

AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILI BETONLARIN SABİT GERİLME ALTINDA SÜNME VE RÖTRESİNİN İNCELENMESİ

Kemalettin Yılmaz
Sakarya Üniversitesi
Adapazarı

Saim Akyüz
İTÜ İnşaat Fakültesi
İstanbul

Hasan Yıldırım
İTÜ İnşaat Fakültesi
İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, beton üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcıların betonun sünme ve rötresi üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. Bunun için biri katkısız, diğer ikisi farklı oranlarda katkılı olmak üzere üç ayrı beton türü üzerinde çalışılmıştır. Taze beton üzerindeki deneylerin yanısıra, sertleşmiş betonda da 3,7 ve 28 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri bulunmuştur. Bu betonların rötre deformasyonları ile sabit gerilme altında yaptığı sünme deformasyonları deneysel olarak bulunduktan sonra bu sonuçlar betonun sünmesini ifade eden çeşitli fonksiyonlara uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak betonun ileri yaşlardaki sünmesi en uygun fonksiyonla tahmin edilmeye çalışılmıştır.

1.GİRİŞ

Günümüzde yaygın bir biçimde kullanılan betonarme ve öngerilmeli betonarme elemanlarda rötre ve sünme önemli bir etkiye sahiptir. Betondaki çimentonun viskoz karakterinden kaynaklanan bu deformasyonlardan rötre, priz esnasında serbest halde betonun büzülme şeklinde yaptığı bir deformasyondur. Sünme ise katılmış betonda yük etkisiyle zamanla artarak oluşan bir deformasyondur. Sünme deformasyonları rötre ile birlikte yani rötreli sünme olarak ifade edilir.

Diğer taraftan akışkanlaştırıcı ve süperakışkanlaştırıcı maddelerinin, özellikle hazır beton üretiminin yaygınlaşması ile birlikte, Türkiye’de çok yaygın bir kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. Bu maddeler genel anlamda harç ve betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren, betonun ve inşaatın nihai özelliklerinde zararlı etki oluşturmeyen maddeler olarak tanımlanmaktadır [1].

Betonun yaptığı rötre ve sünme deformasyonlarının ölçülmesi hayli uzun zaman almakta ve sonuçların alınması için gecikmesine yol açmaktadır. Bu nedenle sünme deformasyonlarını seçilecek uygun matematiksel bağıntılarla tahmin etmek büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Betonda sünmeyi zamanın bir fonksiyonu olarak inceleyen birçok araştırmacı, bu konuda bazı matematiksel bağıntılar ileri sürmüşlerdir [2,3].

Verilen bu bağıntılarda betonun visko elastik bir davranış gösterdiği ortaya konularak, deneysel sonuçlar matematiksel bağıntılarla tanımlanabilmektedir. Bu amaca yönelik olmak üzere betonun sünmesini ifade için dört ayrı matematiksel bağıntı kullanılmıştır. Deney sonuçları bu fonksiyonlara uygulanarak bir karşılaştırma yapılmış ve bu deney sonuçlarını en iyi ifade eden fonksiyon bulunmaya çalışılmıştır.

2. AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI MADDELERİ

2.1 Özellikleri ve Kullanım Amaçları

Beton santrallerinin ülke genelinde yaygınlaşması ve sayılarının giderek artması, endüstrileşme ve rekabetin bir sonucu, olarak bu sektörde kalite bilinci gelişmekte ve buna paralel olarak da katkı kullanımı artmaktadır. Hazır beton firmalarının çoğunda artık akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmaktadır. Bu maddeler uygulamada genelde üç amaçla kullanılmaktadır [4,5].

- Donatı sıklığı, kesit darlığı ve ulaşılma güçlüğü olan yerlerde yerleşmeyi sağlamak ve işlenebilmeyi artırmak,
- Katkısız betonla aynı işlenebilmede olmak şartıyla su/çimento oranını azaltarak daha yüksek mukavemet kazanmak,
- Kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda, su/çimento oranını sabit tutarak aynı işlenebilmeyi elde etmek.

