

YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÜRETİMİNDE SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI BETON KATKI MADDELERİNİN ETKİNLİĞİ

Mehmet UYAN
Prof. Dr.
İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

Hasan YILDIRIM
Ar. Gör.
İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcıların taze betonun işlenebilmesi ile sertleşmiş betonun eğilme ve basınç mukavemeti üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. Bunun için farklı firmalardan temin edilen naftalin kökenli 3 adet katkı denenmiştir. Katkıların yüksek ve düşük dozlardaki etkilerini belirlemek için 300 ve 400 dozlu 2 beton türü seçilmiştir. Betonların karışım granülometrisi TS 706, A16-B16 eğrileri arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Çimento katkılı portland çimentosu (KPÇ-325) türündedir. Taze betonlar üzerinde çökme kaybı ve dozaj tekrarı deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş betonlar üzerinde ise 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Kullanılan katkıların aynı esaslı olmalarına rağmen istenilen mukavemet artışlarını ve işlenebilme yönünden aynı etkinliği farklı katkı yüzdeleriyle vermelerinin çalışmadan çıkan en önemli sonuç olduğu ileri sürülebilir.

1. GİRİŞ

Katkı maddeleri genel anlamda harc ve betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren; betonun ve inşaatın nihai özelliklerinde zararlı etki oluşturmeyen maddeler olarak tanımlanabilir [1]*. Yapılan çeşitli çalışmalarda beton katkı maddeleri kullanım amaçlarına göre gruplandırılmıştır [2,3]. Bu esasa göre katkıları sınıflandıran ACI Committee 212 son raporunda [4] beton katkı maddelerini; hava sürükleyen katkılar,

(*) Parantez içindeki sayılar, kaynaklar listesindeki numaraları göstermektedir.

hızlandırıcı katkılar, su azaltıcı ve priz süresini ayarlayan katkılar, akıcı beton için katkılar ve diğer muhtelif katkılar olmak üzere beş ana başlıkta toplamıştır. Normal akışkanlaştırıcılara göre daha büyük oranlarda su indirgeyen süperakışkanlaştırıcılar veya yüksek oranda su azaltıcı katkılar (high range water reducers), su azaltıcı katkılar ve akıcı beton için katkılar gruplarına dahil edilmişlerdir. Süperakışkanlaştırıcılar sayesinde su/çimento oranının 0,30 civarına kadar düşürülebilmesi nedeniyle yüksek dayanımlı beton üretiminde bu tür katkılardan yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada genel bilgiler bölümünde literatür taraması şeklinde şimdiye kadar süperakışkanlaştırıcılarla yapılmış çalışmalardan elde edilmiş belli başlı sonuçların kısa bir özeti verildikten sonra, deneysel çalışmalar bölümünde farklı firmalardan sağlanan naftalin kökenli 3 adet süperakışkanlaştırıcının taze betonun işlenebilmesi ile sertleşmiş betonun eğilme ve basınç mukavemeti üzerindeki etkinliği incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

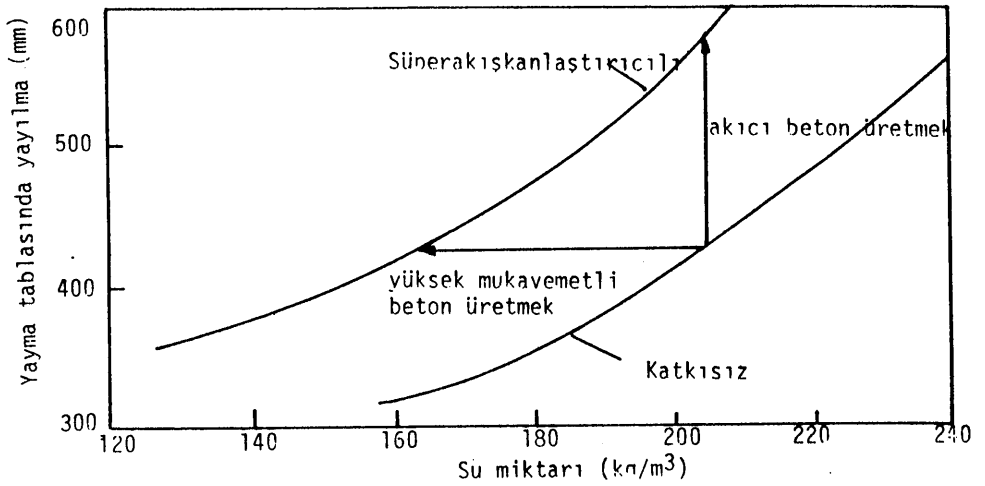
Bu bölümde süperakışkanlaştırıcıların kullanım amaçları, türleri ve etki mekanizması incelendikten sonra taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi açıklanacaktır. Böylece şimdiye kadar süperakışkanlaştırıcılarla yapılmış çalışmalardan elde edilmiş belli başlı sonuçların kısa bir özeti verilmiş olmaktadır.

2.1. Süperakışkanlaştırıcıların Kullanım Amaçları

Normal akışkanlaştırıcılar uygulamada genelde üç amaçla kullanılmaktadır [4,5]:

1. Katkısız betonla aynı işlenebilmede olmak şartıyla su/çimento oranını azaltarak daha yüksek mukavemet kazanmak.
2. Kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilmeyi kazanmak. Katkının bu şekilde diğer beton türleri için de kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlaması anlamına gelmektedir.
3. Ulaşılamayan yerlerde kolay yerleşmeyi sağlamak için işlenebilmeyi artırmak.

