

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİNERAL KATKILI KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN LİFLİ BETONUN MEKANİK,
DURABİLİTE VE MİKROYAPI
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Çağlar YALÇINKAYA

Temmuz, 2009

İZMİR

**MİNERAL KATKILI KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN LİFLİ BETONUN MEKANİK,
DURABİLİTE VE MİKROYAPI
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı

Çağlar YALÇINKAYA

Temmuz, 2009

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÇAĞLAR YALÇINKAYA, tarafından **DOÇ.DR. HALİT YAZICI** yönetiminde hazırlanan “**MİNERAL KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN LİFLİ BETONUN MEKANİK, DURABİLİTE VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Halit YAZICI

Danışman

.....

Jüri Üyesi

.....

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince gerek güncel bilgisiyle gerekse bilimi sevdirici yaklaşımıyla yol gösteren değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Halit YAZICI'ya şükranlarımı sunarım.

Sn. Prof.Dr. Bülent BARADAN'a, verdiği anahtar bilgiler ve danışmanlığı süresince gösterdiği ilgi için teşekkürlerimi sunarım. Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Malzemesi anabilim dalı araştırma görevlileri Sn. Serdar Aydın, Sn. Dr. Burak Felekoğlu ve Sn. Dr. Hüseyin Yiğiter'e çok teşekkür ederim. Deneysel süreçte gösterdiği destek için Sn. Yard. Doç. Dr. Mert Yücel YARDIMCI'ya teşekkür ederim. Sn. Doç.Dr. Selçuk TÜRKEL ve Sn. Dr. Kamile Tosun'a teşekkürlerimi sunarım. Lisans hocam Sn. Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU'ya teşekkür ederim.

2009.KB.FEN.006 nolu bilimsel araştırma projesiyle tezime destekleri için Dokuz Eylül Üniversitesi'ne teşekkür ederim. Malzeme destekleri için AKÇANSA firması adına Sn. Muhittin TARHAN'a, SİKA firması adına Sn. Bimen KADİROĞLU'na, BEKSA firması adına Sn. Mehmet YERLİKAYA'ya, EGE Üniversitesi İnş. Müh. Böl. adına Sn. Yard. Doç. Dr. Şemsi YAZICI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince her daim yanımda olan çok değerli dostum Araş. Gör. Onur MERTER'e şükranlarımı sunarım. Her ihtiyacım olduğunda desteğini esirgemeyen kıymetli dostum ev arkadaşım Mustafa AKMAN'a teşekkür ederim. Yardımlarından ötürü kadim dostum İnş. Müh. Akif KORKMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tüm çocukluk arkadaşlarım ve memleketim Filyos adına sevgili dostum Mak. Müh. Bora KAYIKÇI'ya sonsuz teşekkürler.

Hayattaki en büyük şanslarım Annem Nursen YALÇINKAYA, Babam Cüneyt YALÇINKAYA, kardeşim Ayça YALÇINKAYA'ya sevgi dolu yürekleri, hep şaşırdığım mükemmellikleri ve tarifsiz destekleri için sonsuz teşekkürler.

Çağlar YALÇINKAYA

MİNERAL KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN LİFLİ BETONUN MEKANİK, DURABİLİTE VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen çelik lifli betonun (KYÇLB) mekanik, durabilite ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. Mekanik özellikler olarak eğilme ve basınç yükleri altındaki davranışlar incelenmiştir. Donma – çözülme (D-Ç) etkisinde kalan numuneler üzerinde mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çimento yerine yüzde elli oranında yüksek fırın cürufu ikamesinin, iki farklı çelik lif tipinin (makro, mikro) ve hava sürükleyici katkının kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) eğilme ve basınç yükleri altındaki performansına ve D-Ç durabilitesine etkileri incelenmiştir. Kullanılan çelik lif dozajı metreküpte kırk kilogramdır. Makro ve mikro lifin birlikte kullanıldıkları karma lif kombinasyonu da mevcuttur. Yapılan çalışmalarda YFC'nin taze hal performansını arttırdığı görülmüştür. Çelik liflerin narinlikleri arttıkça reoloji üzerindeki olumsuz etkilerinin arttığı belirlenmiştir. Çelik liflerin genellikle mekanik özellikleri geliştirdiği, cüruf içeren KYB'lerin ilerleyen yaşlarda çimentodan daha iyi mekanik performansa sahip oldukları görülmüştür. Metreküpte kırk kilogram mikro lif kullanımı eğilme yükünü fazla arttırmazken, makro lif kullanımı deformasyon sertleşmesi yaratmıştır. Çelik lifler yalın betonun kırılma davranışını tamamen değiştirmiş ve kırılma enerjilerini yirmi ila doksan katına çıkartmıştır. En iyi kırılma enerjisi performansını makro lifler sergilemiştir. Tüm KYB ve KYÇLB karışımları tatminkar durabilite performansına sahiptir. Atık bir malzeme olarak YFC'nin D-Ç çevrimlerinden önemli bir hasar görmeden KYB'de yüksek oranda kullanımı mümkün görünmektedir.

