

KARBONATLAŞMANIN ÇELİK LİFLİ VE UÇUCU KÜLLÜ BETONLARDA ETKİSİ

¹Osman ŞİMŞEK, ²Seyedrahim BAHARAVAR

^{1,2}Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
¹ simsek@gazi.edu.tr, ²Seyedbah80@gmail.com

(Geliş/Received: 22.05.2013; Kabul/Accepted in Revised Form: 24.02.2014)

ÖZET: Bu çalışmada uçucu külü katkılı betonlar ile normal betonlar çelik lif ile güçlendirilmiş ve betonların karbonatlaşma ve diğer özelliklerine bakılmıştır. Uçucu kül çimento ile kütlece %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilmiştir. 30 mm uzunluğunda ve %30 mm çapındaki çelik lif ise hacimce olarak %1 oranında betonlara ilave edilmiştir. Betonlar üzerinde birim ağırlık, işlenebilirlik, aşınma, basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, tokluk, ultra ses hızı ve karbonatlaşma özellikleri incelenmiştir. Uçucu kül oranı tokluğa etkisi olmadı iken liflerin tokluğa önemli etkisi olduğu görülmüştür. Uçucu kül ve çelik lif karbonatlaşmada olumlu etki göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Lif, Uçucu Kül, Karbonatlaşma, Tokluk

The Effect of Fly Ash and Steel Fiber on Carbonation in Concrete

ABSTRACT: In this study, we research some of the properties of concrete specially carbonation in those concretes which were reinforced by fly ash and fiber steel. Instead of cement, fly ash to the ratio of 0%, 10%, 20%, and 30% and fiber steel by the amount of 1% of the whole concrete's weight are added to the whole concrete. The size of fiber steel is 30 mm in length and 30% mm in diameter. Tests were performed for concrete properties: unit weight, workability, compressive strength, modulus elasticity, flexural strength, toughness, splitting tensile strength, abrasion, capillary water absorption, ultrasonic velocity and carbonation. The ratio of fly ash does not affect toughness but fiber steel has a lot of on effects toughness. Fly ash and fiber steel have positive effect on carbonation.

Keywords: Steel Fiber, Fly Ash, Carbonation, Toughness

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günlük hayatın her yerinde çeşitli betonlardan yapılmış binalar, yol, depo ve su yapıları vb. rastlanmaktadır. Bu yapılarda çeşitli nedenler bozulmalara oluşur. Bu bozulmalar nedeniyle çeşitli can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Betonun kalitesi beton bileşenlerinin türü, kalitesi ve oranlarıyla ilişkisi var. Eğer beton bileşenlerinin kalitesi, kullandığı yere uygun ise ve oranları, tane yüzey şekilleri, taze betonun kürü iyi ise betondan beklenen özellikleri elde ederek can ve mal kaybı açısından daha güvenli bir beton üretmiş oluruz. Beton üretiminde kullanılan kimyasal ve mineral katkı maddesi betonun bazı eksik görülen özelliklerini iyileştirmesi kaçınılmazdır. Bu özellikleri iyileştirirken bazı olumsuzluklar ortaya çıktığı bilinmektedir. Günümüzde katkı maddesiz beton üretimi neredeyse mümkün değildir. Kısaca beton tanımı şu şekilde tanımlamak mümkündür. Beton, agrega, çimento, su ve katkı maddesinin belirli oranlarda karıştırılarak, plastik kıvamda döküldüğü kalıbın şeklini alan kompozit malzemedir. Betonlar yoğunluklarına, üretildiği yere basınç dayanımına, katkı maddesine, dökülmelerine uygulama yerine göre gibi birçok şekilde gruplara ayırılabilir. Günümüzde betonların en büyük sorunlarından biri betonların eğilme mukavemetlerinin yetersizliğidir.

Bunun için çeşitli boyutlarda ve cinslerde özel liflerle takviye edilir. Bu lifler içinde en yaygın kullanılan ise çelik liflerdir. Çelik lifli betonlar eğer yağmur veya açık havaya maruz kalıyorsa korozyon (paslanma) tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Bu olumsuzlukların etkisini araştırmak üzere bu çalışma planlanmıştır (Şimsek 2004).

Karbonatlaşma Deneyinde EN BS 13295:2004 standardı esas alınmıştır.

Agregaların maksimum boyutları 10 mm'den büyük olduğu için 10×40×40 cm prizma kullanılmıştır.

Sekiz farklı oranlarda dökülen betonlar Şekil 1'de görüldüğü 28 ve 90 gün kirece doymun kürde bekletildikten sonra 14 gün laboratuvar ortamında tutuldu daha sonra deney tankının içinde önceden yapılmış raflar üstüne düzenle konuldu. 28 ve 90 günlük numuneler yaklaşık %60±5 sabit nemde ve 20±2 °C , %1 CO₂ ortamlı kapalı tankta 56 gün tutulmuştur, 56 günden sonra numune eğilme testine tabi tutulmuş ve kırılan parça üzerine fenolfetalin maddesi püskürtülmüştür. Püskürülmüş madde karbonatlaşma olmayan bölgelerde pembelik yapmıştır. Karbonatlaşma olan bölgeler de renk değişimi olmamıştır.



Şekil 1. Karbonatlaşmaya Bekletilen Betonlar (Concrete carbonation held)

Tankın içinde nem miktarını 60±5 de tutması için Şekil 2'de görünen sodyum dikromat tuzu kullanılmıştır . Bu tuz 1 litre suda doymun hale gelene kadar karıştırılmıştır ve ortama konarak nemi 60±5 arasında tutmuştur.