Yukarıda normal akışkanlaştırıcılar için belirtilen kullanım amaçları süperakışkanlaştırıcıların kullanım amaçlarını da kapsamaktadır. Ancak süperakışkanlaştırıcılar daha çok bunlardan 3. maddedeki amaçla kullanılmakta yani "akıcı beton" üretiminde özellikle bu katkılardan yararlanılmaktadır. Süperakışkanlaştırıcıların ikinci önemli bir kullanım alanı ise yüksek mukavemetli beton üretiminde olmakta, bu katkılar sayesinde çok düşük su/çimento oranına rağmen normal işlenebilme elde edilebilmektedir. Süperakışkanlaştırıcıların bu iki uygulaması Şekil-1' de açıklanmıştır [6].



Şekil-1

2.2. Süperakışkanlaştırıcıların Türleri

Süperakışkanlaştırıcılar kimyasal bileşimlerine göre esas olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [4,7,8].

- a- Yoğun melamin formaldahid sülfonatlar
- b- Yoğun naftalin formaldahid sülfonatlar
- c- Modifiye edilmiş linyosülfonatlar
- d- Yukarıdakilere çökme kaybını önleyici maddeler (örneğin, fonksiyonel sülfonik grup ve karboksil grup ile oluşturulmuş kopolimer) karıştırılarak üretilenler.

Süperakışkanlaştırıcıların ASTM/C494 standardındaki kodları Tip F ve Tip G dir.

2.3. Süperakışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması

Normal akışkanlaştırıcı katkı maddeleri hava sürükleyerek ve çimento tanelerinin topaklaşmasını önleyerek etkili olurlar [9]. Akışkanlaştırıcı madde çimento taneleri tarafından adsorbe edilmeleri sonucu tane yüzeyine çöker. Tane yüzeyinde çökelen bu maddelerin oluşturduğu film dışarıya doğru (-) elektrik yüklüdür. Bu şekilde (-) yükü yüklenen taneler birbirlerini ittiklerinden bu maddelerin dağıtıcı etkisi ortaya çıkar. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırdıklarından yağlayıcı etki göstermeleri, betonun iç sürtünmesi azaltır. Bu da betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına neden olur. Süperakışkanlaştırıcıların etkisinde normal akışkanlaştırıcılarınkine benzer şekildedir. Ancak bu katkılar suyun yüzey gerilimini normal akışkanlaştırıcılara göre daha az düşürdüklerinden, aşırı miktarlarda hava sürüklemeyiz ve bu nedenle normal akışkanlaştırıcılara göre daha yüksek oranlarda kullanılabilirler [4].

2.4. Süperakışkanlaştırıcıların Taze Beton Özelliklerine Etkisi

2.4.1. Su indirgemeye etkisi

Süperakışkanlaştırıcıların kullanılma oranları akıcı veya yüksek mukavemetli beton üretme amacına göre değişmektedir. Normal akışkanlaştırıcılara göre daha yüksek oranlarda kullanılan bu katkıların kullanılma oranları genelde çimento ağırlığına göre %0,5-3 olmaktadır [7]. Bu nedenle süperakışkanlaştırıcılar normal akışkanlaştırıcılara göre daha pahalıya gelmektedir. Süperakışkanlaştırıcı bir katkı su miktarını en az %12 oranında azaltmalıdır [4]. Bu tür katkılar yüksek mukavemetli beton üretmek amacıyla kullanıldığında istenen bir işlenebilme için su miktarını %25-35 oranlarında düşürebilmektedir. Böylece düşük su/çimento oranlı betonlar üretilebilmekte ve sonuçta yüksek mukavemetli betonlar elde edilebilmektedir [5].

2.4.2. İşlenebilmeye etkisi

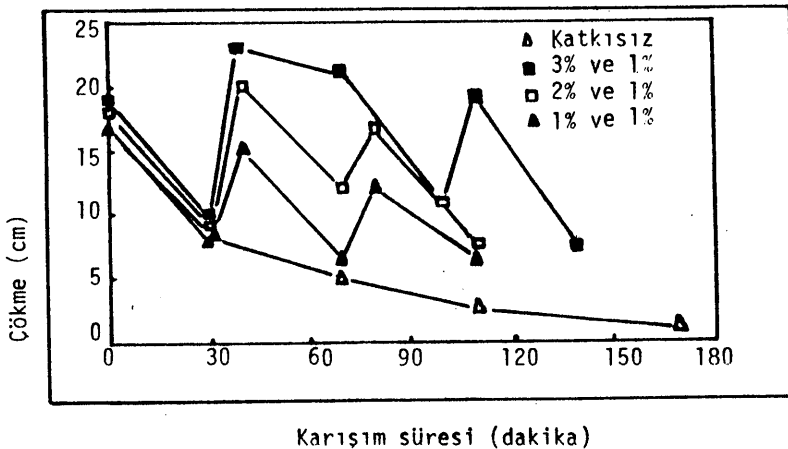
Yukarıda paragraf 2.3' te açıklandığı üzere süperakışkanlaştırıcıların kullanılması betonun iç sürtünmesini azaltması sonucu verilen bir su/çimento oranında betonun işlenebilmesini artırmaktadır. Örneğin, 70-80 mm çökmeli bir beton süperakışkanlaştırıcılar sayesinde kohezyonunu kaybetmeden 200 mm çökmeli bir beton haline getirilebilmektedir. Bu yüksek çökmeli betonlarda özellikle ince agrega miktarının artırılması ayrışmayı önlemek bakımından yararlı olmaktadır [4].

Süperakışkanlaştırıcı kullanılmış akıcı betonların işlenebilmesi hem çökme (ASTM C143) ve hem de yayılma tablası (DIN 1048) deneyleri ile ölçülmektedir [7,10]. Ancak bu tür betonların işlenebilmesinin ölçülmesinde yayılma tablasının kullanılmasının daha uygun olduğu belirtilmektedir [5]. Öte yandan, yapılan son bir çalışmada [11] süperakışkanlaştırıcılu akıcı betonların işlenebilmesinin ölçülmesinde "K-çökme aygıtı"nın kullanılmasının oldukça tatminkar sonuç verdiği bulunmuştur.

