

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

THE MECHANICAL PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETES

Burak Felekoğlu

Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,
İzmir

Bülent Baradan

Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,
İzmir

Özet

Beton teknolojisindeki gelişmeler, dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı beton üretimine olanak sağlamaktadır. Betonun mekanik özellikleri büyük ölçüde malzeme bileşenleri, taze beton performansı ve bakım koşullarına bağlıdır. Normal beton, taze halde sıkıştırma enerjisi uygulanarak yerleştirilmektedir. Özellikle şantiyede yaşanan sıkıştırma sorunları, betonun mekanik özelliklerinde önemli değişkenliğe sebep olmaktadır.

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), etkili akışkanlaştırıcı kimyasalların geliştirilmesi ile beton teknolojisine uyarlanmış özel bir betondur. Hem karışım tasarımı, hem de üretim teknikleri açısından klasik betondan farklı özelliklere sahiptir. Sıkıştırma enerjisi ihtiyacını ortadan kaldırarak; işçilik kusurlarını azaltması, üretimi hızlandırması, çalışma koşullarını iyileştirmesi gibi pek çok olumlu özellik, KYB kullanımının getirdiği avantajlar arasında sayılabilir.

Bu çalışmanın ilk aşamasında, KYB üretimi için uygun malzeme tip ve miktarının seçimi yapılmış, optimum karışım oranları belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında ikinci aşamada, hazırlanan beton karışımlarının, taze halde kendiliğinden yerleşebilirlik ve sertleşmiş halde mekanik özellikleri incelenip, normal beton özellikleri ile kıyaslanmıştır.

Abstract

Innovations in concrete technology, have lead us to the production of high performance concrete in terms of strength and durability. The mechanical performance of concrete depends on many factors, such as material properties and their proportions as well as fresh concrete properties and curing conditions. Conventional fresh concrete should be

compacted in situ; however various vibration problems seriously affect the performance of hardened concrete.

By the introduction of new effective hyperplasticizers into modern concrete technology, compaction problems have been solved. Self Compacting Concrete (SCC) is a special type of material, that has different properties on both mix design and production techniques compared to conventional concrete. By elimination of compaction energy and use of vibrators, a reduction in labor costs and noise pollution can be obtained, besides producing a high performance material.

In the first stage of this experimental study; material selection and mix design of SCC mixes has been determined based on test data. In the second stage, the fresh state rheological and hardened state mechanical properties of optimal SCC mix designs has been determined and compared with conventional concretes of different strength classes.

1. GİRİŞ

Günümüzde beton kalitesi, yoğun emek ve enerji kullanımı gerektiren mekanik vibrasyon işine bağımlıdır. Bu derece yoğun tüketilen bir malzemenin de teknolojiye paralel gelişme göstermesi kaçınılmazdır. Bileşenleri itibarı ile önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan beton bünyesine kimyasal ve mineral katkıların girmesiyle pek çok olumlu özellik kazanmıştır. Kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile birlikte üretim ve uygulama safhasında karşılaşılan pek çok sorun çözülebilmektedir.

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 80'li yılların ortalarından itibaren çok etkili akışkanlaştırıcıların keşfine sebep olmuştur. Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar, aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Böylece kendiliğinden yerleşen beton kavramı ortaya çıkmıştır.

1980'li yılların başında Japonya'da betonarme yapılarda kalıcılık sorunları incelenmiş ve bu sorunların en önemli sebeplerinden birinin, taze betonun yeterli sıkıştırma işlemi uygulanmadan yerleştirilmesi olduğu saptanmıştır. Özellikle taze betonun sıkıştırılması için gerekli kalifiye işçi yetersizliği, yerleştirilen betonun kalitesini olumsuz etkilemektedir. Öte yandan işçi ne kadar eğitilmiş olursa olsun, taze betona homojen sıkıştırma enerjisi verilebilmesi, özellikle işlenebilirliğin düşük olması halinde pratikte mümkün değildir. Bu problemi çözmek amacıyla sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadan kendi ağırlığı ile sıkışarak yerleşebilecek özel bir tip beton üretilmesi tasarlanmıştır [1].

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak, kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür.

