

# Mikrokalsit Katkısının Betonun İşlenebilirliğine, Mekanik Özelliklerine ve Dayanıklılığına Etkisi

Yılmaz AKKAYA\*

Y. Egemen KESLER\*\*

## ÖZ

Yüksek performanslı beton üretiminde puzolanik özellikleri nedeniyle mikron boyutunda taneciklere sahip olan uçucu kül ve silis dumana kullanılmaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel bir ürün olan mikrokalsit ile uçucu kül ve silis dumana katkılı beton karışımlarında taze beton deneyleri, priz süresi, sıcaklık gelişimi, dayanım gelişimi, kırılma enerjisi, geçirimsizlik ve sülfat dayanıklılığı deneyleri yapılmıştır. Mikrokalsitli betonlarda işlenebilirlik kaybı ve prizin hızlandığı görülmüştür. Erken yaş dayanım gelişimi uçucu kül ve silis dumana katkılı betonlardan daha hızlı olmakla beraber ileri yaş dayanım değerindeki artış ve sülfat hasarına direnci düşüktür.

**Anahtar Kelimeler:** kalsit, puzolan katkıları, erken yaş, kırılma enerjisi

## ABSTRACT

### Effect of Microcalcite on the Workability, Mechanical Properties and Durability of Concrete

Due to their pozzolanic activity, silica fume and fly ash are mostly used for the production of high performance concrete. However, quality control of these materials exhibit a challenge since these materials are industrial by-products. In this study, microcalcite, fly ash and silica fume are added to concrete, and workability, setting time, heat development, strength development, fracture energy, permeability and sulphate resistance properties are tested. Microcalcite concrete exhibited loss of workability and decrease in setting time. Compared to fly ash and silica fume concretes, microcalcite concretes exhibited higher early age compressive and split tensile strength, while their long term strength development and sulphate resistance were lower.

**Keywords:** calcite, puzzolans, early age, fly ash, silica fume, fracture energy

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 30.03.2011 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - akkayayil1@itu.edu.tr

\*\* İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - yekesler@gmail.com

## 1. GİRİŞ

Betonun taze ve sertleşmiş haldeki performansını arttırmak amacıyla, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi endüstriyel atıklar katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu atık maddelerin kalite kontrolü hassas bir şekilde yapıldığı takdirde, mikron boyutlarda ve reaktif olmaları nedeniyle, taze betonun işlenebilirliği ve terlemesi, sertleşmekte olan betonun hidratasyon ısısı ve uzun dönemde mekanik dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır.

Mikron boyutlu kalsit ülkemizde endüstriyel olarak üretilmekte olan bir diğer performans artırıcı üründür ve özellikle hazır sıva ve tamir malzemelerinde dolgu olarak kullanılmaktadır. Mikrokalsit, alçı, çimento, toz polimer bağlayıcılarla ilave edilerek inşaat sektöründe kullanılma potansiyeline de sahiptir. İnşaat sektörü büyük oranda kalsit tüketim alanı oluşturabilecek önemli bir sektördür.

Kalsit, kimyasal yapısı %95-97 oranında  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) içeren bir mineraldir ve karbonatlı kayaçların (kireç taşları, mermer, tebeşir) ana mineralidir. Türkiye'deki rezervlerde,  $\text{CaCO}_3$  oranı yüksek, silis ve demir safsızlıkları çok düşük orandadır. Mikrokalsitin beton karışımında kullanılması durumunda homojen olarak dağılması sağlanmalıdır. Kireçtaşı tozu elektrostatik olarak negatif, kum ve iri agrega pozitif yüklü olduğundan agrega yüzeyine yapışır. Bu yapışmayı engellemek için, malzemelerin karıştırma sırasına ve yöntemine özen göstermek gerekir. Mikroyapı incelemesi ile yapılan çalışmalarda, önce çimento ve taş tozunun karıştırılıp, sonra agreganın ilave edildiği durumda en iyi performans elde edilmiştir. Kalsitin betonun dayanım kazanma hızına etkisi C-S-H oluşumuna uygun çekirdek oluşturarak hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırması ve  $\text{C}_3\text{A}$ 'sı yüksek çimentolarla reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan karboalüminat oluşturması ile açıklanmaktadır [1-3].