2.4.3. Çökme kaybı oranı ve dozaj tekrarı

Süperakışkanlaştırıcı katmakla elde edilen yüksek işlenebilme yaklaşık 30~90 dak. sonra azalmakta ve işlenebilme ilk durumuna dönmektedir [5,12]. Bu nedenle, süperakışkanlaştırıcı katkıyı betonu kalıba yerleştirmeden hemen önce katmak gerekmektedir. Hazır beton uygulamalarında, süperakışkanlaştırıcı ilavesinden sonra betonun iki dakika daha karıştırılması esastır. Çökme kaybı oranı betonun sıcaklığına, çimentonun miktar ve türüne, su miktarına, katkının ilave edilme zamanına ve katkı dozajına bağlı olmaktadır [4]. Süperakışkanlaştırıcı katkılı betonlarda işlenebilmenin zamanla azalması tekrar katkı ilave edilmesiyle önlenmektedir (dozaj tekrarı). İki ilave dozaj yararlı olurken, dozaj tekrarının daha çok artırılmasının genellikle daha az etkili olduğu belirtilmektedir.

Çökme kaybı ve dozaj tekrarı konusunda yapılan bir çalışmadan [10] elde edilen bazı sonuçlar Şekil-2' de gösterilmiştir. Şeklin incelenmesinden çıkarılan en önemli sonuç şu olmaktadır : İlk katkı ilavesinde orta ve yüksek oranlarda katkı kullanılmış karışımlarda ikinci katkı ilavesi nispeten küçük yüzdelerde bile etkili olmaktadır.



Şekil-2

Öte yandan çevre sıcaklığının çökme kaybına etkisini inceleyen bir araştırmada [13], genellikle sıcaklık artarken çökme kaybının da arttığı saptanmıştır. Mamafih bu artış bütün betonlar için üniform veya doğrusal olmamaktadır. Yine bu araştırmada; dozaj tekrarı uygulamalarında, çevre sıcaklığı arttıkça daha yüksek miktarlarda katkı kullanılmasına ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir.

2.4.4. Hava sürüklemeye etkisi

Süperakışkanlaştırıcıların hava sürüklemeye etkisi konusunda yapılan çalışmalarda, bu katkılar daha ziyade hava sürükleyici katkılarla birlikte denenmişlerdir. Hava sürükleyici katkıların etkinliği süperakışkanlaştırıcı katkının türüne önemli derecede bağlı olmaktadır [4]. Süperakışkanlaştırıcı katkılar hava sürükleyici bir katkı ile birlikte kullanıldıklarında naftalin ve melamin esaslı olanlar katıldıktan itibaren hava miktarında azalmaya neden olabilirken, linyosülfonat esaslı olanlar ilk anda hava miktarını artırmaktadır [14]. Öte yandan süperakışkanlaştırıcı katılmış taze betondaki sürüklenmiş hava zamanla azalabilmektedir [7]. Dozaj tekrarı uygulamalarında ise önemli derecelerde olmasada hava miktarlarında azalma olabilmektedir [7,13]. Literatür [15] te, çok kullanılan naftalin esaslı süperakışkanlaştırıcıların farklı su/çimento oranlı betonlardaki hava miktarına etkisi incelenmiştir. Bu katkıların hava sürükleyici katkısız normal betonlarda düşük miktarlarda hava sürüklediği ve sürüklenme miktarının betonun işlenebilmesi ile yakından ilgili olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan, dökümden sonraki vibrasyon etkisinin herhangi bir halde hava miktarını düşürdüğü belirlenmiştir. Bu tür katkıların sürüklendiği hava kabarcıklarının boyutları ise, genelde hava-sürükleyici katkılarınkine göre daha büyük olmakta ve bunların çapları hava sürükleyicilerin oluşturduğu kabarcıkların 2~4 katına kadar varabilmektedir [15,16].

2.4.5. Terleme ve ayrışmaya etkisi

Süperakışkanlaştırıcı katkılar, çok yüksek çökmeler haricinde, genellikle terlemeyi azaltmaktadır [4]. Akıcı betonun kohezyonlu kalabildiği üst çökme sınırı değişebildiğinden dolayı; bu sınır, beton karışımı kullanılmadan önce deneye tabi tutularak belirlenmelidir. Ayrışma ve terleme ince/kaba agrega oranı artırılarak veya bir diğer ince malzeme katılarak azaltılabilir.

2.4.6. Priz sürelerine etkisi

Süperakışkanlaştırıcı katkıları önemli derecede olmasada priz sürelerini azaltan veya artıran yönde etkilemektedir [7,12]. Bu katkıların priz sürelerine etkisi kullanılan akışkanlaştırıcı türü ile beton üretiminde kullanılan çimento türüne bağlı olmaktadır. Örneğin C_3A miktarı çok düşük olan çimentolarda süperakışkanlaştırıcılar priz sürelerini aşırı derecede geciktirebilir [5].

2.4.7. Pompalanabilirliğe etkisi

Süperakışkanlaştırıcılarla üretilen akıcı betonlar pompalama için yararlı olmaktadır. Çünkü bu betonlar pompalama basıncını düşürmekte ve böylece pompalanabilen beton miktarı ve mesafesini artırabilmektedir [4]. Deney sonuçları göstermiştir ki; süperakışkanlaştırıcılı betonlar kontrol betonlarına göre %10-20 daha düşük pompalama ve hat basıncı ile taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde bir bozulma olmadan pompalanabilmektedir [17].

