

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**CAM TOZU VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANIMLARININ  
ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON KARIŞIMLARININ  
BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

**NİYAZİ BIÇAKÇIOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Umut HASGÜL (Tez Danışmanı)**  
**Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ**  
**Doç. Dr. Ali MARDANİ AGHABAGLOU**

**BALIKESİR, ŞUBAT - 2020**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Niyazi BIÇAKÇIOĞLU tarafından hazırlanan “CAM TOZU VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANIMLARININ ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON KARIŞIMLARININ BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 31 Ocak 2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

**Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Umut HASGÜL  
Balıkesir Üniversitesi

**Üye**

Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ  
Balıkesir Üniversitesi

**Üye**

Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU  
Bursa Uludağ Üniversitesi

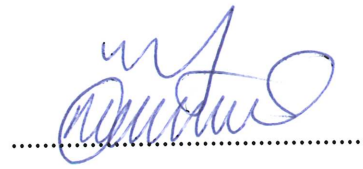
İmza



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR



## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanımlarının Ultra Yüksek Performanslı Beton Karışımlarının Basınç Dayanımına Etkisi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Niyazi BIÇAKÇIOĞLU**

## ÖZET

**CAM TOZU VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANIMLARININ  
ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON KARIŞIMLARININ  
BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
NİYAZİ BIÇAKÇIOĞLU  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ. Umut Hasgöl)  
BALIKESİR, OCAK - 2020**

Bu çalışmada, Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB) karışımında çimento yerine cam tozu (CT) ve yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılmasının beton basınç dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 0.18 ve 0.19 su/bağlayıcı oranına sahip iki tip beton karışımı tasarlanmıştır. Kontrol karışımına ilaveten %4 ve %8 oranlarında çimento yerine CT ve YFC'nun ayrı ayrı ve beraber kullanımı ile tekli, ikili ve üçlü bağlayıcı sistemine sahip toplamda 16 adet UYPB karışımı üretilmiştir. Üretilen beton karışımlarının lifli/lifsiz ve buhar kürlü/kürsüz koşullarında 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları elde edilmiştir. Çalışmada, gözönüne alınan beton yaşları için test numunelerinin basınç dayanımlarına ait ortalama değerler esas alınarak, ilgili katkı maddeleri ile çelik lif ve buhar kürü uygulamasına ait sonuçlar katkısız numuneler referans alınarak değerlendirilmiştir.

*Tip-1* karışımlarında, gözönüne alınan CT ve YFC oranı arttıkça beton basınç dayanımları 28 güne kadar azalan bir eğilim göstermiştir. Buna karşın, 56 ve 90 günlük basınç dayanımlarının katkısız referans numuneyle çok yakın olduğu belirlenmiştir. Bu bağlayıcı tipi için, beton karışımlarına çelik lif eklenmesi sonucunda 28 günlük basınç dayanımlarının azalırken, CT ve YFC'nun eşit oranlarda kullanıldığı numunelere ait dayanımlar artmıştır. Buhar kürü erken beton yaşlarında basınç dayanımlarını artırırken, 28 gün ve sonrasında bu değişimlerin daha sınırlı kaldığı belirlenmiştir.

*Tip-2* karışımlarında ise, CT miktarı arttıkça tüm beton yaşları için basınç dayanımları azalım eğiliminde olmasına karşın, 28 gün ve sonrasında bu değişimlerin oldukça küçük olduğu belirlenmiştir. %4 YFC içeren karışımın 28 ve 56 günlük basınç dayanımları artarken, YFC miktarı arttığında dayanım bir miktar azalmıştır. Karışımdaki YFC miktarından bağımsız olarak 90 günlük basınç dayanımlarının referans karışımla hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Karışımlara çelik lif eklenmesi sonucunda 28 gün ve daha ileri basınç dayanımlarının %9'a ulaşan oranlarda artmıştır. Tüm *Tip-2* numunelerine buhar kürü uygulanması sonucunda, beton yaşına bağlı olarak basınç dayanımları önemli oranda artmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Ultra yüksek performanslı beton, cam tozu, yüksek fırın cürufu, beton basınç dayanımı, çelik lif, buhar kürü

## ABSTRACT

### EFFECT OF USES OF GLASS POWDER AND GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG TO COMPRESSIVE STRENGTH OF ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE MIXTURES

MSC THESIS

NİYAZİ BIÇAKIOĞLU

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. UMUT HASGÜL )

BALIKESİR, JANUARY - 2020

In this study, the use of adding glass powder (GP) and ground granulated blast furnace slag (GGBFS) instead of cement on compressive strength of the Ultra High Performance Concrete (UHPC) was investigated. For this purpose, two types of concrete mixtures were designed for the water/binder ratios of 0.18 and 0.19. The total of 16 UHPC mixtures with single, double and triple binder systems were produced by the independence and combined uses of GP and GGBFS of 4% and 8% by volume beside the control mixture. The concrete compressive strengths of mixtures relating to 7, 14, 28, 56 and 90 days were determined with and without the considering steel fiber and steam curing. By using the average compressive strengths of test specimens for each concrete age, the effects of additive agents, steel fiber and steam curing to the strength were discussed based on the control mixture.