Kalker tozu ikamesinin artmasıyla betonun taze halde viskozitesinin arttığı ve daha homojen bir yapı ortaya çıktığını görülmüştür [4,5]. Mermer tozunu ikamesinin artmasıyla işlenebilirliğin, kıvam korumanın ve plastik viskozitenin arttığı; kayma eşiği değerinde ve ayrışma sorununda düşüş olduğunu tesbit edilmiştir [6,7]. Erken yaş dayanımı göz önüne alındığında kireçtaşı tozunun uçucu küllü numunelere göre daha yüksek dayanıma sahipken 28 gün sonunda uçucu küllü numuneler puzolanik reaksiyona girdikleri için daha yüksek dayanım vermiştir [8]. Kalker tozunun kendiliğinden yerleşen betonlarda aynı su/çimento oranı için daha az kimyasal katkı kullanımına ve dayanım artışına neden olduğu tesbit edilmiştir [9]. Kalker tozunun çimento üretiminde kullanıldığında, tane boyutu çeşitliliği meydana getirmesi ve böylece tanelerin daha sıkı paketlenerek erken yaşlarda dayanım artışına neden olduğu görülmüştür [10]. Yapılan mikroyapısal gözlemler ve geçirimsizlik deneyleri ile kalsit katkısının harç fazındaki büyük boyutlu boşlukların oranını ve su geçirimsizliğini azalttığı teyit edilmiştir [11,12]. Yapılan dürabilite deneylerinde, kalsit katkılı betonlarda oluşan tomasit hasarı nedeniyle, sülfatlı ortamların olumsuz etkisi olduğu gözlemlenmiştir [13]. Kalsit katkısının inceliğinin artması ise betonda otojen rötreinin artmasına neden olurken buharlaşmanın azalmasına, dolayısıyla, plastik rötre çatlama riskinin azalmasına neden olduğu görülmüştür [14].

Bu çalışma ülkemizde endüstriyel olarak üretilmekte olan mikron boyutlu kalsitin, kalite kontrol güçlüğü olan uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik atık maddelerin yerine betonda alternatif kullanımı ve karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu katkı maddelerinin

betonda taze halde işlenebilirlik, erken ve ileri yaş mekanik özellikler ve dayanıklılığa etkisi incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Beton karışımlarında 5 ve 20 mikron ortalama boyutlu kalsit ile uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Bu mikrokalsitlerin maksimum tane çapları sırasıyla 28 ve 85 mikrondur. 2 mikronluk elekten geçen yüzdeleri ise sırasıyla %28 ve %10'dur. Kullanılan mikrokalsitin özgül ağırlığı 2,7 g/cm<sup>3</sup>'tür ve %99,5 CaCO<sub>3</sub> ve %0,2 MgCO<sub>3</sub>'dan oluşmaktadır. SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamı ise %0,04'tür.

Karışımlarda CEM I 42.5 N tipinde çimento (C<sub>3</sub>A <5% ) kullanılmıştır. Çimentonun Blaine özgül yüzeyi 3835 cm<sup>2</sup>/g, özgül ağırlığı ise 3,2 g/cm<sup>3</sup>'dir. Kullanılan uçucu kül linyit kökenli olup, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamı %70'ten fazladır. Uçucu külün özgül ağırlığı 2,15 g/cm<sup>3</sup>, Blaine özgül yüzeyi ise 2900 cm<sup>2</sup>/g'dir. Kullanılan silis dumanının SiO<sub>2</sub> oranı % 94,8 , özgül ağırlığı 2,2 g/cm<sup>3</sup> ve Blaine özgül yüzeyi 20,8 m<sup>2</sup>/g'dir. En büyük tane çapı 22 mm olan agrega karışımında, %27 kırmataş II, %26 kırmataş I, % 27 kırma kum (0-5mm) ve %20 doğal kum (0-2 mm) kullanılarak sürekli bir granülometri elde edilmiştir. Üretim aşamasında, karışımlar arasında işlenebilirliği sabit tutmak amacıyla ikinci nesil süperakışkanlaştırıcı ile, yağ alkolü ve amonyum tuzu esaslı hava sürükleyici beton katkıları kullanılmıştır.