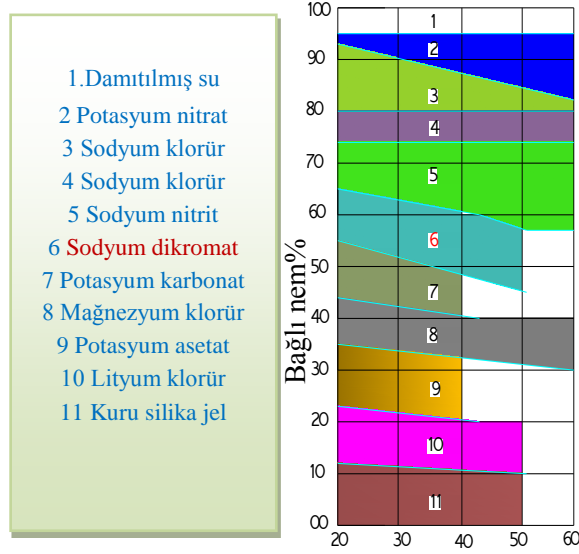


Şekil 2. Dikromat Tuzu (Dichromate salt)



Şekil 3. Tankın İçinde Nem Miktarı Ölçümü (Measurement of Moisture Content in the tank)

Tankın içindeki CO₂ miktarını %1 yapmamız için hacim-ağırlık metodu kullanıldı. Yani tankın hacmi alındı hacim hesaplandıktan sonra normal hava ağırlık birimine çarparak içindeki hava miktarı hesaplanır. Sonra vakumla içindeki hava emilerek istediğimiz ağırlık alınır ve onun yerine Şekil 5'de verilen tüpten CO₂ eklenmiştir

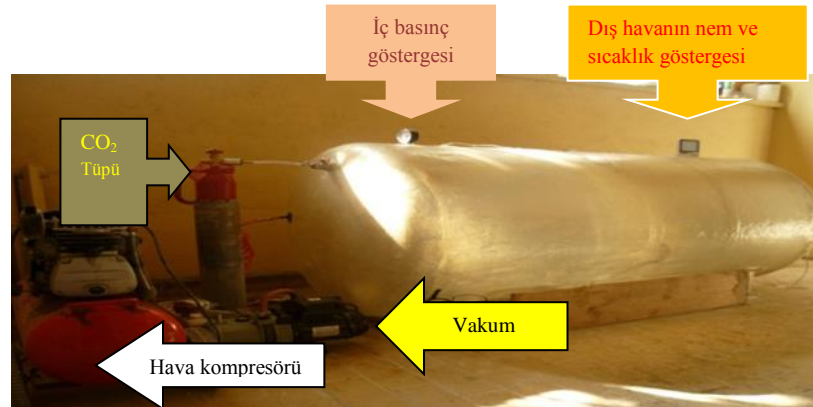


Şekil 4. Değişik Tuzların Nem Sağlama Miktarları (Quantities of the various salts providing moisture) (Gunen, Yazicioglu, 2005)



Şekil 5. CO₂ Tüpü (CO₂ Tube)

Bu tankta içindeki nem ve CO₂ miktarını kontrol etmemiz için Şekil 3 de görünen nem ve sıcaklık cihazı tankın içine yerleştirilmiştir. Tanka eklenen basınçölçerle içindeki gaz miktarı kontrol edilmiştir. Numuneler bu şartlarla içeriye konulduktan 56 gün sonra tanktan alınarak ve karbonatlaşma deneyine tabi tutulmuşlardır. Şekil 6 'de tankın resmi gösterilmektedir



Şekil 6. Karbonatlaşma tankının görüntüsü (Image carbonation tank)

MATERYAL VE METOT (MATERYAL AND METHOD)

Bu çalışmada çelik lifli ve uçucu kül beton üretimi için 0-4 mm ve 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm tane boyutlu olarak agrega, CEM I 42,5 R çimentosu ve beton takviyesinde kullanılan iki ucu kançalı, soğukta çekilmiş Dramix RC-35/35- BN çelik lif kullanılmıştır. Ayrıca çimento ile ağırlık olarak uçucu kül yer değiştirerek betona ilave edilmiştir. Tüm karışımlarda S/Ç oranı 0,49 olarak sabit tutulmuştur. Beton karışımında Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Çimento ve özellikleri (Cement and features)

TS EN 197-1 (2002)'e uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R çimentosu Ankara'nın Limak çimento fabrikasından alınmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Limak çimento laboratuvarından alınarak Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (Physical and Chemical Properties of Cement)

| Kimyasal özellikler | | Fiziksel özellikler | |
|--------------------------------|-------------|-----------------------------------|------------|
| Bileşen | Değerler(%) | Özellik | Miktar |
| SiO ₂ | 19,3 | Yoğunluk (gr/cm ³) | 3,33 |
| Al ₂ O ₃ | 5,57 | Özgül yüzey (cm ² /gr) | 3634 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,46 | Priz başlangıç süresi (dak) | 105 |
| Mn ₂ O ₃ | 0,1 | Priz final süresi (dak) | 189 |
| CaO | 63,56 | Hacim genleşmesi(mm) | 1 |
| MgO | 0,86 | 2 Günlük basınç dayanımı | 27,1 |
| SO ₃ | 2,91 | 28Günlük basınç dayanımı | 53,9 |
| Na ₂ O | 0,19 | Çimento ana bileşenleri | |
| K ₂ O | 0,80 | Çimento kimyasına göre sembolü | Miktarı(%) |
| Serbest CaO | 1,22 | C ₃ S | 52,48 |
| Cl ⁻ | 0,008 | C ₂ S | 19,63 |
| Çözünmeyen kalıntı | 0,25 | C ₃ A | 8,02 |
| Kızdırma Kaybı | 2,93 | C ₄ AF | 9,15 |

Agrega ve özellikleri (Aggregate and properties)

Hazırlanan beton numunelerinde kullanılan agregalar 0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm boyutlarda kırma agrega olarak, Limak hazır beton tesisatından temin edilmiştir. Beton üretiminde kullanılan agregalar, TS 707 (1980) ve TS EN 932-2 (1999) agregalardan numune alma ve laboratuvar numunelerinin azaltılması ile deneyi ile hazırlanmıştır. Agregatane büyüklüğü dağılımı, TS 3530 EN 933-1(1999) standardına uygun olarak belirlenmiştir. İri ve ince agregalara ait numunelerin tane büyüklüklerine göre dağılımı elek analizi sonucunda belirlenmiştir. Fuller eğrisine uygun olarak agrega karışım oranları hesaplanarak agrega granülometrisi ayarlanmıştır. Buna göre 0-4 mm aralığındaki

agrega %39, 4-11,2 mm agregadan %30 ise 11,2-22,4 mm %31 olarak düzenlenmiştir. Lif takviyeli betonların işlenebilirliğini kolaylaştırmak amacıyla ince agrega oranı fazla seçilmiştir.

