlikte kullanımı sonucu kolemanit ve kolemanit atığının sebep olduğu dayanım kaybının silis dumanı ile telafi edilebildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Kolemanit, Kolemanit Atığı, Silis Dumanı, Basınç Dayanımı, Su Emme

1. GİRİŞ

Son dönemlerde sera gazı salınımında meydana gelen artışların küresel ısınma üzerindeki etkisi sıkça tartışılmakta ve vurgulanmaktadır. Bu gazların en önemlilerinden biri de karbondioksit (CO₂). CO₂ salınımının en önemli kaynaklarından biri de çimento endüstrisidir. Bu nedenle CO₂ salınımının azaltılabilmesi için çimento dışı bağlayıcılar ve mineral katkılara yönelim oldukça önemlidir [1]. Gerek ekolojik gerekse ekonomik ve teknik nedenlerle çimentolu sistemlerde çeşitli çimento ikame malzemeleri tercih edilmektedir. Silikon ve ferrosilikon endüstrisinin bir yan ürünü

olan silis dumanı bunların en önemlilerindedir. Silis dumanı yüksek oranda amorf SiO₂ ve çok ince küresel taneler içermesi nedeniyle oldukça özel bir mineral katkıdır. Çimentolu sistemlerde değerlendirildiğinde yüksek erken dayanım, yüksek çekme ve eğilme dayanımı, yüksek elastisite modülü, yüksek tokluk, yüksek bağ dayanımı, arttırılmış durabilite, düşük permeabilite, düşük klor geçirgenliği, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal direnç ve yüksek elektriksel direnç gibi özellikler sağlayabilmektedir [2]. Ancak geleneksel bir betonda sadece %5 oranında silis dumanı kullanıldığında bile sabit bir işlenebilirlik için su

İhtiyacı önemli derecede artabilmektedir. Diğer bir ifadeyle küçük oranlarda dahi silis dumanı kullanımı işlenebilirliği azaltmaktadır. Bu nedenle silis dumanı kullanımı genellikle bir süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ihtiyacını da beraberinde getirir [3]. Son yıllarda çimento esaslı malzemelerde kullanımı üzerine çalışılan bir başka malzeme ise kolemanit ve kolemanit atıklarıdır. Türkiye, Dünya bor rezervlerinin yaklaşık %74'üne sahiptir. Kolemanit ise Türkiye'deki bor mineralleri arasında en yaygın olanıdır [4]. Türkiye kolemanit kaynakları bakımından zengin bir ülkedir fakat ham kolemanitin işlenmesi sırasında tesislerde oluşan bir miktar bor kalıntısı da içeren birtakım atıklar ile de mücadele etmek zorundadır. Bu atıklar çevreye zarar vermekte, özellikle yeraltı sularına karışarak su kaynaklarını kirletme potansiyeline sahiptirler [5], [6]. Zengin kaynaklara sahip olunması nedeniyle ve ortaya çıkan bu atıkların değerlendirilmesi amacıyla, son yıllarda kolemanit ve kolemanit atıklarının çimentolu sistemlerde değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmalarda üretilen örneklerin basınç dayanımları [7], [8], yüksek sıcaklık dirençleri [9], [10], kimyasal dirençleri [11], beton ve harçların taze hal özelliklerine etkileri [8], [12], puzolanik bir özelliğinin olup olmadığı [13], rötre üzerine etkileri [14] ve hatta geopolimer hammaddesi olarak kullanılabilirliği [1] araştırılmıştır. Diğer taraftan bor minerallerinin çimentolu sistemler üzerindeki en belirgin etkisinin, priz süresi üzerindeki etkisi olduğu belirtilmektedir [15]. Gereğinden fazla bor minerali içeren bir çimentolu sistemde priz süreleri önemli ölçüde uzayabilmektedir.

Son yirmi yıllık süreçte üzerine yoğunlaşılacak kolemanit ve kolemanit atıklarının çimentolu sistemlerde kullanımında, diğer mineral katkıları ile uyum ve etkileşimi farklı bir merak konusudur. Bu çalışmada, çimentolu sistemler yaygın olarak kullanılan silis dumanı ile görece yeni sayılabilecek bir katkı olan kolemanit ve kolemanit atıklarının birlikte kullanımı araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda farklı oranlarda silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atığı kombinasyonları çalışılmış, hazırlanan karışımların taze hal özellikleri, basınç dayanımı ve su emme oranları üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Kullanılan Malzemeler ve Karışım Oranları