Boyutu 20 mikron olan kalsit uçucu külle eşdeğer hacimde yer değiştirilerek ilk beton karışımları oluşturulmuştur. Bu betona K20, uçucu küllü betona ise UK kodları verilmiştir. Yüksek performanslı betonların elde edilmesi için kullanılan uçucu kül ve silis dumanlı karışım ise UK+SD olarak kodlanmıştır. Bu karışım ise 20 mikronluk kalsitin uçucu külle, 5 mikronluk kalsitin silis dumanı ile eşdeğer hacimde yer değiştirilmesinden oluşan K20+K5 kodlu karışım ile karşılaştırılmıştır. K20 ve UK Karışımlarında su-ince madde oranı (çimento + uçucu kül + mikrokalsit) 0,33, K20-K5 ve UK-SD karışımlarında ise su-ince madde (çimento + uçucu kül + silis dumanı + mikrokalsit) oranı 0,37 olarak belirlenmiştir. Karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkı yardımıyla işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Hazırlanan betonların bileşimleri ile ilgili ayrıntılar Tablo 1'de verilmektedir.

Beton üretimleri sıcaklık kontrollü (22±2°C) bir ortamda yapılmış ve taze betonda çökme (TS EN 12350-2), yayılma (TS EN 12350-5), 50 cm'e yayılma süresi (T<sub>50</sub>), hava miktarı (TS EN 12350-7 ) ve birim ağırlık (TS EN 12350-6) ölçülmüştür. Taze betonda sürüklenmiş hava miktarı (<2mm) AVA (Air Void Analyzer, Germann Instruments) cihazı ile ayrıca ölçülmüştür. Ölçülen bu özelliklerin 30, 60 ve 90 dk. zaman içinde tekrarı yapılarak taze betonun kararlılığı da kontrol edilmiştir. Sertleşme zamanı ile ilgili priz deneyi için beton 5 mm'lik elekten elenmiştir (EN 13294). Üretilen betonların ısı gelişimleri 14 gün boyunca yarı-adiyabatik kabinlerde (NT BUILD 388) yapılan ölçümlerden hesaplanmıştır.

Bu karışımların mekanik özelliklerinin gelişimini karşılaştırmak amacıyla 45'er adet 150 mm çaplı, 300 mm yüksekliğinde silindirik numuneler üretilmiştir. Üretimi takiben 12 saat, 1, 3, 7, ve 28. günlerde hız kontrollü bir hidrolik makine ile basınç (TS EN 12390-3), yarma (TS EN 12390-3) ve elastisite modülü (NT BUILD 205) deneyleri yapılmıştır. Elastisite modülü, yüklenme (E<sub>0</sub>) ve boşaltma (E<sub>c</sub>) eğimlerinden hesaplanmıştır. Her bir deney sonucu,

üç numunenin ortalaması esas alınarak hesaplanmıştır. Üç noktalı eğilme deneyi ile kırılma enerjisi için kapalı çevrimli şekil değiştirme hızı kontrollü bir hidrolik makine kullanılmıştır. Her karışımdan 12'şer adet üretilen 500x100x100 mm boyutlarındaki kırış numuneler deneye tabi tutulmuştur. Şekil değiştirmelerin ölçümü için kırışların orta noktalarına 40 mm çentik açılmış (etkin kesit alanının 60x100 mm ) ve LVDT yerleştirilmiştir. Yük-sehim eğrisiyle kırılma enerjisi hesaplanmıştır (RILEM-50 FMC).

*Tablo 1. 1 m<sup>3</sup> Betonun bileşimi (Kg)*

	K20	UK	K20-K5	UK-SD
Çimento	320	320	275	275
Su	146	142	154	132
Doğal Kum	332	334	337	360
Kırma Kum	466	468	472	500
Kırma Taş-1	489	492	496	532
Kırma Taş-2	437	440	444	476
Uçucu Kül	-	100	-	50
Silis Dumanı	-	-	-	29
Kalsit (20 mikron)	126	-	64	-
Kalsit (5 mikron)	-	-	57	-

Geçirimsizliğin tesbiti amacıyla kılcal su geçirimsizlik deneyi (ASTM C 1585), yüzeysel su emme deneyi (BS 1881-5), basınç altında su işleme derinliği tayini (TS EN 12390-8), klor difüzyon deneyi (NT BUILD 443) ve elektriksel iletkenlik deneyi (ASTM C 1202) yapılmıştır. Isıl genleşme katsayısı (TI-B 101) ve serbest kuruma rötresi (TS 3453) deneyleri 100x100x400 mm'lik prizmalar üzerinde ölçülmüştür. Isıl genleşme katsayısı deneyi için beton numuneler 5°C, 20°C ve 30°C'lik ortamlarda tutulmuşlardır. Serbest kuruma rötresi deney numuneleri ise ortalama 38°C ve %65 bağıl rutubete sahip bir ortamda saklanmışlardır. Sülfat direnci için 25x25x285 mm harç çubuklarda 14 hafta boyunca boy uzaması ölçülmüştür (ASTM C 1012).