Çizelge 2. Agreganın Karışım Analizi ve Yoğunluğu (*The mixture of the aggregate and Density Analysis*)

| Elek açıklığı(mm) | Agrega grupları | | | Fuller | Karışım |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------------|--------|---------|
| | 0-4 (mm) | 4-11,2 (mm) | 11,2-22,4 (mm) | | |
| 22,4 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 16,0 | 100 | 100 | 54 | 84 | 86 |
| 11,2 | 100 | 100 | 7 | 71 | 71 |
| 8,0 | 100 | 66 | 0 | 60 | 59 |
| 5,6 | 100 | 36 | 0 | 50 | 50 |
| 4,0 | 100 | 10 | 0 | 42 | 42 |
| 2,0 | 78 | 1 | 0 | 30 | 30 |
| 1,0 | 46 | 0 | 0 | 21 | 18 |
| 0,5 | 35 | 0 | 0 | 15 | 14 |
| 0,25 | 27 | 0 | 0 | 11 | 11 |
| 0,125 | 18 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| Karışım oranları | %39 | %30 | %31 | 100 | 100 |
| Yoğunluk kg/dm ³ | 2,69 | 2,70 | 2,71 | | |

Uçucu külün sınıfı ve özellikleri (Class and properties of fly ash)

Çalışmada kullanılan Çayırhan uçucu külün Limak çimento fabrikasında yapılan kimyasal analizi Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Uçucu Külün Bileşenlerinin Miktarları ve Fiziksel Özellikleri (*Quantity of Fly Ash Components and Physical Properties*)

| Kimyasal Bileşenler | Çayırhan Uçucu kül bileşenleri (%) | Düşük C | Yüksek C |
|--------------------------------|------------------------------------|---------|----------|
| SiO ₂ | 50,88 | 25-42 | 46-59 |
| Al ₂ O ₃ | 13,34 | 15-21 | 14-22 |
| Fe ₂ O ₃ | 10,09 | 5-10 | 5-13 |
| CaO | 13,09 | 17-32 | 8-16 |
| MgO | 5,58 | 4-12,5 | 3,2-4,9 |
| K ₂ O | 2,72 | 0,3-1,6 | 0,6-1,1 |

| | | | |
|--------------------------------|--------|---------|-----------|
| Na ₂ O | 2,59 | 0,8-6 | 1,3-4,2 |
| SO ₃ | 3,32 | 0,4-5 | 0,4-2,3 |
| Li ₂ O | 0,2 | 0,1-1 | 0,1-2,3 |
| TiO ₂ | 1,2 | <1 | <1 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,043 | 0-0,1 | 0-0,1 |
| KK | 1,7 | 0,2-1,2 | 0,3 - 1,9 |
| Total | 101,99 | ≈100 | ≈100 |
| Uçucu külün tane boyutu | | Miktar | |
| 1-45 µ | | %72 | |
| 45-90 µ | | %16 | |
| 90-120 µ | | %8 | |
| 120-150 µ | | %4 | |
| İnceliği (g/cm ²) | | 2140 | |
| Yoğunluğu (g/cm ³) | | 2,32 | |
| Gevşek ağırlığı | | 728 | |

Çelik lifin şekil ve boyut özellikleri (Shape and size characteristics of the steel fiber)

Araştırmada kullanılan çelik lif BEKSA firmasından temin edilen düşük karbonlu 35/0,35 boyutunda kancalı (çengelli) lif kullanılmıştır. Beksa firmasından alınan çelik liflere ait teknik özellikler Çizelge 4'de ve görünüşü Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kullanılan çelik lifin şekli (The shape of the steel filament used)

Çizelge 4. Çelik lifin özellikleri (Steel fiber properties)

| | |
|--------------------------|------------------|
| Lif Tipi | Çengelli 35/0,35 |
| Boy (mm) | 35 |
| Çap (mm) | 0,35 |
| Narinlik oranı | 100 |
| Çekme dayanımı (MPa) | 1150 |
| Elastisite modülü (MPa) | 200000 |
| Özgül ağırlık | 7,48 |
| 1 kg lifin sayısı (Adet) | 13000 |

Karışım suyunun özellikleri (The mixture of water features)

Bu çalışmada beton karışımı ve karışımdan sonra kürde kullanılan su, Ankara şehir şebekesinin içme suyudur. Bu çalışmada kullanılan suyun ASKİ'den alınan özellikleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Kullanılan suyun özellikleri (*Properties of water used*) [Ankara su analizi, (2011)]

| Ankara içme suyu günlük ortalama değerleri | | | |
|--|---------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Parametre | Analiz sonucu | EPA'da izin verilebilir değer | TS 266'da izin verilebilir değer |
| İletkenlik $\gamma=(25^{\circ}\text{C},\text{mS/m})$ | 22,6 | | 250 |
| Amonyum(mg/l) | <0,06 | <1 | 0,5 |
| Nitrit(mg/l) | <0,006 | 1 | 0,5 |
| Sülfat (mg / lt) | 23,6 | 250 | 250 |
| Demir ($\mu\text{g} / \text{lt}$) | 19 | 200 | 200 |
| Al ($\mu\text{g} / \text{lt}$) | 61 | 200 | 200 |