Harç üretimlerinde CEM-I 42,5R Portland Çimentosu, 0-5 mm kırma kum, şebeke suyu, silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atığı kullanılmıştır. Kullanılan bağlayıcı malzemelerin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca TS EN 934-2 standardına uygun süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan bu katkı 1,097 g/cm³ yoğunluk, %36,35 katı madde miktarı oranına ve 3,82 pH değerine sahiptir. Kullanılan kırma kum 2,65 g/cm³ özgül ağırlığına sahip olup elek analizi sonucu Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışmada 5cm boyutlarında küp harç numuneleri üretilmiştir. Tüm harç karışım süreci ASTM C109 Standardına uygun şekilde yürütülmüştür. Bu kapsamda 36 farklı seri olmak üzere toplamda 648 adet küp harç numunesi üretilmiştir. Silis dumanı çimentonun ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranlarında çimentoyla yer değiştirilerek kullanılmıştır. Kolemanit %0,5, 1, 1,5 ve 2 oranlarında kullanırken, kolemanit atığı %1, 3, 5 ve 7 oranlarında kullanılmıştır. Ardından bu malzemeler silis dumanıyla belirtilen oranlarda bir arada kullanılarak harç üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen harçların karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir. Kalıba yerleştirildikten 24 saat sonra kalıptan çıkartılan numuneler deney gününe kadar su küründe bekletilmiştir.

Tablo 1. Bağlayıcı malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Bileşen (%)	Çimento	Silis dumanı	Kolemanit	Kolemanit Atığı
SiO ₂	18,86	75,88	5,09	18,03
Al ₂ O ₃	5,71	0,87	0,18	7,23
Fe ₂ O ₃	3,09	0,90	0,043	0,337
CaO	62,7	0,68	27,17	23,45
MgO	1,16	11,44	2,80	19,98
SO ₃	2,39	0,31	0,21	0,40
Na ₂ O+0,658K ₂ O	0,92	4,38	0,16	0,32
B ₂ O ₃	-	-	39,68	2,30
Cl-	0,01	-	-	-
Çözülmez kalıntı	0,32	-	-	-
Kızdırma kaybı (%)	3,2	2,24	21,68	16,83
Serbest CaO	1,26	-	-	-
Özgül ağırlık	3,15	2,47	2,48	2,42

Tablo 2. Kullanılan kumun elek analizi sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)
8	100
4	98,05
2	73,61

1	42,06
0,5	27,30
0,25	15,85
0,125	10,00

Tablo 3. Harç karışım miktarları (g)

Numune Adı	Çimento	Silis Dumanı	Kolemanit	Kolemanit Atığı	Kum	Su	Süper Akışkanlaştırıcı	Yayılma (mm)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
K	500	0	0	0	1375	242,5	3,8	220	2,33
S5	475	25	0	0	1375	242,5	5,1	250	2,29
S10	450	50	0	0	1375	242,5	5,1	235	2,25
S15	425	75	0	0	1375	242,5	5,5	200	2,28
C0.5	497,5	0	2,5	0	1375	242,5	3,9	230	2,32
C1	495	0	5	0	1375	242,5	3,7	220	2,36
C1.5	492,5	0	7,5	0	1375	242,5	3,5	220	2,35
C2	490	0	10	0	1375	242,5	3,3	220	2,38
CA1	495	0	0	5	1375	242,5	3,7	215	2,42
CA3	485	0	0	15	1375	242,5	5,0	200	2,43
CA5	475	0	0	25	1375	242,5	6,6	220	2,42
CA7	465	0	0	35	1375	242,5	9,8	240	2,38
S5-C0.5	472,5	25	2,5	0	1375	242,5	4,6	225	2,26
S5-C1	470	25	5	0	1375	242,5	3,0	230	2,35
S5-C1.5	467,5	25	7,5	0	1375	242,5	2,8	210	2,37
S5-C2	465	25	10	0	1375	242,5	2,8	220	2,35
S5-CA1	470	25	0	5	1375	242,5	4,2	210	2,40
S5-CA3	460	25	0	15	1375	242,5	7,2	245	2,38
S5-CA5	450	25	0	25	1375	242,5	8,2	230	2,40
S5-CA7	440	25	0	35	1375	242,5	12,1	240	2,37
S10-C0.5	447,5	50	2,5	0	1375	242,5	4,8	250	2,33
S10-C1	445	50	5	0	1375	242,5	3,1	205	2,37
S10-C1.5	442,5	50	7,5	0	1375	242,5	3,7	200	2,36
S10-C2	440	50	10	0	1375	242,5	3,8	200	2,37
S10-CA1	445	50	0	5	1375	242,5	5,1	200	2,34
S10-CA3	435	50	0	15	1375	242,5	7,2	210	2,35
S10-CA5	425	50	0	25	1375	242,5	9,9	240	2,34
S10-CA7	415	50	0	35	1375	242,5	13,1	240	2,33
S15-C0.5	422,5	75	2,5	0	1375	242,5	4,8	215	2,33
S15-C1	420	75	5	0	1375	242,5	4,6	225	2,32
S15-C1.5	417,5	75	7,5	0	1375	242,5	4,6	225	2,32
S15-C2	415	75	10	0	1375	242,5	4,6	235	2,32
S15-CA1	420	75	0	5	1375	242,5	4,9	250	2,32
S15-CA3	410	75	0	15	1375	242,5	6,9	245	2,33
S15-CA5	400	75	0	25	1375	242,5	11,5	250	2,30
S15-CA7	390	75	0	35	1375	242,5	13,5	210	2,34

B. Deneysel Metotlar

B.1. Yayılma Deneyi

Kullanılan malzemelerin işlenebilirliğine olan etkisini araştırmak amacıyla gerçekleştirilen yayılma deneyi TS EN 1015-3 Standardına göre uygulanmıştır.

