

Kalsitin Çimento İkame Malzemesi Olarak Kullanımının Basınç Dayanımına Etkisi

İlknur BEKEM KARA*¹

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 08000, Artvin

(Alınış / Received: 12.06.2020, Kabul / Accepted: 26.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Anahtar Kelimeler

Beton
Çimento
Dayanım
Kalsit

Özet: Çimento üretimiyle ilişkili çevre sorunlarının temelinde; enerji tüketimi ve ortaya çıkan fabrika emisyonları bulunmaktadır. Çimentonun çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla gerçekleştirilen pek çok araştırmada ikame yöntemiyle kullanılan malzemelerin dayanım ve dayanıklılık gelişimine olumlu etkisi olduğu bildirilmektedir. Bu bağlamda, tüketilen çimento miktarı azalırken diğer taraftan eşit veya daha üstün özelliklerde çimento esaslı kompozitler elde edilebilmektedir. Çalışmada mikronize kalsit %0, %3, %5 ve %10 oranlarında ağırlıkça çimentoya ikame edilmiştir. Farklı oranlarda kalsit minerali ile elde edilen taze betonların çökme değerleri belirlenmiştir. Sertleşmiş beton numuneler ise su emme, ultrases geçiş hızı, Schmidt çekici ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak kalsitin %10'a kadar kullanımının betonun basınç dayanımı artırdığı belirlenmiştir.

Effect of the Use of Calcite as a Substitute for Cement on Compressive Strength

Keywords

Concrete
Cement
Strength
Calcite

Abstract: The environmental problems associated with cement production are based on energy consumption and resulting factory emissions. In many studies carried out in order to reduce the environmental effects of cement, it is reported that the materials used by substitution method have a positive effect on the development of strength and durability. In this context, while the amount of cement consumed decreases, on the other hand, cement-based composites with equal or superior properties can be obtained. In the study, micronized calcite was substituted into cement by weight at 0%, 3%, 5% and 10% ratios. The subsidence values of the fresh concrete obtained with calcite mineral were determined at different rates. The sedimentation values of fresh concrete obtained with calcite mineral substituted in different proportions were determined. Hardened concrete samples were subjected to water absorption, ultrasound transition speed, Schmidt hammer and compressive strength tests. As a result, it was determined that the use of calcite up to 10% increases the compressive strength of concrete.

1. Giriş

Kalsit (CaCO_3) dünyadaki en yaygın minerallerden olup, yer kabuğunun yaklaşık %4'ünü oluşturmaktadır [1]. Kalsit, karbonatlı kayaların (kireçtaşı, mermer, tebeşir) ana mineralidir. Türkiye'de kalsit için hammadde temini inşaat sektöründe kullanılmaya elverişsiz mermer yataklarının açık işletilmesiyle yapılmaktadır. Avrupa

ve bazı diğer ülkelere göre Türkiye'de kaliteli hammadde temini nispeten daha düşük maliyetlerde üretilmektedir. Endüstriyel olarak mikronize kalsit birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de çeşitli tane dağılımında ve beyazlıkta üretilen mikronize kalsitin teknik özellikleri Tablo 1'deki ortalama değerlere sahiptir [2].

Tablo 1. Mikronize kalsitin ortalama değerleri.

Kimyasal özellikler				
Oksitli bileşenler	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
%	96-98	0.2	0.2	2 Maks.
Beyazlık (El Repho 2000)	95 Min.			
Tane dağılımı				
Kullanılan sektör	-2 mikron %	Ortalama tane D ₅₀	En büyük tane D ₉₇ %	
Boya (Genel)	32-34	3.5	36	
Boya (ince)	55-60	1.6	12	
Kâğıt (Dolgu)	42-44	3	18-20	
Kâğıt (Kaplama)	80-90	1.0	6-8	
Plastik (Dolgu)	32-34	3.5	36-38	
Plastik (Kaplama)	42-44	3.2	18-22	
Plastik (Pencere)	70	1.6	10	

Türkiye kalsit kalitesi ve rezervleri bakımından zengin bir ülkedir. Öğütülmüş kalsitin çimento esaslı malzemelerde kullanılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Prativi vd. (2020) kalsitin çimentonun hidrasyonunu hızlandırdığını belirlemişlerdir [3]. Bir başka çalışmada ise, kalsitin ana bileşeni kalsiyum karbonatın çimento ile olan reaksiyonunun düşük olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca, kalsitin kullanımı ile çimento esaslı malzemelerin iyileşmesi kalsitin fiziksel ve kimyasal etkisi ile açıklanmaktadır [4], [5].

