

MODİFİYE ÇÖKME DENEY CİHAZI İLE KLASİK ÇÖKME DENEYİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mümin FİLİZ*, Cengiz ÖZEL **, Mehmet Ali OKTAY***, Serdar Kağan AKTEMUR****

ÖZET

Beton günümüzde kullanılan en yaygın yapı malzemesidir. Birçok standard ve yönetmelik betonun taze haldeki özelliklerini kontrol etmede çökme (slump) deneyini zorunlu kılmaktadır. Günümüz katkı sektöründeki gelişmeler kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) üretimine olanak vermiş, yüksek çökmeli olarak üretilen bu betonlarda çökme deneyinin daha hassas ve kontrollü yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bununla birlikte Standard çökme deneyinin deneyi yapan operatörün deneyim ve becerisine bağlı olması bu deneyin güvenilirliğini azaltmaktadır.

Bu çalışmada, koninin çekilmesi esnasında operatörden kaynaklanan hataları engellemek amacıyla yeni bir modifiye çökme test cihazı geliştirilmiştir. Ayrıca, iki farklı operatör kullanılarak 0.50 ve 0.55 su/çimento (S/Ç) oranındaki betonlardan elde edilen deneysel parametrelerin değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geliştirilen cihazdan, operatörlere göre daha hassas ve tekrarlanabilir ölçümler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler; Çökme, Çökme Deneyi, Çökme Deneyinin Geliştirilmesi, Beton.

COMPARISON OF MODIFY SLUMP TEST APPARATUS WITH CLASSICAL SLUMP TEST

ABSTRACT

Concrete is widely used in civil engineering as structural material. Many of standard and guide must be implementation of slump test which used been control of properties of fresh concrete. In today, improvements of admixtures sector were possibility produced of self compacting concrete (SCC), at these concretes produced as high slump is indispensable accomplished as extra sensitive and controlled of slump test. However, reliability of standard slump test can be decrease because its reliability depends on experience and knowledge of operator.

In this study, a new modified slump test apparatus was developed to prevent any mistakes depending on operator during the slump cone has been lifted up. In addition, changing of experimental parameter were investigated at concrete mixtures of water/cement ratio in the range of 0.50 and 0.55 respectively by using two operators. According to obtained results, we observed that the developed apparatus is more sensible and repeatable than two operators.

Key Words; Slump, Slump Test, Modification of Slump Test, Concrete.

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta. E-posta: mfiliz@tef.sdu.edu.tr

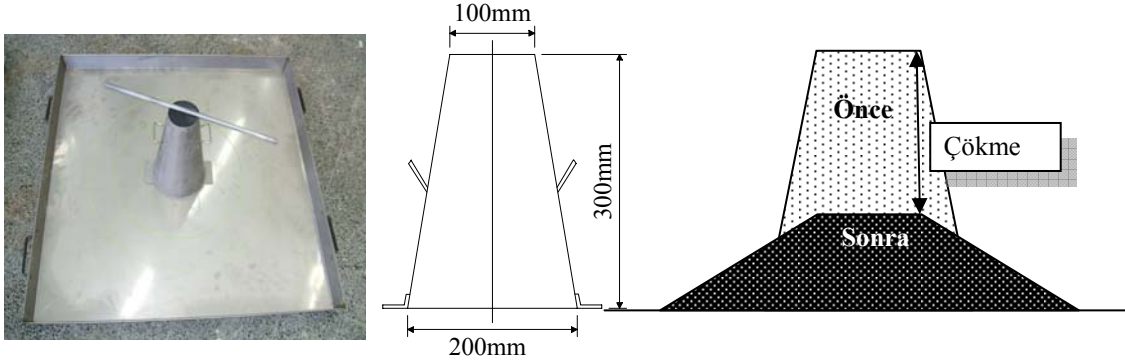
** Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta. E-posta: cozel@tef.sdu.edu.tr

*** Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta.

**** Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta.

1. Giriş

Çökme (slump) deneyi 1910 yıllarında Amerika’da geliştirilmiştir. Bu deney ASTM C143 (2000), TS EN 12350-2 (2002) ve birçok ülkede standard olarak da kabul edilmiştir. Abrams konisi olarak da isimlendirilen bu deneyde; Şekil 1’de de görülen üst çapı 100 mm, alt çapı 200 mm ve yüksekliği 300 mm olan tepesi kesik koni şeklindeki metal kalıp içine üç eşit tabaka halinde ve her tabakası 25 kez özel bir çubukla (çapı 16 mm, uzunluğu 600 mm) şişlenerek taze beton doldurulur. Daha sonra doldurulan beton sarsılmadan kesik koni kalıp yukarı çekilir. Beton kendi ağırlığı ile bir miktar çöker ve çökme miktarı ölçülür (Akman, 1987; TS EN 12350-2).