Ancak süperakışkanlaştırıcılar daha ziyade “akıcı beton” üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra bu katkı sayesinde çok düşük su/çimento oranına rağmen yeterli işlenebilirlikte yüksek mukavemetli beton elde edilebilmektedir. Hazır betonda, süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılması doğal olarak bazı ilave yararlar da sağlamaktadır; betoniyerde karışım düzelmekte, pompalanabilirlik kolaylaşmakta ve betonun betoniye çeperine yapışması azalmaktadır. Süperakışkanlaştırıcıların bu olumlu etkileri yanında olumsuz etkilerinin olabildiği de bilinmektedir. Bu maddeler kullanılarak elde edilen yüksek işlenebilme, çökme kaybıyla bu özelliğini 30 dakika içinde kaybetmeye başlamakta ve çökmedeki bu azalma zamanla artarak devam etmektedir [6]. Ancak oldukça küçük yüzdelerde dozaj tekrarı ile başlangıçtaki çökme iki saat sonunda tekrar elde edilebilmektedir.

Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri hava sürükleyerek çimento tanelerinin topaklaşmasının önlenmesinde etkili olurlar [7]. Bu maddelerin çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri sonucu tane yüzeyine çöklerler. Tane yüzeyine çökelen bu maddelerin oluşturduğu film dışarıya doğru (-) elektrik yüklüdür. Bu şekilde (-) yükle yüklenen taneler birbirini ittiklerinden bu maddelerin dağıtıcı etkisi ortaya çıkar. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinden kaymalarını kolaylaştırarak yağlayıcı etki göstermeleri, betonun iç sürtünmesini azaltır. Bu da betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına neden olur. Süperakışkanlaştırıcılar suyun yüzey gerilimini normal akışkanlaştırıcılara göre daha az düşürdüklerinden aşırı miktarda hava sürüklemeler ve bu nedenle normalakışkanlaştırıcılara göre daha yüksek oranlarda kullanılabilirler [5].

2.2. Süperakışkanlaştırıcıların Betonun Rötire ve Sünmesine Etkileri

Süperakışkanlaştırıcıların rötire etkisine ilişkin çalışmalarda, genellikle katkılı ve katkısız şahit betonların rötireleri arasında önemli farklar bulunmadığı belirtilmektedir [8,9]. Diğer taraftan bazı araştırmalarda bu tür katkıların sünmeyi önemli derecelerde etkilemediği tesbit edilmişken [10,11], bazılarında ise süperakışkanlaştırıcıların şartlara bağlı olarak sünmeyi artan ve azalan yönde değiştirdiği sonucuna varılmıştır [12,13]. Yine bu katkılar düşük su/çimento oranlarına daha az miktarda çimento kullanılarak ulaştırıldığı için ısıtılacaklar oluşmadan rötrenin olumsuz etkisini ve sünme problemini de azaltmaktadır [14].

Zdenek ve Bazant [13], sünme ile ilgili yaptıkları incelemede sünme parametrelerini ortaya koyarak, bu parametrelerin önceden bilinen matematiksel bir bağıntıya uyarlamasını yapmışlardır. Bu bağıntıyı kullanarak birim sünme fonksiyonunu değişik formlarda ifade etmişlerdir. Geliştirdikleri bu bağıntıyı bazı deney sonuçlarına uygulamışlar ve elde ettikleri bulguları diğer matematiksel bağıntıların sonuçları ile karşılaştırmasını yaparak iyi bir yaklaşımda bulunduklarını öne sürmüşlerdir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Beton karışımları biri katkısız, diğerleri %1.2 ve %0.6 katkılı olmak üzere üç ayrı seriden oluşmaktadır. Kullanılan katkılar Rhebuild 561 süperakışkanlaştırıcı olup belirtilen oranlarda 380 ve 400 dozlu betonlarda kullanılmıştır. Kullanılan agregalar ve çimento özellikleri Tablo.1. de gösterilmiştir.

