

# Farklı Su Geçirimsizlik Katkıların Betonun Basınç Dayanımı ve Geçirgenlik Özeliğine Etkisi

**Ali MARDANI-AGHABAGLOU**

Doktora öğrencisi  
Ege Üniversitesi  
İzmir Türkiye

**Gökhan Yılmaz**

Draco Yapı Kimyasalları  
İzmir, Türkiye

**Hojjat HOSSEINNEZHAD**

Yüksek lisans öğrencisi  
Ege Üniversitesi  
İzmir, Türkiye

**Kambiz RAMYAR**

Prof.Dr  
Ege Üniversitesi  
İzmir, Türkiye

## ÖZET

Bu çalışmada, altı farklı su-geçirimsizlik katkının, 0.50 ve 0.60 olmak üzere iki farklı su/çimento oranına sahip betonun basınç dayanıma ve geçirgenlik özeliğine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, her su/çimento oranı için su geçirimsizlik katkısı içermeyen kontrol serisine ilaveten, altı farklı su geçirimsizlik katkısı kullanılarak altı farklı karışım üretilmiştir. Karışımlarda 25 mm en büyük tane çapına sahip kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Tüm karışımların kıvamı naftalin esaslı süper akışkanlaştırıcı katkısı kullanımıyla  $190\pm 10$  mm olarak sabit tutulmuştur. Karışımların hava içeriği ve birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır. Tüm karışımların 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmesine ilaveten beton numunelerinin 28 günlük geçirgenlik özellikleri su emme, kılcal su emme, klor geçirgenliği ve permeabilite deneyleri yapılarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre su geçirimsizlik katkısı kullanımı betonun basınç dayanımını ve geçirgenlik özelliğini iyileştirmiştir.

## GİRİŞ

Betonun sülfata, asite, karbonatlaşmaya, donatı paslanmasına, donma-çözünmeye ve alkali silis reaksiyonuna karşı direnci geçirgenliği ile ilintilidir [1-5]. Dolayısıyla betonun geçirgenlik ve difüzyon katsayısı, beton yapısının kalıcılığını etkileyen en önemli faktörlerdir [6-9]. Difüzyon betonun yüksek konsantrasyonlu bölgesinden iyonların veya rutubetin düşük konsantrasyonlu bölgesine geçişi olarak tanımlanmaktadır. [10-13]. Bilindiği gibi betonun geçirgenliği, kapiler boşluk hacmi ve boşlukların birbiri ile bağlantılı olup olmaması durumuna göre değişmektedir [3, 14, 15]. Beton karışımlarında kullanılan agregaların geçirgenliği, karışım oranları, ince malzeme miktarı, agrega-hamur ara yüzeyi, yerleştirme, sıkıştırma ve kür koşulları gibi değişkenler beton geçirgenliğini etkilemektedir. Aynı zamanda ortam sıcaklığı ve nem döngülerinden kaynaklanan mikro-çatlaklar da betonun geçiş özelliğini önemli ölçüde artırabilir [16-19].

Betonun geçirgenliğini azaltmak için mineral ve kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Mineral katkıları daha ince olduklarından ve puzolanik reaksiyon gösterdiklerinden dolayı betonda çimento yerine veya filler olarak kullanıldığında, kapiler boşlukları azaltarak ve agrega-hamur ara yüzeyini iyileştirerek, betonun geçiş özelliklerini iyileştirmektedir [20-22]. Günümüzde beton teknolojisinin gelişimiyle beraber mineral katkıları dışında farklı mekanizmalara sahip sıvı veya toz halinde su geçirimsizliği sağlayan (SG) kimyasal katkıları üretilmektedir. Bu katkıların bir kısmı (geçirgenlik azaltıcı katkıları) betonun bünyesine taze halde iken katılır ve kapiler boşlukları tıkayarak geçirimsizlik sağlar. Diğer kısmı ise (rutubet önleyici katkıları) betonun yüzeyine uygulandığı gibi bünyesine de uygulanabilir. Bu katkıları betona su itici özellik kazandırarak geçirimsizlik sağlar [13, 23]. Bu çalışma kapsamında kullanılan katkıları geçirgenlik azaltıcı türdendir.

Kimyasal ve mineral katkıların, betonun geçiş özelliğine etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada [24], 550 kg/m<sup>3</sup> çimento içeren ve mineral katkı içermeyen kontrol karışımına ilaveten, farklı oranlarda uçucu kül, cüruf, kireçtaşı tozu, bazalt tozu ve mermer tozu, çimento ile ikame edilerek farklı kendiliğinden yerleşen karışımlar hazırlanmıştır. Yazarlar, geçirgenlik açısından en iyi performansın %60 cüruf ve %40 portland çimentosu içeren karışımına ait olduğunu söylemiştir.

Bu çalışmanın amacı, sıvı veya toz halinde piyasada bulunan SG katkılarının düşük ve orta dayanıma sahip betonların taze hal ve geçiş özelliğine etkisini incelemektir.

## Deneysel Çalışma

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarları verilmektedir.

## Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu çalışmada bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [25] standardına uygun bir tip CEM I 42.5R portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun üretici firma tarafından verilen kimyasal bileşimi, mekaniksel ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Deneysel çalışmada, 0-3, 5-15 ve 15-25 mm olmak üzere üç farklı boyutta kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. En büyük tane boyutu 25 mm olan kırma kireçtaşı agregaların elek analizi sonucu dikkate alınarak beton karışımlarında kullanılan oranları (0-3 mm) %50, (5-15 mm) %20 ve (15-25 mm) %30 olarak belirlenmiştir. Agregaların özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi, TS EN 1097-6 [26] standardına uygun olarak belirlenmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri, agrega karışımının gradasyonu ve ilgili standart sınırları sırasıyla Tablo 2 ve Şekil 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekaniksel özellikleri

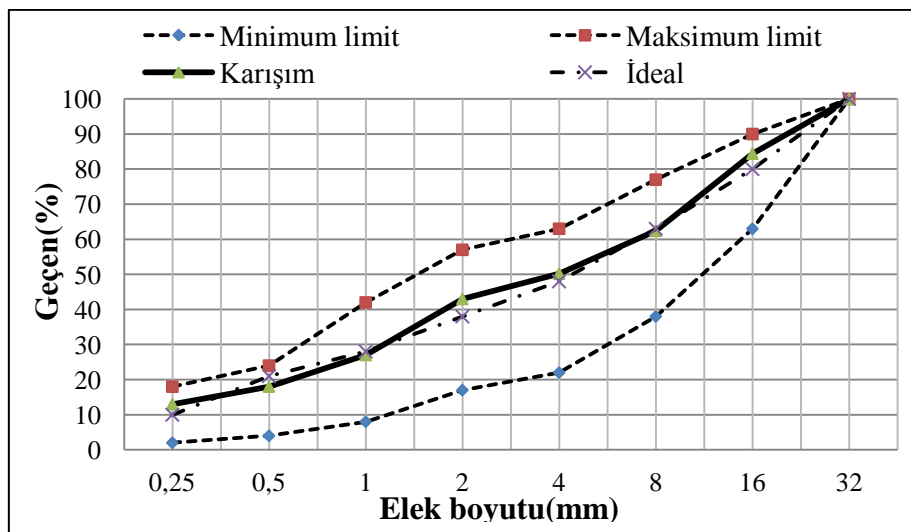
Oksit (%)	Çimento	Ana bileşenler	
SiO <sub>2</sub>	20.63	C <sub>3</sub> S (%)	54.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.41	C <sub>2</sub> S (%)	18.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.58	C <sub>3</sub> A (%)	5.63
CaO	63.71	C <sub>4</sub> AF (%)	10.90
MgO	1.32	<b>Mekaniksel özellikleri</b>	
SO <sub>3</sub>	2.65	Basınç dayanımı (MPa)	2-gün 27.6
Na <sub>2</sub> O+0.658 K <sub>2</sub> O	0.39		7-dün 45.6
Cl <sup>-</sup>	0.0102		28-gün 57.7
Çözünmeyen kalıntı	0.72	<b>İncelik</b>	
Kızdırma kaybı	2.51	Özgül yüzey (Blaine, cm <sup>2</sup> /g)	3885
<b>Toplam</b>	<b>99.93</b>	0.090 mm elekte kalıntı (%)	0.2
		0.032 mm elekte kalıntı (%)	7.0
<b>Fiziksel özellikleri</b>			
Özgül ağırlık			3.15
Priz süresi (Dakika)	Başlangıç		149
	Bitiş		188
Hacim sabitliği (Le Chatelier, mm)			1.0

**Tablo 2.** Agreganın fiziksel özellikleri

	0-3 mm	5-15 mm	15-25 mm
Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı	2.67	2.70	2.71
Su emme kapasitesi (%)	2.2	0.65	0.45

SG katkılarının beton geçirgenliğine etkisini incelemek amacı ile üçü sıvı ve üçü toz halinde olmak üzere toplam altı farklı SG katkısı, çimento ağırlığının %2 mertebesinde kullanılmıştır. Kullanılan katkıların üretici firma tarafından verilen özellikleri çizelge 3’te verilmiştir.

0.5 ve 0.6 olmak üzere iki farklı su/çimento (S/Ç) oranına sahip ACI 211 [28] yöntemine uygun olacak şekilde tasarlanan betonlar mikserde hazırlandıktan sonra SG katkıları miksere eklenip 2 dakika boyunca taze betonla karıştırılmıştır. 1 m<sup>3</sup> için gerekli gerçek malzeme miktarları Çizelge 4’te özetlenmiştir. Hazırlanan karışımlar üzerinde TS EN 12350-2 [29] standardına uygun olacak şekilde çökme deneyi yapılmıştır. Karışımların kıvamı 190±10 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen kıvamı sağlamak için çimento ağırlığının %0.8 ile %1.3 arasında naftalin esaslı süper akışkanlaştırıcı katkısı kullanılmıştır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkının üretici firma tarafından verilen özellikleri Çizelge 3’te verilmiştir. Her karışımın içerdiği hava yüzdesi ASTM C 231 [30] standardına göre belirlenmiştir. Ayrıca taze ve sertleşmiş beton karışımlarının birim hacim ağırlıkları da TS EN 12350-6 [31] standardına göre belirlenmiştir. Karışımların 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları TS EN 12390-3 [32] standardına göre belirlenmiştir. 28 günlük beton numuneleri üzerinde ASTM C 642-97 [33], TS EN 12390-8 [34], ASTM C 1585 [35] ve ASTM C 1202 [36] standartlarına göre sırasıyla, su emme, permeabilite, kılcal su emme ve klor geçirgenliği deneyleri yapılmıştır.