2.5. Süperakışkanlaştırıcıların Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi

2.5.1. Mukavemete etkisi

28 günlük basınç mukavemetinin 41 MPa' ın üzerinde olması istendiğinde, düşük su/çimento oranı elde etmek için ekseriya süperakışkanlaştırıcı bir katkı kullanılır [4]. Bu tür bir katkıdan yararlanarak düşük su/çimento oranı elde edilmesi sonucu 28 günlük mukavemet %25 veya daha büyük oranlarda artırılabilir. Bu tür katkının kullanılmasıyla ilk yaşlarda sağlanan mukavemet artış oranları ise 28 günlük artış oranına göre daha büyük olmaktadır [5]. Öte yandan su azaltmadan üretilen akıcı betonların mukavemetlerinin katkısız betona göre arttığı görülmüştür.

ASTM/C494 standardına göre süperakışkanlaştırıcı bir katkıdan istenen mukavemet şartları aşağıdaki Tablo-I' de verilmiştir.

Tablo-I

Beton Yaşı (gün)	Basınç Mukavemeti (Min)		Eğilme Mukavemeti (Min)	
	Şahitin %si olarak		Şahitin %si olarak	
	Tip F	Tip G	Tip F	Tip G
1	140	125	-	-
3	125	125	110	110
7	115	115	100	100
28	110	110	100	100

Tablonun incelenmesinden anlaşılabacağı üzere süperakışkanlaştırıcıların eğilme mukavemeti üzerindeki etkinliğinin basınç mukavemetine göre daha az olduğu kabul edilmektedir.

2.5.2. Durabiliteye etkisi

Süperakışkanlaştırıcı katkıları sürüklenen hava kabarcıklarının boyutlarını büyütmemektedir. Bu nedenle kontrol betonuna göre birim boydaki boşluk sayısı azalmakta ve kabarcıklar arasındaki aralık artmaktadır [18,19]. Bu aralıkların uzunluğu, durabilitesi yüksek betonlar için istenen maksimum 0,2 mm değerinden daha büyük olmaktadır. Buna rağmen süperakışkanlaştırıcı katkıları betonlar genellikle donma-çözülme etkilerine dayanıklı olmaktadır [16,4,12]. Bu sonuç artan mukavemet ve yoğunluk ile azalan geçirimsizliğe bağlanabilir.

2.5.3. Rötreye ve sünmeye etkisi

Süperakışkanlaştırıcıların rötreye etkisine ilişkin çalışmalarda, genellikle katkıları ve katkısız şahit betonların rötreye arasında önemli farklar bulunmadığı belirtilmektedir [12,20,21]. Diğer taraftan, bazı araştırmalarda bu tür katkıların sünmeyi önemli derecede etkilemediği tespit edilmişken [7,21], bazılarında ise süperakışkanlaştırıcıların şartlara bağlı olarak sünmeyi artan veya azalan yönde değiştirdiği sonucuna varılmıştır [7,20].

2.5.4. Geçirimsizliğe etkisi

Düşük su/çimento oranlı betonlardan, eğer bunlar iyi bir şekilde yerleştirilir ve küre tabi tutulursa düşük geçirimsizlik elde edilir. Süperakışkanlaştırıcı katkıları kullanılarak üretilen düşük su/çimento oranlı akıcı beton kolaylıkla yerleştirilebilir ve sıkıştırılabilir. Bu sayede; örneğin su/çimento oranı 0,40 tan daha küçük olan bir beton, eğer özel bir şekilde küre maruz bırakılırsa, önemli derecede düşük geçirimsizliğe ve sonuçta zararlı eriyiklerin içine girmesine karşı yüksek bir dirence sahip olabilir [4].

3. AMAÇ VE KAPSAM

Yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcıların taze betonun işlenebilmesi ile sertleşmiş betonun eğilme ve basınç mukavemeti üzerindeki etkinliğini araştırmak bu çalışmanın amacını oluşturmıştır. Bunun

için farklı firmalardan sağlanan naftalin kökenli 3 adet katkı denenmiştir. Bu katkılardan biri tavsiye edilen ortalama yüzdede kullanılarak şahit betonla aynı çökmeyi verecek su/çimento oranı saptanmıştır. Diğer iki katkıının yüzdesi ise azalan bu su/çimento oranında yine şahit betonla aynı çökmeyi verecek şekilde denenerek belirlenmiştir. Böylece her üç katkıya ait betonların su/çimento oranları sabit tutulmuştur. Şahit dahil bütün betonların çökmesi ise aynı olmuştur.

Çökme kaybını belirlemek için taze betonlar üzerinde yarım saat ara ile çökme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca katkılarla dozaj tekrarı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Denenen betonlardan 7x7x28 cm boyutunda numuneler üretilmiş ve bunlar üzerinde 7, 28 ve 90. günlerde eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu deneysel çalışmada farklı firmalardan temin edilen aynı kökenli 3 adet süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin etkinliği araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen betonların özellikleri ve bunlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler aşağıda açıklanmıştır.

4.1. Üretilen Betonların Karakteristikleri ve Seçilen Parametreler

Çalışmada şahit ve katkılı betonlar üretilmiştir. Katkıların yüksek ve düşük dozlardaki etkilerini belirlemek için 300 ve 400 dozlu 2 beton türü seçilmiştir. Betonların karışım granülometrisi TS 706, A16-B16 eğrileri arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Çimento katkılı portland çimentosu (KPÇ-325) türündedir. Denenen 3 katkı da naftalin formaldehit sülfonat kökenlidir. Ticari adlarını kullanmamak için bu katkılar A, B ve C harfleri ile isimlendirilmiştir. Şahit ve katkılı betonların eşit işlenebilmeye sahip olmasına çalışılmıştır. Bu durumda, 300 dozlu betonlarda çimento ağırlığına göre A katkısı %1,2; B katkısı %1,6; C katkısı %1,1 oranlarında, 400 dozlu betonlarda ise A katkısı %1,2; B katkısı %1,4 ve C katkısı %0,85 oranlarında kullanılmıştır.