Şekil 1. Çökme deneyinde kullanılan aletler ve deneyin yapılışı (Özel, 2007)

Bu ölçüm basitliğinden dolayı yaygın olarak kullanılır. Çökme deneyi sonunda, betonun konik formunu bozmadan deforme olması, yanlardan kaymaması (shear slump) ve segregasyona sebep olacak şekilde yayılmaması (collapse) doğru bir çökme değerinin ölçümü için gereklidir. Kayma şeklinde çökme olması durumunda deney tekrarlanır. Tekrar yapılan deneyde çökme, yine kayma şeklinde olur ise, bu durumun karışımın kaba ve kohezyonunun eksik olduğuna işaret ettiği kabul edilir. Çökme ayrışma şeklinde olur ise betonun su/çimento oranının çok yüksek olduğu veya karışıma sonradan su ilave edilmiş olabileceği anlaşılır (Yücel, 1997).

Çökme deneyi, kuvvetli vibrasyonla yerleştirilebilecek çok kuru betonlar ve mıcır oranı yüksek betonlar bakımından pek bir şey ifade etmez, zira bu betonlarda genellikle çökme sıfır değerinde olur. Deney, betonun sıkıştırılma kolaylığı hakkında bir fikir veremez ve betonun vibrasyon, bitirme işlemi, pompalama gibi dinamik koşullar altında davranışını yansıtamaz. Çökme deneyi akıcıya yakın plastik kıvamda betonlar için uygulanabilir. Çökme deneyi, şantiye koşullarında, agrega rutubetlerinde meydana gelebilecek olası artışların gözlemlenmesi amacı ile beton karışımının üniformalığındaki değişkenliklerin takibinde oldukça kullanışlıdır (Akman, 1987; Neville, 1996; Özkul ve Sağlam, 2002; Koehler ve Fowler 2003).

TS EN 206-1’e göre çökme yüksekliğine bağlı çökme sınıfları ve hedef kıvam değerleri için toleranslar Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Taze betonun çökme sınıflaması ve toleranslar (TS EN 206-1, 2002)

Sınıf	Çökme(mm)	Hedef değer (mm)	Tolerans (mm)
S ₁	10-40	≤ 40	± 10
S ₂	50-90	50 - 90	± 20
S ₃	100-150	≥ 100	± 30

S ₄	160-210			
S ₅	≥220			

Birçok araştırmacı çimento pastası (Saak vd., 2004; Morigana, 1973; Ferraris vd., 2001; Svermova vd., 2003) veya harç ve betonlar üzerinde (Özel, 2007, Banfill vd., 2000; Beaupré vd., 2003; Bouzoubaâ ve Lachemi, 2001; Cullen ve West, 2004; Larrard vd., 1998; Wallevik, 2006; Yücel, 1997) çökme deneyinden elde edilen parametrelerle betonun reolojik sabitleri olan kayma eşiği ve plastik viskozite arasında ilişkileri araştırmış, özellikle çökme yüksekliği ile kayma eşiği değeri arasında korelasyonun yüksek olduğunu belirtmiştir.