**Şekil 1.** Kullanılan agreganın gradasyonu ve TS 802 [27] standardı sınırları

**Tablo 3.** Su geçirimsizlik katkılarının üretici firma tarafından verilen bazı özellikleri

No	Tür	Bağlı yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Katı madde miktarı (%)	PH değeri	Klorür içeriği	Alkali miktarı (%) (Na <sub>2</sub> O)	Kimyasal katkı kullanım aralığı (%)
					(%) (katkı kütlesi oranınca)		
A	Sıvı	1.1650	20.78	10.30	<0.1	<10	0.8-3.0
B	Sıvı	1.1860	21.76	10.58	<0.1	<10	0.8-3.0
C	Sıvı	1.1780	21.17	10.62	<0.1	<10	0.8-3.0
D	Toz	3.17	98.16	10.17	-	-	0.8-3.0
E	Toz	2.00	97.63	10.15	-	-	0.8-3.0
F	Toz	3.00	99.71	10.35	-	-	0.8-3.0
<b>Süper akışkanlaştırıcı katkısı</b>							
<b>Fluicon 275</b>	Sıvı	1.183	40.17	9.15	<0.1	<5	0.8-2.0

### Deney Sonuçları ve Tartışma

#### SG katkılarının beton karışımlarının su ihtiyacına etkisi

Tablo 4'te özetlenen malzeme miktarları dikkate alındığında, SG katkısı içermeyen kontrol karışımında 20 cm çökme değerini elde etmek için çimento ağırlığının %1.3'ü kadar süper akışkanlaştırıcı katkısı kullanılmıştır. Sıvı SG katkısı içeren karışımları incelediğimizde, aynı çökme değerini elde etmek için çimento ağırlığının %0.8'i kadar, toz SG katkısı içeren karışımlarında ise çimento ağırlığının %0.9-1'i arasında süper akışkanlaştırıcı katkı gerekmiştir. Kontrol karışımına kıyasla SG katkılı betonların daha az süper akışkanlaştırıcı gereksinimi, bir ölçüde SG katkıların su azaltıcı etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. SG katkıların bu özeliği dikkate alınarak beton karışımında aynı S/Ç oranı için çimento içeriği azaltılarak ekonomi sağlanabilir.

**Tablo 4.** 1 m<sup>3</sup> beton üretiminde kullanılan gerçek malzeme miktarları ve çökme değerleri

Karışım	S/Ç oranı	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (SSD, kg)			SA** (kg)	SG*** (kg)	Hava (%)	Çökme (mm)	BHA (kg/m <sup>3</sup> )
				0-3 (mm)	0-5 (mm)	5-15 (mm)					
K-0.5*		356	178	943	381	574	5	0,0	3.0	190	2360
A-0.5*		353	177	930	376	566	3	7,1	2.6	200	2369
B-0.5	0.5	359	179	945	382	576	3	7,2	2.8	200	2334
C-0.5		355	177	934	378	568	3	7,1	2.9	200	2360
D-0.5		356	178	941	381	573	4	7,1	2.3	190	2361
E-0.5		355	178	937	379	571	4	7,1	2.6	190	2362
F-0.5		355	177	937	379	571	4	7,1	2.7	200	2364
K-0.6			293	177	965	390	588	4	0,0	3.5	180
A-0.6	0.6	292	176	954	386	581	2	5,8	3.2	190	2371
B-0.6		292	176	955	386	582	2	5,8	3.3	180	2369
C-0.6		292	176	956	387	582	2	5,8	3.4	180	2367
D-0.6		293	177	964	390	586	3	5,9	3.1	190	2366
E-0.6		293	177	961	389	586	3	5,9	3.2	190	2367
F-0.6		293	177	961	388	585	3	5,9	3.0	190	2369

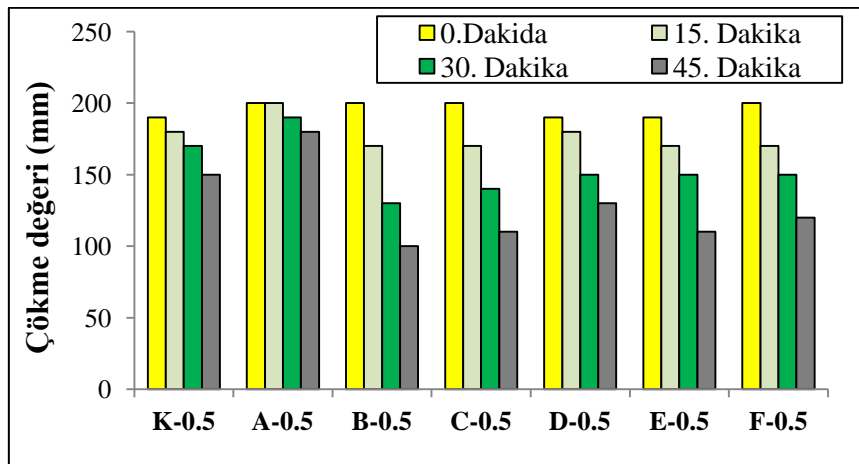
\* SG katkısı içermeyen ve 0.5 su/çimento oranına sahip beton k-0.5 olarak ve A tipi SG katkısı içeren, 0.5 su çimento oranına sahip beton A-0.5 olarak adlandırılmaktadır. \*\* Naftalin esaslı süper akışkanlaştırıcı. \*\*\* Farklı SG katkıları.

