

# KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA ÇİMENTO-YENİ NESİL AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI ETKİLEŞİMİ

**Gökhan YILMAZ**  
Draco Yapı Kimyasalları  
İstanbul

**Özge ANDIÇ ÇAKIR**  
Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
İzmir

## Özet

Bu çalışmanın amacı farklı tip çimentolar ile yeni nesil (hiper) akışkanlaştırıcı katkı etkileşimini incelemektir. Çalışma kapsamında tek tip agrega, polikarboksilat esaslı yeni nesil akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ve CEM I 42,5R, CEM III A 42,5N, CEM II A-S 42,5N, CEM II A-LL 42,5R, CEM II B-M (L-W) 42,5R tipi çimentolar ile kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretilerek bunların çeşitli taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. Öncelikle, Marsh hunisi ve mini çökme deneyleri ile hamur karışımlarının akışkanlığı belirlenmiştir. Ardından, tasarlanan KYB’de çökme yayılma,  $T_{50}$  yayılma süresi, V hunisi, L kutusu, U kutusu, birim hacim ağırlık ve hava içeriği parametreleri ile 7-28 günlük basınç/yarmada çekme dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak, bileşiminde öğütülmüş yüksek fırın cürufu bulunan çimentolar ile yapılan betonlarda hem çimento hamurunda hem de taze beton deneylerinde şahit katkısız betonlara göre daha iyi akışkanlık kaydedilmiştir. Kalker ve kalker-kalkersi uçucu kül içeren betonlar ise sabit çökme-yayılma çapı için daha yüksek katkı gereksinimi duyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: kendiliğinden yerleşen beton, hiper-akışkanlaştırıcı, çimento tipi

# 1. GİRİŞ

Beton içerisine su, çimento ve agreganın dışında, karıştırmanın öncesinde ya da karıştırma esnasında katılan malzemeler “katkı” olarak adlandırılır. Beton teknolojisinde kullanılan katkıları içerisinde, suda çözünebilen kimyasal katkıları çok önemli yer tutar. Su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkı tipleri orta ve süper akışkanlaştırıcı katkıları ile yeni nesil süperakışkanlaştırıcı (hiper) katkılarıdır. Çimento-katki etkileşimi, su ihtiyacı, hidrasyon ısı, oluşan hidrasyon ürünlerinin kompozisyonu, priz süresi, mikroyapı, dayanım ve durabilite gibi betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilir [1].

Ülkemizde son yıllarda hazır beton sektörünün gelişmesine paralel olarak proje dayanım sınıfları yükselmiş bunun yanı sıra TS EN 206-1 ile çevresel etki şartlarının da göz önünde bulundurulması zorunluluğu getirilmiştir. Su/çimento oranlarının düşürülmesi ile elde edilen yüksek dayanımlı betonlar için daha iyi durabilite şartları da sağlanmakta beton tasarımında bu oranların sağlanması süper ve yeni nesil süper akışkanlaştırıcıların kullanımı ile gerçekleştirilmektedir.

KYB, sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmeyen, kendi ağırlığı ile akabilen, kalıbı tamamen doldurabilen ve yoğun donatı olması durumunda bile tam sıkışma sağlayabilen yenilikçi bir beton çeşididir [2]. Bu özel tip betonun geliştirilme amacı dayanım ve dayanıklılık açısından da yüksek performans sağlamaktır [3, 4].

KYB üretiminde kullanılan kimyasal katkıları, öncelikle süperakışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkıları olmak üzere birkaç değişik katkının bileşiminden oluşmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı katkıları, yüksek akıcılık sağlanması ve su/bağlayıcı oranının düşürülmesini sağlamak amacı ile kullanılır. Viskozite düzenleyici katkıları ise terleme ve çökme gibi ayrışmaları azaltarak betonun homojenliğinin sağlanması ve kayma eşiğinin düşürülmesi için kullanılır [5]. Uzun polimer zincirlerine sahip olan yeni kuşak süperakışkanlaştırıcıları, ince taneciklerin yüzeyinde absorbe olarak, elektriksel itki ve sterik etki yolu ile çimento tanelerinin dağıtılmasını sağlar [6,7]. Süperakışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan düşük su/çimento oranlı yüksek performanslı betonlarda başlangıç akışkanlığının kısa sürmesi ve hızlı çökme kaybı kullanılan çimento ile akışkanlaştırıcının reolojik olarak uyumsuz olduğunu gösterir. Katkılı betonda reolojik özellikler, katkı dozajının yanında çimento ve katkı etkileşiminden büyük ölçüde etkilenir. [8] Süperakışkanlaştırıcı katkıları yüksek performanslı betonlarda çimento ve katkının etkileşiminin birçok parametreye bağlı olduğu bilinmektedir [9, 10, 11].

