

KİMYASAL KATKILARIN UZUN SÜRELİ DAVRANIŞLARI

M. Hulusi ÖZKUL

Hasan YILDIRIM

İstanbul Teknik Üniversitesi

İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

ÖZET

Hızlandırıcı, geciktirici, su azaltıcı, üstün akışkanlaştırıcı (süper akışkanlaştırıcı), hava sürükleyici ve don önleyici katkıların beton özellikleri üzerine etkisi hem ilk yaşlarda, hem de 8 yıllık bir süre sonunda ele alındı. Taze beton özellikleri dışında, sertleşmiş betonun mekanik özellikleri, rötre, karbonatlaşma ve kulcallık özellikleri incelendi.

1. GİRİŞ

RILEM Teknik Komitesi'nin [1] tanımına göre beton, harç ya da çimento şerbeti katkıları inorganik ya da organik kökenli, katı ya da sıvı durumda ve çimento ya da bağlayıcı maddenin ağırlığının %5'ini aşmayan ve hidrate bağlayıcı sistemi ile fiziksel, kimyasal ya da fiziko-kimyasal etkileşmeye giren ve betonun, harcın ya da şerbetin taze durumda, katılaşma aşamasında ya da sertleşmiş durumdaki bir ya da birden fazla sayıdaki özelliklerini değiştiren maddelerdir. Bu tanım uçucu kül, cüruf, doğal puzolan ya da silis dumanını katkı dışında bırakmaktadır. Türkiye'de yaygın olan sınıflandırmaya göre ise yukarıda verilen 1. grup katkılar "kimyasal katkılar", sonuncular ise "mineral katkılar" olarak tanımlanmaktadır.

RILEM [1], katkıları temel etkilerine göre su azaltıcı, yüksek derecede su azaltıcı (üstün akışkanlaştırıcı), priz geciktirici, priz hızlandırıcı, sertleşmeyi hızlandırıcı ve hava

sürükleyiciler olarak sınıflandırmıştır. ASTM C494 ise katkıları A'dan E'ye kadar harflerle göstermiş ve sırası ile su azaltıcılar, geciktiriciler, hızlandırıcılar, su azaltıcı-geciktiriciler ve su azaltıcı-hızlandırıcılar olarak adlandırmıştır. BS 5075 : Part 1 Standardında ASTM'de verilen ilk 3 katkı ele alınmıştır.

TS 3452 “Kimyasal Beton Katkıları” Standardına göre katkılar, priz süresini hızlandırıcı (H), geciktirici (G), karışım suyunu azaltıcı (A), karışım suyunu azaltıcı ve hızlandırıcı (AH), azaltıcı ve geciktirici (AG), karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcı (YA) ve yüksek miktarda su azaltıcı ve geciktirici (YAG) olmak üzere 7 gruba ayrılmıştır.

ASTM C494 Standardı kimyasal katkıların davranışları hakkında sınırlar belirtmiştir. Buna göre geciktirici ve hızlandırıcılar için priz başlangıcı ve sona erme sürelerindeki değişim için sınırlar verilmiştir. Su azaltıcı özellik gösteren katkıların (Tip A, D ve E) en az %5 su azaltıcı etki göstermesi ve 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında kontrol betonuna göre en az %10 luk artış gerçekleştirmesi gerekmektedir. Hızlandırıcı katkılarda (Tip C ve E) 3 günlük basınç dayanımında %25 lik artış öngörülmektedir. Geciktirici katkılı betonlarda tüm yaşlarda kontrol betonunun %90'ına erişmesi yeterli görülmektedir. Aynı standard 6 aylık ve 1 yıllık basınç dayanımlarında geciktirici (Tip B) ve hızlandırıcı (Tip C) katkılar için %10 luk düşüşe (kontrol betonuna göre) izin verirken diğer katkılar için kontrol betonu ile en az aynı dayanıma sahip olmasını istemektedir.

TS 3452 standardı da ASTM C494'e benzer şekilde priz süreleri ve dayanımlar ile ilgili sınırlar getirmektedir. Bu standardın 1988 yılındaki yeni baskısında yüksek oranda su azaltıcı (YA) ve yüksek oranda su azaltıcı ve geciktirici (YAG) sınıfları da eklenmiş, (YA) katkıları için 3 günlük basınç dayanımında kontrol karışımına göre en az %25, (YAG) için ise %10 luk artış öngörülmüştür. Aynı standardda, katkılı betonların rötre değerlerinde kontrol betonuna göre en çok %35 lik artışa izin verilmektedir.

Bu çalışmada kimyasal katkılı betonlarda basınç dayanımının 8 yıl sonunda ulaştığı değerler erken yaşlardakilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca betonarme yapılarda paspayının nötrleşerek içinde bulunan donatının korozyona açık duruma gelmesine yol açan karbonatlaşma derinliğinin 8 yıl sonunda ulaştığı değerler tartışılmıştır.

Katkılı betonlarda karbonatlaşma derinliği ile kılcallık katsayısı arasındaki ilişki ve uzun süreli rötre davranışı aynı betonlarda incelenen diğer özelliklerdir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. MALZEMELER

2.1.1. Çimento

Deneylerde PÇ 32.5 (üretim tarihindeki adı PÇ 325) çimentosu kullanıldı ve mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 1 de verildi.

Tablo 1. Çimentonun Özellikleri.