Beton karakteristikleri (Concrete Characteristics)

Çalışmada kimyasal katkı maddesi kullanılmamıştır ve %0, %10, %20 ve %30 çimento yerine uçucu kül ikame edilmiştir. Bu karışım oranıyla her bir özellik ve yaş için 3'er adet lifli ve lifsiz olmak üzere numune hazırlanmıştır. Basınç ve eğilme dayanımı numunelerinde 7, 28 ve 90 günlük, aşınma ve karbonatlaşma numunelerinde 28 ve 90 günlük, su emme ve tokluk numunelerinde ise 90 günlük numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Deneysel çalışmada hazırlanan tüm beton karışımlardaki agrega oranları, %39 ince (0-4 mm) ve %30 orta (4-11,2 mm) ve %31 iri (11,2-22,4 mm) kullanılmıştır. Uçucu kül ağırlıkça ikame yoluyla betona %0, %10, %20 ve %30, oranlarında çimento ile yer değiştirilerek karışıma katılmıştır. Beton takviyesinde kullanılan iki ucu kancalı, soğukta çekilmiş Dramix RC-35/35- BN çelik lif ağırlıkça %1 oranında sabit kullanılmıştır. C25 için karışım miktarlarının hesabı TS 802 (2009) esas alınarak, lifli betonun karışım hesabı TS 10514(1992)'de göre yapılmıştır. Hesaplarda bağlayıcı miktarı 301 kg/m^3 ve su-bağlayıcı oranı 0,49 sabit olarak seçilmiş ve hapsolmuş hava miktarı ise 20 dm^3 alınmıştır. Gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış ve daha sonra ağırlıklar bulunmuştur. Çizelge 6'da kısaltılmış olan beton karışım kodları verilmiştir.

Çizelge 6. Numunelerin kodlanması (*Coding of samples*)

| Kodlar | Açıklamalar |
|---------------------|--|
| Uk _{0b} | Uçucu külsüz ve çelik lifsiz beton(Kontrol betonu) |
| Uk _{10b} | %10 uçucu küllü çelik lifsiz beton |
| Uk _{20b} | %20 uçucu küllü çelik lifsiz beton |
| Uk _{30b} | %30 uçucu küllü çelik lifsiz beton |
| Ukoç _{1b} | Uçucu külsüz, %1 beton ağırlığı çelik lifli beton |
| Uk _{10ç1b} | %10 uçucu küllü, %1 beton ağırlığı çelik lifli beton |
| Uk _{20ç1b} | %20 uçucu küllü, %1 beton ağırlığı çelik lifli beton |
| Uk _{30ç1b} | %30 uçucu küllü, %1 beton ağırlığı çelik lifli beton |

Çizelge 7 Karışım miktarı (The amount of mixture)

| Karışım kodu | Agrega kg/m ³ | | | Çimento kg/m ³ | Uçucu kül | | Çelik lif kg/m ³ | Su miktarı | | Hava% |
|-------------------|--------------------------|-----------|--------------|---------------------------|-------------------|----|-----------------------------|------------------|------|-------|
| | 0-4 mm | 4-11,2 mm | 11,2-22,4 mm | | kg/m ³ | % | | L/m ³ | S/Ç | |
| Uk _{0b} | 778 | 602 | 623 | 301 | 0 | 0 | 0 | 149 | 0,49 | 2 |
| Uk _{10b} | 778 | 602 | 623 | 273,6 | 30,1 | 10 | 0 | 149 | 0,49 | 2 |
| Uk _{20b} | 778 | 602 | 623 | 243,2 | 60,2 | 20 | 0 | 149 | 0,49 | 2 |
| Uk _{30b} | 778 | 602 | 623 | 212,8 | 91,2 | 30 | 0 | 149 | 0,49 | 2 |

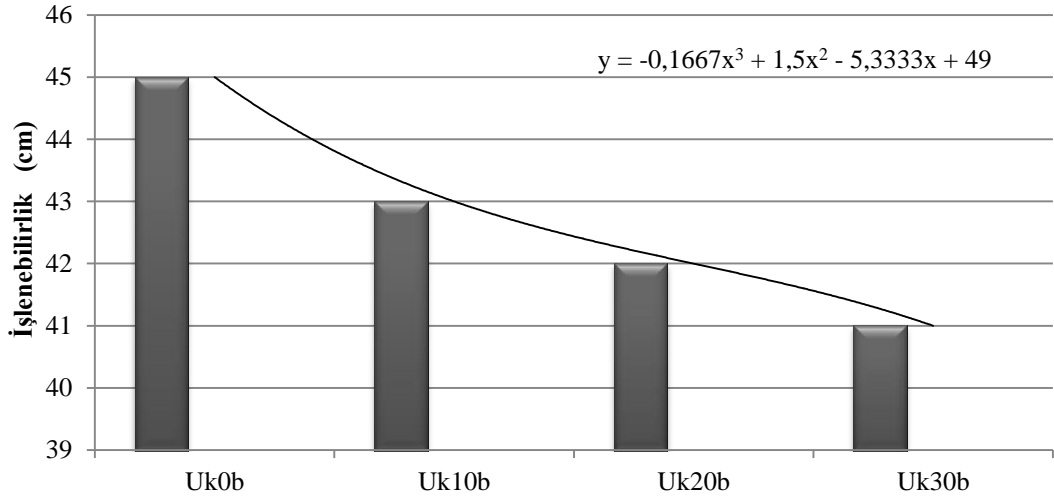
Çizelge 3.3 deki karışımlara 23 kg/m² sabit çelik lif ilave edilerek çelik lifli beton üretilmiştir.