Çimentoya bağlı olarak;

- Çimentonun kimyasal ve faz bileşimi ( $C_3A$ ,  $C_4AF$  ve alkali içeriği)
- Çimentonun inceliği,
- Çimentodaki kalsiyum sülfat miktarı ve tipi,
- Çimentonun serbest kireci,
- $C_3A$ 'nın morfolojik yapısı,
- Klinker sülfürizasyon derecesine bağlı reaktivitesi,

Süperakışkanlaştırıcıya bağlı olarak ise;

- Süperakışkanlaştırıcının kimyasal yapısı ve ortalama molekül ağırlığı,
- Süperakışkanlaştırıcının sülfonasyon derecesi ve karışit iyonun kökeni,
- Moleküler zincirin uzunluğu,
- Zincirdeki sülfonat grubu pozisyonu,
- Süperakışkanlaştırıcının dozajı ve ekleme metodu gibi etkenlerdir.

Bunların dışında agrega tipi ve oranı, su/ çimento oranı, sıcaklık ve kür koşulları da uyum üzerine etkilidir [12]. Tüm dünyada giderek daha da yaygınlaşan yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkıları ile farklı tipte mineral katkıları içeren çimentoların birbirleriyle etkileşimlerinin hamur ve beton fazında incelenmesi çalışmanın amacıdır. Çalışma kapsamında bu etkileşimin KYB taze beton özelliklerine etkisi saptanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Agregası; Erkoç Mıdır-İzmir agregası ocağından temin edilen 0-3 ve 0-5 mm tane boyutlarında kırma ince agregası ve 5-12 mm boyutlarında iri agregası kullanılmıştır. Agregası özellikleri aşağıdaki Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1-Agregası özgül ağırlığı ve karışık agregada kütlece kullanım oranı

Agregası tipi (boyutu)	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Kullanım oranı (%)
İnce agregası (0-3 mm)	2,65	48
İnce agregası (0-5 mm)	2,67	9
İri agregası (5-12 mm)	2,67	43

2.1.2. Çimento; Deneylerde 4 farklı mineral katkılı çimento ve bir adet katkısız çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 2 ve 3’de verilmiştir.

Tablo 2- Deneysel çalışmada kullanılan çimentoların kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	TS-EN 197-1 (%)	CEM I 42,5 R	CEM II A-S 42,5 N	CEM II A-LL 42,5 R	CEM II B-M (L-W) 42,5 R	CEM III A 42,5 N
SiO <sub>2</sub>	---	20,4	27,4	19,50	21,50	27,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	4,41	8,16	4,68	7,01	8,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	3,42	2,83	3,29	3,44	2,83
CaO	---	63,97	50,93	61,50	57,42	51,02
MgO	---	2,26	2,01	2,49	1,29	2,00
SO <sub>3</sub>	Max. 4,0	2,73	2,60	2,65	2,90	2,10
K.Kaybı	Max. 5,0	1,37	4,06	3,55	3,22	2,30
S.Kireç	Max. 0,1	1,26	0,29	1,12	1,73	---

Tablo 3- Deneysel çalışmada kullanılan çimentoların fiziksel özellikleri

Fiziksel Analiz	CEM I 42,5 R	CEM II A-S 42,5 N	CEM II A-LL 42,5 R	CEM II B-M (L-W) 42,5 R	CEM III A 42,5 N
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,12	3,06	3,05	2,99	3,02
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3.502	4.483	3.820	3.940	4.337
2 günlük (N/mm <sup>2</sup> )	31,7	23,9	32,3	28,2	15,7
28 günlük (N/mm <sup>2</sup> )	561	47,4	54,1	55,8	45,9
Katkı miktarı (%)	-	16,4	20,0	23,1	43,2
Klinker miktarı (%)	97,5	82,5	80,0	76,9	57,0
Cüruf miktarı (%)	0	12,4	0	0	39,2
Kül miktarı (%)	0	0	0	23,1	0
Kalker miktarı (%)	0	4	16	0	4
Tras miktarı (%)	0	0	4	0	0

2.1.3. Kimyasal Katkı; Tüm hamur ve beton deneylerinde Draco-Levelcon 5000 yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Deneylerde katkı oranları çimento ağırlığına oranlanarak kullanılmış olup özellikleri Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 4-Kimyasal katkı özellikleri

Özellik	Deney/analiz metodu	Analiz değeri
Bağıl yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	ISO 758	1,092
Katı madde miktarı (%)	TS EN 480-8	33,82
pH değeri	ISO 4316	5,43
Katkı kullanım aralığı (%)	Çimentoya oranla	0,4 – 1,5