Özgül ağırlık (kg/dm^3) : 3.09	Priz süresi : Başlama : 2 saat 30 dak		
Le Chatelier (mm) : 1+1	Bitiş : 3 saat 40 dak		
Elekte kalan : 90 μm : %1	Normal Kıvam suyu : %26		
: 200 μm : %0.6			
	3 gün	7 gün	28 gün
Basınç Dayanımı (MPa) :	20.8	26.3	37.1
Eğilme Dayanımı (MPa) :	4.3	5.1	6.7

2.1.2. Agrega

İnce agregası olarak maksimum boyutu 4.76 mm ve özgül ağırlığı 2.59 kg/dm^3 olan dere kumu kullanıldı. İri agregası olarak ise özgül ağırlığı 2.715 kg/dm^3 olan kalker esaslı kırmataş 25-20 mm, 20-12.5 mm, 12.5-10 mm ve 10-5 mm lik gruplara ayrıldı ve daha sonra her gruptan eşit ağırlıkta alınıp karma yapıldı.

2.1.3. Kimyasal Katkılar

Beton üretiminde üretici firma tarafından verilen özellikleri Tablo 2’de yer alan katkıları belirtilen oranlarda kullanıldı. Beyaz toz halinde olan Gunit katkısı dışındakiler sıvı şeklinde olup pH dereceleri 7-9 arasındadır ve renkleri kahve ya da koyu kahverengidir.

Tablo 2. Kimyasal Katkıların Özellikleri.

Katkı	Katkı Tipi		Özgöl Ağırlık (kg/dm ³)	Toplam Katı Madde (%)	Ana Etkisi	Katkı Oranı (%)
	ASTM C494	TS 3452				
Plast B	A	A	1.16-1.18	44	Su azal.	0.5-0.7
Plast-Retar	D	AG	1.15-1.17	36	Su azal.- Geciktir.	0.6
Super Plast	F		1.19-1.21	36	Su azal.- (Yüksek)	3
Super Plast-Retar	G		1.17-1.19	37	Su azal.- Geciktir.	1
WP-Plast	A	A	1.16-1.18	44	Su azal.	0.5
WR-4	E	AH	1.29-1.32	53	Su azal.- Hızlandır.	1.1
WR-4a	E	AH	1.30	50	Su azal.- Hızlandır.	1.1
Retar	D	G	1.10-1.12	20	Geciktir.	1.1
A3	C	H	1.30-1.32	36	Hızlandır.	4
Gunit	C	H	0.60-0.80	100	Hızlandır.	5
Aer	ASTM C260	TS3456 S	1.03-1.05	10.5	Hava sürük.	0.035
Aer-Extra	“	“	1.13-1.15	36	Hava sürük.	0.1
Antifrost	--	--	1.30	46	Dona karşı	2

* Çimento ağırlığının yüzdesi

2.2. BETON KARİŞİMİ

ASTM C494 Standardında verildiği şekilde 4 parçaya ayrılarak oluşturulan iri agregadan %65, ince agregadan (kum) %35 oranında karıştırıldı. Çimento dozajı 300 kg/m^3 civarında tutuldu. Betonun kıvamı $6 \pm 1 \text{ cm}$ olacak şekilde su miktarı belirlendi.

2.3. DENEYLER

3 noktalı eğilme ve rötre deneyleri için $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$ boyutlarında prizmalar üretildi. Basınç deneyleri eğilme deneyi uygulanan parçalar üzerinde $10 \times 10 \text{ cm}$ kesitli çelik plaklar kullanılarak gerçekleştirildi. 8 yıllık deneyler için ise prizmalardan $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ lik küpler kesildi. Kılcallık katsayısı, prizmadan kesilen parçalar üzerinde, 70°C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene kadar kurutulduktan sonra yan yüzeyleri parafinle kaplanıp bir yüzü su ile temas edecek şekilde su üzerine yerleştirilerek 64 dakikalık süre içinde kılcal yolla emilen su ölçülerek belirlendi. Emilen su (Q)- sürenin kare kökü ($\sqrt{t}$) eğrisinin başlangıçtaki eğiminden aşağıdaki bağıntı gereğince kılcallık katsayısı (k) hesaplandı:

$$Q = k \sqrt{t} \quad (1)$$

Karbonatlaşma derinliği, kesilen yüzeylere fenolfitalein çözeltisi (%5 lik) uygulanarak ölçüldü.

2.4. DENEY PROGRAMI

Basınç ve eğilme deneyleri 3, 7 ve 28 günde gerçekleştirildi. 1. gün kalıpta kalan örnekler daha sonra 20°C sıcaklıktaki su içinde deney gününe kadar saklandı.

Rötre ölçümleri 1. gün sonunda kalıptan çıkarılan prizmatik örneklerle ölçme çerçevesi takılarak yaklaşık 100 gün süre ile belirli aralıklarla yapıldı. Örnekler $\%55 \pm 5$ bağıl nemli ve $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki ortamda 8 yıl süre saklandı ve bu süre sonunda yeniden ölçüm gerçekleştirildi.

20° ± 2°C sıcaklıktaki ortamda 8 yıl süre saklandı ve bu süre sonunda yeniden ölçüm gerçekleştirildi.