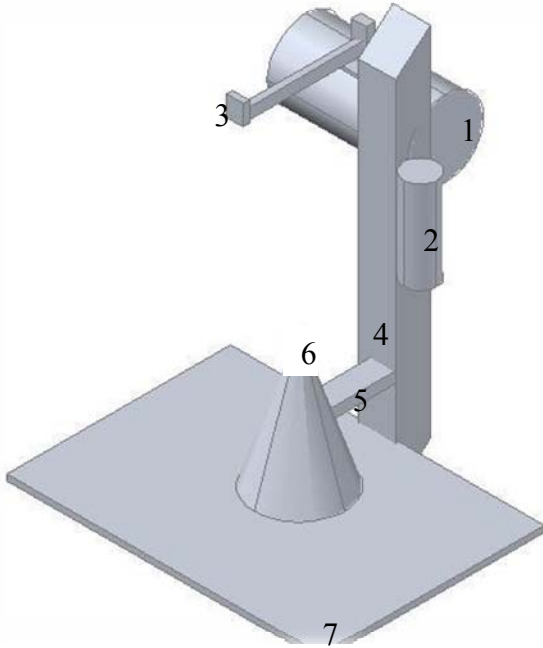
Çökme ölçümlerinin değişkenliği başlıca, karışım oranının değişmesine ve operatöre bağlıdır. Operatör hatalarının başında ise şişlemeden kaynaklanan hatalar ve koninin çekilmesi esnasında kullanılan farklı güç ve hız parametreleri gelir. Özellikle günümüz katkı sektöründeki gelişmeler kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) üretimine olanak vermiş, yüksek çökmeli olarak üretilen bu betonlarda çökme deneyinin daha hassas ve kontrollü yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu çalışmada koninin çekilmesi esnasında operatörden kaynaklanan hataları engellemek amacıyla geliştirilen çökme cihazı ve elde edilen deneysel parametrelerin değişimi verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Geliştirilen Çökme Cihazı ve Cihazın Kullanımı

Standart abrams hunisi sabit hızda hareket eden motor yardımıyla kontrol edilmektedir. Mesafe ölçümleri için sisteme lazer metre ilave edilmiştir. Cihaza ait tasarım şekli ve cihazın son hali Şekil 2'de verilmiştir.



a) Tasarlanan Cihaz



b) Geliştirilen Cihaz

Şekil 2. Tasarlanan ve geliştirilen çökme cihazı

Cihazın Teknik Özellikleri

1. **Motor :** 220V ile çalışan 600/1200kg kaldırma kapasitesine sahip elektrikli vinç motoru. Motorun uç kısmı 5/8x1x26 ebatlarındaki motor çark dişlisine bağlıdır.
2. **Kumanda Paneli:** Aşağı yukarı hareketi sağlayan, emniyet kilitli motor kontrol kumandası.
3. **Lazer Metre:** Bosh PLR 30. Ölçme hassasiyeti (tipik) ± 2 mm, 4x1,5V (AAA) batarya, lazer sınıfı 2, ölçme süresi (tipik) $< 0,5$ s, en küçük gösterge birimi 1mm'dir.
4. **Zincir Dişli Mil:** 30x30x3mm ebatındaki profil üzerine monte edilmiş 5/8x1 zincir dişlidir.
5. **Bağlantı Elemanı:** Slump konisi ile mil arasındaki bağlantıyı sağlayan çelik parçadır.
6. **Slump Koni:** Üst çapı 100 mm, alt çapı 200 mm ve yüksekliği 300 mm olan tepesi kesik koni şeklindeki krom nikel paslanmaz kalıptır.
7. **Slump Alt Taplası:** 70x55 cm ebatlarında krom nikel paslanmaz metaldir.
8. **Makine Ebatları:** 80x70x55 cm, 37 kg'dır.
9. **Koninin Düşeyde Hareket Mesafesi:** 35.1 cm'dir.
10. **Koninin Hareket Hızı:** 0.107 ± 0.002 m/sn'dir.

Slump (çökme) deneyinde, alt tablada işaretlenmiş olan merkez noktasına lazer metre ayarlanarak sabitlenir. Lazer metrenin bağlı olduğu kol hareketli olup sağa sola hareket edebilmektedir. Bağlantı kolunda ilk işaretlenen noktayı sabitlemek amacıyla frenleyici bulunduğu yapılan hareketin lazer metrenin işaretlenmiş olan konumunu bozmamaktadır. Slump hunisinin doldurulması işleminde lazer metre kenara çekilerek şişleme işleminin kolay gerçekleşmesini sağlamaktadır. Doldurma işlemi standart deney prosedürüne göre yapılmaktadır. Slump hunisi dolduktan sonra, lazer metrenin bağlı bulunduğu kol ayarlanan noktaya tekrar getirilerek lazer metre ile dolu yükseklik okunur. Okuma işleminin tamamlanmasının ardından motor kontrol kumandası, slump hunisinin bağlı bulunduğu zincirli mili harekete geçirerek huninin 0.107 m/sn hızla yukarı çekilmesini sağlar. Huninin yukarıya çekilmesinin ardından lazer metre ile çökme yüksekliği okunur. İlk okuma değeri ile son okuma değeri arasındaki fark çökme mesafesi olarak kayıt edilir.