4.2. Üretilen Betonların Bileşimleri

Üretilen şahit ve katkılı betonların 1 m³' üne giren gerçek malzeme miktarları Tablo-II' de verilmiştir.

Tablo-II. 1 m³ beton bileşimi için gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri

Beton Türü	Kum (kg)	KT1 (kg)	KT2 (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	E/C Oranı (%)	Katkı Oranı (%)	Hava (Hesap) (%)	İşlenebilirlik		Kompasite (m ³ /m ³)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
									Ve-Be (sn)	Çökme (cm)		
Kontrol	742	620	346	391	220	56	-	0.7	2.0	10.0	0.774	2320
A Katkılı	754	631	351	400	192	48	1.2	1.7	2.1	10.0	0.787	2330
B Katkılı	749	627	349	397	191	48	1.4	2.2	3.7	8.5	0.782	2320
C Katkılı	753	631	351	399	192	48	0.85	1.9	1.7	9.5	0.786	2330

C = 400 kg/m³ dozlu betonlar

Beton Türü	Kum (kg)	KT1 (kg)	KT2 (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	E/C Oranı (%)	Katkı Oranı (%)	Hava (Hesap) (%)	İşlenebilirlik		Kompasite (m ³ /m ³)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
									Ve-Be (sn)	Çökme (cm)		
Kontrol	771	645	356	289	231	80	-	0.5	1.5	9.5	0.770	2290
A Katkılı	794	668	371	299	188	63	1.2	1.5	2.5	9.5	0.790	2330
B Katkılı	788	659	369	297	188	63	1.6	2.4	2.5	10.0	0.790	2310
C Katkılı	785	657	367	296	187	63	1.1	3.0	2.5	10.0	0.780	2300

C = 300 kg/m³ dozlu betonlar

4.3. Gerçekleştirilen Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

Süperakışkanlaştırıcıların kıvam üzerindeki etki süresini ortaya çıkarmak için taze betonlar üzerinde yarım saat ara ile toplam 2 saat olmak üzere çökme ve Ve-Be deneyleri yapılmıştır. Ayrıca katkılarla dozaj tekrarı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Denenen betonlardan 7x7x28 cm boyutlarında numuneler üretilmiş ve bunlar 20°C deki kirece doymuş su içinde saklanmışlardır. Bu numuneler üzerinde 7, 28 ve 90. günlerde eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI

Taze beton özellikleri Tablo-II' de beton bileşimleriyle birlikte gösterilmiştir. Verilen hava boşluğu miktarları hesapla bulunmuştur. Dozaj tekrarı deneylerinde elde edilen çökme değerleri ise Tablo-III' te verilmiştir.

Kontrol ve katkılı betonların basınç ve eğilme mukavemetleri Tablo-IV' te toplanmıştır. Tabloda yalnızca ortalama değerler gösterilmiştir. Sonuçlar, mutlak değerleriyle birlikte, 28 günlük şahit numunelerden elde edilen değere oranlanarak yüzde cinsinden de verilmiştir. Parantez içindeki sayılar bu yüzdeleri ifade etmektedir.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo-II' de taze beton özellikleri verilmiştir. Tablonun incelenmesinden anlaşılabileceği üzere su/çimento oranları sabit tutulan katkılı betonların çökme değerleri hem 300 ve hem de 400 dozlu serilerde kontrol betonunki ile aynıdır. Bu durum denenen üç katkının farklı oranlarda kullanılması ile elde edilmiştir. Yani kullanılan katkılar işlenebilme yönünden aynı etkinliği farklı yüzdelerde vermektedir. Öte yandan katkılı betonların içerdiği hava boşluğu miktarı kontrol betonunkinden daha fazladır. Bu sonuç kullanılan naftalin esaslı süperakışkanlaştırıcıların hava sürüklediğini ortaya koymaktadır. Ancak sürüklenmiş hava miktarı en çok %3 olmuştur.

Şekil-3' de üretilen şahit ve katkılı taze betonların çökmelerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekilden anlaşılabileceği gibi, katkılı betonlarda çökme kaybı, literatürdeki bilgilere uygun şekilde, 30 dakika içinde

Tablo-III. İşlenebilirliğin sabit kalması için ilave dozaj oranları ve çökme değerleri

C = 400 doz

Beton Türü	Katkı Oranı (%)	0.Dak. Çökme (cm)	30.Dak. Çökme (cm)	İlave Katkı Oranı (%)	30.Dak. Çökme (cm)	60.Dak. Çökme (cm)
A Kat.	1.2	12.5	8.0	0.23	13.0	9.0
B Kat.	1.4	9.5	5.0	0.24	10.0	5.0
C Kat.	0.85	12.5	6.5	0.18	12.3	5.0