In the *Type-1* mixtures, as the amount of GP and GGBFS increases, the concrete compressive strengths of 28 day showed a decreasing trend. But however, it was determined that the strengths of 56 and 90 days were very close to the reference specimens. For this binder type, while the compressive strengths of 28 day after adding the steel fiber to the concrete mixture, the strengths of specimens with both the GP and GGBFS increased. It can be also noted that even though the steam curing increased the compressive strengths at early ages, these variations remained limited for 28 day and later.

In the case of *Type-2*, as the GP amount increases while the compressive strengths had decreasing trend at all concrete ages 28 day, these variations were very small percentage at 28 day and later. But however, it was also noted that while compressive strengths of mixtures with adding the GGBFS of 4% by volume increased at 56 and 90 days, the increasing of GGBFS amount lead to decrease the strengths. However, regardless of GGBFS amount, the compressive strengths of 90 day were very close to the reference specimens. After adding the steel fiber to the concrete mixture, the 28 day and later compressive strength increased up to 9%. Conducting the steam curing to the *Type-2* specimens, the compressive strengths significantly increased depending on the concrete ages.

**KEYWORDS:** Ultra high performance concrete, glass powder, ground granulated blast furnace slag, concrete compressive strength, steel fiber, steam cure

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Konu.....	1
1.2 Literatür Özeti .....	7
1.2.1 Cam Tozu ile ilgili Çalışmalar .....	7
1.2.2 Yüksek Fırın Cürufu ile ilgili Çalışmalar.....	8
1.2.3 Kür Koşulları ile ilgili Çalışmalar.....	11
1.2.4 Çelik Lif ile ilgili Çalışmalar .....	14
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	16
<b>2. DENEYSEL İNCELEMELER</b> .....	<b>18</b>
2.1 Malzeme Özellikleri ve Bileşenleri .....	18
2.2 UYPB Karışımlarının Hazırlanması .....	20
2.3 UYPB Karışımlarının Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	23
2.4 Test Düzenegi .....	24
<b>3. FARKLI UYPB KARIŞIMLARINA AİT BASINÇ DAYANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</b> .....	<b>25</b>
3.1 Tip-1 Karışımlarına ait Sonuçlar .....	25
3.1.1 Cam Tozu Kullanımının Etkisi .....	25
3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Etkisi.....	26
3.1.3 Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun Birlikte Kullanımının Etkisi .....	27
3.1.4 Çelik Lif Kullanımına ait Sonuçlar .....	28
3.1.5 Kür Koşullarına ait Sonuçlar.....	31
3.2 Tip-2 Karışımlarına ait Sonuçlar .....	37
3.2.1 Cam Tozu Kullanımına ait Sonuçlar.....	37
3.2.2 Yüksek Fırın Cürufu Kullanımına ait Sonuçlar .....	39
3.2.3 Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun Birlikte Kullanımına ait Sonuçlar .....	40
3.2.4 Çelik Lif Kullanımına ait Sonuçlar .....	41
3.2.5 Kür Koşullarına ait Sonuçlar.....	44
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>51</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>59</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: UYPB'un genel içeriği (Park vd., 2015). .....	2
Şekil 1.2: Eşit moment taşıma kapasitesine sahip farklı malzemelerden üretilmiş kesitler (Blais ve Couture, 1999; Kiremitçi, 2008). .....	2
Şekil 1.3: UYPB'un farklı kullanım alanlarına ait örnekler. ....	3
Şekil 1.4: Çimento hamurunda silis dumanının doldurma etkisi (Hijorth, 1983). ....	5
Şekil 1.5: Farklı oranlarda CT, SD ve KU içeren UYPB'na ait basınç dayanımları (Vaitkevicius vd., 2014). .....	7
Şekil 1.6: Numunelerin 1, 7, 28, 56 ve 91 günlük beton basınç dayanımları (Soliman ve Tagnit-Hamou, 2017). .....	8
Şekil 1.7: RPB'unda farklı oranlarda YFC ve UK kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (Yazıcı, 2007). .....	9
Şekil 1.8: RPB karışımında farklı oranlarda YFC ve UK kullanımlarının basınç dayanımı üzerindeki etkisi (Yazıcı vd., 2008). ....	10
Şekil 1.9: Çimento ve SD yerine YFC ve UK'nun kullanılabilirliği (Yazıcı vd., 2009). ....	10
Şekil 1.10: UYPB'da farklı oranlarda YFC ve UK kullanımının basınç dayanımına etkisi (Yalçınkaya ve Yazıcı, 2017). .....	11
Şekil 1.11: Farklı kür yöntemlerinin UYPLB'un basınç dayanımına etkisi (Askar vd., 2013). .....	12
Şekil 1.12: Farklı kür koşulları altında UYPB karışımlarına ait basınç dayanımları, Kürleme sıcaklığı a) 20°C, b) 40°C, c) 60°C, d) 90°C (Park vd., 2015). .....	13
Şekil 1.13: Farklı kür yöntemlerinin ve sürelerinin RPB'un basınç dayanımına etkisi a) Farklı kür yöntemleri, b) Kür süresinin etkisi (Hiremath ve Yaragal, 2017). .....	13
Şekil 1.14: UYPB'un basınç dayanımına farklı kür sıcaklıklarının etkisi (Shen vd., 2019). .....	14
Şekil 1.15: UYPB'da farklı çelik lif tipleri için lif oranının etkisi (Wu vd., 2016). ....	14
Şekil 1.16: Farklı kür koşulları altında çelik lif uzunluklarının basınç dayanımına etkisi a) Standart kür, b) Buhar kürü, c) Sıcak su kürü (Arel, 2016). .....	15
Şekil 1.17: Farklı lif oranları için sentetik ve çelik lif kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (Smarzewski, 2017). .....	16
Şekil 2.1: UYPB'u oluşturan bileşenler. ....	20
Şekil 2.2: UYPB karışımının hazırlanması, a) Kullanılan pan-mixer, b) Yarı kuru karışım, c) Plastik kıvamlı karışım. ....	22
Şekil 2.3: Hazırlanan küp numuneler. ....	22
Şekil 2.4: Buhar kürü kabini. ....	22
Şekil 2.5: Buhar kürü uygulamasına ait sıcaklık – zaman değişimi. ....	22
Şekil 2.6: a) Yapı mekaniği laboratuvarı b) Basınç presi c) Kırılmış küp numuneler. ....	24
Şekil 3.1: Farklı beton yaşları için CT kullanımının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-1</i> ). ....	26
Şekil 3.2: Farklı beton yaşları için YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-1</i> ). ..	27
Şekil 3.3: Farklı beton yaşları için CT ve YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-1</i> ). .....	28
Şekil 3.4: <i>Tip-1</i> karışımı için UYBP'a çelik lif eklenmesinin basınç dayanımına etkisi. ...	29
Şekil 3.5: Çelik lif içeren <i>Tip-1</i> karışımlarında CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi. ....	31
Şekil 3.6: <i>Tip-1</i> karışımı için buhar kürünün beton basınç dayanımına etkisi. ....	32
Şekil 3.7: Buhar kürlü beton karışımlarında CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-1</i> ). .....	34