2.2. Kullanılan Agregalar ve Karışım Dizayını

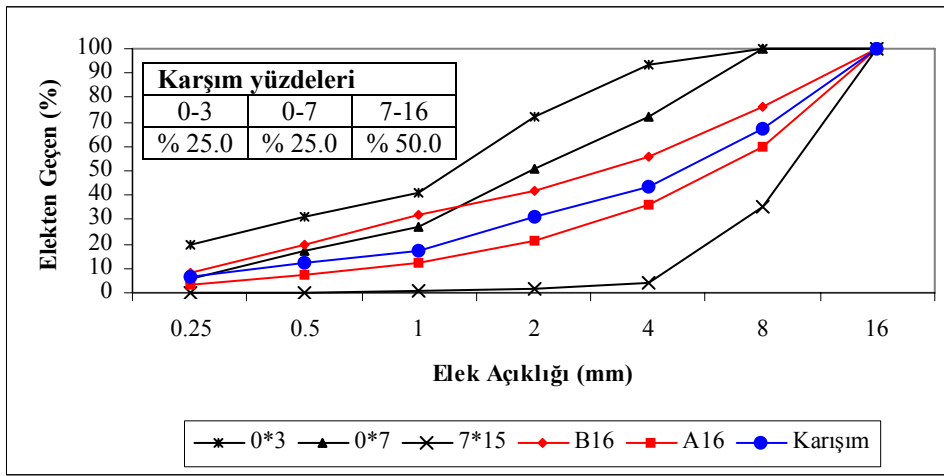
Deneylerde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri Çizelge 2'de, granülometrik özellikleri ve karışım oranı Şekil 3'de, karışımda kullanılan malzemelerin teorik ve gerçek miktarları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Agregaların yoğunlukları ve su emme değerleri

	*Bağıl Yoğunluk		*Görünür Bağıl Yoğunluk	**Yoğunluk kg/m^3		** Görünür Yoğunluk kg/m^3	Su Emme Oranı %	Birim hacim ağırlıkları (kg/m^3)	
	Etüv Kur.	DKY		Etüv Kur.	DKY			Gevşek	Sıkışık
0-3	2535	2609	2737	2528	2602	2737	2,92	1913	2151
0-7	2510	2586	2716	2504	2579	2716	3,02	1830	1974
7-15	2678	2703	2746	2671	2695	2746	0,93	1676	1833

* Deney sıcaklığında suyun yoğunluğu $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ varsayılarak hesaplanmıştır.

** Su sıcaklığı 20°C 'ye göre hesaplanmıştır.



Şekil 3. Agregaların gradasyonu

Çizelge 3. Karışımında kullanılan malzemelerin teorik ve gerçek miktarları (kg) ile BHA (kg/m^3)

	Çimento	Su	0-3 Agr.	0-7 Agr.	7-15 Agr.	BHA
Teorik	400.00	168.00	447.30	443.44	926.83	2385.6
Gerçek	405.95	170.50	453.95	450.03	940.61	2421.0

2.3. Çimento

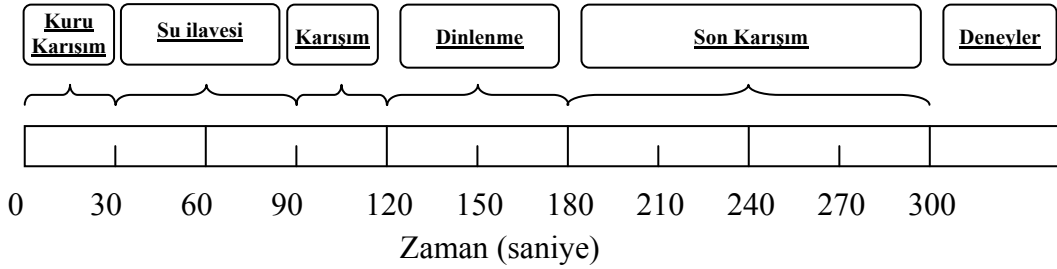
Bütün karışımlarda TS EN 196-1 ve TS EN 197-2 standartlarında uygun olan CEM II/A-M (P-LL) 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler GÖLTAŞ Çimento A.Ş. laboratuvarlarında yapılmıştır.

