

## KIRPILMIŞ ATIK TAŞIT LASTİKLERİNİN SIFCON ÜRETİMİNDE FARKLI BAĞLAYICILARLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet CANBAZ<sup>1\*</sup>, Serhat ÇELİKİTEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-0175-6155>

<sup>2</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8154-7590>

| Anahtar Kelimeler   | Öz  |
|---|---|
| SIFCON, Kırpılmış atık taşıt lastikleri, CEM I, CEM IV, CAC | <i>Bu çalışmada, çeşitli ekolojik ve ekonomik sorunlara neden olan atık taşıt lastiklerinin Çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton (Slurry Infiltrated Fiber Concrete-SIFCON) üretiminde farklı bağlayıcılarla değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, bağlayıcı olarak CEM I, CEM IV ve kalsiyum aluminatlı çimentolar (CAC) ayrı ayrı kullanılarak SIFCON kompozitler üretilmiştir. Üretilen SIFCON kompozitlerde lif olarak sadece kırpılmış atık taşıt lastikleri kullanılmıştır. Elde edilen SIFCON kompozitlerin birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızları, eğilme dayanımları ile basınç dayanımları belirlenmiştir. Deneysel çalışma neticesinde; kırpılmış taşıt lastiklerinin lif olarak kullanılarak CEM I çimentosu ile 12 MPa eğilme dayanımına sahip SIFCON kompozitler üretilebileceği görülmüştür.</i> |

## UTILIZATION OF CRUMBED WASTE TIRE RUBBERS FOR THE PRODUCTION OF SIFCON WITH DIFFERENT BINDERS

| Keywords  | Abstract  |
|---|---|
| SIFCON, Crumbed waste tire rubber particles, CEM I, CEM IV, CAC | <i>In this study, the utilization of crumbed waste tire rubber particles in the production of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON) with different binders is investigated. For this purpose, SIFCON composites are manufactured by using CEM I, CEM IV and calcium aluminate cements (CAC) as binders, separately. Only the crumbed waste tire rubber particles are used as fibres in the SIFCON composites. The unit weight, ultrasonic pulse velocity, flexural strength and compressive strength values of the produced SIFCON composites are determined experimentally. As a result of the study, SIFCON composites with 12 MPa flexural strength can be produced with the crumbed waste tire rubber particles by using CEM I cement as binder.</i> |

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 17.06.2019

Kabul Tarihi : 12.11.2019

Research Article

Submission Date : 17.06.2019

Accepted Date : 12.11.2019

### 1. Giriş

Atık taşıt lastikleri Dünya'nın birçok bölgesinde önemli bir çevre sorunu haline gelmektedir. Dünyada yılda 1.5 milyar lastiğin üretildiği düşünüldüğünde ise bu lastiklerin atıklarının neden olabilecekleri çevre sorunlarının kaygı verici derecededir (Weiguo, Lai, Tao, Hongkun, Zhi ve Shi, 2013; Siddique ve Naik, 2004). Günümüzde her yıl 1 milyar ton taşıt lastiği servis ömrünü tamamlamakta ve bu sayının 2030 yılında yılda 1.2 milyar tonu bulabileceği düşünülmektedir. Ayrıca servis ömrünü tamamlayan lastiklerin %50 sinden fazlası hiçbir işleme tabi tutulmadan atık sahalarına atılmaktadır (Azevedo, Pacheco, Jesus, Aguiar ve Camoes, 2012; Eiras, Segiovia, Borrachero, Monzo, Bonilla ve Paya, 2014; Thomas ve Gupta, 2016). Bu atılan lastikler dolgu malzemesi olarak, yakılarak veya