### **3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME**

Taze beton özellikleri ve zamana bağlı değişimleri Tablo 2'de, priz süreleri ve sıcaklık gelişimleri Tablo 3'de verilmektedir. Tablo 2'den, aynı başlangıç çökme değerine (S5 kıvamı) sahip betonlarda, kalsit katkısının uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlara göre daha az yayılma verdiği görülmektedir. Kalsit katkılı betonların yayılma ve T<sub>50</sub> değerlerindeki hızlı düşüş, zaman içinde işlenebilirlik kaybının arttığını göstermektedir.

Karışımlar içinde sadece uçucu kül katkılı UK betonu 90 dk. boyunca işlenebilirliğini koruyabilmiştir. Taze beton toplam hava miktarları öngörülen  $\%6\pm 2$  aralığında kalmıştır. Tüm beton numunelerde sürüklenmiş hava içeriğinde zamana bağlı olarak azalma meydana gelmiş, üretim sonrası  $2225-2322 \text{ Kg/cm}^3$  arasında değişen birim ağırlıklar, 90 dk. sonrasında  $2387-2409 \text{ Kg/cm}^3$  değerlerine ulaşmıştır. Kalsit katkısının priz sürelerini hızlandırdığı ve toplam ısı enerjisi artırdığı Tablo 3'den görülmektedir.

Tablo 2. Taze beton özellikleri ve zamana bağlı kararlılığı

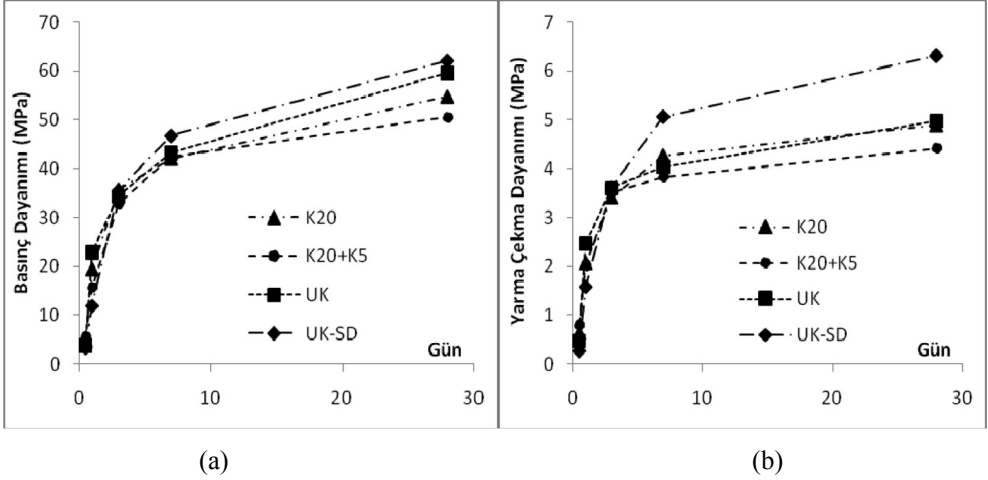
	K20				UK				K20-K5				UK-SD			
	5 dk	30 dk	60 dk	90 dk	5 dk	30 dk	60 dk	90 dk	5 dk	30 dk	60 dk	90 dk	5 dk	30 dk	60 dk	90 dk
Çökme, cm	23	23	20	16	25	25	25	24	24	21	20	17	24	18	18	17
Yayıma, cm	46	45	40	-	64	65	63	59	58	50	40	37	63	43	40	35
T50, sn	10	12	-	-	7	9	12	14	7	12	-	-	5	19	-	-
Toplam Hava, %	8,0				7,0				6,5				5,5			
Sürüklenen Hava, %	8,0			3,5	5,0			3,0	5,0			4,0	5,0			2,5