Çizelge 4. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal analiz (% Kütle)												
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl ⁻	S.CaO	A.Z	Toplam Katkı			
22.90	5.32	3.63	55.83	1.99	2.62	0.00	0.82	4.20	19.45			
Karma Oksit Bileşenleri (Bogue) (%Kütle)												
C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF						
54.57		8.26		4.92		10.49						
Fiziksel ve mekaniksel özellikler												
İncelik		Priz Süreleri (saat:dak.)		Tane Yoğ. (Mg/m ³)	Blaine (cm ² /gr)	Le Chatelier (mm)	Mukavemet Değerleri (N/mm ²)					
200 μ	90 μ	Başlangıç	Bitiş				2 gün		7 gün		28 gün	
		ç					Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
0.1	1.0	02:25	03:15	3.12	4150	1	3.7	22.5	5.6	36.6	6.9	47.8

2.4. Beton Karıştırma Cihazı ve Metodu

Beton karışımlarının hazırlanmasında 56 lt etkili kullanım kapasiteli düşey eksenli cebri karıştırıcı mikser kullanılmıştır. Karılma işlemi Şekil 4’de gösterildiği gibi, 30 s kuru (iri agrega, ince agrega, bağlayıcı madde), 90 s ıslak karışım (ilk 1 dk’da su ilavesi), 60 s dinlenme ve 120 s son karışım olmak üzere toplam 300 s’de (5 dk) yapılmıştır.

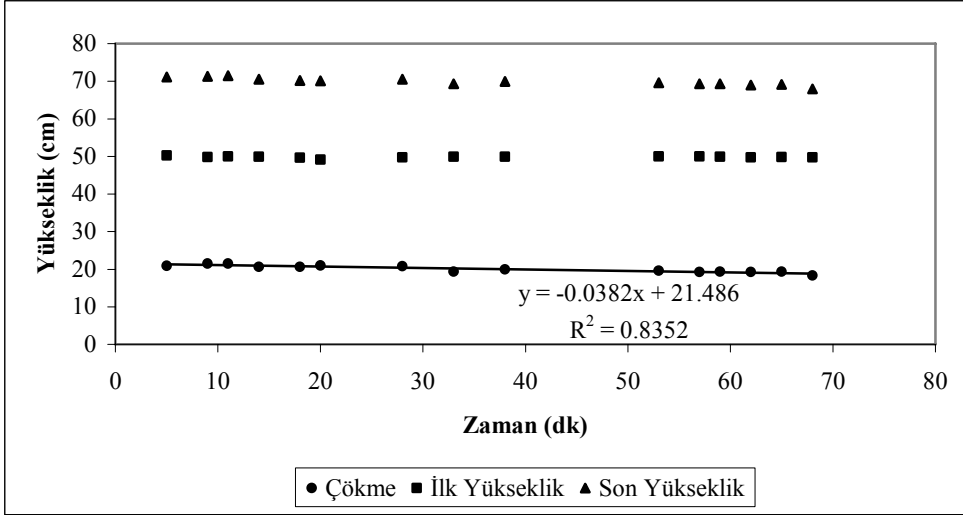


Şekil 4. Betonun karışım işlem aşamaları (Özel, 2007)

İki farklı S/Ç oranında (0.50 ve 0.55) hazırlanan karışımlar üzerinde 3 tekrarlı yapılan deneysel çalışmada 2 operatör ve geliştirilen cihazda 3 farklı zamanda olmak üzere eş zamanlı deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