<b>Şekil 3.8:</b> Çelik lif içeren UYPB karışımlarında buhar kürünün basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-1</i> ).....	35
<b>Şekil 3.9:</b> Buhar kürlü ve çelik içeren karışımlarda CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-1</i> ) .....	37
<b>Şekil 3.10:</b> Farklı beton yaşları için CT kullanımının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-2</i> )....	38
<b>Şekil 3.11:</b> Farklı beton yaşları için YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-2</i> ). 39	
<b>Şekil 3.12:</b> Farklı beton yaşları için CT ve YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-2</i> ).....	41
<b>Şekil 3.13:</b> <i>Tip-2</i> karışımı için UYBP'a çelik lif eklenmesinin basınç dayanımına etkisi. .	42
<b>Şekil 3.14:</b> Çelik lif içeren <i>Tip-2</i> karışımlarında CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi. ....	44
<b>Şekil 3.15:</b> <i>Tip-2</i> karışımı için buhar kürünün basınç dayanımına etkisi.....	45
<b>Şekil 3.16:</b> Buhar kürlü karışımlarda CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-2</i> ) .....	47
<b>Şekil 3.17:</b> Çelik lif içeren UYPB karışımlarında buhar kürünün basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-2</i> ).....	48
<b>Şekil 3.18:</b> Buhar kürlü ve çelik içeren karışımlarda CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-2</i> ) .....	50