Yayılma miktarı 23±2 cm aralığında sabit tutulmuştur ve bu değere göre süper akışkanlaştırıcı katkı miktarı belirlenmiştir.

B.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

50 mm ayrıtlı küp çimento harçlarının birim hacim ağırlıkları TS EN 12390-7 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

B.3. Basınç Deneyi

50 mm ayrıtlı küp çimento harçlarının 1, 28, 63 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri ASTM C109 Standardına göre belirlenmiştir.

B.4. Su Emme Deneyi

50 mm ayrıtlı küp çimento harçları kullanılarak ASTM C642 Standardına uygun şekilde 63 ve 90 günlük su emme değerleri belirlenmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Taze Hal Özellikleri

Karışımların yayılma ve birim hacim ağırlık ölçüm sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Kolemanit kullanımı ile karışımların taze hal özelliğinin iyileştiği dolayısıyla katkı ihtiyacının azaldığı tespit edilmiştir. Kolemanit kullanım oranı arttıkça katkı ihtiyacı daha da azalmıştır. %2 oranında kolemanit içeren C2 karışımında kontrol karışımına kıyasla hedef yayılmayı sağlamak için gerekli katkı ihtiyacı %13 daha düşük olmuştur. Bu durumun kolemanitin çimento hidrasyonu üzerindeki geciktirici etkisinden kaynaklandığı Şeker ve Durgun (2023) [12] tarafından yapılan çalışmada ifade edilmiştir. Kolemanitin aksine kolemanit atığı kullanımının karışımların katkı ihtiyacını arttırdığı belirlenmiştir. Kolemanit atık kullanım oranı arttıkça katkı ihtiyacı da paralel bir şekilde artmıştır. %7 oranında kolemanit atığı içeren CA7 karışımında kontrol karışımına kıyasla hedef yayılmayı sağlamak için gerekli katkı ihtiyacı yaklaşık 1,5 kat daha yüksek çıkmıştır. Bu durum hem kolemanit atığın çimentoya kıyasla daha ince olmasından hem de yapısında barındırdığı kil minerallerinden kaynaklanmaktadır [5], [16]. Silis dumanı kullanımı ise özgül yüzey alanının çimentoya kıyasla daha fazla olmasından dolayı katkı ihtiyacını arttırmıştır. Silis dumanının bu olumsuz etkisi hem kolemanit hem de kolemanit atık içeren tüm karışımlarda gözlemlenmiştir.

Karışımların birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, silis dumanı özgül ağırlığının çimentoya kıyasla yaklaşık %22 oranında daha düşük (Tablo 1) olmasından dolayı silis dumanı ikameli karışımların birim hacim ağırlıkları kontrol karışımına kıyasla nispeten daha düşük olmuştur. Kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların birim hacim ağırlıklarında ise kayda değer bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, kolemanit ve kolemanit atığın çok düşük oranlarda ikame edilmesinden kaynaklanmaktadır.

B. Basınç Dayanımı

Silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 1, 28, 63 ve 90 günlük basınç dayanımları Şekil 1’de gösterilmiştir. Silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 1 günlük basınç dayanımlarında düşüşler gözlemlenmiştir.

Karışımlarda silis dumanı miktarı arttıkça 1 günlük numunelerin dayanımlarında bir miktar azalma meydana gelmiştir. Ancak S15 karışımı kontrol karışımından düşük olmasına rağmen S5 ve S10 karışımından yüksektir. Bu durumun silis dumanının inceliğine bağlı olarak numune içerisinde dolgu etkisinden ve inceliğe bağlı olarak reaksiyonların diğerlerine göre biraz daha hızlı gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [17].

Kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların (C ve CW) 1 günlük dayanımlarında kontrol karışımına kıyasla %25 ve %100’e varan azalma gözlemlenmiştir. Özellikle kolemanit atığı belirli bir orandan sonra baskın etki göstererek 1 günlük dayanımlarda yüksek oranlarda düşüşe sebep olmuştur. CW3 ve CW5 karışımlarında sırasıyla %53 ve 82 azalma görülürken, CW7’nin 1 günlük numuneleri prizini almadığı için dayanım sağlanamamıştır. Erken yaşlarda dayanım değerlerinin düşmesinin karışımlarda oluşan kalsiyum borat bileşenlerinin hidrasyon reaksiyonlarını yavaşlatmasından ve priz süresini uzatmasından kaynaklandığı Erdogmus ve arkadaşları (2012) [18] tarafından ifade edilmiştir. Bu bağlamda CSH jeli oluşumundaki gecikme basınç dayanımı gelişimini yavaşlatmıştır [19].