### SG katkılarının beton karışımının taze hal özelliklerine etkisi

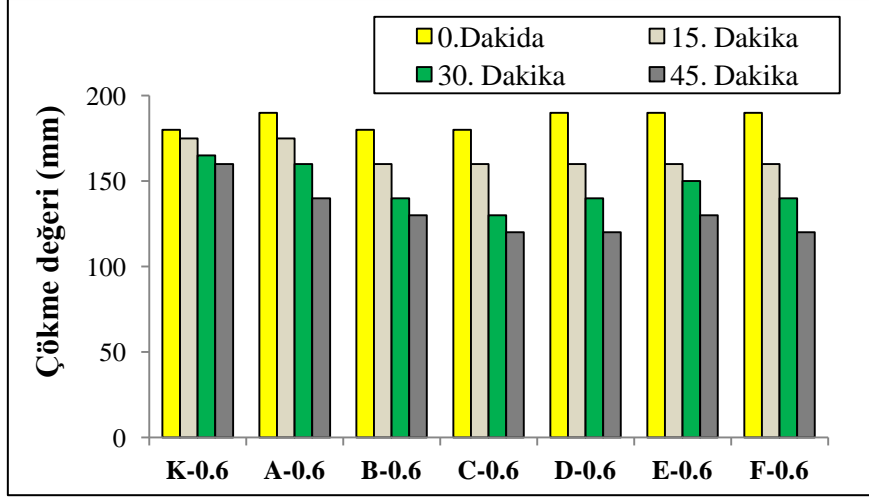
Taze beton karışımlarının hava içeriği, kıvamı ve birim hacim ağırlığı Tablo 4’de verilmektedir. Kontrol ve SG katkısı içeren karışımların taze hal özelliklerini birbiri ile kıyasladığımızda, SG katkısı kullanımının beton karışımlarının taze hal özelliklerine olumsuz bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. SG katkısı içeren karışımların hava içeriği kontrol karışımlarına kıyasla çok olmasa dahi bir miktar azalmıştır. Bu olayın, söz konusu karışımlarda, aynı çökme değerini elde etmek için daha düşük dozajda süper akışkanlaştırıcı katkısı kullanılmasından ve süper akışkanlaştırıcı katkıının hava sürükleyici etkisinden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca toz halinde olan SG katkısı içeren karışımların hava içeriği sıvı halde olan SG katkılı karışımlara göre az olsa da bir miktar daha düşük olmuştur. Bunun nedeni, mineral katkı ve çözünmeyen kristaller içeren toz SG katkısı kullanımıyla beraber karışımdaki toplam ince malzeme miktarının artmasından ve karışımdaki boşlukları tıkamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Beklendiği gibi 0.5 S/Ç oranına sahip karışımların içerdiği hava yüzdesi 0.6 S/Ç oranına sahip karışımlara kıyasla daha azdır.

### SG katkılarının beton karışımının kıvam kaybına etkisi

Beton karışımlarının 0, 15, 30 ve 45 dakika sonraki çökme değerleri Şekil 2’de gösterilmektedir. SG katkısı içeren karışımların kıvam koruma özellikleri, kontrol karışımına göre kıyaslandığında, şekilden de anlaşılacağı gibi SG katkılı karışımların kıvam kaybı 45 dakikanın sonunda daha fazla olmuştur. Üretici firma beyanına göre süper akışkanlaştırıcı katkılarda yer alan kıvam koruyucu yardımcı maddeler toz ve sıvı SG katkılarda yer almamaktadır.



(a)

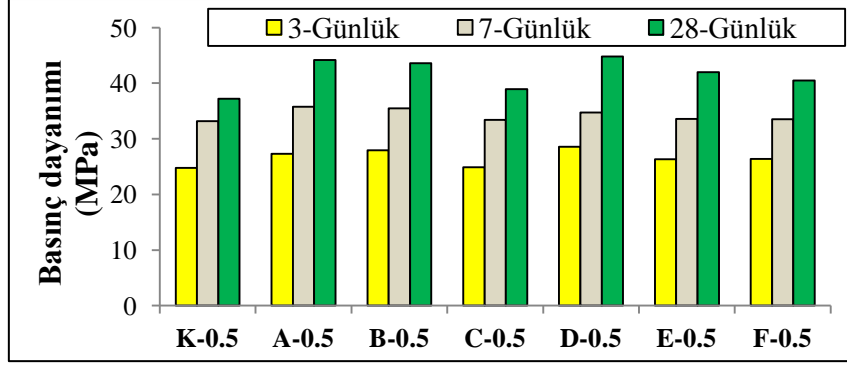


(b)

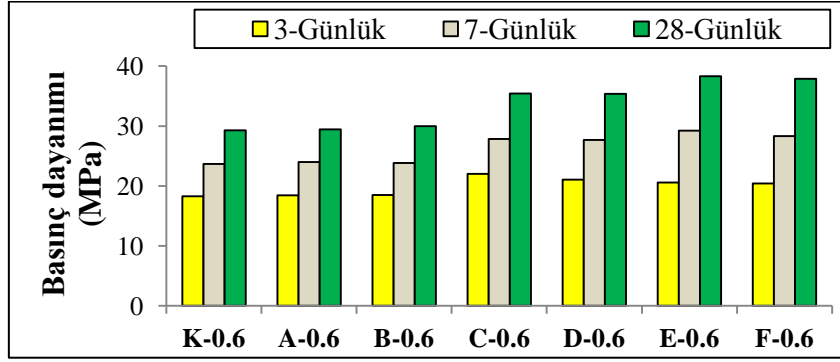
**Şekil 2.** Karışımların 0,15, 30 ve 45 dakikalık çökme değerleri: (a): 0.5 S/Ç oranına sahip karışımlar, (b): 0.6 S/Ç oranına sahip karışımlar