## 2.2. Metot

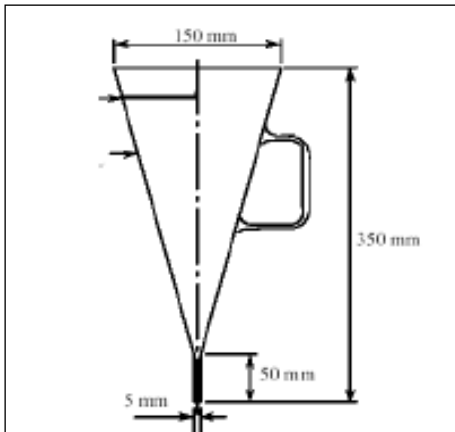
Çalışmada beton ve hamur fazında çeşitli deneyler yapılmıştır. Hamur fazında yapılan deneyler “Marsh hunisi” ve “mini çökme” deneyleridir. Beton fazında yapılan taze beton deneyleri ise çökme-yayılma ve T<sub>50</sub> deneyi, L-kutusu, U-kutusu ve V hunisi deneyleridir.

### 2.2.1.Marsh Hunisi Deneyi

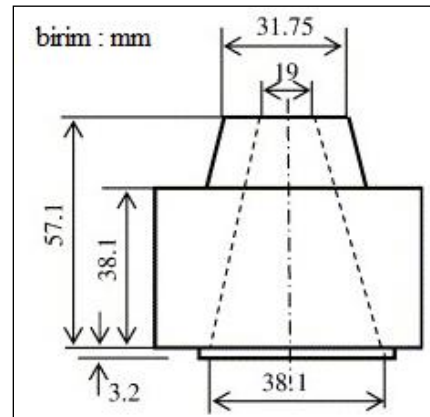
Marsh hunisi deneyi, Şekil-1’de görülen saçtan yapılmış huni şeklindeki deney aparatına daha önceden hazırlanmış olan hamur karışımının doldurulması ve ağız kısmının açılması ile birlikte toplam akış süresinin belirlenmesi prensibine dayanır. Karışımın akışkanlığı ile akış süresi arasında ters orantı bulunmaktadır. Bu deney ile akış süresi ile katkı dozajı arasında ‘doygunluk noktası’ adı verilen katkı dozajı belirlenmektedir [13]. Çalışmada hamur karışımlarında s/ç oranı sabit (0,35) tutulmuş olup hazırlanan 1200 ml’lik karışımın 700 ml’lik kısmının 5. ve 60. dakikadaki akış süresi ölçülmüş, katkı dozajı artırılarak doygunluk noktası değerleri belirlenmiştir.

### 2.2.2.Mini Çökme Deneyi

Mini çökme deneyi hazırlanan hamur karışımının Şekil-2’de gösterilen boyutlarda hazırlanmış olan kesik koni biçimindeki alete doldurulması ve aparat kaldırıldıktan 10-20 sn sonraki yayılma çapının birbirine dik iki yönde ölçülerek aritmetik ortalamasının alınması ilkesine dayanır. Yapılan çalışmalarda yayılma değeri ve kayma gerilmesi arasında korelasyon belirlenmiştir [14]. Çalışmada katkı dozajı artırılarak değişen mini çökme değerleri 5. ve 60. dakikada ölçülmüştür.



Şekil-1 Marsh hunisi



Şekil-2 Mini çökme deney aleti

### 2.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Beton Tasarımı ve Uygulanan Deneyler

Tek tip kimyasal katkı ve beş farklı çimento üzerinde değişik oranlarda yapılan hamur deneyleri katkı-çimento uyumu hakkında fikir vermiş ve elde edilen veriler ışığında Avrupa Beton Birliği (ERMCO) önerilerine uygun KYB tasarımı oluşturulmuştur [15]. KYB'nin performansı ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. KYB'nin doldurma yeteneği, ayrışma direnci ve geçiş yeteneği (donatılar arasında) taze beton özelliklerini taşıması gerekir [16]. Yapılan deneylerden çökme yayılma ve V kutusu deneyleri doldurma yeteneğini, L kutusu ve U kutusu deneyleri geçiş yeteneğini, V kutusu 5dk. akış süresi ise ayrışmaya karşı direnci belirler [15].