Anahtar sözcükler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Çelik Lif, Donma – Çözülme, Kırılma Enerjisi, Mikroyapı.

AN INVESTIGATION ON THE MECHANICAL, DURABILITY AND MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF FIBER REINFORCED SELF-COMPACTING CONCRETE WITH MINERAL POWDERS

ABSTRACT

Mechanical, durability and microstructure properties of fiber reinforced self-compacting concrete (FRSCC) were investigated in the scope of this study. Flexural and compressive performance were determined as mechanical properties. Microstructural analyses were performed on the specimens that were exposed to the freeze – thaw (F-T) effect.

The effects of fifty percent (wt.) ground granulated blast furnace slag replacement, two different types of steel fiber (macro and micro) and air entraining admixture on mechanical performance and F-T durability were studied. Dosage of steel fiber was forty kilograms per cubic meter and hybrid usage of macro and micro fibers were also studied. Fresh state test results showed that GGBFS has an improvement effect on rheological properties. Steel fibers affected fresh state performance adversely and this negative effect gets more important with an increasing of fiber aspect ratio. Steel fiber usage generally improved mechanical properties. GGBFS replacement exhibited better mechanical performance than only cement binder usage at later ages. Steel micro fibred self-compacting concrete exhibited deflection softening but macro fiber usage caused deflection hardening behavior under flexural loading. Moreover steel fibers changed fracture behavior of plain concrete completely and fracture energy values of FRSCC were from twenty to ninety times of plain self-compacting concrete (SCC) specimens. The best performance from the point of fracture energy was exhibited by macro fiber usage. All SCC and FRSCC series showed satisfactory F-T resistance. High amount of GGBFS as an industrial by-product can be used in SCC without important mechanical loss due to F-T cycles.

Keywords: Self-Compacting Concrete, Steel Fiber, Freeze – Thaw, Fracture Energy, Microstructure.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – TEMEL YÖNLERİYLE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON	1
1.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) Tanımı ve Tarihçesi.....	1
1.2 Kendiliğinden Yerleşen Beton'un Avantaj ve Dezavantajları	6
1.3 Kendiliğinden Yerleşen Beton İçin Tasarım Yaklaşımları ve Malzeme Seçimi.....	8
1.3.1 Genel Reoloji Bilgisi ve KYB Reolojisi.....	8
1.3.2 İstenilen Özellikler.....	12
1.3.2.1 Doldurma Kabiliyeti.....	13
1.3.2.2 Ayrışma Direnci.....	14
1.3.2.3 Geçiş Yeteneği.....	15
1.3.3 KYB Tasarımı.....	16
1.3.3.1 Tasarım Yöntemleri.....	18
1.3.3.1.1 Toz Tipi Metodu.....	18
1.3.3.1.2 Stabilizatör Tipi Metodu.....	20
1.3.3.1.3 Kombinasyon Metodu.....	21
1.3.3.1.4 Japon ve CBI Tasarım Yöntemleri.....	21
1.3.3.2 KYB için Örnek Karışımlar.....	22
1.3.4 Malzeme Seçimi.....	25
1.3.4.1 Filler ve Çimento Seçimi.....	25
1.3.4.2 Agrega Seçimi.....	29
1.3.4.3 Kimyasal Katkıların Seçimi.....	30

1.4 KYB İçin Taze Hal Test Yöntemleri.....	36
1.4.1 Çökme – Yayılma , T50 Süresinin Ölçümü ve J-Halkası Testi.....	37
1.4.2 V-Kutusu Deneyi.....	39
1.4.3 L-Kutusu Deneyi.....	40
1.4.4 Elek Ayrışma Testi.....	41
BÖLÜM İKİ – ÇELİK LİFLİ BETONLAR VE KENDİLİĞİNDEN	
YERLEŞEN ÇELİK LİFLİ BETON.....	44
2.1 Betonda Lif Kullanımının Tarihçesi.....	46
2.2 Çimentolu Kompozitlerde Kullanılan Lif Türleri.....	48
2.3 Lifli Betondaki İyileşmeler	50
2.4 Çelik Lifli Betonlar.....	51
2.4.1 Çelik Lifli Betonların Mekanik Davranışı.....	51
2.4.1.1 Basınç Etkisindeki Davranış.....	51
2.4.1.2 Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Davranış.....	55
2.4.2 Çelik Lifli Betonların Taze Hal Davranışı.....	59
2.4.3 Çelik Lifli Betonlarda Çatlak Gelişimi, Yayılması ve Gerilme	
Köprülenmesi.....	61
2.4.3.1 Agrega ve Lifin Çatlak İlerleme Bölgesine Etkisi.....	65
2.5 Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lifli Betonlar.....	70
BÖLÜM ÜÇ – BETON İÇİN TEMEL KIRILMA MEKANİĞİ.....	78
3.1 Non-lineer Elastik Kırılma Mekanîği	80
3.1.1 Fiktif Çatlak Modeli (FÇM).....	82
3.2 Kırılma Enerjisinin Belirlenmesi	84
3.3 Betonun Kırılma Parametrelerini Etkileyen Faktörler	86
BÖLÜM DÖRT – BETONDA DONMA-ÇÖZÜLME OLAYI	88
4.1 Taze Betonda Donma-Çözülme	88