Tablo 1. Malzeme Özellikleri

Agrega Türü	Elekten Geçen % ler								Özgül Ağ	Birim Ağ
	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25	(kg/m ³)	(kg/m ³)
İnce kum	100	100	100	99	96	95	90	9	2630	1420
Kırma kum	100	100	100	97	63	42	24	11	2730	1340
K. Taş No 1	100	100	64	12	2	2	2	1	2730	1380
K. Taş No 2	100	59	1	0	0	0	0	0	2730	1360
K. Taş No 3	100	3	3	1	0	0	0	0	2730	1350
Karışım Agr.	100	74	50	35	28	26	23	4	-	-
PÇ 32.5									3130	-
Standart Harç Dayanımı (N/mm ²)										
Çimento									Basınç	Eğilme
	7 günlük								30.1	6
	28 günlük								37.1	7.6

Tablo 2. Beton Bileşimleri

Bileşim ve Özellikleri	380 Dozlu Katkısız	380 Dozlu %1.2 Katkılı	400 Dozlu %0.6 Katkılı
Süperakışkanlaştırıcı (kg/m ³)	-	4.52	2.38
Çimento (kg/m ³)	382	383	397
Su (kg/m ³)	198	163	198
Su/Çimento	0.518	0.426	0.498
0-2 mm ince kum (kg/m ³)	389	396	389
0-4 mm k. küm (kg/m ³)	184	187	183
K. Taş No.1 (kg/m ³)	514	524	512
K. Taş No.2 (kg/m ³)	404	412	401
K. Taş No.3 (kg/m ³)	330	336	329

Üretilen her seride 3,7 ve 28 günlük dayanımlar için 20 cm lik küp, elastisite modülleri için 15x30 cm lik silindir, rötre ve sünme deneyleri için ise 10x10x50 cm lik prizmatik numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler deney gününe kadar +20° C de kirece doygün su içerisinde saklanmış, sonra laboratuvar ortamında tutulmuştur. Sünme ve rötre deneylerinin yapıışı referans [15]'te belirtildiği şekilde yapılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Üretilen betonların taze ve sertleşmiş haldeki deney sonuçları Tablo 3. de toplu olarak gösterilmiştir. Bu tablodaki basınç deney sonuçları ile elastisite modülüne ait deney sonuçları incelendiğinde şu değerlendirmeler yapılabilir;

- Basınç dayanımı en yüksek olan beton %1.2 süperakışkanlaştırıcı katkı, en düşük olanı ise katkısız beton olduğu görülmektedir. 3 ve 7 günlük dayanımlarda katkıya bağlı fark daha fazla, 28 günlük dayanımlarda ise fark biraz azalsa da %25 gibi azımsanmayacak bir değerde olduğu saptanmıştır.
- Elastisite modülü için de basınç dayanımına benzer durum görülmekle birlikte nisbeti %8 gibi daha düşük oranda kalmakta ve artışın katkı oranı ile paralel değiştiği görülmektedir.

Her iki sonuç, süperakışkanlaştırıcı katkıların betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerindeki bilinen pozitif etkinliği bir kez daha ortaya konarak gösterilmiştir.

Tablo 3. Deney sonuçları

Beton türü	380 dozlu katkısız beton	380 dozlu %1.2 katkılı beton	400 dozlu %0.6 katkılı beton
kıvam çökme birim ağırlık	plastik 6.5 cm 2400 kg/m ³	akıcı 17.3 cm 2401 kg/m ³	akıcı 16 cm 2409 kg/m ³
3 günlük dayanım	26.3 N/mm ²	30.9 N/mm ²	32.8 N/mm ²
7 günlük dayanım	30.6 N/mm ²	39.2 N/mm ²	36.8 N/mm ²
28 günlük dayanım	38.1 N/mm ²	47.8 N/mm ²	43.4 N/mm ²
Elastisite modülü	35005 N/mm ²	38000 N/mm ²	35765 N/mm ²
t (gün)	Rötre ölçümleri, ϵ_r (x 10 ⁻⁶)		
1	93	88	56
2	119	130	75
5	162	185	-
7	192	224	-
8	-	-	158
12	227	269	-
19	259	301	-
21	-	-	263
34	303	380	-
42	-	-	292
t (gün)	Sünme ölçümleri, ϵ_s/σ (x 10 ⁻⁷)		
0	285	241	270
1	376	318	460
2	390	338	-
3	-	-	590
5	483	430	-
7	510	456	-
8	-	-	700
12	597	530	-
19	664	586	-
21	-	-	940
34	797	678	-
42	-	-	1130

Rötre ve sünme deney sonuçları için de şu değerlendirmeler yapılabilir;

- Rötre deformasyonları süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı ile belirgin bir değişim vermemiştir; %0.6 katkılı betonda rötre, kakırsız betona göre daha az seyir gösterirken, %1.2 katkılı betonda rötre, daha fazla miktarda gerçekleşmektedir.