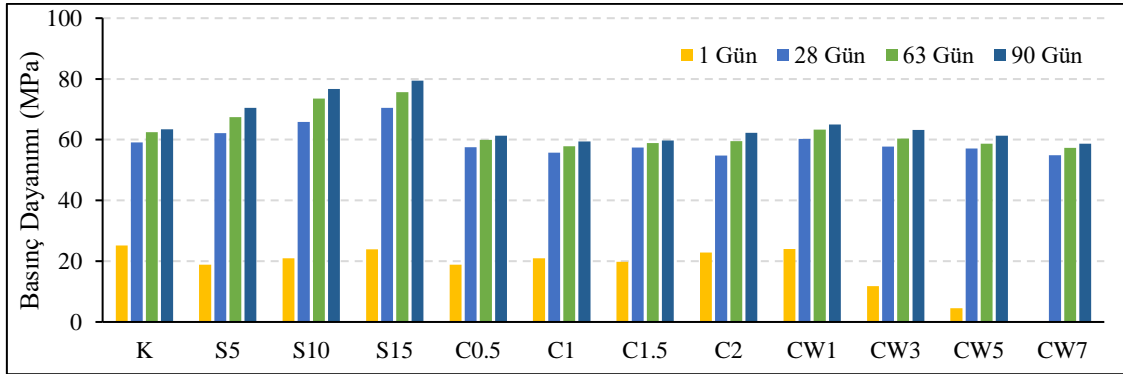
Numunelerin 28, 63 ve 90 günlük dayanımları incelendiğinde silis dumanı içeren karışımların kontrol karışımından daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Karışımlarda silis dumanı miktarı arttıkça dayanımlarda %25’e varan artışlar olmuştur. Söz konusu bu artış silis dumanının fiziksel olarak çimentoya kıyasla çok ince olmasına bağlı olarak karışım içerisinde boşlukları dolduracak dolgu etkisi göstermesinden ve puzolanik reaksiyonun ileri yaşlardaki etkisinden kaynaklanmaktadır [17]. Ancak kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların ileri yaş dayanımlarında düşük oranlarda (ortalama %5) azalma meydana gelmiştir. Bu bağlamda karışımlarda kolemanit ve kolemanit atığının sırasıyla %2 ve %7’ye kadar oranlarda kullanımının ileri yaş dayanımları üzerine önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 2, 3 ve 4’te %5, 10 ve 15’e kadar silis dumanı, %0,5-2 kolemanit ve %1-7 kolemanit atığı içeren karışımların basınç dayanımları gösterilmiştir. Şekil 1’deki karışımlara benzer

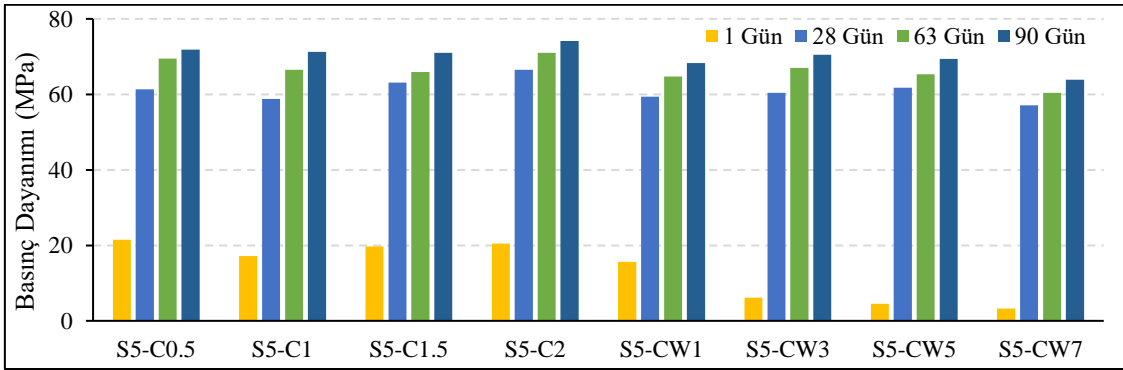
olarak Şekil 2, 3 ve 4'te karışımların 1 günlük dayanımları kontrol karışımından daha düşük olmuştur. Kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımlara silis dumanının eklenmesi genel olarak 1 günlük dayanımları olumsuz etkilemiştir.

Özellikle %1-7 kolemanit atığı içeren karışımlara %5 oranında silis dumanı ilave edildiğinde 1 günlük dayanımlar %48'e varan oranlarda düşmüştür. Söz konusu bu olumsuz etki silis dumanının artmasıyla daha da belirgin olmuştur.