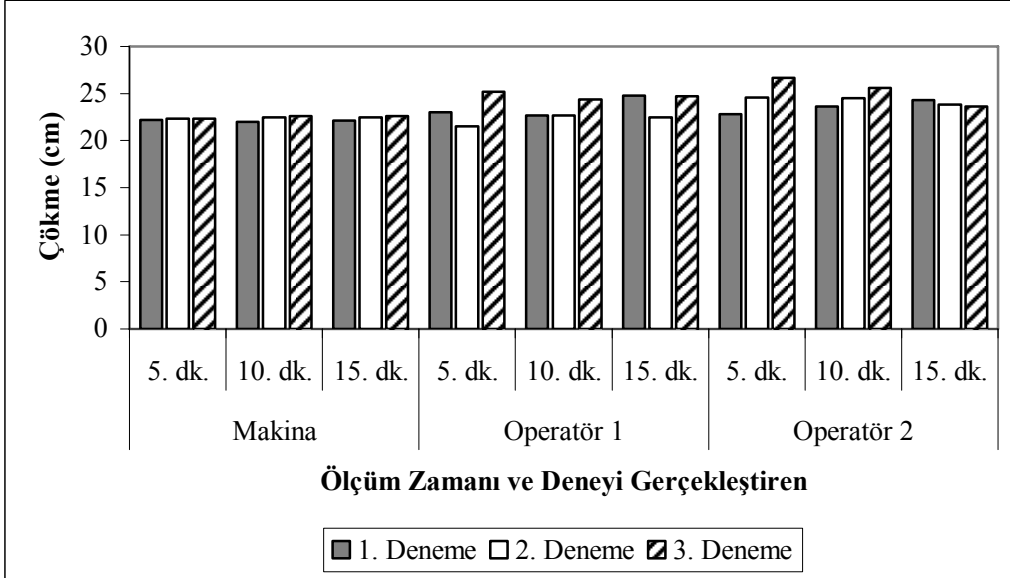
3. Araştırma Bulguları

Yapılan deneysel çalışmada 0.55 S/Ç oranında hazırlanan beton karışımı üzerinde zamana bağlı çökme değişimi ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen ölçümler Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 0.55 S/Ç oranındaki karışım için cihazdan elde edilen zamana bağlı çökme değeri

Hazırlanan her iki S/Ç oranındaki karışım için biri cihazdan elde edilen çökme değeri olmak üzere 2 farklı operatörle beraber eş zamanlı olarak deneyler yapılmıştır. Her iki S/Ç oranındaki beton üç tekrarla imal edilmiş ve çökme değerleri alınmıştır. Bu deneylerden 0.55 S/Ç değerindeki karışıma ait çökme değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Yine deneylerden elde edilen en büyük, en küçük ve ortalama çökme değerleri ile standart sapma değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 6. 0.55 S/Ç oranındaki karışım için çökme değerleri

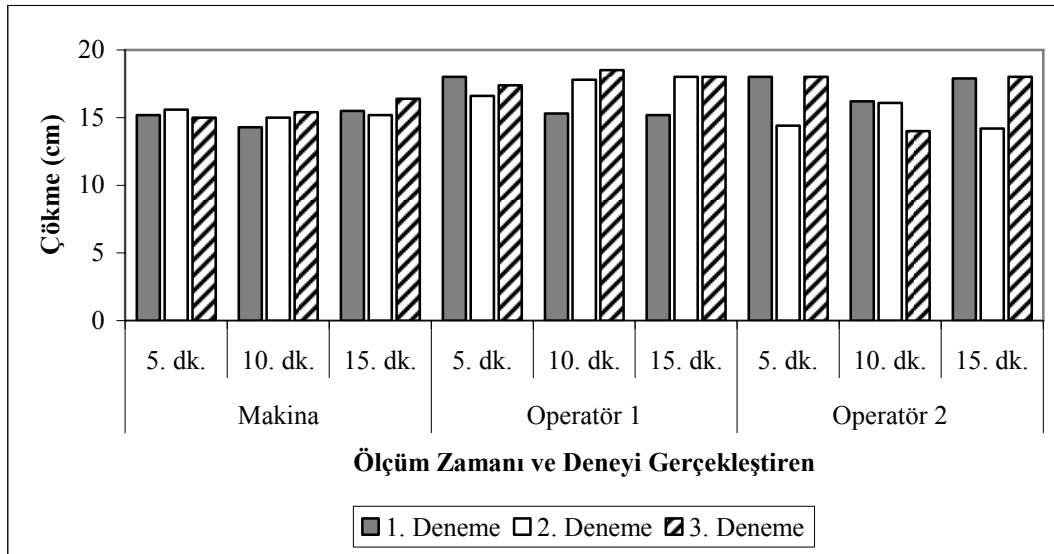
Şekil 6'dan görüleceği gibi 3 farklı zaman için yapılan ölçümlerin içinde en yakın sonuçlar geliştirilen cihazdan elde edilen çökme değerleridir. Özellikle başlangıç çökme değerleri (5. dk.) üç tekrarda da bir birine oldukça yakındır. Bu deneyler arası standart sapma değeri 0.31 cm'dir. Diğer 2 operatörle karşılaştırıldığında standart sapma değeri oldukça düşüktür. Bu değer deneyden elde edilen verilerin tuatarlılığını da göstermektedir.