Çimento, harç ve betonun ana bağlayıcı malzemesi olup, çimentonun kısmi olarak ek malzemeler ile değiştirilmesi yaygın bir uygulamadır. Buradaki amaç, çimento üretimi, diğer beton bileşenlerinin üretiminden daha fazla enerji gerektirir ve sera gazı yayıcı olduğundan, sürdürülebilir beton üretiminde ek malzemeler ile çimento miktarını en aza indirmektir [6]. Kalsit içerikli kireç taşı tozu ve mermer tozunun beton üretiminde kullanımına ilişkin literatürde birçok çalışma mevcuttur [7]–[9]. Ayrıca, portland kireçtaşı çimentosunun içeriğinde EN 197-1 standardı %35'e kadar, ASTM C595 standartında ise %15'e kadar kireçtaşı kullanılmasına izin verilmektedir [4], [10]. Kalsitin ikame olarak kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde ise araştırmaların özellikle nano CaCO₃ üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Nano malzemelerin üretimi maliyet gerektiren işlemler gerektirmektedir [11]. Endüstriyel bir ürün olan mikronize kalsit ile yapılan çalışmalar ise az sayıdadır. Mikronize kalsit ile uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlar incelendiğinde, mikronize kalsitli betonlarda işlenebilirlik kaybı ve priz hızlandığı görülmüştür. Kalsitli betonların erken yaş dayanım gelişimi uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlardan daha hızlı, ileri yaş dayanım değerindeki artışın ise düşük olduğunu belirlemişlerdir [12]. Mikronize kalsit ile yapılan diğer bir çalışmada ise mikronize kalsit çimento ile %10 ve %20 oranlarında yer değiştirilerek taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Mikronize kalsitin, taze beton özellikleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Mikronize kalsit katkılı betonların erken yaşlardaki basınç

dayanımları, şahit ve uçucu kül katkılı betonlara oranla daha yüksek çıkmıştır. Ancak, ileri yaşlarda mikronize kalsit katkılı betonların basınç dayanımı, aşınma ve geçirgenlik dirençlerinin daha düşük olduğu görülmüştür [13].

Çimento sudan sonra en çok tüketilen yapı malzemesidir. Üretimi için ise yüksek enerji harcanmakta, bu nedenle betonu oluşturan malzemeler içinde maliyeti en yüksek ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca CO₂ salınımı ile çevre ve insan sağlığına zararlı etkileri de bulunmaktadır [14], [15]. Çimentonun zararlı etkilerinin azaltılması için mineral tozların çimentoya ikame edilmesi yaygın olarak araştırılmaktadır. Çimentoya ikame edilen malzemeler beton üretiminde gerekli olan çimento miktarının azaltılmaktadır. Böylelikle daha ekonomik ve çevreci beton üretimi yapılabilmektedir.

Kalsitin çimento ile kısmi olarak değiştirilmesi ile yapılan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, kalsit bu çalışmalarda çimento ağırlığının %10'u ve üzerinde oranlarda kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar genellikle erken yaşlarda kalsit içermeyen karışımlardan yüksek dayanım sağlamasına rağmen ileriki yaşlarda daha düşük dayanım değerleri elde edilmesine yol açmıştır. Bu çalışmada beton üretiminde mikronize kalsit %0, %3, %5 ve %10 oranlarında çimentoya ağırlıkça ikame edilerek farklı beton türleri üretilmiştir. Beton numuneler üzerinde su emme, tahribatsız deneyler (Ultras ses geçiş hızı ve Schmidt çekici) ve basınç dayanımı deneyi ile ölçümler yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