4.2 Sertleşmiş Betonda Donma-Çözülme.....	90
4.2.1 Donma Mekanizması.....	91
4.3 Hava Sürüklenmiş Beton	93
4.4 Buz Çözücü Tuzların Etkisi.....	96
4.5 Donma-Çözülme Hasarını Etkileyen Faktörlere Genel Bakış.....	97
4.5.1 S/Ç Oranı.....	98
4.5.2 Sürüklenmiş Hava.....	99
4.5.3 Doğunluk Derecesi.....	101
4.5.4 Agrega.....	103
4.5.5 Çimento Tipi.....	104
4.5.6 Donma Hızı.....	105
4.5.7 Minimum Sıcaklık.....	105
4.5.8 Donmada Bekletilme Süresi.....	105
4.5.9 Kür Sıcaklığı.....	106
4.5.10 Süperakışkanlaştırıcılar.....	106
4.5.11 Alkaliler.....	107
4.5.12 Viskozite Arttırıcı Katkılar.....	107
4.5.13 Lateks Katkısı.....	107
4.5.14 Örtücüler (Sızdırmazlık sağlayıcılar-sealants).....	108
4.5.15 Mikrolifler.....	109
4.5.16 Uygulanan Yük.....	110
4.5.17 Genel Değerlendirme.....	110
4.6 Donma Hasarının İyçyapı Etkileri.....	111
4.7 Kendiliğinden Yerleşen Betonun D-Ç Dayanıklılığı, Puzolanların ve Liflerin Etkisi.....	118

BÖLÜM BEŞ – DENEYSEL ÇALIŞMA.....122

5.1 Giriş.....	122
5.2 Deneysel Programın Tanıtılması.....	122
5.3 Kullanılan Malzemeler ve Nitelikleri.....	123
5.3.1 Çimento ve Yüksek Fırın Cürufu.....	123

5.3.2 Agregalar.....	124
5.3.3 Kimyasal Katkıları.....	125
5.3.4 Çelik Lifler.....	126
5.4 Deneysel Tasarım.....	126
5.4.1 Beton Tasarımı ve Kapsam.....	126
5.5 Deneysel Yöntem ve Gerçekleştirilen Deneyler.....	131
5.5.1 Taze Beton Deneyleri.....	132
5.5.1.1 Taze Halde Birim Hacim Ağırlığının (TBHA) ve Hava İçeriğinin Tespiti.....	132
5.5.1.2 Çökme – Yayılma Deneyi.....	133
5.5.1.3 V-Kutusu Deneyi.....	134
5.5.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	135
5.5.2.1 Basınç Dayanımını (f_c) ve Elastisite Modülünün (E) Belirlenmesi.....	138
5.5.2.3 Eğilme Dayanımının (f_{eg}), Kırılma Enerjisinin (Gf) Belirlenmesi.....	139
5.5.2.4 Donma – Çözülme Cihazı ve Çevrimler.....	142
BÖLÜM ALTI – TAZE HAL PERFORMANSI.....	144
6.1 Taze Beton Sonuçlarının İrdelenmesi.....	146
6.1.1 Taze Betonun Birim Hacim Ağırlığı ve Hava İçeriği.....	146
6.1.2 Yayılma Çapının ve T50 Süresinin Değerlendirilmesi.....	148
6.1.3 V Kutusu Akış Sürelerinin Değerlendirilmesi.....	152
6.2 Bölümle İlgili Genel Değerlendirme.....	154
BÖLÜM YEDİ – BASINÇ YÜKLERİ ALTINDAKİ PERFORMANS	155
7.1 Basınç Dayanımlarının (f_c) Değerlendirilmesi.....	155
7.2 Elastisite Modüllerinin (E) Değerlendirilmesi.....	169
7.3 Bölümle İlgili Genel Değerlendirme.....	179

BÖLÜM SEKİZ – EĞİLME YÜKLERİ ALTINDAKİ PERFORMANS	183
8.1 Yük – Deplasman İlişkisi.....	183
8.2 Eğilme Dayanımlarının (feğ) Değerlendirilmesi.....	188
8.3 Kırılma Enerjilerinin (GF) Değerlendirilmesi.....	204
8.4 Bölümle İlgili Genel Değerlendirme.....	212
BÖLÜM DOKUZ – DONMA – ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞI.....	215
9.1 D – Ç Sonrası Basınç Yükleri Altındaki Performans.....	215
9.2 D – Ç Sonrası Eğilme Yükleri Altındaki Performans.....	222
9.3 Bölümle İlgili Genel Değerlendirme.....	228
BÖLÜM ON – MİKROYAPI ÇALIŞMALARI.....	230
10.1 SEM Analizleri.....	230
10.2 DTA/TGA Analiz Sonuçları.....	243
10.3 Genel Değerlendirme.....	244
BÖLÜM ONBİR– SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	245
KAYNAKÇA.....	248