Klasik beton karışımından farklı olarak KYB'de; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve çok miktarda inert veya puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının

kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımında uygun oranlarda kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir. Özellikle işlenebilirlik konusunda farklı parametreler ölçen değişik deney yöntemleri vardır.

KYB her ne kadar işlenebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılrsa da belirli mekanik performans kriterlerini sağlaması gerekir. KYB'nin beklenen mekanik performansı vermesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

1. Talep edilen performansa uygun malzeme tip ve oranlarının seçimi (karışım optimizasyonu),
2. Üretim safhasında malzeme tip ve oranlarındaki değişiminin minimizasyonu (homojen malzeme kullanımı, hammadde değişkenliğinden kaynaklanacak problemlerin azaltılması),
3. Ortam koşullarının KYB'ye etkisinin göz önüne alınması, bu koşullara uygun önlemlerin hem karışım tasarımında hem de üretim safhasında dikkate alınması,
4. Üretim safhasında taze beton kalitesinin seçilen deneylerle sürekli kontrolü, istenen özelliği sağlamayan karışıma anında müdahale yapılması.

Yukarıdaki kriterlere uyulması halinde, KYB'den en yüksek mekanik performansı almak mümkün olacaktır. Uyulmayacak her kriter mekanik özelliklerde düşüşe sebep olur. Bu nedenle her KYB karışımından olumlu sonuç alınamayabilir. Normal beton üretiminde de yukarıda söz edilen kriterlere uyulması performansı arttırmaktadır. Ancak KYB'de bu kriterlere hassasiyet daha üst seviyede olup, yapılacak yanlışlıkları düzeltmek klasik beton üretimine kıyasla çok daha zordur.

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen beton üretimi için kullanılacak malzemelerin seçimi, ve tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi, optimum parametrelerin tespiti (kimyasal katkı dozajı, su/çimento oranı vb.) ve üretilen KYB'lerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle kendiliğinden yerleşebilirlik kriterlerini sağlayacak deneme karışımları hazırlanmıştır. Bu ön deneylerden elde edilen sonuçların ışığında, malzeme seçimi yapılmış ve tasarım parametreleri saptanmıştır [2].

Seçilen malzeme ve tasarım parametreleri kullanılarak, 5 farklı dayanım sınıfında KYB üretilmiş ve bu tasarımların taze haldeki kendiliğinden yerleşebilirlik performansları ile sertleşmiş haldeki mekanik özellikleri incelenmiştir.

Üretilen betonlar üzerinde taze halde; yayılma, 50 cm'ye yayılma süresi, V-hunisi ve L kutusu deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş halde ise 1, 7 ve 28. günlerde serbest basınç, 28. günde Brezilya silindir yarma deneyleri ve elastisite modülü için gerilme-deformasyon ölçümleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemeler

Deneysel çalışmada PÇ 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. Deneylerin geniş bir zaman dilimine yayılması farklı tarihlerde üretilen çimentoların kullanılmasını gerektirmiştir.