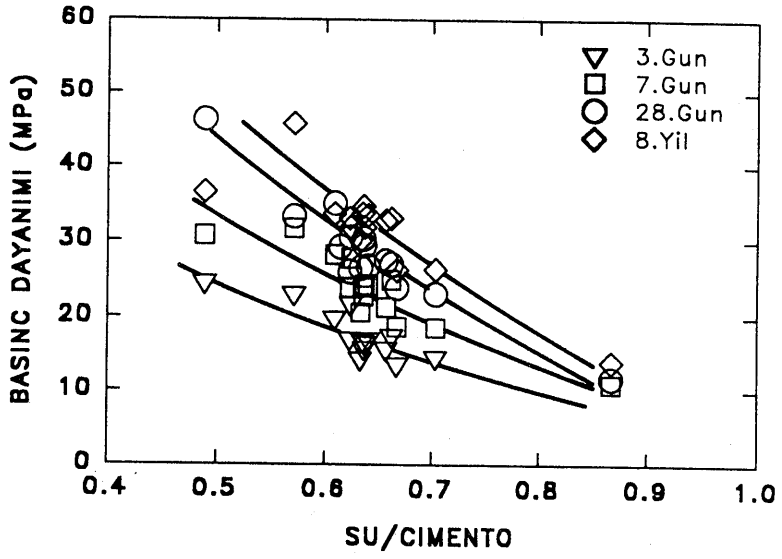
8 yıl süre sonunda rötre ölçümlerinin yapıldığı 10x10x50 cm lik prizmalar 10x10x10 cm lik küpler şeklinde kesildi ve basınç, kılcallık ve karbonatlaşma deneyleri bu örnekler üzerinde uygulandı. Rötre örnekleri ilk üretimlerinden sonra kalıplarından çıkarılıp zemin üzerine oturtularak ilk 100 gün bu durumda saklandı, daha sonra üst üste depolandı. Bu saklanma şekli nedeniyle örneklerin alt yüzlerinde buharlaşma kaybı üst ve yan yüzlerine göre daha yavaş oldu. Bu nedenle kılcallık ve karbonatlaşma deneyleri alt, üst, yan ve kesilen yüzeylerde ayrı ayrı yapıldı.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI

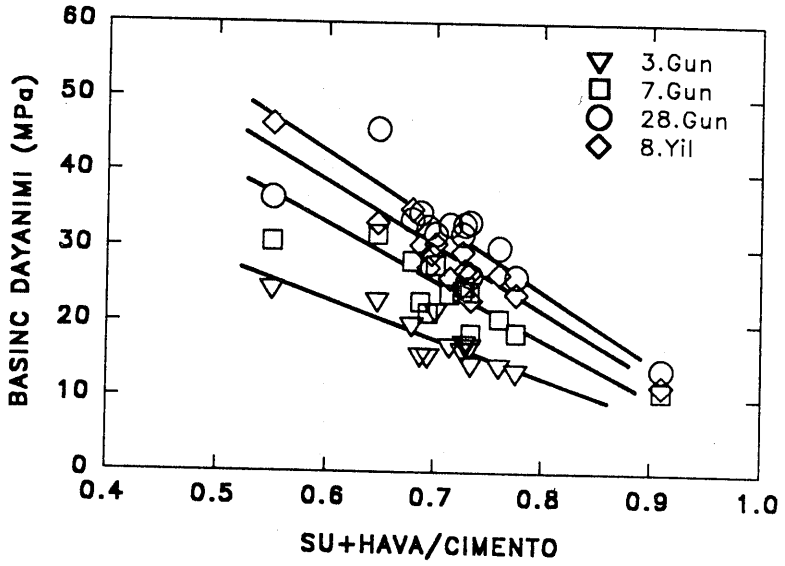
3.1. BASINÇ DAYANIMI

Basınç dayanımının su/çimento oranı ile değişimi Şekil 1 de verilmiştir. Bazı karışımlarda katkı oranı yüksek olduğu için su miktarına katkıdan gelecek ek su gözönüne alınmış ve katkıdaki katı madde oranına göre hesaplanmıştır. Çok sayıda farklı katkı söz konusu olmasına rağmen her yaşa ait sonuçların bir eğri etrafında toplandığı söylenebilir. Burada asıl ilginç olan nokta, 8 yıllık dayanımların aynı betonlara ait 28 günlük değerlerin altında kalmasıdır. Bu durum 8 yıllık betonların üretimi izleyen 1. gün sonunda kalıptan çıkarıldıktan sonra %55±5 bağıl nemli ortamda (havada) saklanırken, 28 günlük betonların deney gününe kadar su içinde bekletilmelerine bağlanabilir. Bu sonuç beton dayanımı üzerinde kürün ne denli önemli olduğunu sergilerken, 8 yıl gibi uzun sayılabilecek bir süre sonunda bile, yeterli nemi bulamayan betonların 28 gün süre ile su içinde saklanan ve bu süre sonunda kırılan betonların dayanımlarını yakalayamadığını göstermektedir. Kürün dayanım üzerine etkisi bir çok yayında vurgulanmıştır [2].

Şekil 2 de boşluk miktarını da gözönüne alan su+hava/çimento oranına bağlı olarak basınç dayanımındaki değişim yer almıştır. Buradaki dağılım Şekil 1 e göre daha fazladır; bu durum değişik katkıların oluşturduğu hava boşluklarının miktar ve boyutlarının farklı olmasından ileri gelebilir.