Tablo 5-KYB tasarım parametreleri [15] ve bu çalışmada seçilen değerler

Tasarım parametreleri	ERMCO (önerilen)	Seçilen değerler
Toplam toz miktarı	380-600 kg/m <sup>3</sup>	600 kg/m <sup>3</sup>
Toplam hamur hacmi	300-380 lt	312 lt
Su miktarı	150-210 lt	175 lt
İri agrega miktarı	750-1.000 kg/m <sup>3</sup>	807 kg/m <sup>3</sup>
İnce agrega/toplam agrega oranı	0,48-0,55	0,55
Su hacmi / toz hacmi	0,85-1,1	0,86

Tüm karışımlarda çimento dozajı 425 kg/m<sup>3</sup>, su/çimento oranı 0,40 ve başlangıç katkı/çimento oranı %1 olarak seçilmiştir. İstenilen çökme-yayılma değerine ulaşamaması durumunda katkı dozajı artırılarak yeni karışım miktarları belirlenmiş ve deney tekrarlanmıştır. Üretilen KYB karışım oranları Tablo 6'da verilmiştir. Betonların işlenebilirlik özellikleri, TS EN 12350-2'de tanımlanan Abrams konisi ile yapılan çökme yayılma deneyinde belirlenmiştir. Çökme-yayılma değeri için 65-70 cm hedef esas alınarak uygun katkı dozajı saptanmıştır. Her KYB için hedeflenen çökme-yayılma değeri sağlandıktan sonra T<sub>50cm</sub> süresi, V hunisi akış süresi, L kutusu oranı ve T<sub>20cm</sub> ve T<sub>40cm</sub> süreleri ile U kutusu oranı belirlenmiştir. Elde edilen karışımlar ERMCO [15] tarafından verilen değer aralıklarına göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 6-Kendiliğinden yerleşen betonların karışım oranları (s/ç: 0,40)

Kullanılan malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	CEM I 42,5 R	CEM II A-S 42,5 N	CEM II A-LL 42,5 R	CEM II B-M (L-W) 42,5 R	CEM III A 42,5 N
Çimento	425	425	425	425	425
Su	175	175	175	175	175
5-12 mm	809	805	804	801	804
0-3 mm	660	657	656	653	656
0-5 mm	321	320	319	318	319
Kim. Katkı	4.25	5.53	5.53	5.95	4.68
Toplam	2394	2388	2385	2378	2384

Üretilen betonların hava içerikleri ve yaş beton birim ağırlıkları TS EN 12350-6 ve 7'ye göre ölçülmüştür. Alınan 15 cm'lik küp numuneler 1 gün sonra kalıplarından çıkarılmış ve deney gününe kadar 20±2 °C de su içinde saklanmışlardır. Numunelere 7 ve 28. günlerde basınç ve 28.günde yarmada çekme deneyleri uygulanmıştır.

### 3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

#### 3.1. Çimento Hamuru Deney Sonuçları

Çimento hamuru deney sonuçları, Tablo 8’de toplu halde gösterilmektedir. Buna göre en düşük Marsh hunisi akış süresi 5 ve 60.dk itibariyle CEM III A 42,5 N çimentosu ile ölçülmüş aynı zamanda doyum noktası katkı miktarı diğer çimentolardan daha düşük olmuştur. 5 ve 60.dk. Marsh hunisi değerleri için akış süresi artışına göre sıralama yapılacak olursa CEM II A-S, CEM I, CEM II (B-M) ve CEM II A-LL şeklindedir. Bu durumda akış süreleri göz önüne alındığında az katkı ile doyum noktasına ulaşan çimentoların cüraf içeren CEM II A-S ve CEM III A 42,5 N olduğu gözlenmiştir. En çok katkı gerektiren çimentonun ise CEM II (B-M) olduğu görülmektedir. Marsh hunisi değerlerinde 5 ile 60 dk’lık ölçümler arasında anlamlı fark olmaması, tüm çimentolar için kıvam kaybı yaşanmadığını göstermektedir.