- Sünme deformasyonları en yüksek %0.6 katkı lı betonda meydana gelmiştir. Yine %1.2 katkılı betonda bu deformasyonların daha az nisbette oluştuğu anlaşılmıştır.

Bulunan bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, betonda süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımının rötre ve sünmeyi ne yönde etkileyeceğini kestirmenin güç olduğu anlaşılmaktadır. Be etkilemenin biçimi katkı oranına ve beton bileşimine bağı olarak azalan ya da artan yönde olabileceği yargısı [9,11] bu çalışma ile bir kez daha kuvvetlendirilmiştir.

5. SÜNME DENEY SONUÇLARININ MATEMATİKSEL BAĞINTILARLA İNCELENMESİ

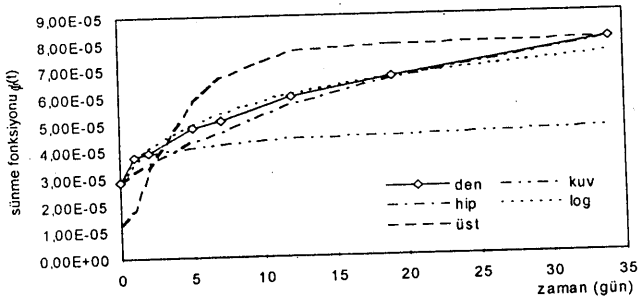
Günümüzde beton dahil tüm malzemelerde en çok kullanılan sünme fonksiyonlarının yapıları aşağıda belirtilmiştir [14].

- Kuvvet fonksiyonu : $\varnothing(t) = a + b \cdot t^n$ (1)

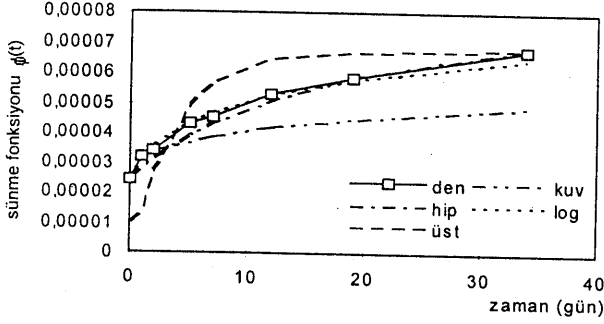
- Üstel fonksiyon : $\varnothing(t) = a(1 - e^{-kt})$ (2)

- Hipebolik fonksiyon : $\varnothing(t) = A + (t / (a - b \cdot t))$ (3)

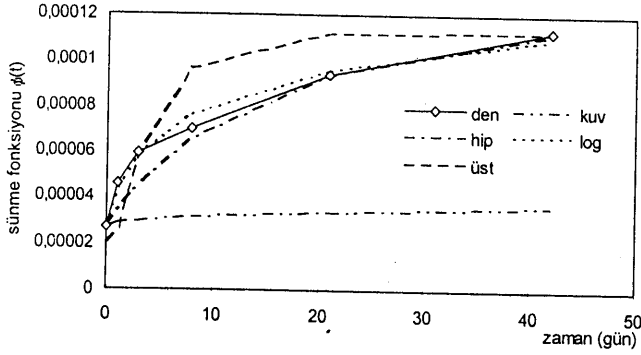
- Logaritmik fonksiyon: $\varnothing(t) = a + b \cdot \log_e(t + 1)$ (4)



Şekil 1. Katkısız Betonda Sünme Fonksiyonunun Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 2. % 1.2 Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Betonda Sünme Fonksiyonunun Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 3. % 0.6 Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Betonda Sünme Fonksiyonunun Zamana Bağlı Değişimi