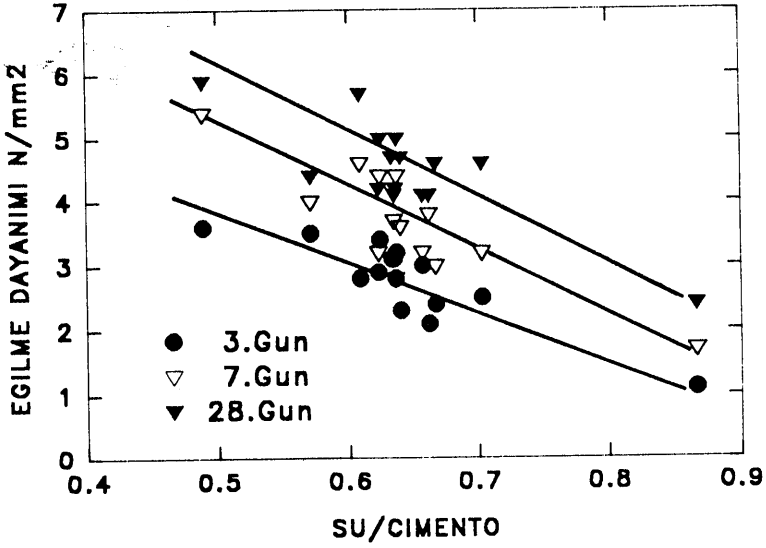
Şekil 1. Basınç dayanımının su/çimento oranı ile değişimi.



Şekil 2. Basınç dayanımının su+hava/çimento oranı ile değişimi.

3.2. EĞİLME DAYANIMI

3, 7 ve 28 günlük örneklere ait eğilme dayanımlarının su/çimento oranı ile değişimi Şekil 3 de verilmiştir. Eğilme dayanımının her yaş için su/çimento oranı ile doğrusala yakın değişim gösterdiği, ancak basınç dayanımında olduğu gibi sonuçların dağılımının fazla olduğu anlaşılmaktadır. Benzer durum su+hava/çimento oranı ile olan değişimde de aynıdır.



Şekil 3. Eğilme dayanımının su/çimento oranı ile değişimi.

3.3. KARBONATLAŞMA

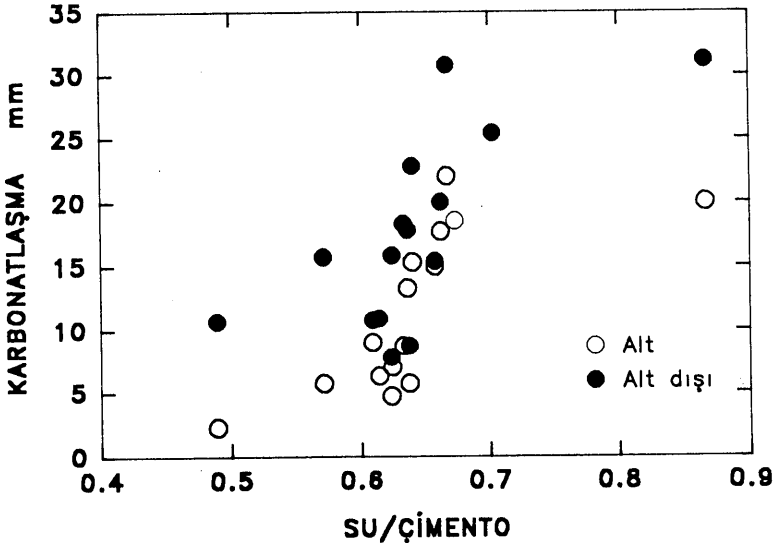
Karbonatlaşma derinliği kesilen yüzeylerde, deney örneklerinin ilk yaşlardaki saklanma şekline göre zemine oturduğu yüzey alt (taban), kalıp ile temas eden yüzeyler (yan) ve döküm yüzeyi (üst) olarak adlandırılarak ölçüldü. Buna göre yan ve üst yüzeylerdeki ölçülen değerler birbirine yakın olduğundan birlikte değerlendirildi ve alt yüzey ile karşılaştırıldı. Burada alt yüzeyin özelliği, ilk yaşlarda zemine oturmasından dolayı buharlaşmanın az olması, dolayısıyla ilk günlerde daha iyi kür görmesidir.

Şekil 4 ve 5 de karbonatlaşma derinliğinin su/çimento oranı ile değişimi verilmiştir. Beklenildiği gibi derinlik su/çimento oranı ile birlikte artmaktadır [3]. Katkısız betonda karbonatlaşma derinliği Gunit hızlandırıcı ve Aer hava sürükleyici katkı betonlardan sonraki en yüksek değere sahiptir. Aer hava sürükleyici katkı betonda bu durum sürüklenen hava kabarcıklarının uniform dağılmamasından ve boşlukların birbiriyle ilişkili olmasından ileri gelebilir. Gerçekten, sonraki bölümde ele alınacağı gibi sözkonusu bu karışımda kılcallık katsayısı, beklenenin tersine yüksek değer almıştır.