2. ve 3. ölçüm zamanları için (10. dk. ve 15. dk.) dikkate alındığında ise ilk ölçüm zamanına göre ölçülen değerlerdeki hata artmaktadır.

Çizelge 5. 0.55 S/Ç oranından hazırlanan karışım için çökme deneyine ait sonuçlar

Zaman	Makina			Operatör 1			Operatör 2		
	5. dk.	10. dk.	15. dk.	5. dk.	10. dk.	15. dk.	5. dk.	10. dk.	15. dk.
Standart Sapma	0.06	0.32	0.26	1.86	0.98	1.30	1.95	1.00	0.36
Ortalama	22.3	22.4	22.4	23.2	23.3	24.0	24.7	24.6	23.9
En büyük	22.3	22.6	22.6	25.2	24.4	24.8	26.7	25.6	24.3
En küçük	22.2	22.0	22.1	21.5	22.7	22.5	22.8	23.6	23.6

Şekil 7 ve Çizelge 6'da 0.50 S/Ç oranından hazırlanan karışım için çökme deneyine ait sonuçlar verilmiştir. Bu deney sonucunda da tekrarlanan deneylerde en az hata makina ile yapılan cihazdan elde edilmiştir. Ancak bu deneyde S/Ç oranındaki azalma harç matrisinde de azalmaya neden olduğu için 0.55 S/Ç oranındaki karışıma göre hata oranını arttırmıştır. Yinede makinadan elde edilen standart sapma değerleri operatörlerden elde edilenlere göre daha azdır.



Çizelge 6. 0.50 S/Ç oranından hazırlanan karışım için çökme deneyine ait sonuçlar

Zaman	Makina			Operatör 1			Operatör 2		
	5. dk.	10. dk.	15. dk.	5. dk.	10. dk.	15. dk.	5. dk.	10. dk.	15. dk.
Standart Sapma	0.31	0.56	0.62	0.70	1.68	1.62	2.08	1.24	2.17
Ortalama	15.3	14.9	15.7	17.3	17.2	17.1	16.8	15.4	16.7
En büyük	15.6	15.4	16.4	18.0	18.5	18.0	18.0	16.2	18.0
En küçük	15.0	14.3	15.2	16.6	15.3	15.2	14.4	14.0	14.2

4. Sonuç ve Öneriler

Geliştirilen cihaz ve iki farklı operatör ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, her iki S/Ç oranı için elde edilen çökme değerlerinde en az hata ve en tutarlı ölçümler cihazdan elde

edilen sonuçlardan elde edilmiştir. Makine ile operatörlerden elde edilen çökme değerlerindeki deney tekrarları arasındaki standart sapma değerleri karşılaştırıldığında, 0.55 S/Ç oranındaki karışım için 5. dk. çökme ölçümlerine göre standart sapma hataları operatör 1 için 31, operatör 2 için 32.5 kat daha fazladır. 10. dk. ölçümlerine göre her iki operatör için 3.1 kat daha fazla iken, 15. dk. ölçümlerinde 1.4~5 kat daha fazladır.

Yine 0.55 S/Ç oranındaki karışım için 5. dk. çökme ölçümlerine göre standart sapma hataları operatör 1 için 2.7, operatör 2 için 6.7 kat daha fazladır. 10. dk. ölçümlerine göre her iki operatör için 2.2~3 kat daha fazla iken, 15. dk. ölçümlerinde 2.6~3.5 kat daha fazladır.

1. ve 2. operatörün deneysel sonuçları karşılaştırıldığında her iki S/Ç oranındaki karışım için standart sapma değeri 2. operatörde 5. dk. için 1.05~2.97, 10. dk. için 0.74~1.02 ve 15. dk. için 0.28~1.34 kat daha fazladır.

Bu sonuçların yanısıra makine ile yapılan deneylerde koni hareketinin düşey eksene paralel olması, betonun konik formunu bozmadan deforme olması, yanlardan kaymaması ve segregasyona sebep olacak şekilde yayılmamasını sağlamaktadır. Operatörlerin özellikle ilerleyen deney koşullarında fiziksel nedenlerle bu tip hatalara daha çok açık olduğu görülmüştür.