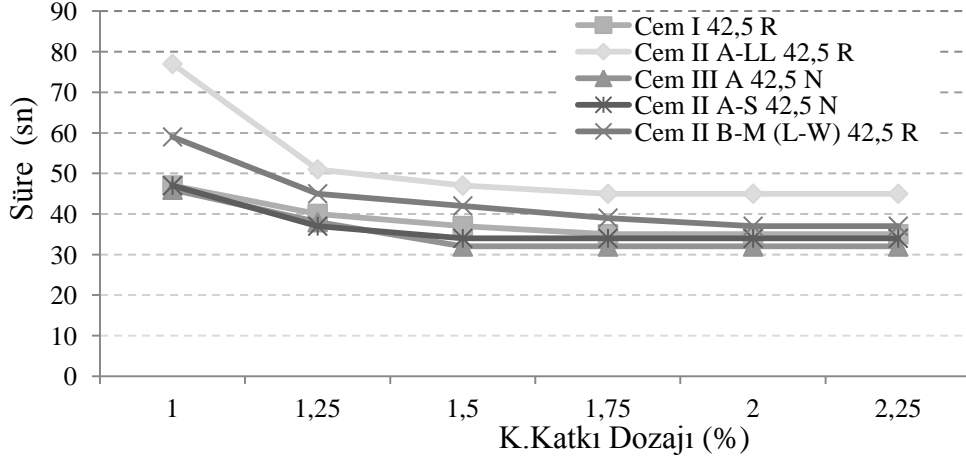
Mini çökme değerleri incelenecek olursa genel olarak hamurlarda 60.dk. itibariyle kıvam kayıpları göz ardı edilecek seviyede olduğu gözlenmiş ve en başarılı sonuçların CEM III A 42,5 N ve CEM II A-S ile alındığı görülmüştür. Sıralama ise, CEM I, CEM II A-LL ve CEM II (B-M) olarak yapılmaktadır. Tablo 8 üzerinde Marsh hunisi akış sürelerine göre doyumluk noktası (katkı eklenmeye devam edilse de akış süresinin sabit kaldığı) değerleri işaretlenmiştir. Ayrıca her çimento için belirlenen doyumluk noktası aşıldığında mini çökme değerlerinin de daha fazla artış göstermediği belirlenmiştir.

Hamur deneyleri göz önüne alındığında, çimentoların cüraf içermesinin ve bu miktarın artmasının şahit katkısız çimentolu hamura oranla akışkanlığa olumlu etki ettiği gözlenmiştir. Kalker içeren çimentolar için ise şahit hamura göre akışkanlığın azaldığı, kalker miktarının artmasının da bu etkiyi arttırdığı görülmektedir. Çimento incelikleri bakımından deney sonuçları incelendiğinde ise çimento inceliğinin cüraf katkısı nedeniyle arttığı, ancak bunun akışkanlığa ters etki yaratmadığı, hatta CEM II A-S ve CEM III A için akışkanlığın arttığı, Blaine değeri yüksek olan kalker katkılı çimentolarda ise tam tersi etki görüldüğü gözlenmiştir.

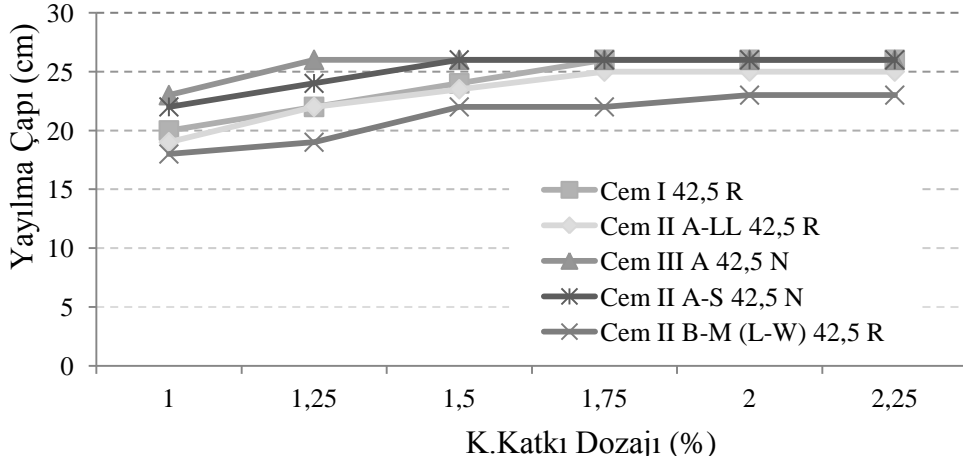
Tablo 8-Çimento hamuru deney sonuçları

Çimento Tipi	Katkı Miktarı (%)	Mini Çökme 5.dk	Marsh Hunisi 5.dk	Mini Çökme 60.dk	Marsh Hunisi 60.dk
CEM I 42,5 R	1.00	20	47	19	50
	1.25	22	40	21	42
	1.50	24	37	24	38
	1.75	26	35	25	35
	2.00	26	35	25	35
	2.25	26	35	25	35
CEM II A-S 42,5 N	1.00	22	47	21	49
	1.25	24	37	24	39
	1.50	26	34	25	35
	1.75	26	34	26	35
	2.00	26	34	26	35
	2.25	26	34	26	35
CEM II A-LL 42,5 R	1.00	19	77	18	80
	1.25	22	51	21	55
	1.50	23.5	47	23	49
	1.75	25	45	25	45
	2.00	25	45	25	45
	2.25	25	45	25	45
CEM II B-M (L-W) 42,5 R	1.00	18	59	17	62
	1.25	19	45	18	47
	1.50	22	42	22	44
	1.75	22	39	23	39
	2.00	23	37	23	36
	2.25	23	37	23	36
CEM III A 42,5 N	1.00	23	46	23	47
	1.25	25	38	26	39
	1.50	26	32	26	32
	1.75	26	32	26	32
	2.00	26	32	26	32
	2.25	26	32	26	32