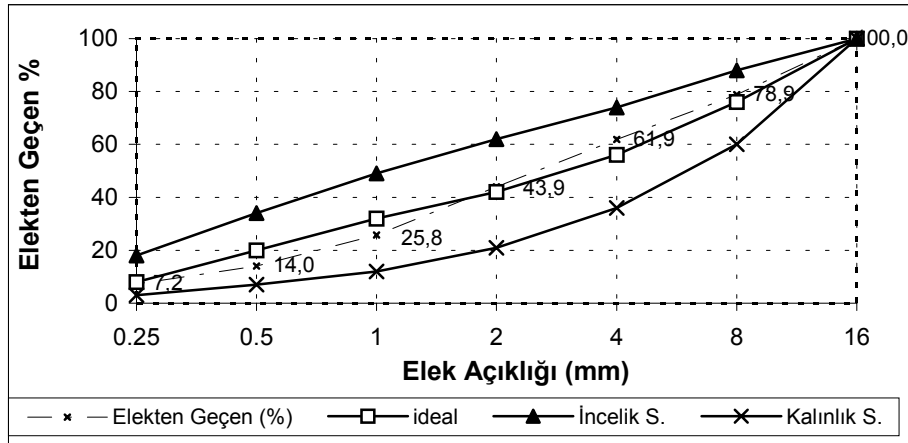
Bu nedenle çimento fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri için Çizelge 1’de ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. PÇ 42.5 tipi çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Analiz				Basınç Dayanımı				
	<u>Ortalama değer (%)</u>	<u>Standart sapma (%)</u>	<u>Değişkenlik katsayısı (%)</u>		<u>Ortalama değer (MPa)</u>	<u>Standart sapma (%)</u>	<u>Değişkenlik katsayısı (%)</u>	
CaO	63.7	0.25	0.4	2 günlük	25.4	2.6	10.2	
SiO ₂	19.68	0.50	2.5	7 günlük	41.1	1.9	4.6	
Al ₂ O ₃	5.75	0.25	4.3	28 günlük	50.6	3.0	5.9	
Fe ₂ O ₃	3.00	0.70	23.3					
MgO	0.90	0.06	6.7					
Na ₂ O	0.20	0.09	45.0					
				Diğer Fiziksel Özellikler				
K ₂ O	0.83	0.04	4.8	Kıvam suyu	28.8	%	0.2	0.7
SO ₃	2.78	0.18	6.5	Priz başlangıç süresi	135	dk	15	11.1
Cl	0.01	0.00	0.0	Priz bitiş süresi	245	dk	55	22.4
Kızdırma kaybı.	2.84	0.08	2.8	Hacim sabitliği	2.5	mm	1	40.0
Serbest CaO	1.55	0.20	12.9	Blaine	340	m ² /kg	12	3.5
Çözülmeyen kalıntı	0.70	0.39	55.7	Özgül ağırlık	3.14		0.02	0.6

Viskozite arttırıcı toz malzeme olarak kireçtaşı tozu kullanılmıştır. Bu malzeme, kırma taş tesisinde filtrasyon yolu ile elde edilen bir atık olup, Blaine değeri 443 m²/kg, özgül ağırlığı 2.58’dir. Taş tozunun %96’sı 63 mikron elekten geçmektedir.

İri agrega olarak özgül ağırlığı 2.70 ve su emme %’si 0.40 olan kireçtaşı, ince agrega olarak özgül ağırlığı 2.59 ve su emme %’si 1.21 olan kırma kireçtaşı kumu ve özgül ağırlığı 2.60 ve su emme %’si 1.63 olan dere kumu kullanılmıştır. Tüm karışımlarda sabit bir tane dağılımı kullanılmış olup, granülometri eğrisi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Karışımlara ait gradasyon eğrisi

KYB üretiminde polikarboksilat bazlı, ASTM C494 – F tipi [3] bir hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Katkı maddesinin özgül ağırlık, katı madde %’si ve pH değerleri sırasıyla 1.19, 35.7 ve 6.5’dir.

2.2. Karışım Oranları

Deney programında çimento dozajı 376-377 kg/m³ olarak sabit tutulurken, karışım suyu, katkı gibi diğer malzemelerin miktarları Çizelge 2’de görüldüğü şekilde değiştirilerek 5 farklı dayanım sınıfında KYB örnekleri hazırlanmıştır.

Çizelge 2. Karışım oranları ve tasarım parametreleri

Bileşen		D1	D2	D3	D4	D5
Çimento	(kg/m ³)	377	376	377	376	377
Su	(kg/m ³)	140	158	181	203	227
Taş tozu	(kg/m ³)	272	263	247	246	239
Kum	(kg/m ³)	963	932	898	886	861
İri agrega	(kg/m ³)	630	609	593	577	562
Akışk. Katkı	(kg/m ³)	13	9	8	6	4
Toplam	(kg/m ³)	2394	2346	2303	2293	2269
Σtoz	(kg/m ³)	649	639	624	622	616
Hamur hacmi	(l/m ³)	400	419	438	449	464
Tasarım parametreleri						
S/Ç		0.37	0.42	0.48	0.54	0.60
S/T		0.22	0.25	0.29	0.33	0.37
S/T (hacimce)		0.62	0.71	0.84	0.95	1.07
Kum/iri agrega		1.53	1.53	1.53	1.53	1.53

Karışım suyunun miktarı azaldıkça boşalan hacmi, kum/iri agrega oranı aynı kalacak şekilde iri agrega ve kum doldurmaktadır. Böylece hamur hacmindeki su/toz oranı azalmaktadır. Azalan su/toz oranının işlenebilirliği azaltıcı etkisinin, akışkanlaştırıcı katkı dozajı artırılarak engellenmesi amaçlanmıştır. Fakat hamur hacmindeki azalma taze betonun geçiş yeteneğini azaltmıştır.