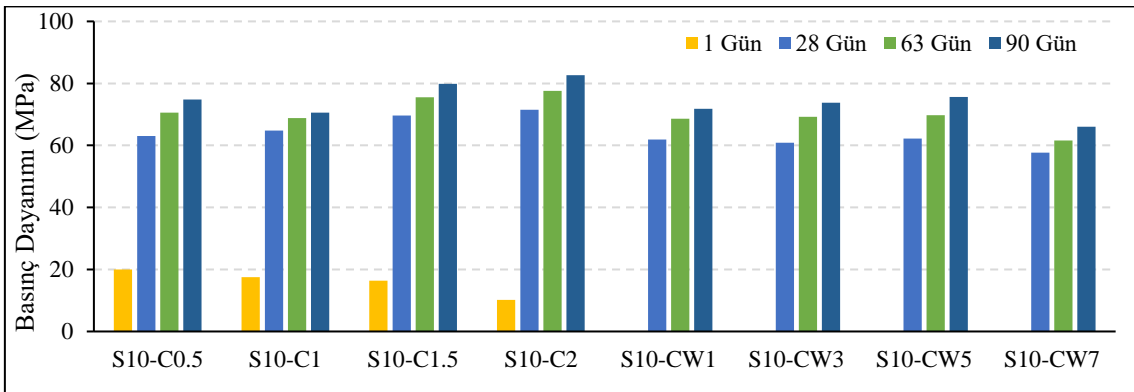
Silis dumanı oranının %10 ve %15'e yükselmesiyle kolemanit atığı içeren karışımlarda 1 günlük dayanımlar numunelerin priz almamasından dolayı ölçülemezdir. Kolemanit içeren karışımlarda olumsuz etki kolemanit atığı kadar fazla olmamıştır. Kolemanit içeren karışımlarda %15 silis dumanı kullanılsa dahi 1 günlük dayanımlarda aşırı bir düşüş görülmemiştir.



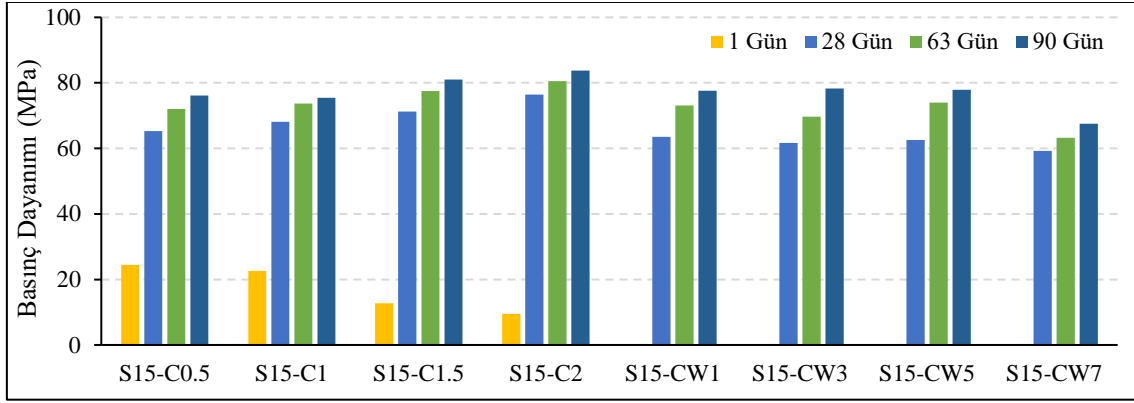
Şekil 1. Silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 1, 28, 63 ve 90 günlük basınç dayanımları



Şekil 2. %5 oranında silis dumanı, farklı oranlarda kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 1, 28, 63 ve 90 günlük basınç dayanımları



Şekil 3. %10 oranında silis dumanı, farklı oranlarda kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 1, 28, 63 ve 90 günlük basınç dayanımları



Şekil 4. %15 oranında silis dumanı, farklı oranlarda kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 1, 28, 63 ve 90 günlük basınç dayanımları

Kolemanit atıkları illit ve kaolinit gibi kil ve türevlerini içerebilir [8]. Kil türevi malzemeler ortam suyunu içinde hapsedip hidrasyonu olumsuz etkileyebilir ve agrega-hamur aderansını zayıflatıp dayanımların gelişimini yavaşlatabilir [20], [21]. Ayrıca kolemanitin içinde bulunan bor mineralleri etrenjitin bünyesine dahil olabilir ve bu sayede dayanım üzerine olumlu etki oluşturabilir [12]. Sonuç olarak kolemanit atığı içeren karışımların dayanımlarındaki düşme daha fazla olmuştur. Diğer yandan 28, 63 ve 90 günlük dayanımlar incelendiğinde kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımlarda silis dumanı oranının artmasıyla dayanımların arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak sadece kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımlarda kontrol karışımına kıyasla basınç dayanımlarının düşmesi karışımlara silis dumanı ilave edilmesiyle telafi edilmiş ve hatta kontrol numunelerinin dayanımlarının üzerine çıkmasını sağlamıştır.