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMALAR (Static Modulus of Elasticity Findings)

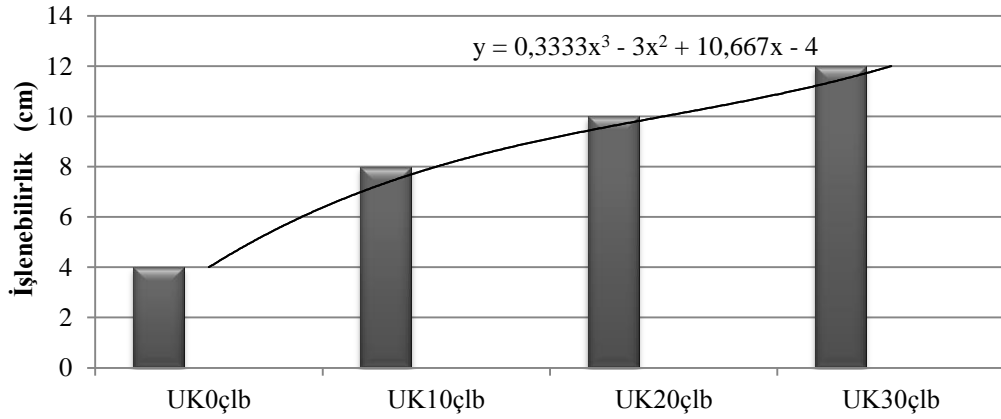
Yapılan çalışmada farklı karışımlarda olan betonlar üzerinde çökme deneyi yapılmıştır. Normal betonlar için çökme huni metodu ve çelik lifli betonlar için yapılan ters koni metodun değerleri Çizelge 8'de verilmiştir. Çizelge 8, Şekil 8 ve Şekil 9'de görüldüğü gibi lifsiz betonlarda uçucu kül oranı arttıkça çökme miktarı azalmaktadır. Bunun nedeni uçucu külün küresel yapısı yanında hacim olarak çimentoya göre daha fazla olması ve özgül yüzeyinin çimentoya göre daha fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Lifli beton karışımlarında ise lif ve uçucu kül arttıkça ters koniden çıkış süresi artmaktadır. Bunun nedeni taze betonun kohezyonu artmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 8. Taze beton işlenebilirlik çökme ve ters koni sonuçları (Inverted cone slump and workability of fresh concrete results)

| Numunenin kodu | Çökme miktarı (mm) | Ters koni metodu(sn) |
|---------------------|--------------------|----------------------|
| Uk _{0b} | 45 | - |
| Uk _{10b} | 43 | - |
| Uk _{20b} | 42 | - |
| Uk _{30b} | 41 | - |
| Uk _{0çlb} | - | 4 |
| Uk _{10çlb} | - | 8 |
| Uk _{20çlb} | - | 10 |
| Uk _{30çlb} | - | 12 |



Şekil 8. Taze betonda katkı maddesi oranı-ışlenebilirlik ilişkisi (Rate-workability of the fresh concrete additive relationship)



Şekil 9. Taze betonda uçucu küllü lifli betonun işlenebilirlik ilişkisi (Fresh fly ash in concrete workability relationship fibrous)

Eğilmede Çekme Dayanımı Bulguları (Flexural Strength Findings)

Araştırma kapsamında yer alan uçucu küllü ve çelik lifli betonların eğilme dayanımları Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Eğilme çekme dayanımı sonuçları (Flexural tensile strength results)

| Numune kodu | 7 günlük eğilme MPa | 28 günlük eğilme MPa | 90 günlük eğilme MPa |
|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Uk0b | 4,15 | 5,12 | 5,54 |
| Uk10b | 4,04 | 5,45 | 5,77 |
| Uk20b | 3,91 | 5,17 | 6,21 |
| Uk30b | 3,84 | 4,98 | 5,5 |
| Uk0çlb | 5,1 | 5,65 | 6,32 |
| Uk10çlb | 4,82 | 5,96 | 6,49 |
| Uk20çlb | 4,42 | 6,12 | 6,88 |
| Uk30çlb | 4,12 | 5,25 | 6,26 |

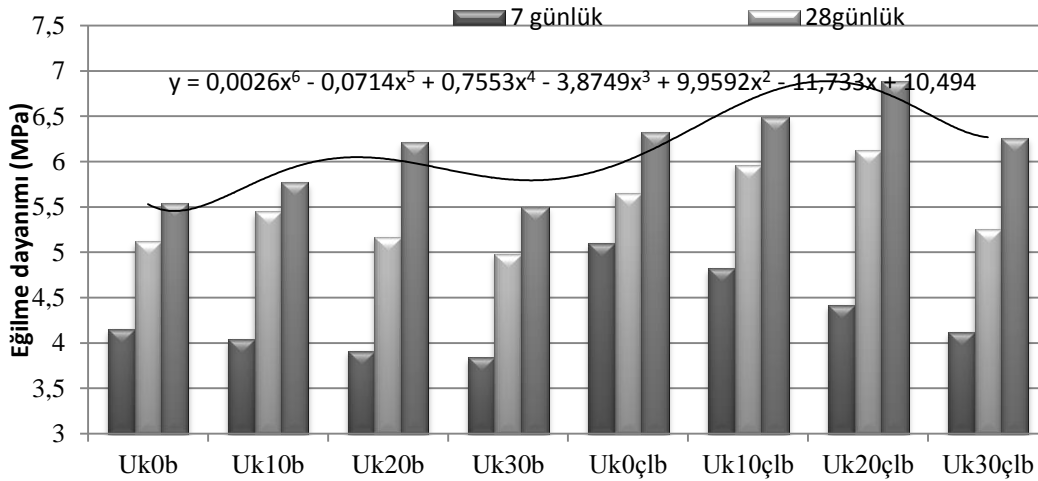
Çizelge 9 ve Şekil 10 incelendiğinde uçucu kül arttıkça 7 günlük numunelerde düzenli olarak bir azalma görülmektedir. Uk oranı ile eğilmede çekme dayanımı arasında ters ilişki vardır. 7 günlük liffsiz

numuneler arasında en iyi sonuç U_{k0b} 'de ve en düşük değer U_{k30b} 'de görülmektedir. 7 günlük lifli numunelerde ise en düşük eğilme değerleri olan numune $U_{k30çlb}$ ve en iyi değer $U_{k0çlb}$ 'da görülmektedir.