### **SG katkılarının beton karışımının basınç dayanımına etkisi**

Tüm karışımların 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 3'te gösterilmektedir. Deney sonuçları üç numunenin ortalaması olarak alınmıştır. Karışımların dayanım sonuçları incelendiğinde, her iki S/Ç oranına sahip karışımlarda SG katkısı kullanımıyla basınç dayanımlarında 0.5-30%'a kadar artışlar gözlemlenmiştir. Bu olayın nedeni SG katkısı içeren karışımlarda aynı kıvam değerine ulaşmak için daha az süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmasından ve süper akışkanlaştırıcı katkının hava sürükleyici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca dayanımlardaki artış, toz SG katkısı içeren karışımlarda daha çarpıcı olmuştur. Bu artışın nedeni süper akışkanlaştırıcı katkıdan kaynaklanan hava kabarcıklarının azalmasının dışında, mineral katkı ve çözünmeyen kristaller içeren toz SG katkısı kullanımı ile karışımların toplam ince malzeme miktarının artmasından, dolayısıyla beton karışımlarında var olan boşlukların azalmasından kaynaklandığı varsayılmaktadır. Sonuçlar, SG katkısı kullanımının beton karışımlarının basınç dayanımına olumlu etkisi olduğunu kanıtlamıştır.



(a)



(b)

**Şekil 3.** Beton karışımlarının farklı yaşlarda basınç dayanımları: (a): 0.5 S/Ç oranına sahip karışımlar, (b): 0.6 S/Ç oranına sahip karışımlar

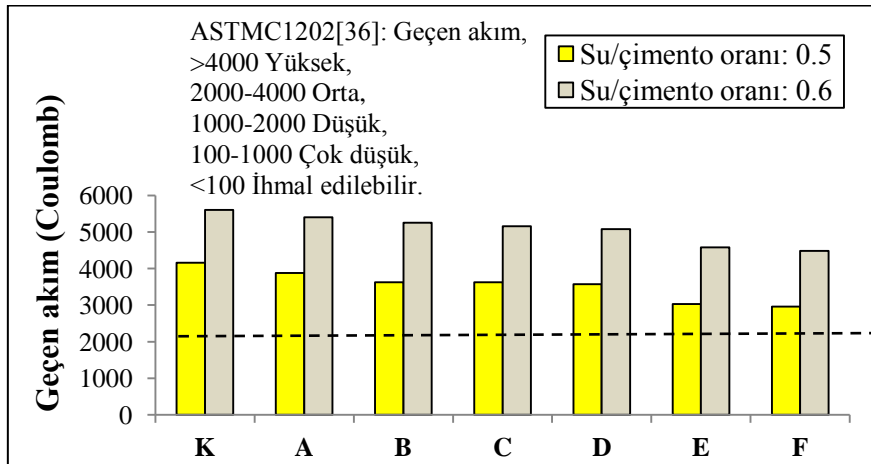
### SG katkılarının sertleşmiş betonun geçirgenlik özeliğine etkisi

Karışımların 28 günlük klor geçirgenliği, su emme, kılcal su emme ve permeabilite deney sonuçları sırasıyla Şekil 4-7’de gösterilmektedir. Beklendiği gibi 0.5 S/Ç oranına sahip beton karışımları, 0.6 S/Ç oranına sahip beton karışımlarına kıyasla daha geçirimsiz olmaktadır. Su geçirimsizlik katkısı kullanıldığı takdirde beton karışımlarının geçirgenliği azalmaktadır. Ancak geçirgenlik miktarındaki düşüş, daha düşük S/Ç oranına sahip betonlarda daha belirgin olmaktadır. Bu duruma neden olarak 0.5 S/Ç oranına sahip beton karışımlarının 0.6 S/Ç oranına sahip karışımlara göre daha az boşluk içermesinden ve geçirimsizlik katkısının bu boşlukları kapatabilmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Klor geçirgenliği deney sonuçlarını incelersek, ASTM C 1202 [36] Standardına göre 0.5 S/Ç oranına sahip betonların klor geçirgenliği orta seviyede, 0.6 S/Ç oranına sahip beton karışımların ise yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Her iki S/Ç oranına sahip beton karışımlarında da, SG katkısı kullanıldığı takdirde, karışımların klor geçirgenliği, SG katkısı içermeyen kontrol karışımlarına nazaran yaklaşık olarak %7-30 arasında azalmaktadır. Bu azalma toz halindeki SG katkısı içeren karışımlarda daha fazla olmaktadır. Kılcal su emme deney sonuçlarını