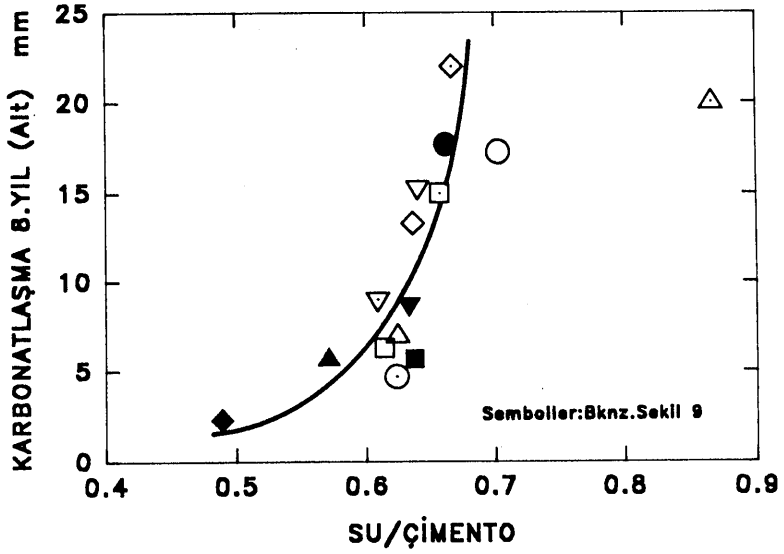
Diğer yandan, daha iyi kür gördüğüne inanılan alt yüzeyin karbonatlaşma derinliği, geri kalan 3 yüzey ortalamasından daha küçüktür. Bu durum Dhir ve arkadaşları [3] ve Loo ve arkadaşlarınca [4] da belirtildiği gibi karbonatlaşma üzerinde kürün önemini göstermektedir. 2 cm lik bir pas payı düşünülecek olursa, kür görmüş yüzeyde sadece Aer hava sürükleyici katkı betonda karbonatlaşma pas payını aşarken, ilk günlerde yeterli kür görmemiş diğer yüzeylerde bu sınırı aşan karışım sayısı 5'e çıkmaktadır. Ayrıca alt yüzeydeki karbonatlaşma 8 karışım için (bu katkılar su azaltıcı ve dispersif etki göstermektedir) 10 mm'nin altındadır. Katkısız beton, Gunit ve Aer katkı betonlardan sonra 3. büyük karbonatlaşmaya uğrayan karışımdır (Antifrost ile birlikte). Bu durum, özellikle su azaltıcı katkı kullanmanın karbonatlaşmayı azaltıcı etkisi sonucu, beton içindeki donatıyı korozyona karşı katkısız betondan daha iyi koruduğunu göstermektedir.

3.4. KILCALLIK

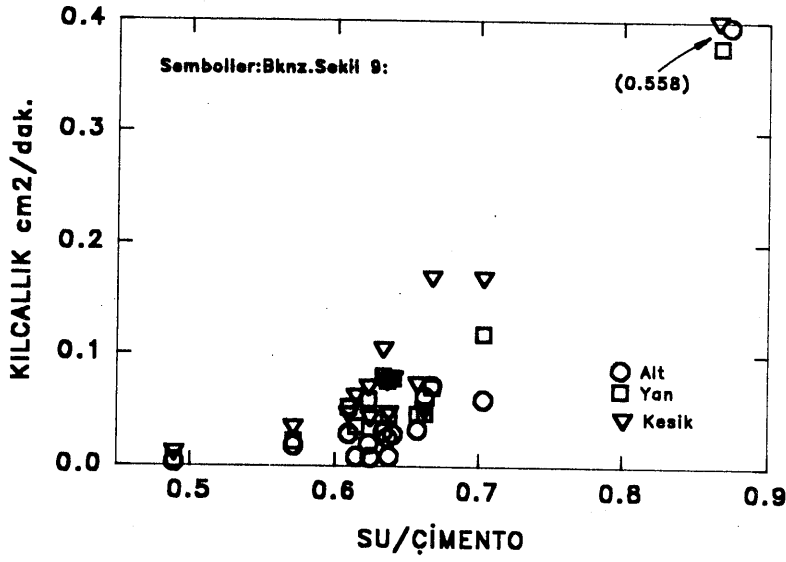
Kılcallık katsayısı 8 yıllık örnekler üzerinde ölçülerek su/çimento oranı ile değişimi Şekil 6 da verildi. Prizmatik örneklerden kesilen parçaların, önceki bölümde açıklandığı şekilde daha iyi kür gördüğü düşünülen alt yüz ile kalıp ile temas eden yan yüz ve kesilen yüz olmak üzere her karışım için 3 ayrı kılcallık katsayısı belirlendi ve Şekil 6 da birarada verildi. Şeklin incelenmesinden alt yüzeyde ölçülen kılcallık katsayısının en düşük değere sahip olduğu, onu yan yüz ve sonra kesik yüzeyin izlediği görülmektedir. Bu durum yine kür olayının önemini vurgulamaktadır [5,6]. Öte yandan, büyük su/çimento oranına sahip olan Gunit hızlandırıcı katkı beton ve Aer hava sürükleyici katkı beton dışındaki tüm katkı karışımların kılcallık katsayıları katkısız betondan daha küçüktür (Şekil 7). Bu betonların bazılarının su+hava/çimento oranları katkısız betonunkinden daha büyüktür. Buna karşın kılcallık katsayısının düşük kalması, özellikle akışkanlaştırıcı katkıların dispersif etkileri