Tablo 3. Isı gelişimi ve priz süreleri

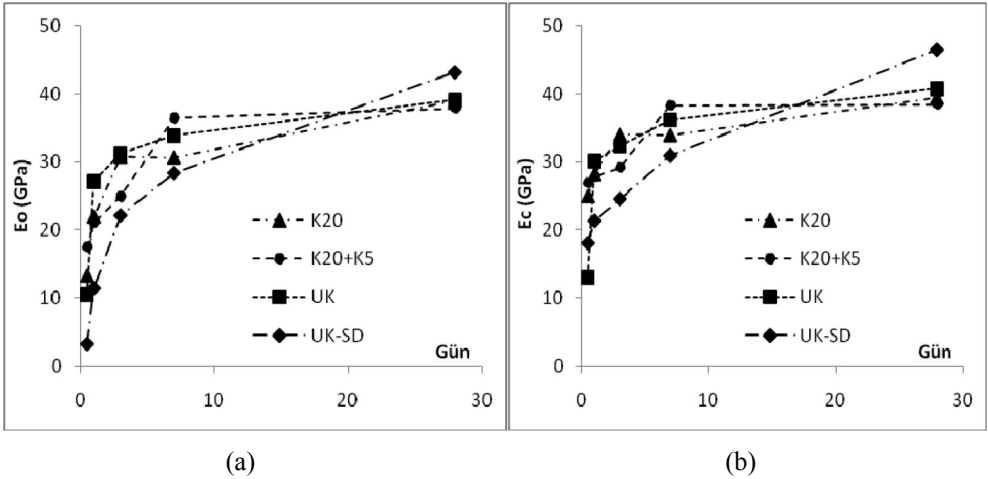
	Toplam Isıl Enerji, kJ/kg						Priz başı, dk.	Priz sonu, dk.
	0,5 gün	1 gün	2 gün	3 gün	7 gün	14 gün		
K20	88	149	199	225	271	299	169	236
UK	52	145	197	225	272	304	217	307
K20+K5	90	155	207	233	273	300	199	271
UK+SD	9	31	158	201	257	303	360	597

Basınç (TS EN 12390-3), yarmada çekme (TS EN 12390-6 ) ve elastisite modülü (NT BUILD 205) deneyleri, 150mm çaplı ve 300mm yüksekliğindeki silindir numuneler üzerinde 2000 kN kapasiteli hidrolik yükleme makinesi kullanılarak yapılmıştır. Üretilen

betonlar 0.5, 1., 3., 7. ve 28. günlerde deneye tabi tutulmuş ve her seri için basınç ve yarmada çekme dayanımı ile elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Şekil 1’de basınç ve yarma çekme dayanımlarının grafikleri verilmiştir. Şekil 2’de  $E_o$  (yüklemede elastisite modülü) ve  $E_c$  (boşaltmada elastisite modülü) grafikleri sunulmaktadır.  $E_o$ , yapı elamanlarının yük altında şekil değiştirme direncini yansıttığı için daha çok yapı projelendirme aşamasında kullanılır. Yapının üretimi sırasında betonun çatlama riski belirlenmesinde ise, çatlama sırasında bölgesel olarak yük boşalımı meydana geldiğinden,  $E_c$  değeri daha kullanışlıdır.



Şekil 1. (a) Basınç ve (b) Yarma çekme dayanımlarının zamana bağlı değişimi

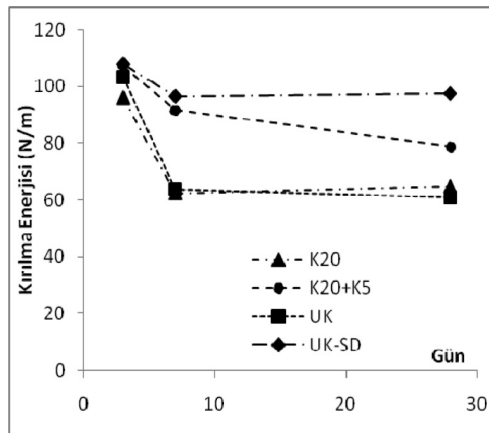


Şekil 2. Elastisite modülleri (a)  $E_o$  ve (b)  $E_c$ 'nin zamana bağlı değişimi