karbon isi üretimi gibi çeşitli yöntemlerle yok edilmeye çalışılmaktadır. Ancak, atık sahalarında stoklanan malzemenin çokluğu ve değerlendirme alanlarının kısıtlı olması nedeniyle atık taşıt lastiklerin neden olduğu hava, su ve toprak kirliliği birçok sağlık, çevre ve ekonomik riskleri de beraberinde getirmektedir (Mohammed, Hossain, Swee, Wong ve Abdullahi, 2012; Eldin ve Senouci, 1994; Weiguo ve diğ., 2013; Thomas ve Gupta, 2016). Son yıllarda, inşaat sektöründe sürdürülebilir ve daha çevre dostu malzeme üretimine ve çeşitli atıkların bu amaçla değerlendirilmesine ilgi artmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalardan bazıları ise çeşitli katı atıkların betonda agrega olarak değerlendirilebilirliğinin araştırılması üzerinedir. Çeşitli ekolojik ve ekonomik problemlere neden olan atık taşıt lastiklerinin değerlendirilmesi ve neden

\* Sorumlu yazar; e-posta : [mcanbaz@ogu.edu.tr](mailto:mcanbaz@ogu.edu.tr)

oldukları çevre problemlerinin azaltılması için bu malzemelerin betonda kullanılan agregaların bir kısmının veya tamamının yerine kullanımı sürdürülebilir bir çözüm olabilecektir. Bu çözüm ile, hem atık lastiklerin yakılması ile ortaya çıkan CO2 emisyonu azaltılmış hem de beton agregası olarak kullanılan doğal ham maddelerin tüketimi azaltılmış olacaktır (Kovler ve Roussel, 2011; Azevedo ve diğ., 2012; Najim ve Hall, 2012; Uygunoğlu ve Topçu, 2010; Thomas ve Gupta, 2016)

Yüksek basınç dayanımına sahip betonlar genel itibariyle gevrek yapıya sahip kompozit lerdir. Bu betonların sürekli lif içeriği çekme dayanımlarını artırmakla birlikte deformasyon kapasitelerini de geliştirmektedir (Buitelaar, 2004; Acker ve Behloul, 2004). Ancak, liflerin birbirleriyle kenetlenmesi nedeniyle üretimde zorluklar meydana getirmesi liflerin geleneksel donatılı betonlarda ve yüksek performanslı donatılı betonlardaki miktarının genellikle hacimce % 3 ile sınırlandırılmasına neden olmuştur (Hajar, Lecointre, Simon ve Petitjean, 2004). Çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton (Slurry Infiltrated Fiber Concrete - SIFCON) ise hacimce % 5 ile % 30 arasında çelik lif içeren yüksek performanslı özel bir kompozit türüdür. SIFCON, içerisine çelik liflerin yerleştirildiği bir kalıba ince agrega ve yüksek dozajda çimento içeriğine sahip bağlayıcı şerbeti dökülmesi suretiyle üretilir. SIFCON'daki lif içeriği daha çok kullanılan lifin geometrisine ve SIFCON üretimi sırasında uygulanan yeterli sıkışma için gereken vibrasyon işlemine bağlıdır (Lankard, 1984). SIFCON, yüksek basınç, çekme ve özellikle yüksek eğilme dayanımı yanında oldukça yüksek tokluğa sahiptir. SIFCON'un bu yüksek mekanik özellikleri daha çok kullanılan lif türüne, lifin hacmine ve dağılımına; çimento şerbetinin basınç dayanımına ve elastisite modülüne bağlıdır (Naaman, Otter ve Najm, 1992; Beglarigale, Yalçinkaya, Yiğiter ve Yazıcı, 2016). Bununla birlikte, yüksek mekanik özelliklere sahip olan SIFCON bu özellikleri nedeniyle güçlendirme ve onarım işlerinde, dinamik yüklere maruz elemanların üretiminde, endüstriyel kaplamalarda ve askeri yapılar gibi yerlerde kullanılmaktadır (Schneider, 1992). SIFCON kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine mineral katkıların (Yazıcı, Aydın, Yiğiter, Yardımcı ve Alptuna, 2010; Balaguru ve Kendzulak 1986), kullanılan liflerin boyutlarının ve türlerinin (Canbaz ve Ünüvar, 2016; İpek, Canbay ve Yılmaz, 2015; Giridhar, Rama ve Rao, 2015; Sengul, 2018), bağlayıcı türünün (Korucu ve Gulkan, 2011) etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, Sudhikumar, Prakash ve Rao (2014), yaptıkları çalışmada çelik lif içeriğinin donma-çözülme döngüsüne maruz bırakılan SIFCON malzemesinin mekanik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. 90 adet donma-çözülme döngüsüne tabi tuttıkları SIFCON numunelerdeki % 0.8 çelik lif ilavesinin bu numunelerin basınç dayanımlarını artırdığı, % 1.4 çelik fiber ilavesinin ise eğilme dayanımlarını ve tokluğunu geliştirdiğini ortaya koymuşlardır. Beglarigale vd., 2016,