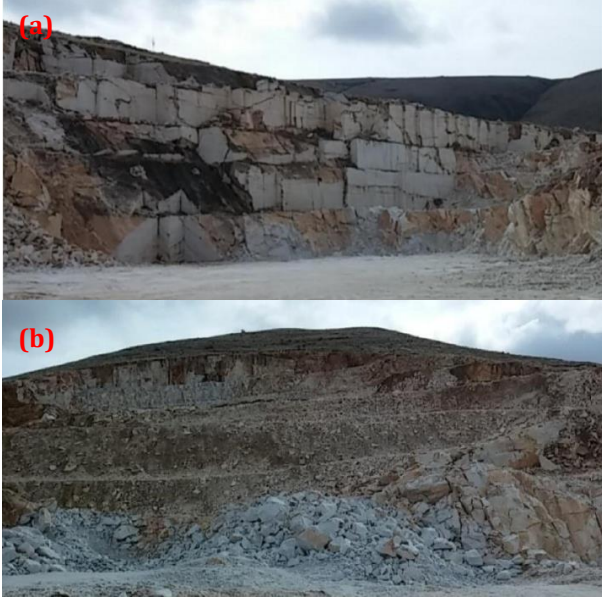
Çalışma sürecinde CEM I 42.5 R çimentosu, Kırşehir Çayırdağı bölgesine ait kalsit, kalker kırmataş agrega ve şehir şebeke suyu ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Analiz	Deneyler	Değerler
Fiziksel	Yoğunluk, gr/cm ³	3.12
	Özgül yüzey, cm ² /g	3320
	45 µm elek üstü, %	1.1
Kimyasal	Oksitler	
		%
	SiO ₂	18.86
	Al ₂ O ₃	4.98
	Fe ₂ O ₃	2.96
	CaO	63.02
	MgO	1.71
	SO ₃	2.93
	Na ₂ O	0.25
	K ₂ O	0.75
Kızdırma kaybı		3.7

Kalsit Kırşehir Çayağzı bölgesinde mermer ocağını işleten OMYA Madencilik A.Ş.'den temin edilmiştir. Çayağzı mermer sahasında daha önceleri faaliyet gösteren blok mermer üretimi durdurulmuş olup,

sahanın kırık ve çatlaklı olmasından dolayı günümüzde mikronize kalsit üretiminde kullanılmak üzere OMYA Madencilik tarafından taş ocağı (mikronize kalsit) olarak faaliyetine devam etmektedir. Taş ocağının eski ve yeni görünümü Şekil 1'de görülmektedir [16].



Şekil 1. Kalsit ocağı (a) eski (b) yeni görünümü

Öğütülmüş temin edilen ve %98.5'i CaCO₃ (Kalsiyum karbonat)'tan oluşan kalsitin yoğunluğu 2.70 g/cm³'tür. Mohs skalasına göre sertliği 3 olan öğütülmüş beyaz renkli kalsit mineralinin maksimum partikül boyutu 45 µm'dur.

Agrega Kırşehir'in Kaman ilçe sınırlarında içerisinde işletilen taş ocağından temin edilmiştir. Taş ocağında üretimi yapılan agregalar 0-4, 4-11, 11-22 mm'dir. Çalışma sürecinde agregaların tane büyüklüğü dağılım analizi yapılmış ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir [17], [18]. Agregaların tane büyüklüğü dağılım analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Agregaların tane büyüklüğü dağılımı [17], [18].

Elek açıklığı, mm	Elekten geçen, %			Deneysel Agregası
	TS 706 EN 12660+A1			
	Alt limit	Orta limit	Üst limit	
31.5	100	100	100	100
16	62	80	89	82
8	38	62	77	64
4	23	47	65	50
2	14	37	53	36
1	8	28	42	26
0.5	5	18	29	21
0.25	2	8	15	10

Agregalara ait fiziksel özellikler belirlenmiş olup Tablo 4'te verilmiştir [19].

Tablo 4. Agregaların fiziksel özellikleri [19].

Deneyler	Agrega tane boyutu, mm		
	0-4	4-11	11-22
Görünür yoğunluk, g/cm ³	2.70	2.73	2.73
Etüv kuru yoğunluk, g/cm ³	2.31	2.66	2.66
Doygun yüzey yoğunluk, g/cm ³	2.46	2.68	2.69
Su emme, %	6.15	1.01	0.92

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi modifiye naftalin sülfonat ve polimer esaslı olup, TS EN 934-2 yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı katkı normuna uygundur [20]. Bütün beton türlerinde bağlayıcı miktarının ağırlıkça %1.5'i olacak şekilde sabit miktarda kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcıya ait özellikler Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. Kimyasal katkı maddesine ait özellikler.

Özellikler	Değerler
Yoğunluk	1.19, kg/l
pH	7.56

%0 (Referans), %3, %5 ve %10 oranlarda çimentoya ikame kalsit içeren betonlara ait malzeme miktarları Tablo 6'da görülmektedir. Üretilen betonların kıvamlarındaki değişimin belirlenmesi amacıyla Su/Bağlayıcı oranı tüm karışımlarda sabit tutulmuştur [21], [22].