28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, mikrokalsit katkılı K20 ve K20+K5 betonları sırasıyla, 55 MPa ve 51 MPa değerlerine ulaşmışlardır. Uçucu kül ve silis dumanı katkılı UK ve UK-SD betonlarının 28 günlük basınç dayanımları ise sırasıyla, 60 MPa ve 62 MPa olmuştur. Erken yaş basınç ve yarmada çekme dayanımlarına bakıldığında ilk günlerde kalsit katkılı K20 ve K20-K5 betonlarının daha yüksek dayanım değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Üçüncü günden itibaren UK ve UK-SD hızla dayanım kazanıp daha yüksek dayanıma sahip olmaktadır. 28. gün sonunda en yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımına uçucu kül ve silis dumanı içeren UK-SD betonu sahip olmuştur. Önceki çalışmalarda görülen puzolanik etki burada da gözlemlenmiştir. Uçucu kül ve silis dumanı içeren numuneler erken yaş dayanımında düşük, ileri yaşta daha yüksek dayanıma sahiptir.

Erken yaştaki Eo gelişimi göz önüne alınırsa 1. günden itibaren en yüksek elastisite modülüne UK kodlu uçucu küllü numunenin sahip olduğu görülmektedir. Ancak 28. günde en yüksek değere UK-SD kodlu silis dumanlı numune ulaşmıştır. UK-SD erken yaşlarda diğer numunelere oranla çok düşük değere sahipken ilerleyen yaşlarla birlikte hızlı bir gelişim gösterip 28. günde en yüksek değeri almıştır. 28. gün sonunda K20, UK ve K20-K5 birbirine yakın değerler göstermektedir. Ec gelişimi dikkate alınırsa K20 ve K20-K5 kodlu kalsitli numuneler yarım günde en yüksek değerlere sahipken 1. günden itibaren UK en yüksek değeri almıştır. Eo gelişimine benzer şekilde 28. gün sonunda UK-SD en yüksek değere sahip olmuştur. 28. gün sonunda K20, UK ve K20-K5 birbirine yakın değerler almıştır.

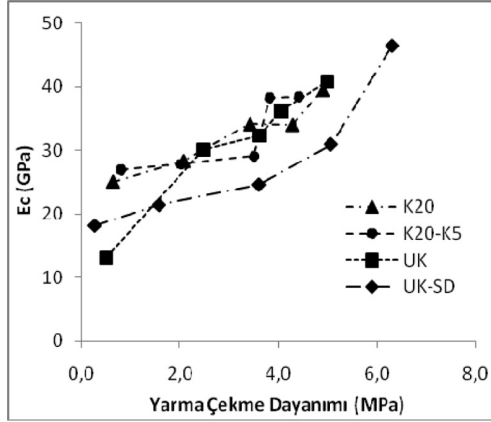
Şekil 3'de, 3., 7. ve 28. günlerdeki karşılaştırmalı kırılma enerjisi grafiği verilmiştir. Erken yaşlarda ve 28. gün sonunda en yüksek kırılma enerjisine UK-SD sahip olmuştur. Tüm numunelerde 3. günden sonra kırılma enerjisinde azalma görülmektedir. Dayanım arttıkça kırılma enerjisi azalmaktadır. K20 ve UK 28. günde en düşük kırılma enerjisine sahip olmuştur.



Şekil 3. Kırılma enerjisinin zamana bağlı değişimi

Betonlarda yarmada çekme dayanımının artışıyla Ec elastisite modülünde artış gözlemlenmiştir. Yüksek Ec elastisite modülü, erken yaşta maruz kalınacak rötre şekil

değiştirmelerini betonu çatlatabilecek yüksek çekme gerilmelerine çevireceğinden, çatlak riskini arttırmaktadır. Bu nedenler, benzer yarma çekme dayanımına sahip numunelerden  $E_c$  değeri yüksek olan betonun erken yaş çatlak riski de artmaktadır. Şekil 4'de erken yaşlarda, mikrokalsit katkılı K20 ve K20-K5 betonlarının yarma çekme dayanımlarına oranla daha yüksek  $E_c$  değerlerine sahip oldukları görülmektedir. UK-SD betonu erken yaşlarda düşük bir  $E_c$  elastisite modülü değerine sahipken 28. günde en yüksek değere sahip olmuştur.