C. Su Emme Oranı

Silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 63 ve 90 günlük su emme oranları Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere silis dumanı oranının artması kontrol karışımına kıyasla 63 ve 90 günlük su emme oranlarının %30'a kadar azalmasını sağlamıştır. Ancak karışımlarda kolemanit ve kolemanit atığının bulunması su emme oranlarını arttırmıştır. Kolemanit ve kolemanit atığı miktarının artmasıyla su emme oranları bir miktar düşüş gösterse de yine de kontrol karışımından yüksek olmuştur. Silis dumanı içeriğinin artmasıyla su emme oranlarının düşmesi silis dumanının inceliğine bağlı olarak numune içinde dolgu etkisi göstermesinden ve puzolanik reaksiyonlar sonucu daha dolu bir yapının oluşmasından kaynaklandığı

düşünülmektedir [17]. Söz konusu dolgu etkisi ve puzolanik reaksiyonların etkisi dayanımlara da yansımış, Şekil 1'de S5, S10 ve S15 numunelerinin dayanımlarının kontrol numunesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Dayanımların da yüksek olması malzemenin boşluk miktarının diğerlerine kıyasla daha düşük olduğunun göstergesidir. Bu bağlamda boşluksuz bir malzemede suyun numune içerisinden ilerlemesi zorlaşacağından dolayı su emme oranlarında azalma gözlemlenmiştir.

Şekil 1'de kolemanit ve kolemanit atığı içeren numunelerin ileri yaş dayanımlarının kontrole göre önemli olmayacak miktarda düşük olduğu önceden belirtilmişti. Bu numunelerde reaksiyonların gecikmesine bağlı olarak boşluk miktarının kontrol numunelerinden daha fazla olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kolemanit ve kolemanit atığı çimentodan daha ince olduğundan bu malzemelerin miktarı karışımlarda arttıkça az miktarda dolgu etkisi gösterdiğinden dolayı su emme oranlarının bir miktar azaldığı düşünülmektedir. Ancak reaksiyonların gecikmesi daha baskın etki göstermiş olup kontrol numunesine göre su emme oranları %2-20 oranlarında artmıştır. Şekil 6, 7 ve 8'de %5, 10 ve 15'e kadar silis dumanı, %0,5-2 kolemanit ve %1-7 kolemanit atığı içeren karışımların su emme oranları gösterilmiştir. %5, 10 ve 15 oranlarında silis dumanı içeren karışımlarda kolemanit ve kolemanit atık oranının artırılması su emme oranlarını belirgin olarak azaltmıştır. Kontrol karışımıyla kıyaslandığında kolemanit ve kolemanit atığı ilavesi ile artan su emme oranları karışımlara eklenen silis dumanı ile azalmıştır.

IV. SONUÇLAR

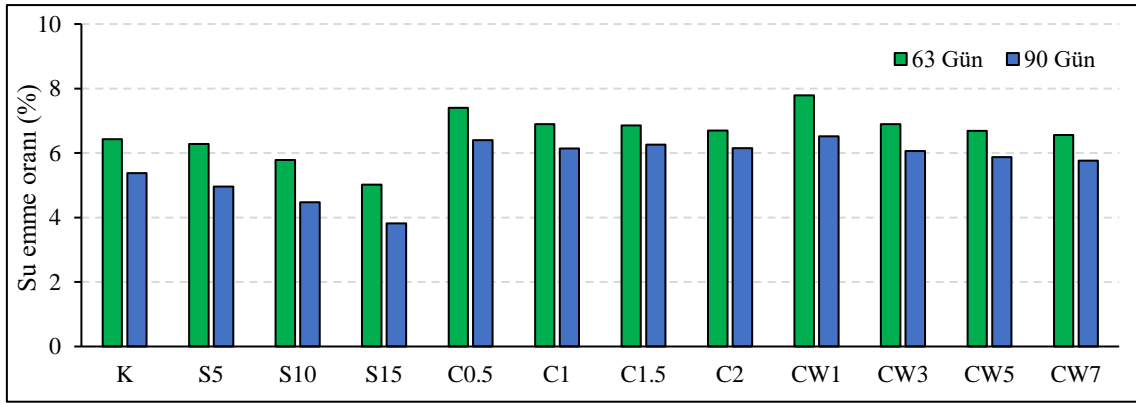
Silis dumanı kullanımının kolemanit ve kolemanit atığı içeren harç karışımlarının taze hal, basınç dayanımı ve su emme oranına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Kolemanit kullanımı karışımların taze hal özelliğini olumlu yönde etkilerken kolemanit atığı ve silis dumanı kullanımı ise olumsuz yönde etkilemiştir.

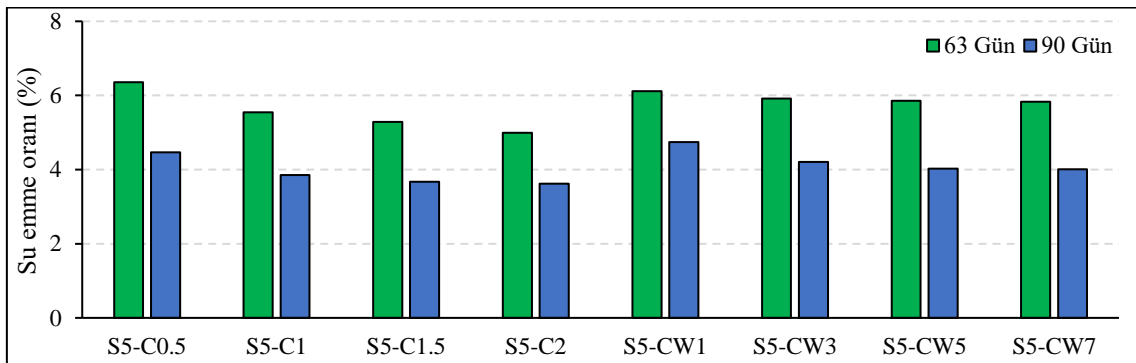
Kolemanit ve kolemanit atığı kullanımı karışımların erken yaş dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiş olup bu malzemelerin priz geciktirici etkisinden dolayı bazı karışımlarda 1 günlük dayanımlar elde edilememiştir.