ürettikleri SIFCON numuneleri 300 °C, 600 °C, 750 °C ve 900 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklığa maruz bırakmış, bu sıcaklıkların SIFCON kompozitlerin eğilme dayanımları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, SIFCON numunelerin eğilme dayanımında 300 °C de artışlar gözlerken, bu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda numunelerin eğilme dayanımlarının olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı olarak çevresel ve ekonomik sorunlara neden olan atık taşıt lastiklerinin SIFCON üretiminde farklı bağlayıcılarla lif olarak değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Elde edilen bulgular atık taşıt lastikleri ile üretilen SIFCON kompozitlerin özellikle eğilmeye maruz elemanlarda değerlendirilebileceğini göstermiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Sifcon üretiminde bağlayıcı olarak Tablo 1'de özellikleri verilen katkısız CEM I 42,5R (CEM I), katkılı CEM IV/B (P) 32.5 N (CEM IV), kalsiyum alüminatlı çimento (CAC) kullanılmıştır. Çimento olarak, özellikle hazır beton firmalarının tercihi olan, genelde dökme olarak piyasaya sunulan katkısız, 42.5 MPa basınç dayanım sınıfındaki CEM I türü çimento; katkılı olarak üretilen, genelde piyasada torbalı olarak satılan, dayanım sınıfı 32.5 MPa olan CEM IV türü çimento ve hızlı onarımlar için tercih edilen çok kısa sürede oldukça yüksek dayanımlara ulaşabilen CAC türü çimento tercih edilmiştir. Farklı amaçlar için piyasada kolaylıkla tedarik edilebilecek çimentolar seçilmiştir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tablo 1  
Kullanılan Çimentoların Özellikleri

|                                | CEM IV | CEM I | CAC   |                              | CEM IV | CEM I | CAC  |
|--------------------------------|--------|-------|-------|------------------------------|--------|-------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 38,0   | 19,2  | 3,60  | Yoğun., g/cm <sup>3</sup>    | 2,87   | 3,09  | 3,25 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,68   | 4,56  | 39,80 | Özg.Yüz., cm <sup>2</sup> /g | 4450   | 3590  | 3000 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,91   | 3,09  | 17,05 | Priz Baş., dk                | 190    | 163   | 280  |
| CaO                            | 32,2   | 62,9  | 36,20 | Priz Bitiş, dk               | 270    | 228   | 295  |
| K <sub>2</sub> O               | 1,14   | 0,63  |       | Basınç Dayanımları, MPa      |        |       |      |
| Na <sub>2</sub>                | 1,00   | 0,31  |       | 6 saat                       |        |       | 47   |
| SO <sub>3</sub>                | 2,06   | 3,21  | 0,04  | 24 saat                      |        |       | 70   |
| Cl-                            | 0,01   | 0,01  | 0,009 | 7 gün                        |        | 20,1  |      |
| LOI                            | 4,0    | 3,8   | 0,30  | 28 gün                       |        | 38,1  | 52,1 |

Tablo 2  
Kullanılan Suyun Özellikleri

|                 | Kimyasal Özellik, mg/l |    |       | Fiziksel Özellik |      |                          |       |
|-----------------|------------------------|----|-------|------------------|------|--------------------------|-------|
| Al              | 0,04                   | Cu | 0,016 | Ni               | 5,07 | İletkenlik, µS/cm        | 628   |
| NO <sub>3</sub> | 11,1                   | Fe | 0,007 | K                | 6,8  | Sertlik, Fd <sup>0</sup> | 30,11 |
| NH <sub>4</sub> | 0,06                   | Mn | 0,015 | As               | 1,19 | pH                       | 7,35  |