Şekil 4.  $E_c$  ve Yarma Çekme dayanımı gelişimlerinin karşılaştırması.

Tablo 4'de Betonların kılcal, yüzeysel ve basınçlı su geçirimsizliği, klor difüzyon katsayıları ve elektriksel iletkenlik deney sonuçları sunulmaktadır. Kalsit katkılı K20 ve K20-K5 betonlarının kılcal, yüzeysel ve basınçlı geçirimsizlik değerleri, uçucu kül ve silis dumanlı UK ve UK-SD betonlarına göre daha yüksektir. Kalsit katkılı betonların klor difüzyon katsayıları ve elektriksel iletkenlik değerlerinin de yüksek olması, bu betonların daha geçirimli oldukları ve uzun dönem dayanıklılık açısından daha riskli oldukları anlamına gelmektedir.

Tablo 5'de betonların dayanıklılık yönünden karşılaştırılması amacıyla yapılan ısı genleşme, serbest kuruma rötresi ve sülfat genleşmesi deney sonuçları verilmektedir. Kalsit katkılı K20 ve K20-K5 betonlarının, ısı genleşme katsayılarının yüksek olması, özellikle erken yaşlarda maruz kalacakları sıcaklık farkları dolayısıyla ısı şekil değiştirmelerinin fazla olacağını ve termal çatlak riskinin yüksek olduğunu göstermektedir. Serbest kuruma rötre değerleri açısından da K20 ve K20-K5 betonları, uçucu kül ve silis dumanlı betonlara göre daha yüksek şekil değiştirmeler yapmaktadır ve erken yaş çatlama riskleri daha yüksektir. K20 ve K20-K5 betonlarının uzun dönem sülfata maruz kaldıklarında diğer betonlara göre daha yüksek şekil değiştirme yaptıkları ve hasara uğradıkları anlaşılmaktadır.



Tablo 4. Geçirimsizlik Deney Sonuçları

		K20	UK	K20-K5	UK-SD
Kılcal su geçirimsizliği (mm)	1 saat	0,35	0,15	0,49	0,12
	1 gün	0,60	0,26	1,06	0,19
	7 gün	0,98	0,39	1,92	0,30
Yüzeysel su geçirimsizliği $\times 10^{-3} \text{ml/m}^2/\text{sn}$	10dk	4,77	3,68	7,59	2,60
	30 dk	3,03	3,03	6,08	1,73
	60 dk	3,03	2,17	4,33	1,73
Basıncı su geçirimsizliği (mm)	Max.	30	18	50	24
	Ortalama	6,8	3,6	4,5	3,1
Klor difüzyon katsayısı $(\text{m}^2/\text{sn})\times 10^{-12}$		4,5	1,7	11,1	1,1
Elektriksel iletkenlik (Coulomb)		1395	777	2315	110

Tablo 5. Isıl genişleme, serbest kuruma rötresi ve sülfat genişmesi deney sonuçları

		K20	UK	K20-K5	UK-SD
Isıl genişleme katsayısı $\times 10^{-6}$		8,8	7,1	9,7	6,8
Serbest kuruma rötresi şekil değişimi (%)	1. gün	0,05	0,02	0,04	0,02
	7.gün	0,15	0,03	0,12	0,03
	28.gün	0,40	0,07	0,32	0,06
Sülfat genişmesi (%)		0,05	0,01	0,04	0,01

#### 4. SONUÇLAR

Mikrokalsit katkısı kullanılarak, betonlarda istenen işlenebilirlik, hava sürüklenme ve basınç dayanımı değerleri sağlanmıştır. Ancak, kalsitli betonlar, uçucu kül ve silis dumanı içeren betonlarla aynı kıvam (çökme) değerine sahipken, yayılma değerleri daha düşük kalmış, daha hızlı sertleşmiş ve çökme kaybına uğramışlardır.

Erken yaşlarda kalsit içeren betonlar daha yüksek basınç ve yarma çekme dayanımlarına sahipken, ilerleyen yaşlarda uçucu kül ve silis dumanı içeren betonlar puzolanik etkinin daha belirgin olması nedeniyle daha yüksek dayanımlara sahip olmuşlardır. Kırılma enerjisinde ise 28 gün sonunda en yüksek değere silis dumanı ve uçucu külü birlikte içeren beton sahip olmuştur. Kalsitli betonlar, erken yaşlarda sahip oldukları yüksek elastik modülü, ısı gelişimi, ısı genleşme katsayısı ve kuruma rötresi nedeniyle yüksek erken yaş çatlak riski taşıdıkları görülmüştür.