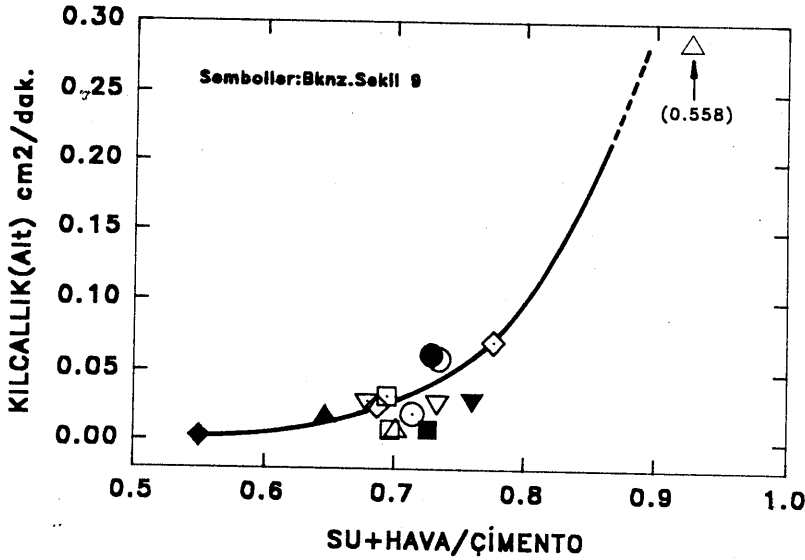
Şekil 4. Karbonatlaşma derinliğinin su/çimento oranı ile değişimi (8 yıllık).



Şekil 5. Örneklerin alt yüzeylerinde karbonatlaşma derinliğinin su/çimento oranı ile değişimi (8 yıllık).



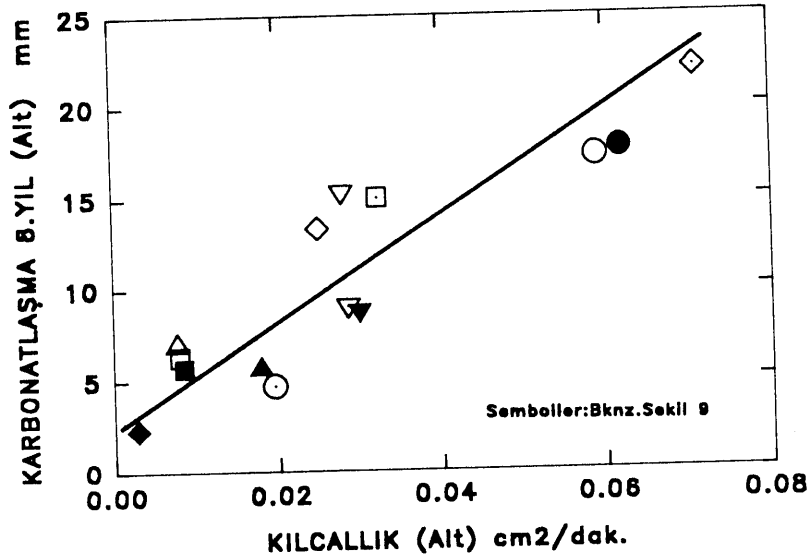
Şekil 6. Kılcallık katsayısının su/çimento oranı ile değişimi.



Şekil 7. Kılcallık katsayısının (alt yüzey) su+hava/çimento oranı ile değişimi.

nedeniyle daha geçirimsiz bir iç yapı oluşmasına bağlanabilir. Beklenildiği şekilde üstün akışkanlaştırıcılı betonun kılcallık katsayısı çok küçük değerde kalmıştır.