2.3. Taze Beton Deneyleri ve Sonuçların Yorumlanması

Öncelikle tüm agregalar (15-25, 5-15, 0-5, kum) karıştırılmış, ardından toz maddeler (çimento, taş tozu ve/veya uçucu kül) eklenmiştir. Homojen bir kuru karışım elde edildikten sonra su, mikser çalışır durumda iken karışıma ilave edilmiştir. En son olarak akışkanlaştırıcı katkı karışıma eklenmiştir. Gözle yapılan muayenelerde, karışımın kendiliğinden yerleşebilir kıvama geldiğine karar verilinceye kadar karıştırma işlemi sürdürülmüştür. Bu sürenin 3 dakikanın altında olmamasına dikkat edilmiştir. Öngörülen katkı dozajına rağmen, kendiliğinden yerleşebilirlik açısından yetersiz olduğu görülen karışımlara ilave katkı eklenmiş ve tasarıma yansıtılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandığında bir miktar taze beton mikser içinden alınarak yayılma deneyi yapılmıştır.

Yayılma Deneyi ve T₅₀ Süresi Ölçümü: Şekil 2’de görülen standart çökme hunisi kullanılmıştır. Huni sıkıştırma işlemi uygulanmadan doldurularak kaldırılmakta ve betonun tablaya önceden işaretlenen 50 cm’lik çapa gelme süresi (T₅₀) ve nihai yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek deney tamamlanmaktadır [4].

Yayılma deneyinde 60-80 cm arası yayılma çapına sahip karışımlar uygun kabul edilip, diğer taze beton deneyleri yapılmıştır.

V-hunisi Akış Süresi Ölçümü: 5 x 5 cm orifis açıklıklı, 10 litre kapasiteli V-şekilli huni (Şekil 3) kullanılarak yapılmıştır. Huninin doldurulması sırasında herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır. Huninin boşalma süresi ölçülerek V-hunisi süresi tespit edilmektedir [4].

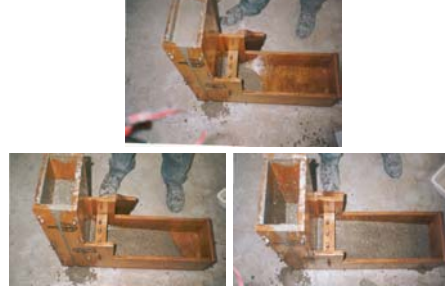


Şekil 2. Yayılma deneyinde kullanılan huni ve 50 cm'lik çap işaretli tabla, nihai yayılma çapı

L-kutusu Deneyi: L-kutusunun dikey haznesi taze betonla doldurulmuş ve kapağı açılarak iki ölçüm gerçekleştirilmiştir (Şekil 4): Birinci ölçüm önceden kutunun yatay haznesine işaretlenen 20 cm ve 40 cm'lik mesafelere ulaşma süresinin tespiti. İkinci ölçüm ise akışın bitmesiyle taze betonun L-kutusunun son ve baş kısımlarındaki yükseklikleri arasındaki orandır [4].



Şekil 3. V hunisi deneyinin yapılışı



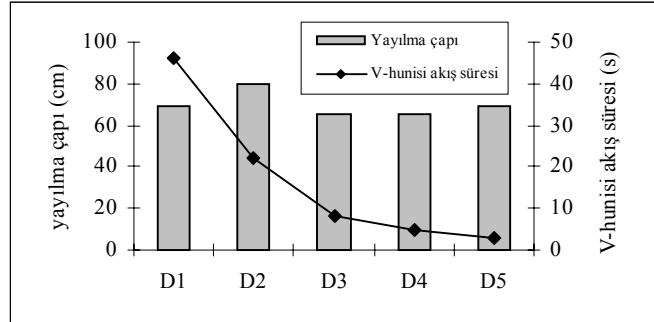
Şekil 4. L-kutusu deneyinin yapılışı

Tüm karışımlardan 18 adet 10/20 cm ve 6 adet 15/30 standart silindir örnek alınmıştır. Numune alırken herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmamıştır.