Su olarak Tablo 2'de özellikleri verilen Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Lif olarak atık taşıt lastiklerinden kırılarak elde edilen özellikleri Tablo 3'te verilen kauçuk lifler ve Kıvamı arttırmak için Tablo 4'te özellikleri verilen süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Tablo 3

| Kırılmış Atık Taşıt Lastiklerinin Özellikleri |       |
|---|-------|
| Ortalama kalınlık, mm                         | 1-3   |
| Ortalama boy, mm                              | 2-10  |
| Gevşek birim ağırlık, g/cm <sup>3</sup>       | 0.34  |
| Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>                   | 1.025 |

Tablo 4

| Kullanılan Katkının Özellikleri |             |                          |                 |
|---------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------|
| Bileşim                         | Kaynama     | Alkali,% Katı M.,% Cl-,% |                 |
| polikarboksilik eter            | min. 100°C  | < 2                      | 16,1-16,8 < 0,1 |
| Görünüm                         | Sudaki Çöz. | Flaş N.,                 | Özgül Ağ. pH    |
| Amber renkli sıvı               | Çözünür     | >61 °C                   | 1,02-1,06 4-6   |

SIFCON üretiminde önce Tablo 5'te verilen su-bağlayıcı oranları dikkate alınarak bağlayıcı hamur hazırlanmıştır. Hazırlanan hamurların kıvamlarını belirlemek için viskoziteleri dikkate alınmış ve viskozimetre cihazı kullanılarak viskoziteleri ölçülmüştür. Sabit su-çimento oranında akıcı bir kıvam için CEM I ve CEM IV tipi çimento kullanılması durumunda Tablo 5'te verilen oranda akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Ancak bu katkıların CAC tipi çimentolar ile uyum sağlamaması nedeni ile akıcı bir kıvam elde edilmesi su ilavesi ile mümkün olmuştur. Dolayısı ile su-bağlayıcı oranı CEM I ve CEM IV tipi çimentolara göre artmıştır.

Tablo 5

| Karışım Oranları |              |                           |                 |
|------------------|--------------|---------------------------|-----------------|
| Bağlayıcı        | Su/Bağlayıcı | Atık Lastik/<br>Bağlayıcı | Katkı/Bağlayıcı |
| CEM I            | 0.325        | 0.30                      | 0.02            |
| CEM IV           | 0.325        | 0.30                      | 0.02            |
| CAC              | 0.400        | 0.30                      | -               |

Şekil 1'de gösterilen üç gözlü her bir gözü 4x4x16 cm boyutlara sahip prizmatik kalıplar önce serbest olarak kırılmış atık taşıt lastiğinden elde edilen kauçuk liflerle sıkıştırılmadan doldurulmuştur. Daha sonra sabit kıvamda hazırlanan çimento bulamacı bu liflerin üzerine dökülmüştür. Masa vibratörü yardımı ile sıkışma sağlanmış ve yüzeyi mala ile düzeltilmiştir.

Numunelerin bağlayıcı-lif oranları ise Tablo 5'te gösterildiği gibi olmuştur.



Şekil 1. Kırılmış Oto Lastiği ve Prizmatik Kalıp

Şekil 2'de gösterilen numuneler kalıptan 24 saat sonra çıkarılmış ve sabit sıcaklıkta kirece doymun kür havuzunda saklanmıştır. Üretim tarihinden itibaren 28 gün sonra numuneler kür havuzundan çıkarılmış 2-3 saat laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Numunelerin boyutları, ağırlıkları ve TS EN 12504-4 standardına uygun olarak ultrases geçiş süreleri ölçülmüştür (TS EN 12504-4, 2012). Daha sonra numuneler üzerinde Şekil 3'te de görüldüğü gibi orta noktadan yüklemeli eğilme deneyi yapılmıştır.