Dikkate değer kıvam kaybı olmadığından, Marsh hunisi ve Mini Slump 5 dk. değerleri katkı dozajına göre grafiklenmiştir (Bkz Şekil 3 ve 4). Kalker içeren çimentoların diğerlerinden daha yüksek Marsh hunisi değerleri verdiği görülmektedir. Mini slumpta CEM II (B-M) çimentosunun diğerlerinden daha düşük değerler verdiği görülmektedir.



Şekil 3- Marsh Hunisi 5.dk grafiği



Şekil 4- Mini çökme 5.dk. yayılma grafiği

### 3.2. Taze ve Sertleşmiş KYB Deney Sonuçları

#### 3.2.1. Taze KYB Deney Sonuçları

ERMCO parametrelerine göre tasarlanan KYB'ler için alınan taze beton deney sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. KYB taze beton deney sonuçlarına göre belirlenen hedef çökme-yayılma olduğundan benzer kabiliyette betonları üretebilmek için gerekli katkı miktarlarında değişiklikler yapılmış, aynı s/ç oranı için hamur deneylerinde olduğu gibi kalker ve kül katkılı betonlarda daha yüksek katkı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. En yüksek katkı kullanımı CEM II B-M (L-W) çimentolu tasarımda görülmektedir, bu durum, çimentonun kalker ve kalkersi uçucu kül içermesinden kaynaklanmıştır. Artan katkı miktarı ile betonların hava miktarlarında orantılı olarak artış gözlenmiştir.

Tablo 9-Kendiliğinden yerleşen taze beton deney sonuçları

Çimento Tipi	[15] Sınırı	CEM I 42,5 R	CEM II A-S 42,5 N	CEM II A-LL 42,5 R	CEM II B-M (L-W) 42,5 R	CEM III A 42,5 N
Katkı Miktarı (%)	-	1.0	1.3	1.3	1.4	1.1
Çökme-yayılma (cm)	65-80	70 (SF2)	71 (SF2)	69 (SF2)	68 (SF2)	68 (SF2)
T50cm süresi (sn)	2-5	4.3 (VS2)	3.32 (VS2)	5.95 (VS2)	6 (VS2)	3.2 (VS2)
Yaş BHA(kg/m <sup>3</sup> )	-	2394	2357	2395	2399	2359
Hava (%)	-	1.1	1.1	1.2	1.3	1.2
V Hunisi Süresi (sn)	6-12	10 (VF2)	8 (VF1)	11 (VF2)	12 (VF2)	7 (VF1)
V Hunisi 5.dk süresi (sn)	9-15	12 (VF2)	9 (VF2)	14 (VF2)	14 (VF2)	9 (VF2)
L kutusu T20cm Süresi (sn)	-	2	2	3	4	1.5
L kutusu T40cm Süresi (sn)	-	4	4	5	6	3.5
L kutusu oranı	0.8 – 1.0	0.92 (PA2)	0.9 (PA2)	0.88 (PA2)	0.8 (PA2)	1.0 (PA2)
U kutusu oranı	0 – 3	0	0	0.2	1	0