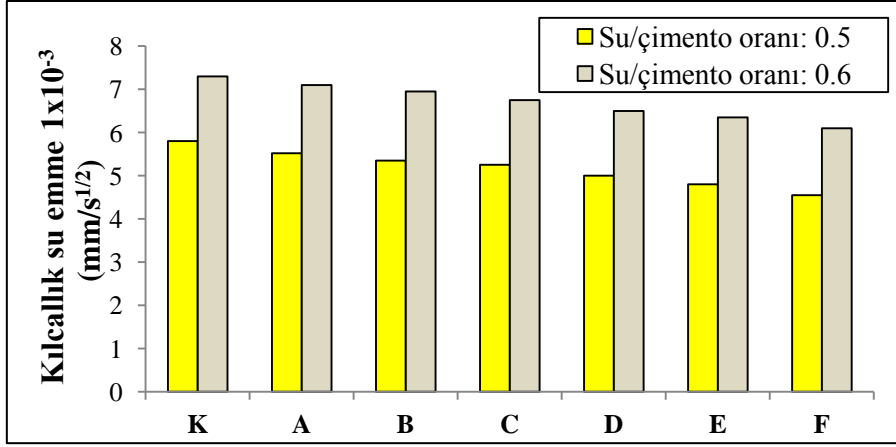


gözden geçirdiğimizde, SG katkısı kullanımı karışımların kılcal su emme değerlerini kontrol karışımlarına kıyasla %4-22 arasında azaltmaktadır. Bu azalma toz halindeki SG katkısı içeren karışımlarda daha fazla olmaktadır. Su emme deney sonuçları dikkate alındığında, tüm beton karışımların su emme oranı CEB-FIP'ya [37] göre orta seviyede olmaktadır. SG katkısı kullanıldığı takdirde beton karışımların su emme oranı azalmaktadır. Ancak su emme oranındaki azalma daha düşük S/Ç oranına sahip betonlarda daha belirgindir. Ayrıca toz SG katkısı, sıvı SG katkısına göre beton karışımlarının su emme oranlarında daha fazla düşüşe neden olmaktadır. Beton karışımlarının permeabilite deney sonuçlarını dikkate aldığımızda da su emme deney sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Su emme oranı, kılcal su emme, klor geçirgenliği ve permeabilite deney sonuçları arasındaki ilişkiler Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi tüm geçirgenlik özellikleri arasında kuvvetli doğrusal bir ilişki mevcuttur.

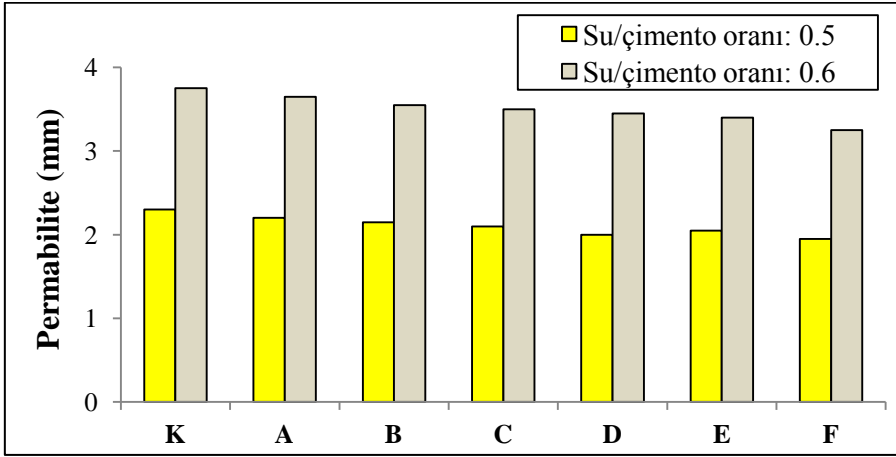
SG katkısı kullanıldığı takdirde beton karışımlarının geçirgenlik özelliklerinin iyileşmesinin nedeni, bu karışımlarda aynı kıvam değerine ulaşmak için daha az süper akışkanlaştırıcı katkısı kullanılmasından ve süper akışkanlaştırıcı katkısından kaynaklanan hava sürükleyici etkisinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunların dışında, mineral katkı ve çözünmeyen kristaller içeren toz halindeki SG katkısı kullanımı durumunda karışımın toplam ince malzeme miktarı artmakta, dolayısıyla beton karışımlarında var olan boşluklar azalmaktadır. Üretici firma beyanına göre, sıvı SG katkıları içerdiği hava düzenleyici ve çeşitli kimyasal maddeler ile betonun geçirgenliğini etkilemektedir. Deney sonuçlarına dayanarak, SG katkısı kullanımı beton karışımlarının geçirgenliğini düşürmektedir.



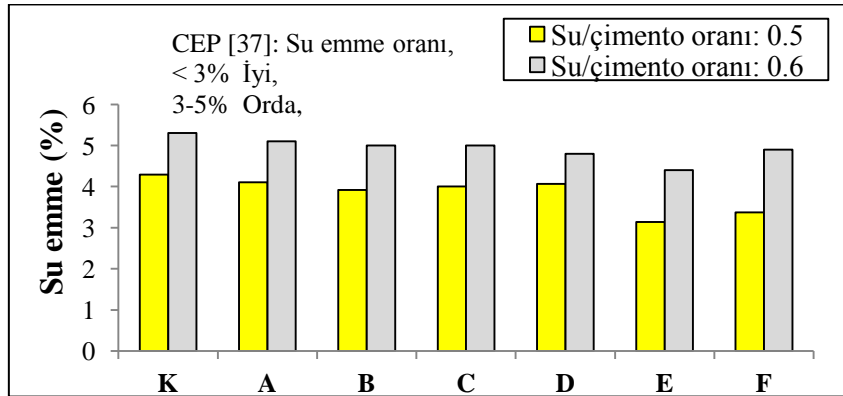
Şekil 4. Karışımların klor geçirgenliği test sonuçları