Kolemanit ve kolemanit atığı kullanımı karışımların ileri yaş dayanımlarını nispeten olumsuz etkilemiştir. Kolemanit ve kolemanit atığı içeren ve içermeyen tüm karışımlarda silis dumanı oranının artmasıyla dayanımların arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak sadece kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımlarda kontrol karışımına kıyasla basınç dayanımlarının düşmesi karışımlara silis dumanı ilave edilmesiyle telafi edilmiştir.

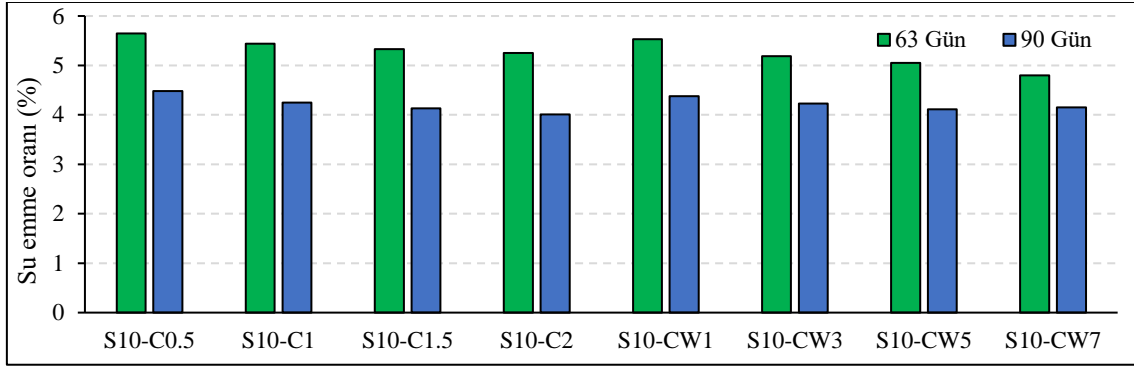
Karışımlarda kolemanit ve kolemanit atığının bulunması su emme oranlarını artırmıştır. Kontrol karışımıyla kıyaslandığında kolemanit ve kolemanit atığı ilavesi ile artan su emme oranları karışımlara eklenen silis dumanı ile azalmıştır.



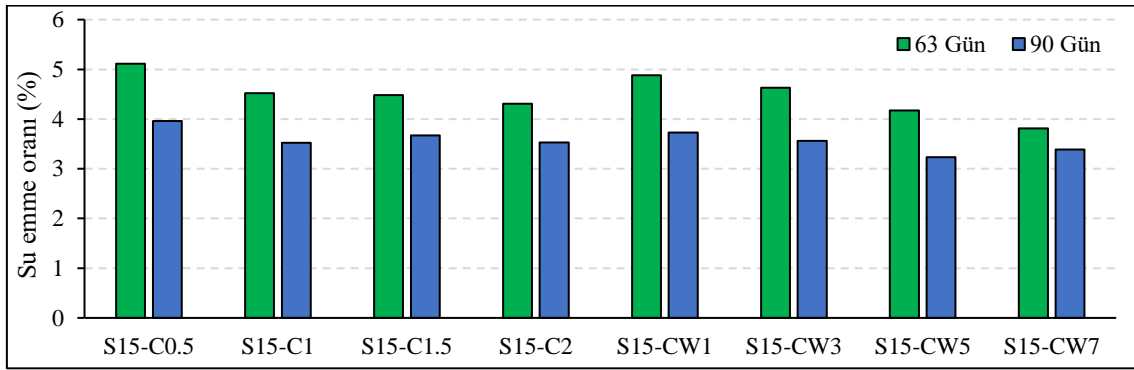
Şekil 5. Silis dumanı, kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 63 ve 90 günlük su emme oranları



Şekil 6. %5 oranında silis dumanı, farklı oranlarda kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 63 ve 90 günlük su emme kapasiteleri



Şekil 7. %10 oranında silis dumanı, farklı oranlarda kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 63 ve 90 günlük su emme kapasiteleri



Şekil 8. %15 oranında silis dumanı, farklı oranlarda kolemanit ve kolemanit atığı içeren karışımların 63 ve 90 günlük su emme kapasiteleri