C = 400 doz

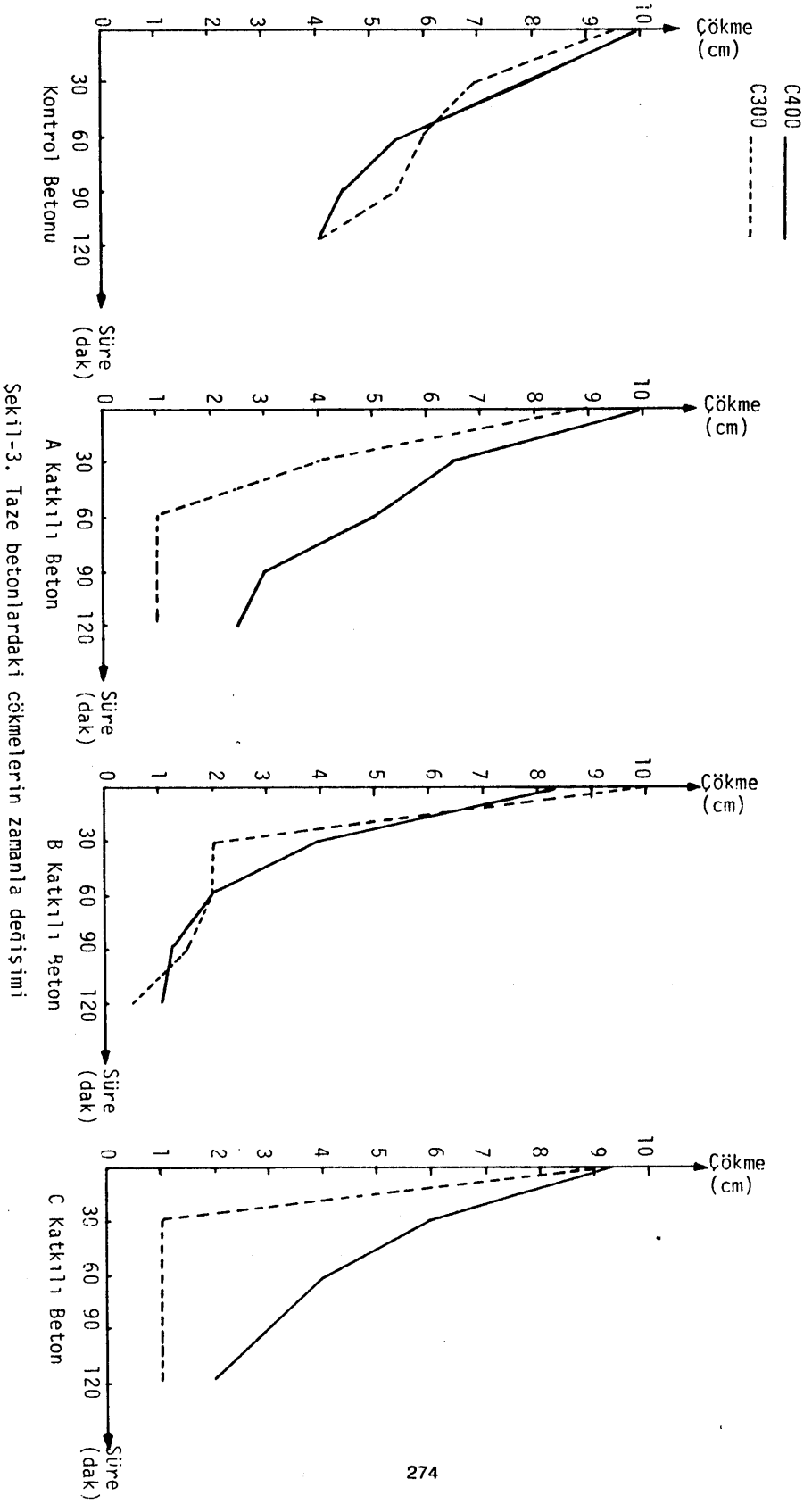
İlave Katkı Oranı (%)	60.Dak. Çökme (cm)	90.Dak. Çökme (cm)	İlave Katkı Oranı (%)	90.Dak. Çökme (cm)	120.Dak. Çökme (cm)	İlave Katkı Oranı (%)	120.Dak. Çökme (cm)
0.23	12.0	7.5	0.19	12.5	8.0	0.23	12.5
0.22	9.0	4.5	0.28	9.5	3.5	0.35	8.5
0.21	13.0	5.0	0.21	11.0	4.5	0.29	12.5

C = 300 doz

Beton Türü	Katkı Oranı (%)	0. Dak. Çökme (cm)	30.Dak. Çökme (cm)	İlave Katkı Oranı (%)	30.Dak. Çökme (cm)	60.Dak. Çökme (cm)
A Kat.	1.2	8.5	3.5	0.32	8.5	5.0
B Kat.	1.6	11.0	6.5	0.26	11.5	6.0
Kat.	1.1	10.5	5.0	0.25	11.5	5.5

C = 300 doz

İlave Katkı Oranı (%)	60.Dak. Çökme (cm)	90.Dak. Çökme (cm)	İlave Katkı Oranı (%)	90.Dak. Çökme (cm)	120.Dak. Çökme (cm)	İlave Katkı Oranı (%)	120.Dak. Çökme (cm)
0.32	8.5	6.0	0.31	8.5	7.0	0.23	9.0
0.27	11.0	5.5	0.28	11.5	5.0	0.32	11.5
0.27	10.5	5.5	0.28	11.0	3.5	0.32	11.0



başlamakta ve zamanla artarak devam etmektedir. Katkılı betonlardaki çökme kaybı şahit betonlarınkinden daha fazla olmaktadır. Şekilden çıkarılan diğer önemli bir bulgu ise, 400 dozlu betonlardaki çökme kayıplarının 300 dozlu betonlarınkinden daha küçük olmasıdır.

Dozaj tekrarı deneylerinde çökmenin sabit kalması için ilave edilen katkı oranları Tablo-III' te verilmiş, dozaj tekrarlarının çökmeye etkisinin zamanla değişimi Şekil-4' te çizilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ilave dozajların çökme kaybına etkisi 300 ve 400 dozlu betonlarda genelde benzer biçimde olmakta ve dozaj tekrarları ile başlangıçtaki çökme 120. dakikada tekrar elde edilebilmektedir. Yani 30 dakika aralarla yapılan 3. ve 4. katkı ilaveleri de ilk iki katkı tekrarı kadar yarar sağlamaktadır. Diğer taraftan Tablo-III' ten görüleceği gibi, ilave dozlamalarda katkı oranları ilk katkı oranlarına göre oldukça düşük yüzdelerde kullanılmalarına rağmen etkin olmaktadır.