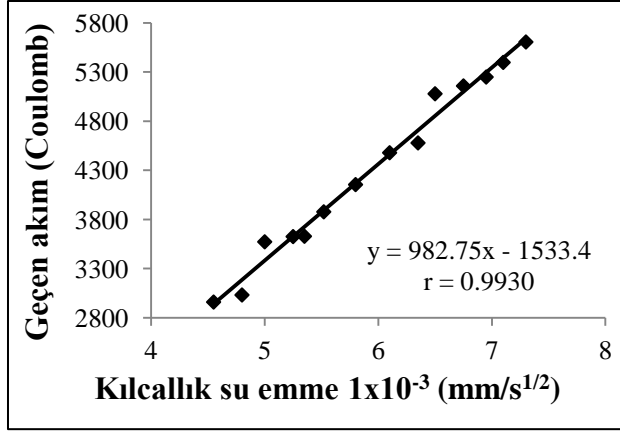
Şekil 5. Karışımların kılcallık su emme test sonuçları



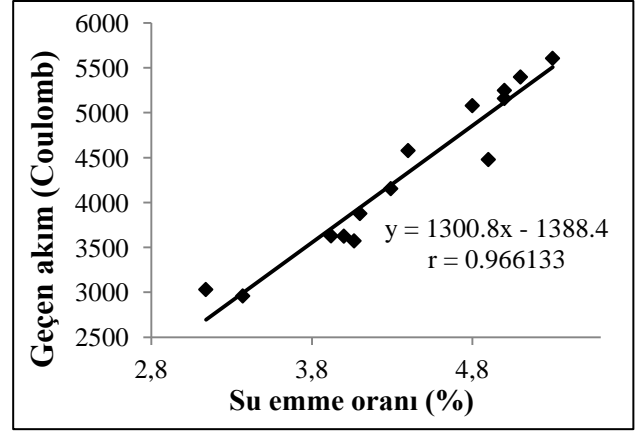
Şekil 6. Karışımların permabilite deney sonuçları



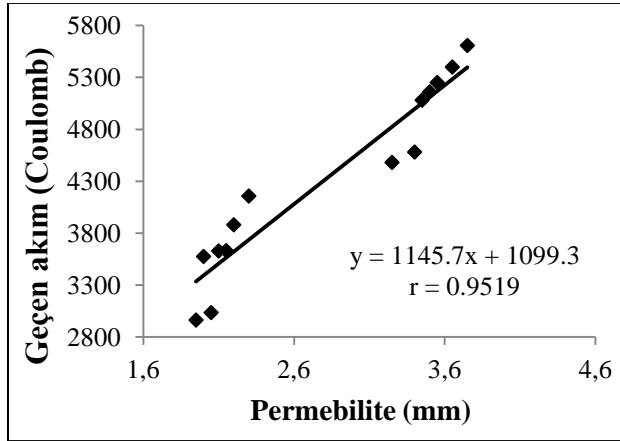
Şekil 7. Karışımların permabilite deney sonuçları



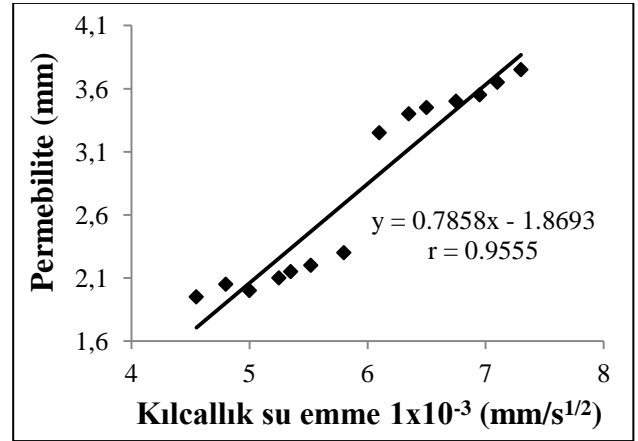
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 8. Geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkiler

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı su-geçirimsizlik katkıları tiplerinin, 0.50 ve 0.60 olmak üzere iki farklı su/çimento oranına sahip betonun basınç dayanımına ve geçirgenlik özeliğine etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarına dayanarak aşağıdaki önemli bulgular elde edilmiştir.

SG katkısı kullanımı beton karışımlarının taze hal özelliklerine olumsuz etkisi olmamıştır. Ancak SG katkısı içeren karışımlarda kıvam kaybı 45 dakikanın sonunda kontrol karışımına kıyasla daha fazla olmuştur.

SG katkısı kullanımı beton karışımlarının basınç dayanımını artırmıştır.

SG katkısı kullanımı beton karışımlarının geçirgenlik değerini azaltmıştır. Bu azalma daha düşük S/Ç oranına sahip karışımlarda daha belirgin olmuştur.