Su-ince madde oranı 0,33 olan K20 ve UK karışımları ile su-ince madde oranı 0,37 olan K20-K5 ve UK-SD karışımları incelendiğinde, benzer su-ince madde oranına sahip karışımların birbirine yakın 28. gün basınç dayanım değerlerine sahip oldukları ancak, kalsit katkılı betonların su ve klor geçirimsizliğinde artış olduğu görülmüştür. Kalsit katkılı betonların serbest rötre değerlerinin de yüksek olduğu düşünülürse, kalsitin uçucu kül ve silis dumanı kadar reaktif olmaması nedeniyle içyapıda birbiriyle bağlantılı daha fazla kapiler boşluk bulunduğunu ve dolayısıyla geçirimsizliğin ve buharlaşma kaybının daha fazla olduğu söylenebilir.

Kalsitli betonların, uçucu kül ve silis dumanı içeren betonlara göre daha geçirimsiz ve sülfat dayanıklılığının düşük olmasından, kullanılacakları yerlerin seçiminde özen gösterilmesi ve kullanıldıklarında ek önlemler alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

### **Kaynaklar**

- [1] Petersson, Ö., Limestone Powder as Filler in Self-Compacting Concrete– Frost Resistance, Compressive Strength and Chloride Diffusivity, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, p. 391-396, 2002.
- [2] Bonavetti V., Donza H., Menendez G., Cabrera O., Irassar E.F., Limestone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy, Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 865–871, 2003.
- [3] Matschei T., Lothenbach B., Glasser F.P., The role of calcium carbonate in cement hydration, Cement and Concrete Research, Vol. 37, pp. 551–558, 2007.
- [4] Çankayalı, A., Gökçe, M., Levent, K. Y., Taze Beton Bünyesindeki İnce Malzeme Hamuru Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu Bildiriler Kitabı, syf 25-42, 2009.
- [5] Vikan H., Justnes H., Rheology of cementitious paste with silica fume or limestone, Cement and Concrete Research, Vol. 37, pp. 1512–1517, 2007
- [6] Gökçe, M., Dalmıs, K., Simsek, O., Farklı Tip Akıskanlaştırıcı Katkı ile Değişik Oranlarda Mermer Tozu İkame Edilen Betonların Performansları, Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu Bildiriler Kitabı, syf 215-224, 2009.
- [7] Yahia A., Tanimura M., Shimoyama Y., Rheological properties of highly flowable mortar containing limestonefiller-effect of powder content and W/C ratio, Cement and Concrete Research, Vol. 35, pp. 532– 539, 2005.

- [8] Felekoğlu, B., Tosun, K., Baradan, B., Altun, A., Uyulgan, B., The Effect of Fly Ash and Limestone Fillers on the Viscosity and Compressive Strength of Self-Compacting Repair Mortars, *Cement and Concrete Research*, 36, pp 1719–1726, 2006.
- [9] Zhu W., Gibbs J.C., Use Of Different Limestone And Chalk Powders in Self-Compacting Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, pp 1457–1462, 2005.
- [10] Elkhadiri I., Diouri A., Boukhari A., Mechanical Behaviour Of Various Mortars Made By Combined Fly Ash And Limestone In Moroccan Portland Cement, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1597–1603, 2002.
- [11] Benachour Y., Davy C.A., Skoczylas F., Houari H., Effect Of A High Calcite Filler Addition Upon Microstructural, Mechanical, Shrinkage And Transport Properties Of A Mortar, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, pp 727–736, 2008.
- [12] Tsvivilis S., Tsantilas J., Kakali G., Chaniotakis E., Sakellariou A., The permeability of Portland limestone cement concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 1465–1471, 2003.
- [13] Lee S.T., Hooton R.D., Jung H.S., Park D.H., Choi C.S., Effect Of Limestone Filler On The Deterioration Of Mortars And Pastes Exposed To Sulfate Solutions At Ambient Temperature, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, pp. 68–76, 2008.
- [14] Esping O., Effect of limestone filler BET(H<sub>2</sub>O)-area on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, pp. 938–944, 2008.