28 günlük lifli betonlarda 7 günlük numunelere göre önemli değişiklikler kayıt edilmiştir ve lifsiz betonlarda en yüksek değer U_{k10b} de görünürken en den düşük değer aynı 7 günlükler gibi U_{k30b} de görülmektedir. Bu eğilmelerde çekme dayanımı basınç dayanımı arasında oldukça benzer ilişki vardır. 28 günlük çelik lifli betonlarda ise en yüksek değer U_{k20b} 'da görülürken en düşük değer aynı lifli betonlar gibi $U_{k30çlb}$ b'da görülür. Buradaki lifli ve lifsiz olarak 2 gruba ayırdığımızda ve yüksek değerlerinin (U_{k20b} ve $U_{k20çlb}$) bir biriyle karşılaştırdığımızda lifli betonda %18 artış görülmektedir.

90 günlük numunelerde lifli ve lifsiz betonlarda %20 çimento yerine uçucu ikame edilene kadar değerlerde artış görülmektedir fakat %30 uçucu kül ikamesinde betonda eğilme çekme değerlerini düşürmüştür. Lifsiz betonlarda en iyi değer U_{k20b} ve lifli betonlarda ise $U_{k20çlb}$ 'da görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre çelik lifli betonlar çelik lifsiz betonlara göre yaklaşık %11 lik bir artış sağlamıştır.

7, 28 ve 90 günlük numunelerin maximum değerleri çelik lifli olanlara aittir ve çelik lifleri bir biriyle karşılaştırdığımızda 28 günlük numuneler 7 günlük numunelere göre %20 ve 90 günlük numunenin en büyük değeri 7 günlük numunenin en büyük dayanıma göre %34 lük bir artış görülürken 90 günlük numunenin 28 günlük numunesinin en büyük dayanımlı numunesine göre, %12 artış göstermektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde, eğilme çekme dayanımı üzerinde çelik liflerin bütün yaşlarda olumlu etkisi vardır.



Şekil 10. Örneklerin eğilme7 ve 28 ve 90 günlük dayanımlarının gösterilişi

(Example of representation of eğilme7 and 28 and 90-day strength)

Şekil 10'e göre numunelerin yaşları büyüdükçe ve uçucu kül etkisini göstermiş ve dayanımlarda artışlar görülmüştür. Bu deneyde çelik liflerin etkisi olumlu olarak eğilmelerde net olarak gösterilmiştir. Çelik lifli betonlar Şekil11 gibi gevşek ve çelik lifsiz betonlar Şekil 12 gibi aniden kırıldığı görülmüştür.



Şekil 11. Çelik lifli betonun kırılması
(Fracture of steel fiber concrete)



Şekil 12 Çelik lifsiz betonun kırılması
(Steel lint fracture of concrete)

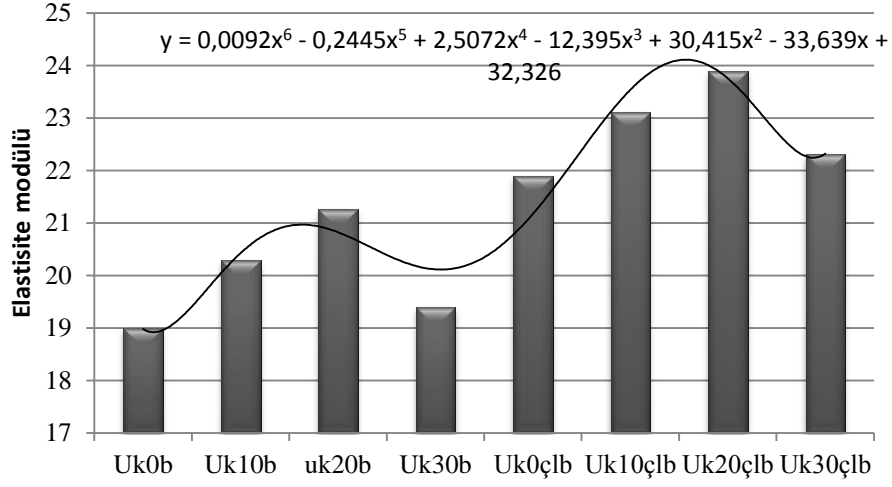
Statik Elastisite Modülü Bulguları (Static Modulus of Elasticity Findings)

Çelik lifle güçlendirilmiş uçucu küllü ve külsüz beton gruplarının elastisite modülü tayini deneyleri 28 günlük 100×200 mm'lik silindir numuneler üzerinde ölçülmüştür. σ - ϵ eğrisinin üzerinde maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen gerilme değeri belirlenmiş ve hem σ - ϵ eğrisinin başlangıç noktasından hem de belirlenen bu noktadan geçen bir doğru çizilmiştir. Çizilen bu doğru çizgi, betonun σ - ϵ eğrisi gibi kabul edilmiş ve bu doğrunun eğimi hesaplanmıştır. Çelik lifle güçlendirilmiş normal ve uçucu kül katkılı betonların 28 günlük silindir basınç dayanımları ile 28 günlük elastisite modülleri Çizelge 10 ile Şekil 13'de sunulmuştur.