Kullanılan katkıların eğilme ve basınç mukavemetlerine etkisi Tablo-IV' te gösterilmiştir. Tablonun incelenmesinden belirlenebileceği şekilde eğilme mukavemetindeki artışlar basınç mukavemetlerindeki göre oldukça düşük oranlarda gerçekleşmektedir. Öte yandan hem eğilme ve hem de basınç mukavemetleri için ilk yaşlarda sağlanan artışlar ileri yaşlardaki artış oranlarına göre daha büyüktür. Bu bulgular literatür sonuçlarıyla uyusmaktadır.

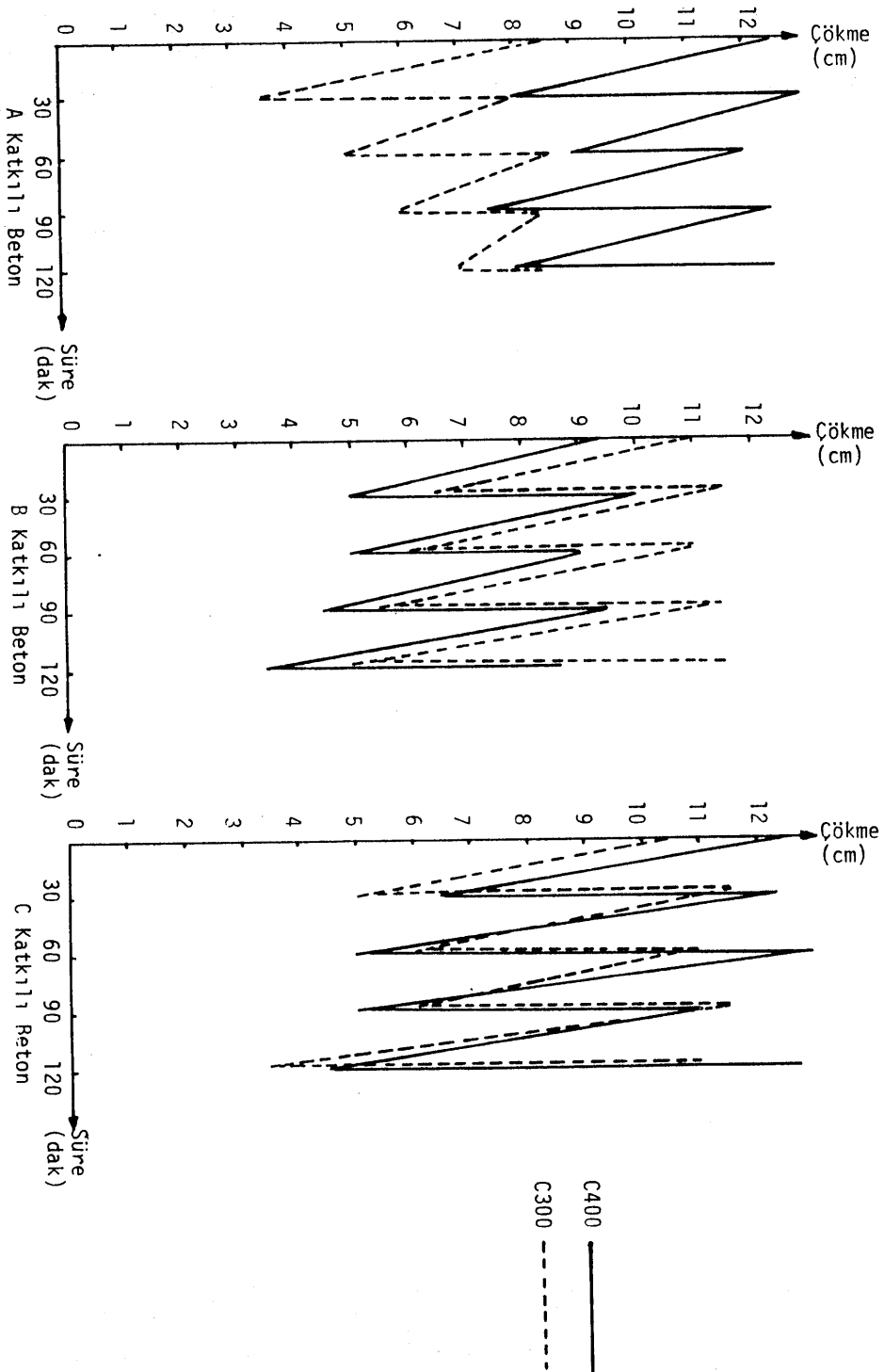
Yine ilgili tablodan anlaşılabileceği üzere her üç katkı da 28 günlük basınç mukavemetlerinde önemli artışlar sağlamaktadır. Örneğin A katkısı ile 400 dozlu betonlarda %36 lık bir artış elde edilmiştir. Bu sonuçlar süperakışkanlaştırıcı katkıların yüksek mukavemetli beton üretimindeki önemini göstermektedir.

Katkılı betonların su/çimento oranlarının sabit olmasına rağmen mukavemetlerdeki artış oranlarının değişik yüzdelerde olması ise kullanılan katkıların çimentonun hidratasyon yeteneğini farklı şekilde etkilediğini ortaya koymaktadır.

7. SONUÇLAR

Çalışmadan elde edilen belli başlı sonuçlar şu şekilde sıralanabilir :

1. Kullanılan katkılar aynı esaslı olmalarına rağmen işlenebilme yönünden aynı etkinliği farklı katkı yüzdelerinde vermektedirler.