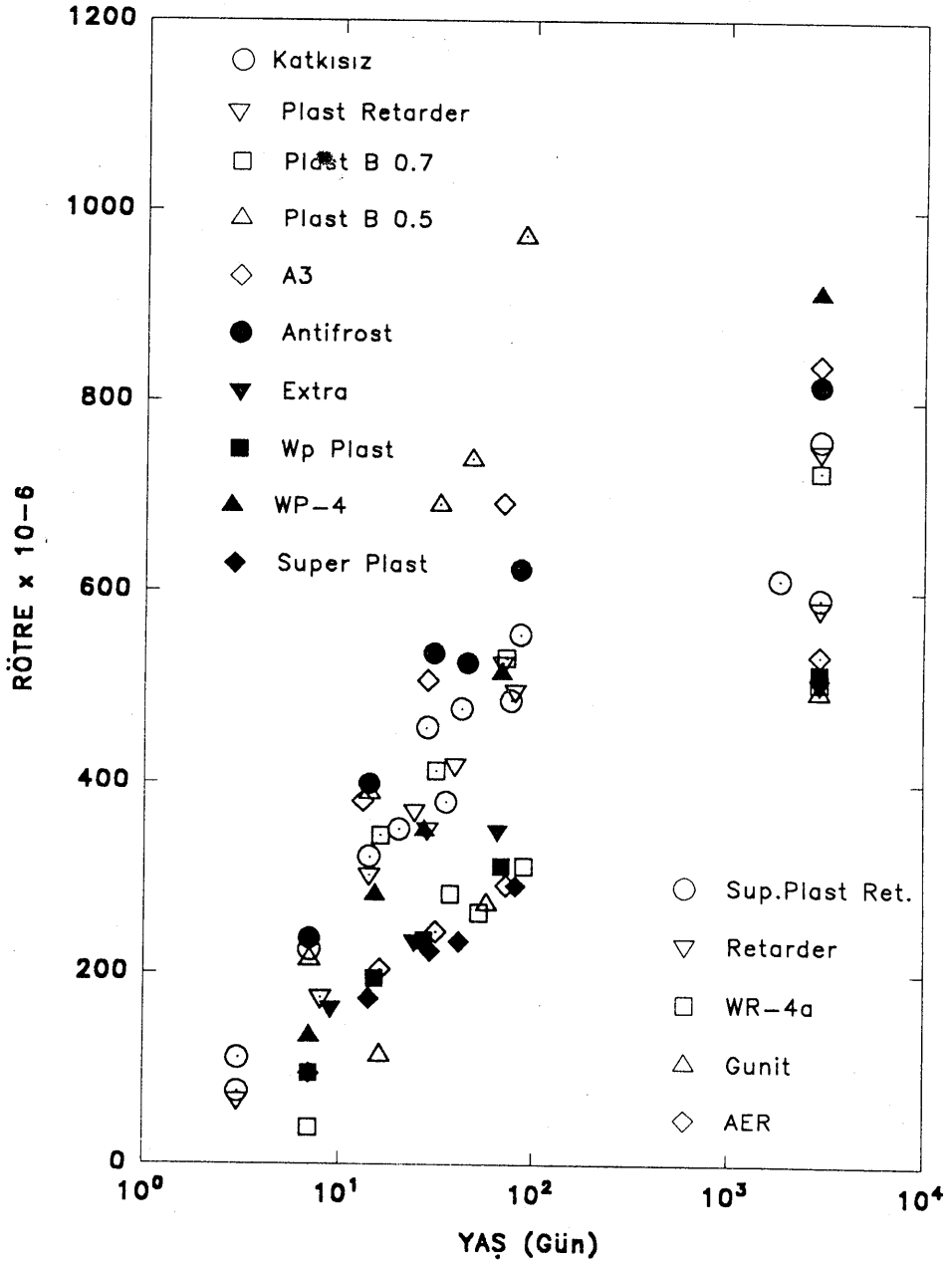
Su/çimento oranından ve katkıların dispersif etkisinden benzer şekilde etkilenen karbonatlaşma ve kılcallık özelliklerinin birbiriyle ilişkisi Şekil 8 de ele alınmıştır ve doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Benzer ilişki Schönlin ve Hilsdorf tarafından da gözlenmiştir [7].



Şekil 8. Karbonatlaşma-kılcallık ilişkisi.

3.5. RÖTRE

Bu çalışmada denenen 13 katkı ile katkısız karışıma ait örnekler üzerinde yaklaşık 100 güne kadar yapılan rötre ölçüm sonuçları ile 8 yıllık süre sonunda elde edilen sonuçlar Şekil 9 da birarada verilmiştir. Buna göre A3 (hızlandırıcı), WR-4 (su azaltıcı-hızlandırıcı), antifrost ve Plast- retar (su azaltıcı-geciktirici) katkılı karışımlar katkısız betondan daha fazla



Şekil 9. Rötrenin zamanla değişimi.

rötre yaparken Extra ve Aer (hava sürükleyici), WP-Plast (su azaltıcı), Plast B (su azaltıcı) ve Superplast katkılı olanlar daha az rötre göstermiştir.

Bu durumda, su azaltıcı katkıların yanında hava sürükleyici katkıların diğer katkılardan daha az rötreye neden olduğu, buna karşılık hızlandırıcı ve geciktirici katkıların daha çok rötre yaptığı anlaşılmaktadır. Genel olarak akışkanlaştırıcı ve geciktirici katkıların rötreyi %3-%132 arasında artırdığı belirtilmiştir [8]. Rötredeki bu artış boşluk yapısındaki incelmeye ve hidratasyon ürünlerinin artan yüzey alanlarına bağlanmıştır [9]. Geciktirici ile yapılan bir çalışmada [10], katkısız betona göre rötrede %18 artış elde edilmiştir.

Şekil 10 da rötrenin su/çimento oranı ile ve Şekil 11 de kılcallık katsayısı ile değişimi ele alınmıştır. Burada ilginç nokta hava sürükleyici iki katkı (Aer ve Extra) için kılcallık katsayısı büyük değer alırken rötrenin düşük kalmasıdır. Buna karşılık A3 ve WR-4 (hızlandırıcı) iki katkıda kılcallık küçük kalırken rötre büyük değerlere ulaşmıştır.