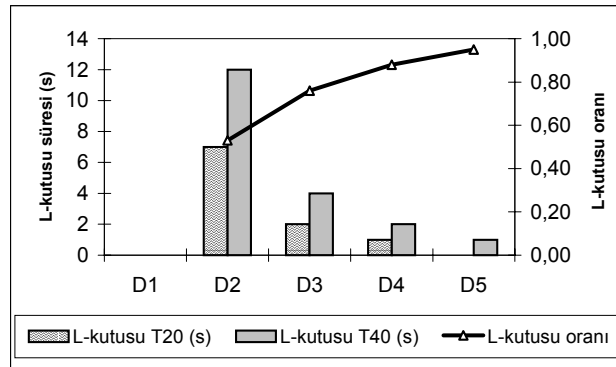
Şekil 5'den görüleceği üzere, KYB tasarımında sabit bir çimento dozajında akışkanlaştırıcı katkı miktarı artırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulurken viskozite hızla artmaktadır. Sabit bir çimento dozajı ve agrega gradasyonunda, su/toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır.

L-kutusu ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da görülmektedir. L-kutusu oranı su/toz artışı ile 1'e yaklaşmaktadır. Taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini simgeleyen bu deneyde, L-kutusu oranının 0.80'in altında olmaması istenir.

Bu şartı D4 ve D5 serileri kolayca, D3 serisi ise limitte sağlamaktadır. D1 karışımı L-kutusunda bloke olmuştur. D1 ve D2 serileri yüksek viskoziteleri sebebiyle geçiş yeteneği düşük karışımlardır. Bu karışımların donatılar arasından geçişte bloke olma riski vardır.



Şekil 5. S/T oranı ve katkı dozajı değişiminin yayılma çapı ve V-hunisi akış süresine etkisi



Şekil 6. L-kutusu deney sonuçları.

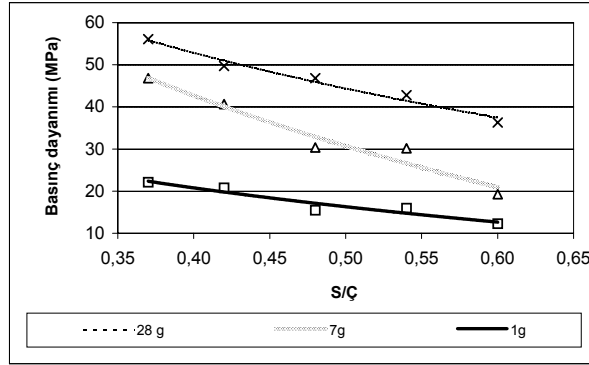
2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri ve Sonuçların Yorumlanması

1, 7 ve 28. günlerde serbest basınç, 28. günde Brezilya silindir yarma deneyleri ve elastisite modülü için gerilme-deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Basınç dayanımının S/Ç oranı ile değişimi Şekil 7’de görülmekte olup, aynı S/Ç oranı ve çimento dozajı için normal betondan daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bu durum kireçtaşı tozunun çimento hamuru - agrega ara yüzeyinin yoğunluğunu artırıcı özelliğine ve kullanılan akışkanlaştırıcının çimentoyu daha iyi dağıtıcı etkisine bağlanabilir.

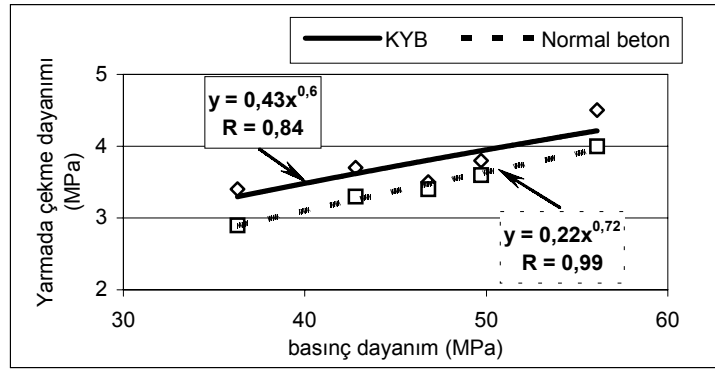
Aynı dayanım sınıfındaki normal betonla KYB’lerin yarmada çekme dayanımları, Şekil 8’de karşılaştırılmıştır. KYB’lerden, dayanım sınıfına göre değişmekle beraber, normal betonun çekme dayanımından % 3 ile 17 arası daha yüksek değerler elde edilmiştir Bu durum KYB’nin homojen yapısına bağlanabilir. Böylece kesitte çekme dayanımını düşüren kusurlu nokta oluşma olasılığının azaldığı söylenebilir.