Tablo 6. Beton türlerine ait malzeme miktarları.

Malzemeler	Kalsit ikame oranları			
	%0	%3	%5	%10
	Beton türleri			
	K0	K3	K5	K10
Çimento, kg	320.0	310.4	304.0	288.0
Kalsit, kg	0	9.6	16.0	32.0
Su, l	185	185	185	185
Katkı maddesi, kg	4.8	4.8	4.8	4.8
0-4 mm agregası, kg	957	957	957	957
4-11 mm agregası, kg	306	306	306	306
11-22 mm agregası, kg	585	585	585	585

Karışım için gerekli malzemeler laboratuvar tipi mikserde aynı sürelerde karıştırılmıştır. Karışım sırasında hava ve taze beton sıcaklığı ölçülmüştür. Taze betonlar üzerinde işlenebilirlik değerini belirlemek amacıyla çökme deneyi gerçekleştirilmiştir [23]. Taze betonlar 7., 28. ve 360. günlerde test edilmek üzere standart küplere (15x15x15 cm³) yerleştirilmiştir. Ertesi gün kalıptan çıkarılan beton örnekleri kür havuzunda test günlerine kadar bekletilmiştir.

%0, %3, %5 ve %10 oranlarında çimentoya ikame kalsit içeren betonlar sırasıyla K0, K3, K5 ve K10 olarak kodlanmıştır. K0, K3, K5 ve K10 sertleşmiş beton türleri üzerinde su emme, tahribatsız deneyler ve tek eksenli basınç dayanımı ile ölçümler yapılmıştır. Su emme, ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici deneyleri 7. ve 28. günlerde, tek eksenli basınç dayanımı deneyi ise 7., 28. ve 360. günlerde gerçekleştirilmiştir [24]-[27].

3. Bulgular

Kalsit ikameli taze betonlar üzerinde gerçekleştirilen çökme deneyi sonuçları Tablo 7'de görülmektedir. Elde edilen çökme değerleri K0, K3 ve K5 beton numunelerinde 15 cm, K10 beton numunesinde ise 14 cm olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. Taze betonların çökme değerleri.

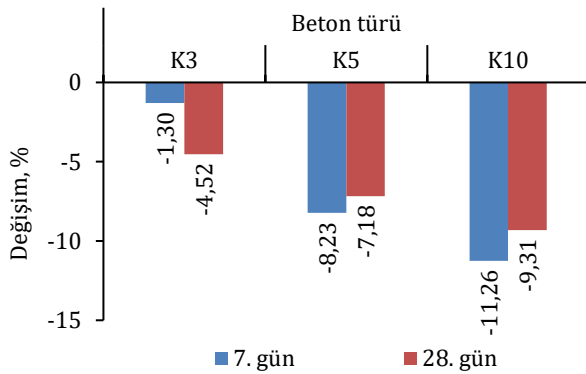
Ölçümler	Beton türleri			
	K0	K3	K5	K10
Hava sıcaklığı, °C	17.3	17.6	17.1	16.8
Beton sıcaklığı, °C	22.1	22.3	23.7	23.3
Çökme değeri, cm	15	15	15	14

K0, K3, K5 ve K10 beton türlerinin su emme oranları Tablo 8'de görülmektedir. En düşük su emme değeri K10 beton türünde, en yüksek değer ise K0 beton türünde olduğu görülmüştür.

Tablo 8. Beton numunelerinin su emme oranları, %.

Beton türleri	Beton yaşı	
	7. gün	28. gün
K0	4.62	3.76
K3	4.56	3.59
K5	4.24	3.49
K10	4.10	3.41

Kalsit ikameli beton numunelerin (K3, K5 ve K10) kalsit içermeyen beton numunesine (K0) göre değişimleri yüzde olarak hesaplanmıştır. Kalsit içeren beton numunelerinin 7. gün su emme değerleri %1.30 ile %11.26 azalmıştır. 28. günde ise %4.52 ile %9.31 azaldığı belirlenmiştir. K3, K5 ve K10 numunelerinin su emme oranlarının K0 numunesine göre değişimleri Şekil 2'de verilmiştir.