Geçirgenlik değerlerini azaltmada toz halindeki SG katkısı daha başarılı sonuçlar vermiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, su geçirimsizlik katkılarının temini için Draco Yapı Kimyasalları Ltd. Şti.'ne teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- [1] Kiachehr Behfarnia, Omid Farshadfar., "The effects of pozzolanic binders and polypropylene fibers on durability of SCC to magnesium sulfate attack", *Const Build Mater.*, Vol. 38, 2013, pp 64–71.
- [2] O. Kayali, B. Zhu., "Corrosion performance of medium-strength and silica fume high-strength reinforced concrete in a chloride solution", *Cem Concr Compos.*, Vol. 27, 2005, pp 117–124.
- [3] Ali Mardani-Aghabaglou, Özge Andiç-Çakır, Kambiz Ramyar., "Freeze–thaw resistance and transport properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method", *Cem Concr Compos.*, Vol. 37, 2013, pp 259–266.
- [4] Chul-Woo C, Chang-Seon S, Young-Su K., "Chloride ion diffusivity of fly ash and silica fume concretes exposed to freeze–thaw cycles", *Const Build Mater.*, Vol. 24, 2010, pp 1739–1745.
- [5] Lindgård J, Andiç-Çakır Ö, Fernandes I, Rønning T.F., Thomas M.D.A., "Alkali–silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing", *Cem Concr Res.*, Vol. 42, 2012, pp 223–243.
- [6] Lu X., Chen M., Fang Yuan F., "Evaluation of concrete permeability by critical voltage", *Cem Concr Res.*, Vol. 30, 2000, pp 973–975.
- [7] Aitcin P.C., "The durability characteristics of high performance concrete: a review", *Cem Concr Compos.*, Vol. 25, 2003, pp 409–420.
- [8] Chang P.K., Peng Y.N., Hwang C.L., "A design consideration for durability of high-performance concrete", *Cem Concr Compos.*, Vol. 23, 2001, pp 375–380.
- [9] Zhutovsky S., Kovler K., "Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete", *Cem Concr Res.*, Vol. 42, 2012, pp 20–26.
- [10] Li Z., *Advanced concrete technology*, 1. ed. Hoboken, New Jersey: WILEY; 2011.
- [11] Mehta P.K., Monteiro P.J.M., *Concrete: microstructure, properties, and materials*. 3th ed. McGraw- Hill; 2006.
- [12] Neville A, *Concrete technology*, 2nd ed., Longman, UK, 2010.

- [13] Ramachandran V.S., Concrete admixtures handbook: properties, science, and technology. 2nd ed., Noyes, New Jersey, U.S.A. 1995.
- [14] Hoseini M., Bindiganavile V., Banthia N., "The effect of mechanical stress on permeability of concrete: A review", Cem Concr Compos., Vol. 31, 2009, pp 213–220.
- [15] Kearsley E.P., Wainwright P.J., "Porosity and permeability of foamed concrete", Cem Concr Res., Vol. 31, 2001, pp 805–812.
- [16] Shi C., "Effect of mixing proportions of concrete on its electrical conductivity and the rapid chloride permeability test (ASTM C1202 or ASSHTO T277) results", Cem Concr Res., Vol.34, 2004, pp 537–545.
- [17] Choinska M., Khelidj A., Chatzigeorgiou G., Pijaudier-Cabot G., "Effects and interactions of temperature and stress-level related damage on permeability of concrete", Cem Concr Res., Vol. 37, 2007, pp 79–88.
- [18] Yi S.T., Hyun T.Y., Kim J.L., "The effects of hydraulic pressure and crack width on water permeability of penetration crack-induced concrete", Const Build Mater., Vol. 25, 2011, pp 2576–2583.
- [19] Gardner D.R., Lark R.J., Barr B., "Effect of conditioning temperature on the strength and permeability of normal- and high-strength concrete", Cem Concr Res., Vol. 37, 2005, pp 1400–1406.
- [20] Asbridge A.H., Chadbourn G.A., Page C.L., "Effects of metakaolin and the interfacial transition zone on the diffusion of chloride ions through cement mortars", Cem Concr Res., Vol. 31, 2001, pp 1567–1572.
- [21] Valipour M., Pargar F., Shekarchi M., Khani S., "Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study", Const Build Mater., Vol. 41, 2013, pp 879–888.
- [22] Gruber K.A., Ramlochan T., Boddy A., Hooton R.D., Thomas M.D.A., "Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin", Cem Concr Compos., Vol. 23, 2001, pp 479–484.
- [23] Roger Rixom R., Mailvaganam N., Chemical admixtures for concrete. 3th ed., E & FN Spon, London, England, 1999.
- [24] Uysal M., Yilmaz K., Ipek M., "The effect of mineral admixtures on mechanical properties, chloride ion permeability and impermeability of self-compacting concrete", Const Build Mater., Vol. 27, 2012, pp 263–270.
- [25] TS EN 197-1 (2010) Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [26] TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [27] TS 802, Beton Karışımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009

- [28] ACI 211, Standard Practice For Selecting Proportions For normal, Heavyweight and Mass Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998.
- [29] TS EN 12350-2, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [30] ASTM C 231, Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method, Annual Book of ASTM Standards, 2003.
- [31] TS EN 12350-6, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [32] TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [33] ASTM C 642-97., Standard test method for density, absorption and voids in hardened concrete. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA; 1995.
- [34] TS EN 12390-8, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [35] ASTM C 1585, Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes. Annual Book of ASTM Standards, American Society of Testing Materials, Philadelphia, PA, USA; 2004.
- [36] ASTM C 1202, Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. Annual Book of ASTM Standards American Society of Testing Materials, Philadelphia, PA, USA; 2005.
- [37] CEB-FIP (1989) Diagnosis and assessment of concrete structures – state of art report. CEB Bull 192:83-85