Normal betonda 20 MPa basınç dayanımına sahip örneklerin çekme dayanımı/basınç dayanımı oranı % 9-10 iken, 60 MPa basınç dayanımına sahip örneklerde bu oran % 7’ye düşmektedir [5]. Benzer şekilde üretilen KYB örneklerinde 36.3 MPa basınç

dayanımında çekme dayanımı/basınç dayanımı oranı %9.4 iken, 56.1 MPa basınç dayanımına sahip örneklerde bu oran %8.2'ye düşmektedir.



Şekil 7. D serisi karışımların basınç dayanımının S/Ç oranı ile değişimi

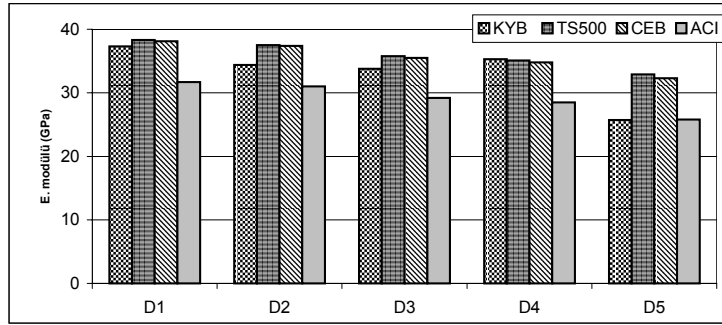


Şekil 8. KYB ve normal beton için basınç dayanımı – çekme dayanımı ilişkisi

Aynı dayanım sınıfındaki normal betonla KYB'lerin elastisite modülleri, Şekil 9'da karşılaştırılmıştır. KYB'de yüksek oranda toz madde kullanılarak betonun hamur fazı artırılmıştır. Betonda elastisite modülünün bu sebeple düşmesi beklenebilir. Fakat Şekil 9'dan da görüleceği gibi, TS500 [6] ve CEB [7] komitesinin önerdiği denklemler yardımıyla elde edilen normal beton elastisite modülleri ile deneysel olarak bulunan KYB elastisite modülleri arasında önemli bir farklılık yoktur (< % 10). Öte yandan ACI [8] Komitesinin önerdiği değerlerden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Yalnız D5 karışımının elastisite modülünde bir miktar düşüş kaydedilmiştir. KYB için deneysel çalışmalardan elde edilen basınç dayanımı elastisite modülü ilişkisi (1)'de sunulmuştur.

$$E = 1.57 f_c^{0.8} \quad [E \text{ (GPa)}, f_c \text{ (MPa)}] \quad (1)$$

L-kutusu deneyi yapıldıktan sonra taze beton kalıp içinde bırakılmış, ertesi gün kalıp sökülerek dikdörtgen prizma formuna benzer bir şekil alan sertleşmiş betona standart kür uygulanmıştır. 28 gün sonra prizmanın akış yönüne göre baş orta ve son bölümlerinden ikiye adet 5 cm çaplı karot numune çıkartılmıştır (Şekil 10). Karot numuneler kesilip başlandıktan sonra basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Karot numunelerin yükseklikleri L-kutusunu betonun doldurma yeteneğine bağlı olarak farklı değerler almıştır. Yükseklikleri farklı karot numunelerinden elde edilen basınç dayanımı değerleri h/d oranına göre ASTM C42 standardında [9] verilen katsayılarla düzeltilmiştir.