Çizelge 10. Günlük basınç ve modül elastisite değerleri (Daily pressure and the module of elasticity values)

| Numune kodu | 28 günlük basınç (MPa) | Kontrol betona göre değişimler% | 28 günlük elastisite modülü (GPa) | Kontrol betona göre değişimler% |
|---------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Uk _{0b} | 31,9 | - | 19 | - |
| Uk _{10b} | 33,8 | +5 | 20,28 | +6 |
| Uk _{20b} | 32,7 | +2 | 21,25 | +11 |
| Uk _{30b} | 29,7 | -6 | 19,39 | +2 |
| Uk _{0çlb} | 30,5 | -4 | 21,9 | +15 |
| Uk _{10çlb} | 31,5 | -1 | 23,1 | +21 |
| Uk _{20çlb} | 31,8 | -0,3 | 23,9 | +25 |
| Uk _{30çlb} | 29,1 | -8 | 22,3 | +17 |

Çizelge 10 incelendiğinde uçucu kül belli bir oranda olarak elastisite modülünde artışlar görülmektedir fakat çimento ile yer değişen uçucu kül %20 den fazla olduğu zaman elastisite modülünde daha kırılğan olduğu için olumsuz etkiler yapmıştır. Lifsiz beton grubunda Uk_{20b} numunesi en iyi değeri göstermiş ve lifli betonlarda ise aynı karışım yani Uk_{20çlb}'da en iyi sonuç görülmektedir. Bu iki grubun en yüksek elastisite modülü sonuçlarını karşılaştırdığımızda çelik lif katkılı betonlarda elastisite modülü %13 artış göstermektedir. Bu artışın nedeni çeliğin elastisite modülünün fazla olması ve onu betona aktarmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 13. Elastisite modülü grafiği (Graph of elasticity modulus)

Karbonatlaşma (Carbonation)

Karbonatlaşma sonuçları uçucu kül ikameli çelik lifli ve çelik lifsiz betonlarda 28 ve 90 günlük örnekler üzerinde yapılmıştır. Beton örnekler üzerinde elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları Çizelge 11’de verilmiştir.

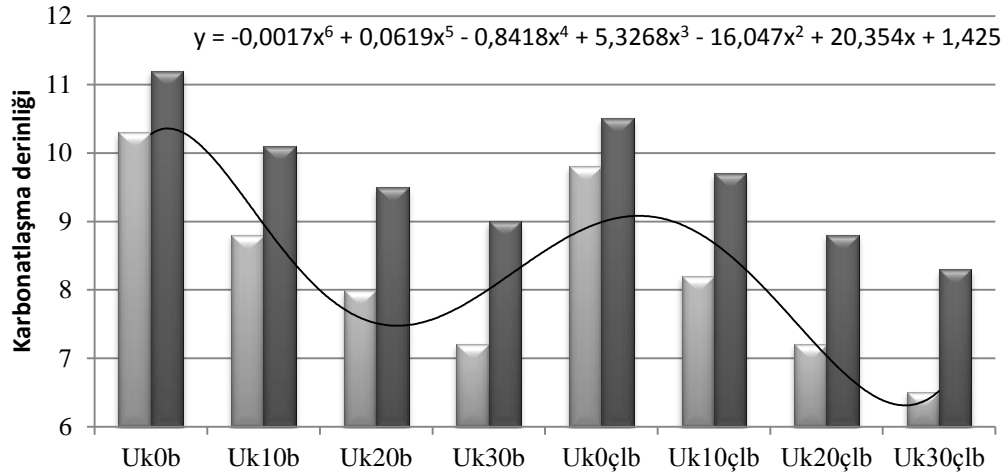
Çizelge 11. Karbonatlaşma derinlikleri (Carbonation depth)

| Numune kodu | 28 gün (mm) | Kontrol betona göre karbonatlaşma azalması, % | 90 gün (mm) | Kontrol betona göre karbonatlaşma azalması % |
|-------------|-------------|---|-------------|--|
| Uk0b | 11,2 | --- | 10,3 | Kontrol beton |
| Uk10b | 10,1 | 10 | 8,8 | 14 |
| Uk20b | 9,5 | 18 | 8 | 22 |
| Uk30b | 9 | 20 | 7,2 | 30 |
| Uk0çlb | 10,5 | 6 | 9,8 | 5 |
| Uk10çlb | 9,7 | 15 | 8,2 | 20 |
| Uk20çlb | 8,8 | 21 | 7.2 | 30 |
| Uk30çlb | 8,3 | 25 | 6,5 | 37 |

Çizelge 11’de baktığımız değerler uçucu külün etkisini bize zaman geçerek daha fazla olduğunu yansıtmaktadır. Karbonatlaşma betonun daha fazla kürede kalmasıyla ters bir değerleri vardır. Yani normal betonda baktığımızda 28 ve 90 günlük beton arasında 3 mm’lik farkı göre biliriz.

Çizelge 11 ile Şekil 14 incelendiğinde 28 günlük çelik lifsiz numunelerde en fazla karbonatlaşma olan numuneler Uk0b ve en az karbonatlaşma gösteren karışım Uk30b’da görülmektedir. 28 günlük çelik lifli betonlarda ise Uk0b ve Uk30çlb sıra ile en fazla ve az karbonatlaşma gösteren numunelerdir.

90 günlük numunelerde lifsiz betonlarda en az karbonatlaşma olan numune %30 uçucu kül kullanılan numune ve en fazla karbonatlaşan uçucu külü olmayan şahit betondur ve 90 günlük çelik liflerde bile bu sonuçlar tekrar olarak yani sıra ile en az ve en fazla karbonatlaşan numuneler Uk0b ve Uk30çlb olmuştur. Bu deneyde karışmış olan fenol fetalin ve alkolle yapılmış karışımın etkisi Şekil 14’de verilmektedir Mor olan yerlerde betonun sağlam ve rengi değişmeyen kısımların derinlik miktarı karbonatlaşmanın miktarını göstermektedir.