Şekil 2. Üretilen SIFCON Numune Örnekleri

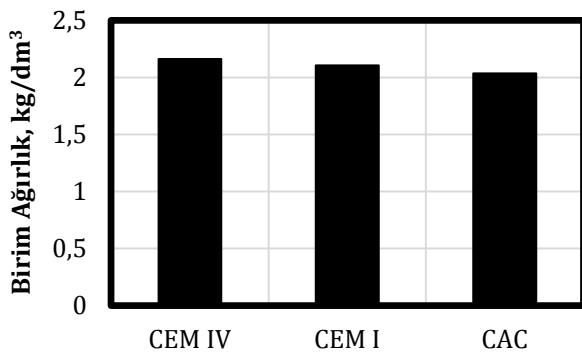
Kırılan parçaların üzerine ve altına aynı hizada olacak şekilde 4x4 cm boyutlarında plakalar konularak basınç deneyi yapılmıştır. Eğilme ve basınç deneyleri TS EN 196-1 standardına uygun olarak yapılmıştır (TS EN 196-1, 2016). Her bir deney en az 3 numune üzerinde yapılmıştır. Numunelerin birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızları, eğilme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Farklı bağlayıcılarla üretilen kırılmış atık taşıt lastik lifli SIFCON'un fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 3. SIFCON Numuneleri Üzerinde Yapılan Basınç Ve Eğilme Deneyleri

### 3. Bulgular ve Tartışma

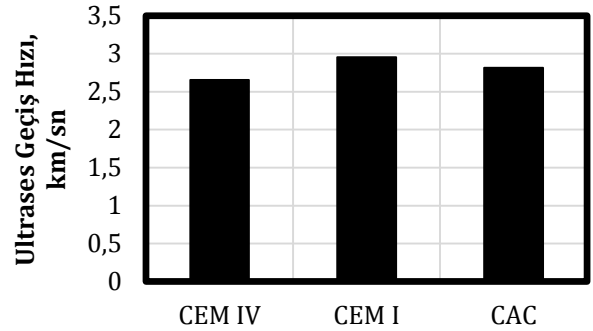
Şekil 4'de farklı çimento ile üretilen SIFCON numunelerinin birim ağırlıkları verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde numunelerin birim ağırlıkları 2.16-2.04 kg/dm<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmüştür. CEM I ve CEM IV tipi çimentolar kullanılan numunelerin birim ağırlıkları dikkate değer oranda değişmezken, CAC tipi çimento kullanılan SIFCON numunelerinde su-çimento oranının artışından dolayı birim ağırlıklar % 5.8 oranında azalmıştır. Lif olarak kullanılan kırılmış lastiklerin şeklinin düzensiz yapıda olması bu liflerle üretilen SIFCON numunelerin birim ağırlıklarının değişiminde oldukça etkili olduğu ve hatta CEM IV türü çimentonun yoğunluğu düşük olmasına rağmen bu çimento ile üretilen SIFCON numunelerin birim ağırlıklarının yüksek bulunmasında etkili olduğu belirtilebilir.



Şekil 4. SIFCON Numunelerinin Birim Ağırlıkları

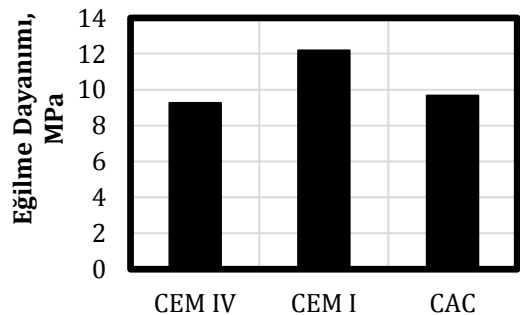
Kırılmış atık taşı lastiği ile üretilen SIFCON numunelerin ultrases geçiş hızları Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde ultrases geçiş hızlarının 2.65-2.95 km/sn aralığında değiştiği görülmüştür. SIFCON