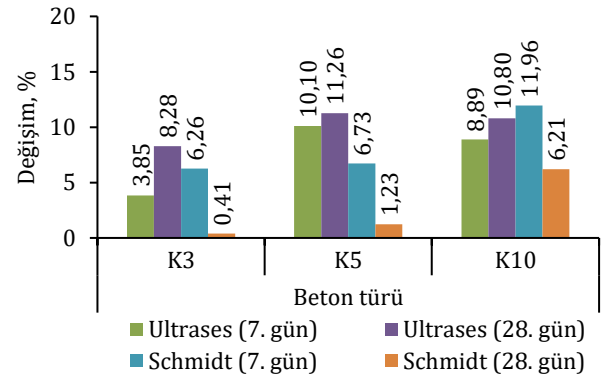
Şekil 2. K3, K5 ve K10 numunelerinin su emme oranlarının K0 numunesine göre değişimleri.

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde tahribatsız (Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici) deney sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Tahribatsız deney sonuçları.

Beton türleri	Beton yaşı	Tahribatsız deneyler	
		Ultrases geçiş hızı, km/s	Schmidt çekici, Geri tepme sayısı
K0	7. gün	4.16	23.32
K3		4.32	24.78
K5		4.58	24.89
K10		4.53	26.11
K0	28. gün	4.35	26.89
K3		4.71	27.00
K5		4.84	27.22
K10		4.82	28.56

Schmidt çekicinde K10, ultrases geçiş hızı ölçümlerinde ise en yüksek değer K5 beton numunesinde görülmüştür. K3, K5 ve K10 numunelerinin tahribatsız deney sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri yüzde olarak Şekil 3'te hesaplanarak verilmiştir.



Şekil 3. K3, K5 ve K10 numunelerinin tahribatsız deney sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri.

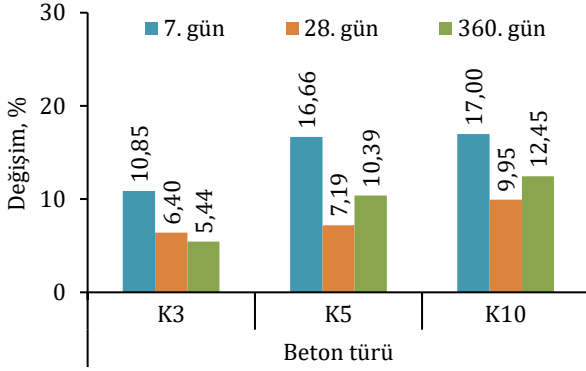
K0, K3, K5 ve K10 beton türlerinin ölçülen basınç dayanımı sonuçları Tablo 10'da görülmektedir. Çalışmada ikamesiz (%0) beton numunesinin 7. gün basınç dayanımının 23.77 MPa'dır. 7. günde kalsitin %3, %5 ve %10 ikame oranları ile ise sırasıyla 26.35 MPa, 27.73 MPa ve 27.81 MPa olarak ölçülmüştür. 28. günde ise kalsit ikamesiz ve ikameli bütün numunelerin hedef basınç dayanımını (C25/30) sağladığı ve en düşük basınç dayanımının K0 beton numunesine ait olduğu görülmüştür. 360. gün deney sonuçları incelendiğinde ise en yüksek basınç dayanımının 47.51 MPa ile K10 beton numunesine aittir.

Tablo 10. Basınç dayanımı deney sonuçları.

Beton türleri	Beton yaşı		
	7. gün	28. gün	360. gün
K0	23.77	30.16	42.25
K3	26.35	32.09	44.55
K5	27.73	32.33	46.64
K10	27.81	33.16	47.51

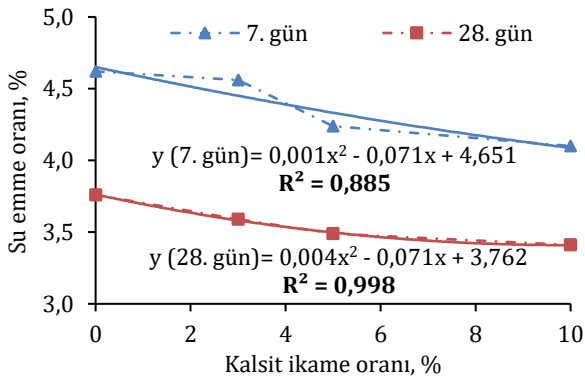
K3, K5 ve K10 numunelerinin basınç dayanımı sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri yüzde olarak Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı artışının erken yaşta (7. gün)

meydana geldiği görülmektedir. Kalsit ikamesi ile 7. günde %10.85-%17.00, 28. günde %6.40-%9.95 ve 360. günde %5.44-%12.45 aralığında basınç dayanımında artışların olduğu görülmüştür.