Bu nedenlerle standart çökme deneyinin sadece koni hareketinin otomasyonu ile daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmüş, diğer çökme parametrelerinin de otomasyonunun sağlanması ile (şişleme, yayılma zamanı ve çapının ölçümü) deneysel sonuçların tekrarlanabilir ve hassas ölçülebileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasında, maddi destek sağlayan “2229 - Lisans ve Lisans Öncesi, Öğretmen ve Öğrencilere Yönelik Bilimsel Etkinlikleri Destekleme Programı” ile TÜBİTAK’a ve 1125-M-05 No.lu Proje ile Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı’na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

ASTM C143, 2000. Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. Annual Book of ASTM Standards, p. 3, USA.

TS EN 12350-2, 2002. Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, 5 s., Ankara.

Akman, M.S., 1996. Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları. Dördüncü Ulusal Beton Kongresi. s. 55-71, Maya Basın Yayın, İstanbul.

Yücel, K.T., 1997. Pompa Betonlarında İşlenebilirliğin Harç Fazının Reolojisine Dayanarak Belirlenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 122 s., İstanbul.

Akman, M. S., 1987. Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat fakültesi yayını, 161 s., İstanbul.

Neville A. M., 1996. Properties of Concrete. Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., p. 866.

Özkul, H., Sağlam, A. R., 2002. Süperakışkanlaştırıcı ve Mineral Katkıların Betonun Reolojik Özelliklerine Etkisi. TÜBİTAK Proje No: İNTAG-655, 169 s., Ankara.

Koehler E. P., Fowler D. W., 2003. Summary of Concrete Workability Test Methods. The University of Texas, International Center for Aggregates Research (ICAR), Report Number: ICAR 105-1, p. 92.

TS EN 206-1/Nisan 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, 68 s., Ankara.

Saak, A. W., Jennings, H., M., Shah, S. P., 2004. A Generalized Approach for the Determination of Yield Stress by Slump and Slump Flow. Cement and Concrete Research, 34 (3), 363-371.

Morinaga, S., 1973, Pumpability of Concrete and Pumping Pressure in Pipelines. Fresh Concrete: Important Properties and Their Measurement Proceedings of a RILEM Conference, pp. 7.3-1-7.3-39, Leeds, England.

Ferraris, C. F., Obla, K. H., Hill, R., 2001. The Influence of Mineral Admixtures on the Rheology of Cement Paste and Concrete. Cement and Concrete Research, 31 (2), 245-255.

Svermova, L., Sonebi, M., Bartos P. J. M., 2003. Influence of Mix Proportions on Rheology of Cement Grouts Containing Limestone Powder. Cement and Concrete Composites, 25 (7), 737-749.

Özel, C., 2007. Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 260 s., Isparta.

Banfill, P., Beaupré, D., Chapdelaine, F., Larrard D. F., Domone, P., Nachbaur, L., Sedran, T., Wallevik, O., Wallevik, J. E., 2000. Comparison of Concrete Rheometers: International Tests at LCPC. (Ed. Ferraris, C. F., Brower, L. E.), Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6819, p. 157, Gaithersburg.

Beaupré, D., Chapdelaine, F., Domone, P., Koehler, E., L., Shen, M., Sonebi, Struble, L., Tepke, D., Wallevik, O., Wallevik, J. E., 2003. Comparison of Concrete Rheometers: International Tests at MB. (Ed. Ferraris, C. F., Brower, L. E.), Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7154, p. 116, Gaithersburg, MD 20899.

Bouzoubaâ, N., Lachemi, M., 2001. Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash. *Cement and Concrete Research*, 31 (3), 413-420.

Larrard, F. D., Ferraris, C. F., Sedran, T., 1998. Fresh Concrete: A Herschel-Bulkley Material. *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, 31, pp. 494-498.

Wallevik, J. E., 2006. Relationship Between the Bingham Parameters and Slump. *Cement and Concrete Research*, 36 (7), 1214-1221.

Ferraris, C. F., 1999. Measurement of The Rheological Properties of High Performance Concrete. *Journal of Research of The National Institute of Standards and Technology*, 104 (5), 461-478, Gaithersburg.