TEŞEKKÜR

Yazarlar kolemanit ve kolemanit atığı temini için Eti Maden İşletmelerine Müdürlüğüne, süperakışkanlaştırıcı katkı için Polisan Kimya A.Ş.'ye teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- [1] M. Uysal, M. M. Al-mashhadani, Y. Aygörmmez, and O. Canpolat, "Effect of using colemanite waste and silica fume as partial replacement on the performance of metakaolin-based geopolymer mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 176, pp. 271–282, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.034.
- [2] R. Siddique, "Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 55, no. 11, pp. 923–932, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.resconrec.2011.06.012.
- [3] K. H. Khayat and P. C. Aitcin, "Silica Fume: A Unique Supplementary Cementitious Materials," in *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*, Delhi: ABI Books Private, 1993.
- [4] Eti Mining Operations General Directorate, "2019 Sectoral Report of Boron," 2020.
- [5] U. K. Sevim, M. Ozturk, M. B. Bankir, and U. Aydin, "Utilization of Colemanite waste in Concrete Design," *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.*, vol. 4, no. 12, pp. 172–175, 2017, doi: 10.22161/ijaers.4.12.25.
- [6] Ü. Gemici, G. Tarcan, C. Helvacı, and A. M. Somay, "High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç borate deposits (Western Turkey)," *Appl. Geochemistry*, vol. 23, no. 8, pp. 2462–2476, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.apgeochem.2008.02.013.
- [7] Ş. Targan, A. Olgun, Y. Erdogan, and V. Sevinc, "Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash, and fly ash on the properties of Portland cement," *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 8, pp. 1175–1182, 2003, doi: 10.1016/S0008-8846(03)00025-5.
- [8] S. Özen, M. Y. Durgun, V. Kobya, K. Karakuzu, and A. Mardani-Aghabaglou, "Effect of Colemanite Ore Wastes Utilization on Fresh Properties and Compressive Strength of Cementitious Systems," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 47, no. 10, pp. 12873–12887, Oct. 2022, doi: 10.1007/s13369-022-06641-8.
- [9] M. Y. Durgun and A. H. Sevinç, "High temperature resistance of concretes with GGBFS, waste glass powder, and colemanite ore wastes after different cooling conditions," *Constr. Build. Mater.*, vol. 196, pp. 66–81, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.087.
- [10] M. Y. Durgun, S. Özen, K. Karakuzu, V. Kobya, S. H. Bayqra, and A. Mardani-Aghabaglou, "Effect of high temperature on polypropylene fiber-reinforced mortars containing colemanite wastes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 316, p. 125827, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125827.
- [11] M. Y. Durgun and A. H. Sevinç, "Determination of the effectiveness of various mineral additives against

- sodium and magnesium sulfate attack in concrete by Taguchi method,” *J. Build. Eng.*, vol. 57, p. 104849, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.job.2022.104849.
- [12] O. Şeker and M. Y. Durgun, “Investigation of the effects of colemanite and colemanite concentrator wastes on the rheological and hardened properties of self-compacting concrete,” *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 23, no. 1, p. 50, Dec. 2022, doi: 10.1007/s43452-022-00584-5.
- [13] A. Akyıldız, “Investigation of usability of boric waste as a pozzolanic material in production of concrete,” 2012.
- [14] U. K. Sevim, “Colemanite ore waste concrete with low shrinkage and high split tensile strength,” *Mater. Struct.*, vol. 44, no. 1, pp. 187–193, Jan. 2011, doi: 10.1617/s11527-010-9618-4.
- [15] I. S. Bell and P. V. Coveney, “Molecular modelling of the mechanism of action of borate retarders on hydrating cements at high temperature,” *Mol. Simul.*, vol. 20, no. 6, pp. 331–356, 1998, doi: 10.1080/08927029808022042.
- [16] İ. B. Topçu and A.R. Boğa, “Effect of boron waste on the properties of mortar and concrete.” *Waste Management & Research*, vol. 28, no. 7, pp. 626-633, 2010, doi: 10.1177/0734242X0934556.
- [17] M. Tokyay, “Cement and concrete mineral admixtures.”, *CRC Press*, 2016.
- [18] E. Erdogmus, Y. Erdoğan, O. Gencel, S. Targan, and U. Avciata, “Influence of colemanite admixture on Portland cement durability,” *Advances in Cement Research*, vol. 24, no. 3, pp. 155-164, 2012, doi: 10.1680/adcr.10.00043.
- [19] M. Davraz, Ş. Kılınçarslan, and E. Pehlivanoglu, “The effects of accelerating admixture on the mechanical properties of boric acid added mortars,” *Acta Physica Polonica A*, vol. 125, no. 2, pp. 263-267, 2014, doi: 10.12693/AphysPolA.125.263.
- [20] T. J. Désiré, and M. Léopold, “Impact of clay particles on concrete compressive strength,” *International Research Journal on Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 49-56, 2013.
- [21] Z. A. Liu, and M. K. Zhou, “Properties of low-and high-strength concrete incorporating clay-contaminated microfines,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 41 no. 2, pp. 443-450, 2016, doi: 10.1007/s13369-015-1951-z.