üretiminde CEM I tipi çimento kullanılması durumunda en yüksek ultrases geçiş hızlarına ulaşıldığı görülmüştür. CEM IV tipi çimento kullanılması durumunda numunelerin ultrases geçiş hızları CEM I türü bağlayıcı kullanılan numunelere göre % 10 azalmıştır. CAC kullanılması durumunda bu azalma oranı % 5'e düşmüştür. Bağlayıcı matrisin ultrases geçiş hızlarını etkilediği görülmüştür. Ancak kırılmış araba lastiği liflerinin boyutlarının sabit olmaması ve lif dağılışı ve yönlendirmesinin de ultrases geçiş hızlarının değişiminde etkisi dikkate alınmalıdır.



Şekil 5. Ultrases Geçiş Hızının Bağlayıcı Türü ile Değişimi

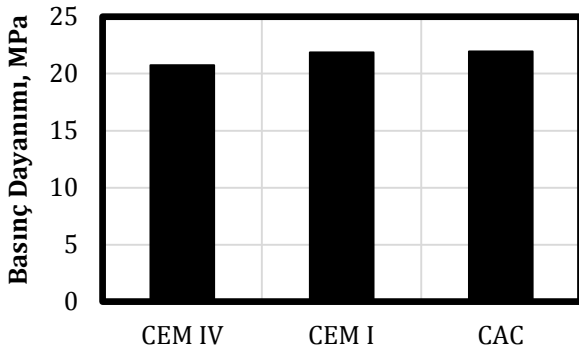
Bağlayıcı türünün SIFCON eğilme dayanımlarına etkisi Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde numunelerin eğilme dayanımlarının 9.2-12.2 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımı CEM I türü çimento kullanılan SIFCON numunelerinde görülürken, CEM IV kullanılması durumunda eğilme dayanımları % 24, CAC kullanılması durumunda % 20 azalmıştır. Kullanılan CEM IV türü çimentonun dayanım sınıfının düşük olması eğilme dayanımının azalmasında etkili olmuştur. Ayrıca CAC'lı numunelerde sabit kıvam için su-bağlayıcı oranının artması eğilme dayanımının düşmesine neden olmuştur.



Şekil 6. Kırılmış Lastikli SIFCON'un Eğilme Dayanımları

SIFCON numunelerinin basınç dayanımları Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde basınç

dayanımlarının 20.7-22 MPa arasında değiştiği görülmüştür. CEM I ve CAC türü çimentolar ile üretilen SIFCON numunelerin basınç dayanımlarında önemli bir değişim gözlenmezken, CEM IV türü çimento kullanılan SIFCON numunelerin basınç dayanımı % 5 oranında azalmıştır. CEM IV tipi çimentonun dayanım sınıfının düşük olması bu azalmada etkili rol oynadığı söylenebilir. Numune içerisindeki yüksek miktardaki kırılmış kauçuk lifi esnek yapısı şekil değiştirmenin artmasına ve dayanımın düşmesine neden olmuştur. Yapılan çalışmalarda plastik ve çelik gibi farklı liflerle üretilen SIFCON numunelerin basınç ve eğilme dayanımları oldukça yüksek değerlerde yer aldığı görülmüştür (Canbaz ve Ünüvar, 2016; İpek ve diğ., 2015). Atık lastik liflerinin SIFCON üretiminde değerlendirilmesine yönelik bir çalışma olmamasına rağmen, beton üretiminde değerlendirilmesine yönelik çalışmalar vardır ve bu çalışmalarda atık taşı lastiği liflerinin kullanılması durumunda basınç ve eğilme dayanımlarında düşüşler olduğu belirtilmiştir (Gupta, Sharma, Chaudhary, 2015). Daha önceki çalışmalarda yüksek bulunan dayanım değerlerinin çalışmamızda atık lastik liflerinin kullanılması durumunda düşük bulunması literatürle örtüşmektedir.