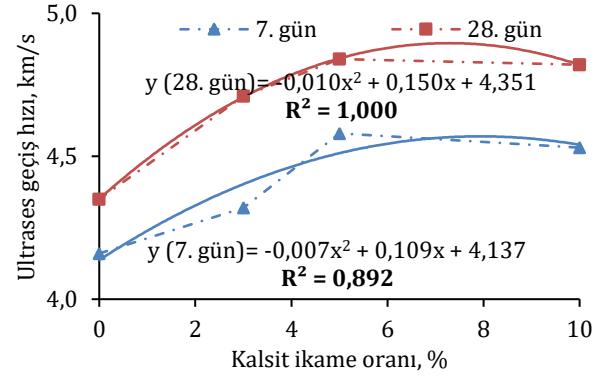


Şekil 4. K3, K5 ve K10 numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri.

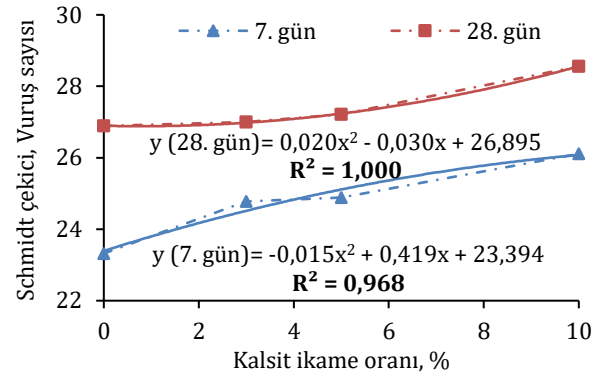
Çalışmada kalsitin ikame oranları ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları arasındaki ilişkinin belirlenmesi için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Determinasyon katsayıları (R^2) belirlenerek değişkenler arası ilişki varlığı incelenmiştir. İkili parametreler arasındaki en iyi ilişki 2. derece polinom olarak saptanmıştır. 7. gün deney sonuçları ile elde edilen R^2 değerinin en küçüğü 0.885, en büyüğü ise 0.996'dır. 28. günde ise en küçük R^2 değeri 0.975, en büyük R^2 değeri ise 1.000 olarak belirlenmiştir. Su emme oranı, ultrases geçiş hızı, Schmidt çekici ve basınç dayanımlarının kalsitin ikame oranları ile olan ilişkisi Şekil 5-8'de görülmektedir.



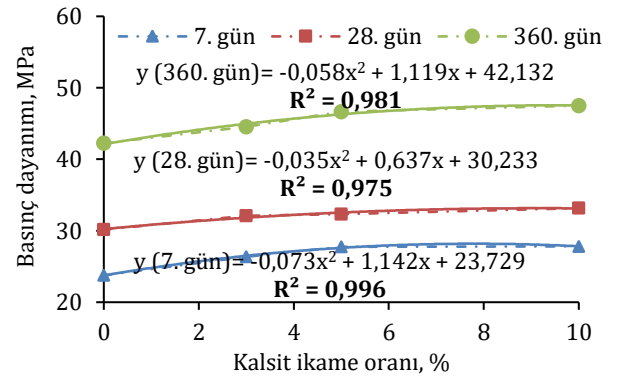
Şekil 5. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin su emme ilişkisi.



Şekil 6. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin ultrases geçiş hızı ilişkisi.



Şekil 7. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin Schmidt çekici ilişkisi.



Şekil 8. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin basınç dayanımı ilişkisi.

Elde edilen tahribatsız deney sonuçları ve basınç dayanımı sonuçları kalsitin betonun mekanik özelliklerini iyileştirebileceği yönündedir. Ayrıca tahribatsız deney sonuçları ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler incelendiğinde deney sonuçları arasında yüksek korelasyon katsayılarının olduğu belirlenmiştir. Analiz edilen korelasyon katsayıları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. İkili deneylerin korelasyon katsayıları.