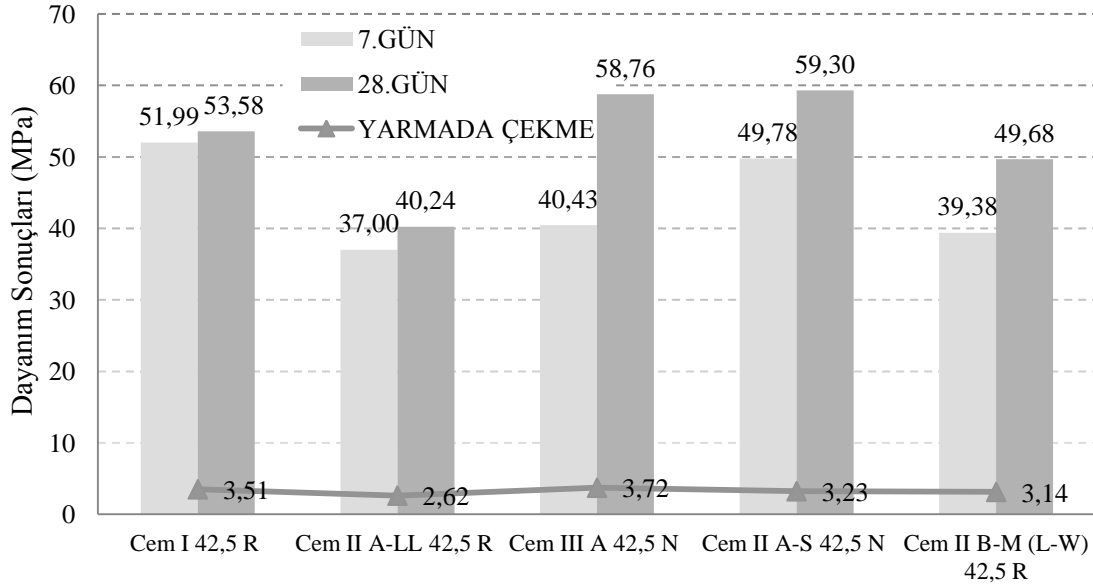
KYB'nin taze beton deneylerinden T<sub>50cm</sub> süresi esas alındığında en düşük süreler CEM III A ve CEM II A-S çimentolu KYB'ler ile elde edilmiş, bu durum aynı hedef çökme-yayılmaya sahip betonlar içerisinde cüruf içeren betonların daha iyi doldurma yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. V hunisi deneylerinde ise T<sub>50cm</sub> süresi deneyine benzer şekilde CEM III A ve CEM II A-S çimentolu KYB'lerin diğerlerine göre bir üst kategoride (VF1) doldurma yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. L kutusu ve U kutusu deney süreleri de CEM III A ve CEM II A-S çimentolu KYB'lerin daha iyi geçebilme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

Genel olarak mineral katkı içeren çimentoların benzer yayılma yeteneğini sağlayabilmek için CEM I çimentodan daha fazla kimyasal katkı gerektirdiği görülmektedir. Ayrıca, cüruf içeren çimentolarda benzer yayılma yeteneğine sahip olsalar dahi daha iyi doldurma ve geçebilme yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun, katkılı çimentoların yapısı ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Literatürde kalkerli çimentoların işlenebilirliğe etkisi üzerinde çelişkili sonuçlar olmasına rağmen bu çalışmadaki sonuçlar, benzer yayılma değerleri için CEM II A-LL ve CEM II (B-M) çimentolarını içeren karışımların daha fazla akışkanlaştırıcıya ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, benzer yayılma kabiliyetine sahip dahi olsalar bu çimentoları içeren KYB'lerin V hunisi değerlerinde dikkate değer azalma görülmüştür. Kalker içeren çimentoların Blaine değerleri cüruf içerenlerden düşüktür, ancak burada asıl etkinin cürufun yapısının kalkere göre küresel olmasının akışkanlığa olumlu etkisi olduğu düşünülmektedir. [17].

### 3.2.2.Sertleşmiş KYB Deney Sonuçları

Sertleşmiş beton deney sonuçlarına göre (Bkz. Şekil 5) 28 günlük dayanım sonuçları göz önüne alındığında en yüksek dayanım CEM II A-S ve CEM III A ile yapılan betonlardan elde edilmiştir. En düşük sonuç ise kalker miktarının en yüksek olduğu CEM II A-LL ile görülmüştür. Bu çalışmada CEM II A-LL çimentosu ile elde edilen sonuçların diğerlerine kıyasla düşük olması düşündürmektedir. Bu konunun açığa kavuşturulması için deneyler tekrarlanacaktır. Benzer sonuçların tekrarlanması halinde kalkerin, cüruf ve uçucu kül gibi bağlayıcılık oranı yüksek bir mineral katkı olmamasından dolayı bu dayanımlar katkısız şahit betondan ve diğer katkılı betonlardan düşük olduğu yorumu yapılabilir.