Bu çalışmada elde edilen sünme deney sonuçları yukarıdaki fonksiyonlara uygulanarak önce denklem katsayıları bulunmuş ve sonra bu fonksiyonların grafikleri deney sonuçları ile birlikte şekil 1,2 ve 3 te çizilerek gösterilmiştir. Yukarıdaki sünme fonksiyonlarına ait katsayılar Eureka (Curve Fit) programı kullanılarak, enküçük kareler yöntemiyle deneysel

verilerden yararlanarak bulunmuştur. Bu şekiller incelendiğinde her üç grafikte de logaritmik fonksiyon bütün beton serilerinde en uygun yaklaşımı göstermektedir. Yine deney sonuçlarına yakın seyir gösteren ikinci bir bağıntıda hiperbolik fonksiyon grafiğidir. Bu ikisi dışında kalan üstel ve kuvvet fonksiyonları gerçek sonuçlardan üstten ve alttan olmak üzere büyük sapmalar göstermektedir. Özellikle kuvvet fonksiyonu sünme deney sonuçlarını ifade etmekten bir hayli uzakta olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ

Akışkanlaştırıcı katkı kullanımının betonun basınç dayanımının ve elastisite modülünün üzerinde pozitif bir etki meydana getirdiği ve bunlar arasında ençok basınç dayanımı üzerinde etkin olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, süperakışkanlaştırıcı katkıların betonun rötre ve sünmesi üzerinde belirgin bir etkileme yönü olduğunun söylenemeyeceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca sünme deney sonuçlarının fonksiyonel olarak matematiksel bağıntılarla ifade edilebilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Gerek süperakışkanlaştırıcı katkılı ve gerekse katkısız betonlarda, hiperbolik ve özellikle logaritmik fonksiyonların sünme deformasyonlarının hesaplanmasında ya da kestirilmesinde daha güvenilir bir yaklaşımla sonuç vereceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. UYAN , M. ÖZKUL ,H. “ Beton Katkı Maddeleri ve Türkiye de Durumu” , Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fak. III. Mühendislik Haftası Bildirileri, 1985.
2. ALİ, L. , KESLER, C. E. , “Mechanisms of Creep in Concrete”, Symp. on Creep on Concrete Institute, No.2, pp. 35-63, 1964.
3. WALLO , E. M., KESLER, C. E., “Prediction of Creep in Structural Concrete”, Engineering Experiment Station Bulletin, No.498, Urbana, College of Engineering, University of Illinois, 1968.
4. NEVILLE, A. M., BROOKS, J.J., “Concrete Technology”, Longman Scientific and Technical, 1987, pp.155.
5. ACI COMMITTEE 212 “Chemical Admixtures for Concrete”, ACI Materials Journal, May -June 1989, p297.
6. UYAN, M., YILDIRIM, H., “Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Süperakışkanlaştırıcı Beton Katkı Maddelerinin Etkinliği”, TMMOB İnşaat Müh. Odası, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, 27-30 Mayıs 1991.
7. UYAN, M., “Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi”, Doçentlik Tezi, İnşaat Fak., Mart 1982.
8. MUKHERJEE, P.K., “Evaluation of Superplasticizers in Concrete”, ACI Symp., Publication sp. 119 p625.

9. BROOKS, J.J., WAINWRIGHT, P.J., NEVILLE; A.M.; "Time-Dependent Behaviour of High-Early-Strength Concrete Containing a Superplasticizer" ACI Publication sp-68; p.81
10. COLLINS, T.M., " Proportioning High-Strength Concrete to Control Creep and Shrinkage" ACI Materials Journal, Novemser-Decemser 1989, Vol.86, No.6 p.576.
11. MALHOTRA, V.M.; "Superplasticizers : Their Effects on Fresh and Hardened Concrete", ACI Concrete International, May 1981, p.66.
12. F.I.P., Condensed Silica Fume in Concrete, FIP State of Art Report, Th. Telford, London 1988.
13. ZDENEK. P., BAZANT, Z.P., "Limitations of Strain-Hardening Model for Concrete Creep", Cement and Concrete Research Vol.17, 1987, pp.505-509.
14. NEVILLE, A. M., "Creep of Concrete", North -Netherleds 1970.
15. YILMAZ, K., " Isıl İşlem Görmüş Hafif Betonların Değişken Yükler Altında Zamana Bağlı Davranışları", İTÜ Doktora Tezi, 1989.