Basınç dayanımı-Su emme oranı (R^2)	- 0.979
Basınç dayanımı-Ultrases geçiş hızı (R^2)	0.875
Basınç dayanımı-Schmidt çekici (R^2)	0.960

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada beton türlerinde mikronize kalsit çimentoya ikame olarak %0 (K0), %3 (K3), %5 (K5) ve %10'u (K10) kadar karışıma girmiştir. K0, K3, K5 ve K10 beton türlerinin çökme değerleri 14 cm ve 15 cm ölçülmüştür. K10 beton türünde bir miktar işlenebilirlik kaybı görülmüştür. Bu durum karışıma çimentoya göre hacimce daha fazla eklenen kalsit miktarı ile açıklanabilmektedir. Beton üretiminde kalsitin çimentoya %10'a kadar ikame edilmesinin betonun işlenebilirliğine belirgin bir etkisinin olmadığı söylenebilmektedir [12], [13].

Betonun kalite değerlendirilmesinde genel olarak basınç dayanımı esas alınmaktadır. Ancak bu yöntem ile güvenilir bir değerlendirme yapmak için genellikle çok sayıda numune gerekli olabilmektedir. Kesin sonuçlar elde edilmemesine rağmen dolaylı olarak betonun bir takım özelliklerinin tahmini için günümüzde tahribatsız deneyler beton numunelerin değerlendirilmesinde çok sık olarak kullanılmaktadır. Örneğin; ultrases geçiş hızı betonun boşluk yapısı, Schmidt çekici ise yüzey sertliği ölçümlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir [28], [29]. Çalışmada tahribatsız deney sonuçları incelendiğinde tüm kalsit ikame oranlarında beton numunelerin Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızlarının arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre K0 numunesine göre K3, K5 ve K10 numunelerinin yüzeylerinin sertleştiği ve daha boşluksuz bir yapı meydana geldiği kanısına varılmaktadır.

Kalsitin ana bileşeni kalsiyum karbonattır. Kalsiyum karbonatın çimento ile olan düşük reaksiyonuna rağmen, çimentolu kompozitlerde olan iyileştirme etkisi mineralin partikül boyutu ile ilgilidir. Kalsitin kısmi olarak çimentoya ikame edilmesi ile betonun dayanımını arttırması karışımdaki mikro boşlukları doldurması (dolgu etkisi) ile açıklanabilmektedir [30], [31]. Ayrıca kalsit mineralinin hidrasyon hızlandırıcı etkisi de literatürden bilinmektedir [32]. Çalışmada kalsitin %3, %5 ve %10 ikame edilmesi ile betonun tüm yaşlarında referans (%0 kalsit) numuneden yüksek basınç dayanımının elde edildiği görülmüştür.

Kalsit içeren betonlardan elde edilen deneysel sonuçlar arasındaki R^2 katsayıları belirlenmiştir. R^2 katsayıları incelendiğinde kalsit ikame oranları ile deney sonuçları arasında güçlü bir ilişki var olduğu görülmektedir. Ayrıca su emme oranı, ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici deneylerinden alınan sonuçlar ile basınç dayanımı deney sonuçları arasında da ilişki varlığının güçlü olduğu görülmüştür.

Kalsit minerali birçok sektörde yaygın kullanılmakta ve kullanım alanına göre mevcut tesislerde farklı boyutlarda öğütülmektedir. Ayrıca kalsit esas itibarıyla çevre dostu bir üründür ve üretim aşamasında çevreye zarar verici bir kimyasal

kullanılmamaktadır [2]. Kalsitin endüstriyel olarak hali hazırda öğütülmüş olması ve basınç dayanımına etkisi birlikte değerlendirildiğinde kalsitin beton üretiminde değerlendirilebilir görünmektedir. Ancak betonda dayanım kadar dayanıklılığın önemli olduğu da bir gerçektir. Kalsit ikameli betonların dayanıklılığının da araştırılması ve olumlu sonuçların elde edilmesi sonucunda sürdürülebilir beton üretimi için kullanılabilir.