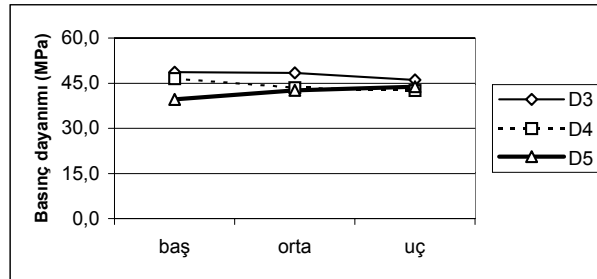


Şekil 9. Taş tozlu KYB ve normal beton için elastisite modülü karşılaştırması



Şekil 10. L-kutusu numunelerinden karot çıkartılması

Stabilitesini koruyan bir KYB karışımı için basınç dayanımının betonun hareket yönünde değişmemesi beklenir. Şekil 11’de görüldüğü gibi L kutusunun baş, orta ve uç kısımlarından alınan ikişer karot örneğin basınç dayanımları akış yönü doğrultusunda az miktarda değişmektedir. Bu değişkenlik katsayısı D3, D4 ve D5 karışımları için % 2.9 ile % 5.2 arasında değişmektedir. Bu değişkenlik karışımlarda akış sırasında önemli bir ayrışma meydana gelmediğinin bir göstergesidir.



Şekil 11. L-kutusu karot basınç dayanımının değişimi

3. SONUÇLAR

Yapılan bu deneysel çalışmadan elde edilebilecek sonuçlar şöyle özetlenebilir.

1. KYB tasarımında sabit bir çimento dozajında akışkanlaştırıcı katkı miktarı artırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulurken viskozite hızla artmaktadır. Sabit bir çimento dozajı ve agregada gradasyonunda, su/toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır.

2. Bu çalışmada üretilen KYB'lerin çekme dayanımları aynı dayanım sınıfındaki normal betonlara kıyasla % 3 ile % 17 arasında değişen mertebelerde daha yüksektir.

3. Bu çalışmada üretilen KYB'lerin elastisite modülünde normal betona kıyasla önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Aynı dayanım sınıfları için, TS500 ve CEB komitesinin önerdiği denklemler yardımıyla elde edilen normal beton elastisite modülleri ile deneysel olarak bulunan KYB elastisite modülleri arasında önemli bir farklılık yoktur ($< \% 10$). Öte yandan ACI Komitesinin önerdiği değerlerden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

4. L-kutusu karot deneyleri ile KYB'nin yatay yönde akışında ayrışma meydana gelip gelmediği belirlenebilir. Bu çalışmada su/toz oranı hacimde 0.84-1.07 arasında değişen ve toz madde ağırlığının %1.27-0.60'ı arasında akışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen D3, D4 ve D5 serilerinin akış sırasında stabilitelerini korudukları belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, DEÜ Rektörlük Bilimsel Araştırmalar Şubesi (**03.KB.FEN.078**) ve TÜBİTAK (**TİDEB 3020213**) tarafından desteklenen ve halen devam etmekte olan üniversite-sanayi işbirliği projelerinin bir bölümünü oluşturmaktadır. İlgili kurumlara, ayrıca malzeme temini ve deney aparatlarının yapımındaki katkılarından dolayı Konsan Bilgi - Teknoloji Üretimi AŞ Kimya Grubuna ve İzmir Çimento Fabrikası'na teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

1. Okamura H., Ouchi M., "Self-compacting concrete. Development, present use and future", *Proceedings of 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, pp.3-14, 1999.
2. Felekoğlu B., "Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi ABD, 267s., İzmir, 2003.
3. ASTM C 494-99a, (2002), "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", Annual Book of ASTM Standards.
4. EFNARC, "Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete", 2002.
5. Mehta P.K., Monteiro P.J.M., *Concrete Microstructure, Properties and Materials*, Indian Concrete Institute, 548p., 1997.
6. TS 500, "Betonarme hesap esasları ve yapım kuralları", TSE, Ankara, 2000.
7. CEB – FIB – 90 Model, "Code for Prediction of Elastic Modulus", 1990.
8. ACI Building Code 318-99, "Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary", Reported by ACI Committee 318, 392p., 1999.
9. ASTM C 42, "Test for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete", Annual Book of ASTM Standards, 2002.