Şekil 5-Sertleşmiş Beton Dayanım Sonuçları (N/mm<sup>2</sup>)

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

- 1) Hamur üzerinde uygulanan deney sonuçları dikkate alındığında, karışımların zaman içerisinde kıvam kaybı göstermediği, en az katkı ile doyum noktasına ulaşan çimentoların CEM II A-S ve CEM III A 42,5 N ve en çok katkı ile doyum noktasına ulaşan çimentonun ise CEM II (B-M) olduğu belirlenmiştir. Bu durum çimentonun bileşiminde yer alan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun formunun klinkere benzemesi ve cürufun süperakışkanlaştırıcı katkılarla genel olarak iyi uyum göstermesi şeklinde açıklanmaktadır.
- 2) Eşit katkı oranları için hamur deneyleri incelendiğinde, çimentoların cüruf içermesinin ve bu miktarın artmasının şahit katkısız çimentolu hamura oranla akışkanlığa olumlu etki ettiği gözlenmiştir. Kalker içeren çimentolar için ise şahit hamura göre akışkanlığın azaldığı, kalker miktarının artmasının da bu etkiyi arttırdığı görülmektedir.
- 3) KYB karışımlarında eşit çökme-yayılma değerleri hedeflenmiş, bu durumda hamur deneylerinde olduğu gibi kalker ve kül katkılı betonlarda daha yüksek katkı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Artan kimyasal katkı ihtiyacı ile birlikte üretilen betonların ölçülen hava miktarları da yükselmiştir.
- 4) Mineral katkı içeren çimentoların benzer yayılma yeteneğini sağlayabilmek için katkısız çimentodan daha fazla kimyasal katkı gerektirdiği görülmektedir. Ayrıca, özellikle cüruf içeren çimentolarda benzer yayılma yeteneğine sahip olsalar dahi daha iyi doldurma ve geçebilme yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. Cürufun küresel formunun bu durumda etkisi olduğu düşünülmektedir.
- 5) Sertleşmiş beton deney sonuçları beklenildiği gibi birbirine yakın çıkmıştır, ancak CEM IIA- LL tipi çimento ile dökülen betonlardaki dayanımdaki düşüşün deney tekrarı ile sağlanmasının yapılması planlanmaktadır.
- 6) KYB'larda yüksek oranda katkı kullanımı ve katkı dozajlarının çimento tipine göre değişimi sebebi ile beton tasarımında kullanılan katkının ve çimento tipinin çevresel etki gözetilerek uygulanacak deneyler sonucunda özenle seçimi önemlidir.

## Kaynaklar

1. Ramachandran, V.S. Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications, New Jersey, (1995).
2. T.H.B.B. “Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu” 68 p. (2007).
3. Ouchi M. “Self-compacting concrete – Development, applications and investigations”, Nordic Concrete Research Committee Publications, 5p. (1999).
4. Felekoğlu B., “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi ABD, 267s., İzmir, (2003).
5. Burge TA “Multi Component Polymer Concrete” First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, RILEM Publications S.A.R.L. pp.411-424. (1999)
6. Uchikawa, H., Harehara, S., ve Sawaki D., The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in cement paste prepared with organic admixture, Cement and Concrete Research, 27, 1, 37-50. (1997)
7. Yoshioka, K., Sakai, E., Damian, M., ve Kitaharu, A., Role of steric hindrance in the performance of superplasticizers for concrete, 5th American Ceramic Society Journal, 80, 10, 2667-2771. (1997)
8. Kim, B.-G. Compatibility Between Cements and Superplasticizers in High Performance Concrete: Influence of Alkali Content in Cement and of the Molecular Weight of PNS on the Properties of Cement Pastes and Concretes, Thesis of Doctor of Philosophy, Département de Génie Civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke. (2000)
9. Huynh, T. La Compatibilite Ciment-Adjuvant. Etude Bibliographique, Bulletin des Laboratoire des Ponts et Chaussees, No. 206, November-December, pp. 63-74. (1996)
10. Aitcin, P.-C. & Neville, A. High Performance Concrete Demystified, Concrete International, January, pp. 21-26. (1993)
11. Grabiec, A. M., Contribution to the Knowledge of Melamine Superplasticizer Effect on Some Characteristics of Concrete after Long Periods of Hardening, Cem. Concr. Res., 29, 699-704 (1999)
12. Bedard, C., Mailvaganam, N.P., The Use of Chemical Admixtures in Concrete. Part I: Admixture-Cement Compatibility, J. Perform. Constr. Facil., 19 (4) ASCE, 263-266, (2005)
13. Aitcin, P.-C., Jolicoeur, C. & MacGregor, G. J Superplasticizers : How They Work and Why They Occasionally Don't, Concrete International, May, pp. 45-52. . (1994).
14. Nehdi, M. Microfiller Effect on Rheology, Microstructure and Mechanical Properties of High Performance Concrete, Ph.D. Dissertation, University of British Columbia, Canada. (1998).
15. SCC European Project Group, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*, Europe, 63 p. (2005)
16. Özkul, M. H. “Beton Teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 52, pp. 64-71, (2002)
17. Hooton, R.D, Nokken, M ve Thomas, M. D. A. “Portland-Limestone Cement: State-of-the-Art Report and Gap Analysis for CSA A 3000” (2007).