Kaynakça

- [1] Heberling, F., Trainor, T. P., Lützenkirchen, J., Eng, P., Denecke, M. A. and Bosbach, D. (2011). Structure and reactivity of the calcite-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 354(2), 843–857.
- [2] Sekizinci beş yıllık kalkınma planı (2001). Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu. Ankara, Türkiye.
- [3] Pratiwi, W. D., Ekaputri, J. J. and Fansuri, H. (2020). Combination of precipitated-calcium carbonate substitution and dilute-alkali fly ash treatment in a very high-volume fly ash cement paste. *Construction and Building Materials*, 234, 1-12.
- [4] Wang, D., Shi, C., Farzadnia, N., Shi, Z., Jia, H. and Ou, Z. (2018). A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. *Construction and Building Materials*, 181, 659-672.
- [5] Wang, D., Shi, C., Farzadnia, N., Jia, H., Zeng, R., Wu, Y. and Lao, L. (2019). A quantitative study on physical and chemical effects of limestone powder on properties of cement pastes. *Construction and Building Materials*, 204, 58-69.
- [6] Juenger, M. C. and Siddique, R. (2015). Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. *Cement and Concrete Research*, 78, 71-80.
- [7] Das, S., Aguayo, M., Dey, V., Kachala, R., Mobasher, B., Sant, G. and Neithalath, N. (2014). The fracture response of blended formulations containing limestone powder: Evaluations using two-parameter fracture model and digital image correlation. *Cement and Concrete Composites*, 53, 316-326.
- [8] Yazıcıoğlu, S. and Kara, C. (2017). Betonda atık mermer tozu kullanımının karbonatlaşmaya Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 369–376.
- [9] Khodabakhshian, A., De Brito, J., Ghalehnovi, M. and Shamsabadi, E. A. (2018). Mechanical, environmental and economic performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder. *Construction and Building Materials*, 169, 237-251.

- [10] Das, S., Aguayo, M., Dey, V., Kachala, R., Mobasher, B., Sant, G. and Neithalath, N. (2014). The fracture response of blended formulations containing limestone powder: Evaluations using two-parameter fracture model and digital image correlation. *Cement and Concrete Composites*, 53, 316-326.
- [11] Jankovic, A. (2003). Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills. *Minerals Engineering*, 16(4), 337-345.
- [12] Akkaya, Y. and Kesler, Y. E. (2012). Mikrokalsit katkısının betonun işlenebilirliğine, mekanik özelliklerine ve dayanıklılığına etkisi. *İMO Teknik Dergi*, 384, 6051-6061.
- [13] Akçaözöğlü, K. and Güldür, Ş. E. (2017). Mikronize kalsit ve uçucu kül katkısının beton özelliklerine etkisinin araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 658-668.
- [14] Scrivener, K. L., John, V. M. and Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2-26.
- [15] Singh, G. B. and Subramaniam, K. V. (2019). Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste. *Journal of Cleaner Production*, 239, 1-12.
- [16] Ekincioglu, G., Başıbüyük, Z., Ekdur, E., Ballı, F. and Kanbir, E. S. (2014). Kırşehir doğal taş sektör analiz ve yatırım imkanları raporu. Kırşehir.
- [17] Türk Standardları Enstitüsü. (2012). TS EN 933-1:2012(EN): Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [18] Türk Standardları Enstitüsü. (2009). TS 706 EN 12620+A1: Beton Agregaları. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [19] Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN 1097-6: Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [20] Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN 934-2+A1: Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [21] Türk Standardları Enstitüsü. (2009). TS 802: Beton karışım tasarımı hesap esasları. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [22] Türk Standardları Enstitüsü. (2014). TS EN 206-1: Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [23] Türk Standardları Enstitüsü. (2019). TS EN 12350-2: Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [24] Türk Standardları Enstitüsü. (2009). TS 3624: Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayin metodu. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [25] Türk Standardları Enstitüsü. (2012). TS EN 12504-4: Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [26] Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN 12504-2: Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene - Geri sıçrama sayısının belirlenmesi. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [27] Türk Standardları Enstitüsü. (2019). TS EN 12390-3: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [28] Malek, J. and Kaouther, M. (2014). Destructive and non-destructive testing of concrete structures. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 159(3269), 1-10.
- [29] Qasrawi, H. Y. (2000). Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. *Cement and concrete research*, 30(5), 739-746.
- [30] Matschei, T., Lothenbach, B. and Glasser, F. P. (2007). The role of calcium carbonate in cement hydration. *Cement and concrete research*, 37(4), 551-558.
- [31] Sua-iam, G., Sokrai, P. and Makul, N. (2016). Novel ternary blends of Type 1 Portland cement, residual rice husk ash, and limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 1028-1034.
- [32] Özcan, F. and Kaymak, H. (2018). Utilization of Metakaolin and Calcite: Working Reversely in Workability Aspect—As Mineral Admixture in Self-Compacting Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1-12.