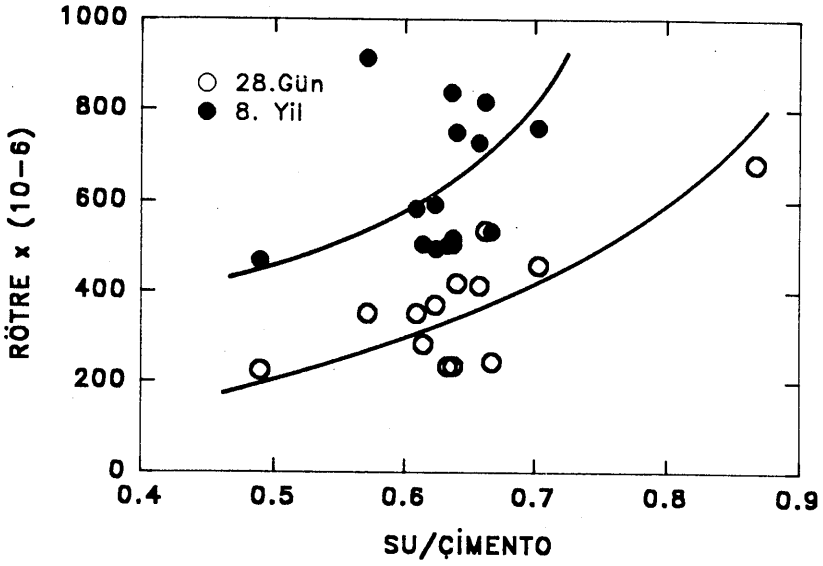
4. SONUÇLAR

1- İlk yaşlarda yeterli kür görmemiş 8 yıllık betonların dayanımları, kür görmüş aynı betonların 28 günlük dayanımlarına ulaşamamaktadır. Ancak akışkanlaştırıcı katkılı betonlar, kür görmeseler bile 8 yıl sonunda kür görmüş katkısız beton dayanımını (28 günlük) aşmaktadır. Bu durum katkı kullanmanın olumlu etkisini göstermektedir.

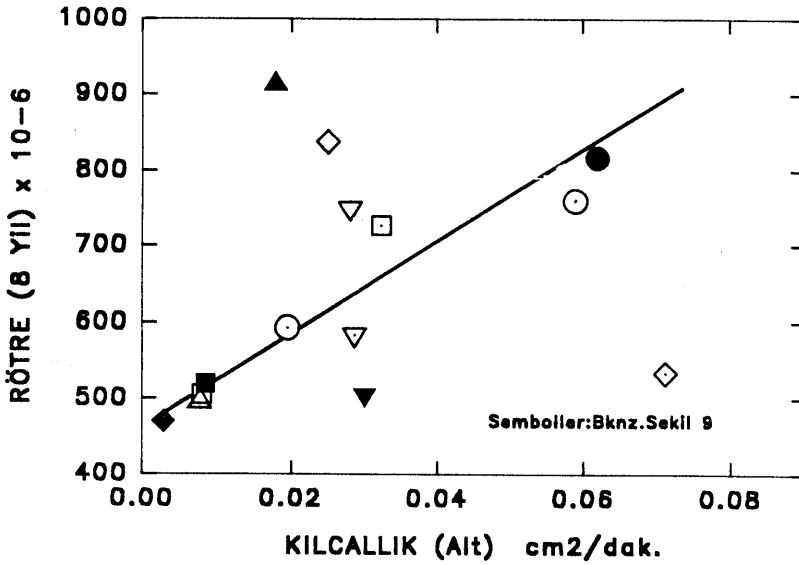
2- Karbonatlaşma üzerine ilk yaşlardaki kürün önemli etkisi vardır. Genel olarak akışkanlaştırıcı katkıların karbonatlaşma derinliğini azalttığı anlaşılmaktadır.

3- Erken yaşlardaki kür kılcal geçirimsizlik üzerine olumlu etki yapmaktadır. Ayrıca akışkanlaştırıcı katkılar kılcallık katsayısını azaltmaktadır. Kılcallık ile karbonatlaşma arasında doğrusal ilişki elde edilmiştir.

4- Genel olarak hızlandırıcı ve geciktirici özellik gösteren su azaltıcılar rötrei artırırken hava sürükleyici ve diğer su azaltıcılar rötrei azaltmaktadır.



Şekil 10. Rötrenin su/çimento oranı ile değişimi.



Şekil 11. Rötrenin kılcallık ile değişimi.

KAYNAKLAR

1. Paillere, A.M., Bassat, M.B. and Akman, S., "Guide for Use of Admixtures in Concrete", Mat. and Struc., Vol.25, 1992, pp.49-56.
2. Neville, A.M., "Properties of Concrete", Third edition, Pitman Publishing, London, 1981.
3. Dhir, R.K., Hewlett, P.C., and Chan, Y.N., "Near-Surface Characteristics of Concrete: Prediction of Carbonation Resistance", Mag. Con. Res., Vol.41, No.148, 1989, pp.137-143.
4. Loo, Y.H., Chin, M.S., Tam, C.T., and Ong, K.C.G., "A Carbonation Prediction Model for Accelerated Carbonation Testing of Concrete", Mag. Con. Res., Vol. 46, No.168, 1994, pp.191-200.
5. Parrott, L.J., "Water Absorption in Cover Concrete", Mat. and Struc., Vol.25, 1992, pp.284-292.
6. Sariçimen, H., Maslehuddin, M., Al-Tayyip, A.J., and Al. Mana, A.S., "Permeability and Durability of Plain and Blended Cement Concretes Cured in Field and Laboratory Conditions", ACI Mat. J., Vol.92, No.2, 1995, pp.111-116.
7. Schönlin, K., and Hilsdorf, H.K., "The Potential Durability of Concrete", ERMCO'89, Proceedings, Stavanger, Norway, 1989, pp.453-479.
8. Boorks, J.J., "Influence of Mix Proportions, Plasticizers and Superplasticizers on Creep and Drying Shrinkage of Concrete", Mag. Con. Res., Vol.41, No. 148, 1989, pp.145-150.
9. Mehta, P.K., "Concrete : Structure, Properties and Materials", Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1986, p.96.
10. Özkul, M.H., Başkoca, A., and Artırma, Ş., "Influence of Prolonged Agitation on Water Movement Related Properties of Water Reducer and Retarder Admixed Concretes" Cem. and Con. Res. dergisine gönderildi.