Şekil 14. Karbonatlaşma ve değerlerinin grafiği (Carbonation and values chart)

Karbonatlaşma miktarı daha fazla yapıldığında ve Uk0b 28 ve 90 günlük numunelerini bu kıyasladığımızda karbonatlaşma daha düşük bir miktar göstermektedir. Yani bizim karbonatlaşmayı etkileyen faktörlerden biri yapılmış olan kürün kalitesidir. Deneylerden elde edilen değerlere baktığımızda çimento ağırlığı uçucu kül ikame ettiğimiz betonlarda karbonatlaşma miktarında azalmalar görülmektedir. Bunun asıl nedeni CaO miktarının betonda düşmesidir, çünkü kullandığımız uçucu külün CaO yüzdesi yaklaşık kullandığımız çimento CaO miktarının dörtte biridir ve buda CaO karbonatlaşmanın temel unsuru olmaktan dolayı karbonatlaşmada azalma göstermiştir. Uçucu kül miktarı yükseldikçe karbonatlaşma azalmıştır. 28 ve 90 günlük Uk10b numunenin sonuçlarına baktığımızda normal betonumuz olan Uk0b'a göre sıra ile %10 ve %14 karbonatlaşmada düşüşler görülmektedir. 28 ve 90 günlük Uk10çlb betonlarda normal betona karşı karbonatlaşma miktarında sıra ile %13 ve %18 düşüş göstermektedir bu değerlere dayanarak çelik lifin %1 kullandığımız karışımlarda karbonatlaşmanı lifsiz betonlara göre azalması dikkat çekicidir, bunun neden ise çelik lif kullanarak betonların daha az su emmesine sebep olmasını düşünülür. Şekil 15'de karbonatlaşmış bir beton görülmektedir.



Şekil 15. Betonda karbonatlaşma etkisi (The effect of carbonation in concrete)

5. SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Yapılan bu çalışmada sonuç olarak:

- Uçucu kül oranı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır.

- Uçucu kül ve çelik lif oranı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır.
- Uçucu kül ikamesi ve çelik lif katılışı betonların yoğunluklarına önemli bir etki etmediği saptanmıştır.
- Uçucu kül ikamesi oranları 7 günlük basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir. 28 günlük basınç dayanımı üzerinde %10 Uçucu kül oranı azda olsa olumlu etki göstermiştir. Fakat 90 günlük betonlara değişik deneylerde Uçucu kül %10 ve %20 katıldığı belirgin bir artış sağlayarak olumlu etki ettiği görülmüştür.
- 90 ve 28 gün yaşlarda ve Uçucu kül oranların çelik lifin belirgin bir artış görülmektedir.
- Eğilme dayanımlarında Uçucu kül'ün etkisi basınç dayanımına paralel etki göstermiştir. Çelik lifin ise etkisi 28 ve 90 günlük eğilme dayanımına olumlu etki ettiği saptanmıştır. En yüksek eğilme dayanımı %20 Uçucu kül oranı ile hazırlanan betonda görülmüştür.
- Ultra ses hız geçiş özelliği Uçucu kül oranına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. En yüksek geçiş hızı $U_{k10çlb}$ örneklerde bulunmuştur.
- 28 ve 90 günlük betonlarda aşınma kaybı Uçucu kül oranlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. En yüksek kayıp %10 Uçucu kül oranı ile elde edilen betonlarda görülmüştür. Çelik lifli betonlarda lifler aşınma kaybını azaltılmıştır. En düşük aşınma kaybı %20 Uçucu kül çelik lifli betonlarda saptanmıştır.
- Kapiler su emmesi %30 uçucu kül oranı ile üretilen betonlarda en yüksek veri saptanmıştır. Çelik lifin kapiler su emmeyi azalttığı görülmüştür.
- Betonun elastisite modülü basınç dayanımı ile paralellik göstermiştir.
- Uçucu kül ikamesi betonun enerji yutmasına etkisi çok az olmuştur. Çelik lifli betonlarda enerji yutma daha yüksektir. En yüksek enerji yutma kapasitesi $U_{k10çlb}$ betonlarda saptanmıştır.
- Uçucu kül oranları karbonatlaşma derinliği ile ters ilişkiye sahip olduğu saptanmıştır. Uçucu kül oranı arttıkça CaO'in azalması karbonatlaşmada düşüşler görülmektedir.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi" 3, *Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş.*, Ankara, Pp23,46,153-172,97-109, (2004).
- Gönen, T., and Yazıcıoğlu, S., "Betonda Hızlandırılmış Karbonatlaşma Deneyi ve Aparatı", Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ., *Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic* Cilt: 8 Sayı: 2 s.Elazığ, 233-237 (2005).
- İnternet: Ankara su analizi (2011)
[http://www.google.com/search?sourceid=navclient&aq=0&oq=http%3a%2f%2fwww.aski.gov.tr&hl=tr&ie=UTF8&rlz=1T4ADFA_trTR422TR423&q=http%3a%2f%2fwww.aski.gov.tr%2f&gs_upl=0101014063llllllllll0&aqi=s1\(2011\)](http://www.google.com/search?sourceid=navclient&aq=0&oq=http%3a%2f%2fwww.aski.gov.tr&hl=tr&ie=UTF8&rlz=1T4ADFA_trTR422TR423&q=http%3a%2f%2fwww.aski.gov.tr%2f&gs_upl=0101014063llllllllll0&aqi=s1(2011))
- Uçucu külün özellikleri:
http://www.google.com/search?q=u%C3%A7ucu+k%C3%BCl&hl=tr&rlz=1T4ADFA_trTR422TR423&prmd=imvns&source=lnms&tbm=isch&ei=ljnTT-eKK8fAtAbYksHrDw&sa=X&oi=mode_link&ct=mode&cd=2&ved=0CEwQ_AUoAQ&biw=1280&bih=563
- TS EN 197-1., Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
- 6.TS 3530 EN 933-1, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: "Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu. Türk Standartları Enstitüsü", Ankara (1999).