Şekil 7. Bağlayıcı Türünün Basınç Dayanımına Etkisi

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bağlayıcı türünün kırılmış taşı lastiği lifi ile üretilen SIFCON özelliklerine etkisinin incelendiği bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Bağlayıcı türünün SIFCON numunelerin birim ağırlıklarının değişiminde etkisinin olmasının yanında su-bağlayıcı oranı artışının da etkili olduğu belirlenmiştir.
- SIFCON numunelerin ultrases geçiş hızı değişimlerinde kullanılan lif dağılımının ve yönelmesinin yanı sıra bağlayıcı türünün de etkili olduğu görülmüştür. En düşük ultrases geçiş hızı CEM VI tipi çimento kullanılan numunelerde görülürken en yüksek ultrases geçiş hızı CEM I tipi çimento

numunelerinde görülmüştür.

- Kırılmış taşı lastiği liflerinin özellikle SIFCON'un eğilme dayanımlarında etkili olduğu belirlenmiştir. En az 9 MPa'lık eğilme dayanımı değerleri CEM I türü çimento kullanılması durumunda % 30 oranında artmıştır.
- Atık kırılmış lifin SIFCON basınç dayanımlarını, rijitliğini azaltması nedeni ile olumsuz etkilediği, en yüksek basınç dayanımının 22 MPa ile CEM I türü çimento kullanılan SIFCON numunelerinde elde edildiği belirlenmiştir.

Bu çalışmanın sonunda atık taşı lastiklerinin SIFCON üretiminde lif olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. Atık taşı lastiklerin geri kullanımı açısından çevreci ve atık maliyetinin azaltılması adına ekonomiye katkı sağlayan bir çalışma yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre kırılmış atık taşı lastiği lifli SIFCON üretiminde bağlayıcı olarak CEM I türü çimentoların kullanılması önerilir. Özellikle yüksek eğilmeye maruz elemanlarda kırılmış atık taşı lastiği lifli SIFCON kullanılması önerilir. Ancak kırılmış atık taşı lastiği liflerinin SIFCON dayanıklılık özelliklerine etkisinin incelenmesi daha sonraki çalışmalar için önerilir.

#### Teşekkür

Yazarlar deneysel çalışmalarda desteğinden dolayı Tekniker Sevgin Yılmaz'a teşekkür eder.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Serhat Çelikten, bilimsel yayın araştırması, malzemelerin temini, numune üretilmesi, makalenin oluşturulması; Mehmet Canbaz, tasarımın yapılması, deneylerin yapılması, deney sonuçların analiz edilmesi, makalenin genel kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

- Acker, P., & Behloul, M. (2004, September). Ductal@ technology: A large spectrum of properties, a wide range of applications. In Proc. of the Int. Symp. on UHPC Kassel, Germany (pp. 11-23).
- Azevedo, F., Pacheco-Torgal, F., Jesus, C., de Aguiar, J.B., & Camões, A.F., (2012). Properties and durability of HPC with tyre rubber wastes. *Construction and*