Şekil-4. Dozaj tekrarlarının çökme etkisi

Tablo-IV. Sertleşmiş beton deney sonuçları

C = 400 doz

BETON TORO	Basınc Mukavemetleri (Ort.) (N/mm ²)		
	7.Gün (%)	28.Gün (%)	90.Gün (%)
Kontrol	26.2 (71.5)	36.7 (100.0)	45.3 (123.5)
A Katkılı	36.7 (100.0)	49.9 (136.1)	53.0 (144.5)
B Katkılı	38.6 (105.3)	47.7 (130.1)	49.7 (135.5)
C Katkılı	33.8 (92.0)	44.0 (120.0)	57.6 (157.0)

C = 400 doz

BETON TORO	Eğilme Mukavemetleri (Ort) (N/mm ²)	
	7. Gün (%)	28.Gün (%)
Kontrol	5.8 (86.4)	6.7 (100.0)
A Katkılı	6.0 (88.6)	7.1 (104.8)
B Katkılı	5.8 (86.5)	7.6 (112.2)
C Katkılı	7.3 (108.0)	7.3 (108.8)

C = 300 doz

BETON TORO	Basınc Mukavemeti (Ort) (N/mm ²)		
	7.Gün (%)	28.Gün (%)	90.Gün (%)
Kontrol	19.6 (71.7)	27.4 (100.0)	37.1 (135.4)
A Katkılı	27.2 (99.3)	34.1 (124.5)	43.6 (159.1)
B Katkılı	28.5 (104.2)	37.2 (135.9)	43.4 (158.4)
C Katkılı	26.8 (97.6)	35.2 (128.5)	46.2 (168.6)

C = 300 doz

BETON TORO	Eğilme Mukavemetleri (Ort) (N/mm ²)	
	7.Gün (%)	28.Gün (%)
Kontrol	4.2 (86.7)	4.8 (100.0)
A Katkılı	4.7 (98.5)	5.6 (116.8)
B Katkılı	4.7 (98.5)	6.1 (127.6)
C Katkılı	5.2 (107.7)	5.2 (108.3)

2. 300 dozlu katkılı betonlardaki çökme kaybı 400 dozlu lara göre daha büyük olmaktadır.
3. Oldukça küçük yüzdelerdeki dozaı tekrarları ile başlangıçtaki çökme iki saat sonunda tekrar elde edilebilmektedir.
4. Her üç katkının da 28 günlük basınç mukavemetlerinde önemli artışlar sağlaması, bunların yüksek mukavemetli beton üretimindeki önemini göstermektedir.
5. Kullanılan katkıların istenilen mukavemet artışlarını ve işlenebilirlik yönünden aynı etkinliği farklı katkı yüzdelerinde vermeleri, katkı seçiminde fiyat incelemesi de yapmak gerektiğini ortaya koymaktadır.

8. KAYNAKLAR

1. UYAN, M., ÖZKUL, H., "Beton Katkı Maddeleri ve Türkiye' de Durumu", Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fak., III. Mühendislik Haftası Bildirileri, 1985.
2. RILEM COMMITTEE 11 A, "Concrete Admixtures (final report)", RILEM, No.48, 1975, p.451.
3. ACI COMMITTEE 212, "Admixtures for Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1986.
4. ACI COMMITTEE 212, "Chemical Admixtures for Concrete", ACI Materials Journal, May-June 1989, p.297.
5. NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J., "Concrete Technology", Longman Scientific and Technical, 1987, p.155.
6. MEYER, A., "Experiences in the Use of Superplasticizers in Germany", ACI Sp. Publication SP-62, 1979.
7. MALHOTRA, V.M., "Superplasticizers: Their Effect on Fresh and Hardened Concrete", ACI Concrete International, May 1981, p.66.
8. MITSUI, K., KASAMI, H., "Properties of High-Strength Concrete with Silica Fume Using High-Range Water Reducer of Slump Retaining Type", ACI Sp. Publication SP-119, p.79.
9. UYAN, M., "Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi", Doçentlik Tezi, İnşaat Fak., Mart 1982.

10. RAVINA, D., MOR, A., "Effects of Superplasticizers", ACI Concrete International, July 1986, Vol.8, No.7, p.53.
11. MANASEER, A.A., NASSER, K.W., HAUG, M.D., "Consistency and Workability of Flowing Concrete", ACI Concrete International, October 1989, Vol.11, No.10, p.40.
12. MUKHERJEE, P.K., "Evaluation of Superplasticizers in Concrete", ACI Sp. Publication SP 119, p.625.
13. SAMARAI, M.A., RAMAKRISHNAN, V., MALHOTRA, V.M., "Effect of Retempering with Superplasticizer on Properties of Fresh and Hardened Concrete Mixed at Higher Ambient Temperatures", ACI Sp. Publication SP119, p.273.
14. MALHOTRA, V.M., "Effect of Repeated Dosages of Superplasticizers on Workability, Strength and Durability of Concrete", RILEM, March-April 1981, Vol.14, No.80, p.79.
15. TOGNON, G., CANGIANO, S., "Air Contained in Superplasticized Concretes", ACI Journal, September-October, 1982, V.79, No.5, p.350.
16. ROBERTS, L.R., SCHEINER, P., "Air Void System and Frost Resistance of Concrete Containings Superplasticizers", Developments in the Use of Superplasticizers, ACI Publication SP-68, p.189.
17. YOSHIDA, H., KASAMI, H., "On Workability and Pumpability of Superplasticized Concrete with Large Size Aggregate", Developments in the use of Superplasticizers, ACI Publication SP-68, p.139
18. SIEBEL, E., "Air-Void Characteristics and Freezing and Thawing Resistance of Superplasticized Air-Entrained Concrete with High Workability", ACI Sp. Publication SP119, p.297.
19. PLANTE, P., PIGEON, M., SAUCIER, F., "Air-Void Stability, Part II: Influence of Superplasticizers and Cement", ACI Materials Journal, November-December, 1989, Vol.86, No.6, p.581.
20. BROOKS, J.J., WAINWRIGHT, P.J., NEVILLE, A.M., "Time-Dependent Behavior of High-Early-Strength Concrete Containing a Superplasticizer" ACI Publication SP-68, p.81
21. COLLINS, T.M., "Proportioning High-Strength Concrete to Control Creep and Shrinkage", ACI Materials Journal, November-December, 1989, Vol.86, No.6, p.576.