- Building Materials*, 34, 186-191. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.062>
- Balaguru, P., & Kendzulak, J. (1986). Flexural behavior of slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON) made using condensed silica fume. *Special Publication*, 91, 1215-1230. Erişim adresi: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/10119>
- Beglarigale, A., Yalçinkaya, Ç., Yiğiter, H., & Yazıcı, H. (2016). Flexural performance of SIFCON composites subjected to high temperature. *Construction and Building Materials*, 104, 99-108. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.034>
- Buitelaar, P. (2004, September). Heavy reinforced ultra high performance concrete. In Proceedings of the Int. Symp. on UHPC, Kassel, Germany (pp. 25-35).
- Canbaz, M. ve Ünüvar, C. (2016). Lif ve çimento türünün sifcon özelliklerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 400-404. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/26682/286305>
- Eldin, N. N., & Senouci, A. B. (1994). Measurement and prediction of the strength of rubberized concrete. *Cement and Concrete Composites*, 16(4), 287-298. Doi : [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(94\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0958-9465(94)90041-8)
- Eiras, J. N., Segovia, F., Borrachero, M. V., Monzó, J., Bonilla, M., & Payá, J. (2014). Physical and mechanical properties of foamed Portland cement composite containing crumb rubber from worn tires. *Materials and Design*, 59, 550-557. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.021>
- Giridhar, R., Rama, P., & Rao, M. (2015). Determination of mechanical properties of slurry infiltrated concrete (SIFCON). *International Journal for Technological Research in Engineering*, 2(7), 1366-68. Erişim adresi: <http://www.ijtre.com/images/scripts/20150207114.pdf>
- Gupta, T., Sharma, R. K., & Chaudhary, S. (2015). Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume. *International Journal of Impact Engineering*, 83, 76-87. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2015.05.002>
- Hajar, Z., Lecoindre, D., Simon, A., & Petitjean, J. (2004, September). Design and construction of the world first ultra-high performance concrete road bridges. In Proceedings of the Int. Symp. on UHPC, Kassel, Germany (pp. 39-48).
- İpek, M., Canbay, M., & Yılmaz, K. (2015). Çelik ve polipropilen liflerin yalın ve kombinasyonlu olarak kullanılmasının SIFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 41-52. Erişim adresi: <http://www.saujs.sakarya.edu.tr/en/download/article-file/193038>
- Korucu H, & Gulkan P. High-velocity impact of large caliber tungsten projectiles on ordinary Portland and calcium aluminate cement based HPSFRC and SIFCON slabs. Part I: experimental investigations. *Structural Engineering and Mechanics*, 40(5), 595-616, 2011. Erişim adresi: <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201115541089337.page>
- Kovler, K. & Roussel, N. (2011). Properties of fresh and hardened concrete. *Cement and Concrete Research*, 41(7), 775-792. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.009>
- Lankard, D. R. (1984). Slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON): properties and applications. MRS Online Proceedings Library Archive, 42. Erişim adresi: <https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-online-proceedings-library-archive/article/slurry-infiltrated-fiber-concrete-sifcon-properties-and-applications/CD27592D20F7BA55794AE8DB46B6BED7>
- Mohammed, B. S., Hossain, K. M. A., Swee, J. T. E., Wong, G., & Abdullahi, M. (2012). Properties of crumb rubber hollow concrete block. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 57-67. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.035>
- Naaman, A. E., Otter, D., & Najm, H. (1992). Elastic modulus of SIFCON in tension and compression. *Materials Journal*, 88(6), 603-613. Erişim adresi: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/1197>
- Najim, K. B., & Hall, M. R. (2012). Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete. *Construction And Building Materials*, 27(1), 521-530. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.013>
- Schneider, B. (1992). Development of SIFCON through Applications. In High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (pp. 177-194). RILEM.
- Sengul, O. (2018). Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers. *Construction and Building Materials*, 186, 1082-1091. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.042>
- Siddique, R. & Naik, T. R. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber—an overview. *Waste Management*, 24(6), 563-569. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.01.006>
- Sudhikumar, G. S., Prakash, K. B., & Rao, M. S. (2014). Effect of freezing and thawing on the strength characteristics of slurry infiltrated fibrous ferrocement using steel fibers. *Global Journal of*

Research In Engineering. Erişim adresi:  
<http://www.engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/1205>

Thomas, B. S. & Gupta, R. C. (2016). A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1323-1333. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.092>

TS EN 196-1 "Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini" Kabul Tarihi: 11.07.2016.

TS EN 12504-4 "Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini" Kabul Tarihi: 27.12.2012.

Uygunoğlu, T. & Topçu, İ. B. (2010). The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1141-1150. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.027>

Weiguo, S., Lai, S., Tao, Z., Hongkun, M., Zhi, C., & Shi H. (2013). Investigation on polymer-rubber aggregate modified porous concrete. *Construction and Building Materials*, 38, 667-674. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.006>

Yazıcı, H., Aydın, S., Yiğiter, H., Yardımcı, M. Y., & Alptuna, G. (2010). Improvement on SIFCON performance by fiber orientation and high-volume mineral admixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(11), 1093-1101. Doi : [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000114](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000114)