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> UYPB karışımında kullanılan bağlayıcı bileşenlerin özellikleri.....	19
<b>Tablo 2.2:</b> UYPB karışımında kullanılan süper akışkanlaştırıcının özellikleri. ....	19
<b>Tablo 2.3:</b> Kullanılan çelik lifin boyut ve mekanik özellikleri.....	19
<b>Tablo 2.4:</b> 1m <sup>3</sup> UYPB karışımı için bileşenlerin ağırlıkları.....	21
<b>Tablo 2.5:</b> Hazırlanan UYPB karışımlarına ait kodlamalar.....	23
<b>Tablo 3.1:</b> Farklı oranlarda CT içeren <i>Tip-1</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları.	26
<b>Tablo 3.2:</b> Farklı oranlarda YFC içeren <i>Tip-1</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları. ....	27
<b>Tablo 3.3:</b> Eşit ve farklı oranlarda CT ve YFC içeren <i>Tip-1</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları. ....	28
<b>Tablo 3.4:</b> Çelik liflerin beton basınç dayanımına etkisi.....	30
<b>Tablo 3.5:</b> Çelik lifli <i>Tip-1</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları.....	31
<b>Tablo 3.6:</b> Buhar kürünün beton basınç dayanımına etkisi. ....	33
<b>Tablo 3.7:</b> Buhar kürlü <i>Tip-1</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları.....	34
<b>Tablo 3.8:</b> Buhar kürlü çelik lifli numunelerin beton basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-1</i> )...	35
<b>Tablo 3.9:</b> Çelik lifli ve buhar kürlü <i>Tip-1</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları. ...	37
<b>Tablo 3.10:</b> Farklı oranlarda CT içeren <i>Tip-2</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları. ....	38
<b>Tablo 3.11:</b> Farklı oranlarda YFC içeren <i>Tip-2</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları. ....	40
<b>Tablo 3.12:</b> Eşit ve farklı oranlarda CT ve YFC içeren <i>Tip-2</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları. ....	41
<b>Tablo 3.13:</b> Çelik liflerin beton basınç dayanımına etkisi.....	43
<b>Tablo 3.14:</b> Çelik lifli <i>Tip-2</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları.....	44
<b>Tablo 3.15:</b> Buhar kürünün beton basınç dayanımına etkisi. ....	45
<b>Tablo 3.16:</b> Buhar kürlü <i>Tip-2</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları.....	47
<b>Tablo 3.17:</b> Buhar kürünün çelik lifli numunelerin beton basınç dayanımına etkisi ( <i>Tip-2</i> ).....	48
<b>Tablo 3.18:</b> Çelik lifli ve buhar kürlü <i>Tip-2</i> numunelerine ait beton basınç dayanımları. .	50

## SEMBOL LİSTESİ

$f'_c$	: Beton basınç dayanımı (MPa)
$f'_{c^{28}}$	: 28 günlük beton basınç dayanımı (MPa)
$f'_{c^{gün}}$	: Araştırılan beton yaşındaki beton basınç dayanımı (MPa)
$f'_{c^{lifli}}$	: Çelik lifli numunelere ait beton basınç dayanımı (MPa)
$f'_{c^{lifsiz}}$	: Lifsiz numunelere ait beton basınç dayanımı (MPa)
$f'_{c^{kürlü}}$	: Buhar kürlü numunelere ait beton basınç dayanımı (MPa)
$f'_{c^{kürsüz}}$	: Buhar kürlü numunelere ait beton basınç dayanımı (MPa)
$f'_{c^{ÇL-K}}$	: Buhar kürlü çelik lifli numunelere ait beton basınç dayanımı (MPa)

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>CT</b>	: Cam tozu
<b>Ç</b>	: Çimento
<b>ÇL</b>	: Çelik lif
<b>DSP</b>	: Homojen dağılı ultra incelikteki taneleri içeren yoğunlaştırılmış sistemler
<b>K</b>	: Buhar kürü
<b>KU</b>	: Kuvars unu
<b>MDF</b>	: Büyük kusurlarından arındırılmış çimento
<b>RPB</b>	: Reaktif pudra betonu
<b>SD</b>	: Silis dumanı
<b>UK</b>	: Uçucu kül
<b>UYPB</b>	: Ultra yüksek performanslı beton
<b>UYPLB</b>	: Ultra yüksek performanslı lifli beton
<b>YFC</b>	: Yüksek fırın cürufu

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda değerli katkı ve görüşlerini paylaşan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Umut HASGÜL'e, yüksek lisans eğitimim boyunca ve deneysel çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Tamer BİROL'a en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimine başlamam ve sürdürmem için kıymetli desteklerini her zaman hissettiğim değerli meslek büyüğüm İnşaat Yüksek Mühendisi Burak SEZGİNSOY'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen sevgili annem, babam ve kardeşime sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Her zaman olduğu gibi bu süreçte de fedakarlığı ve sevgisiyle bana destek olan nişanlım Belkıs Yurt'a sonsuz teşekkür ederim.

**Bahkesir, 2020**

**Niyazi BIÇAKÇIOĞLU**

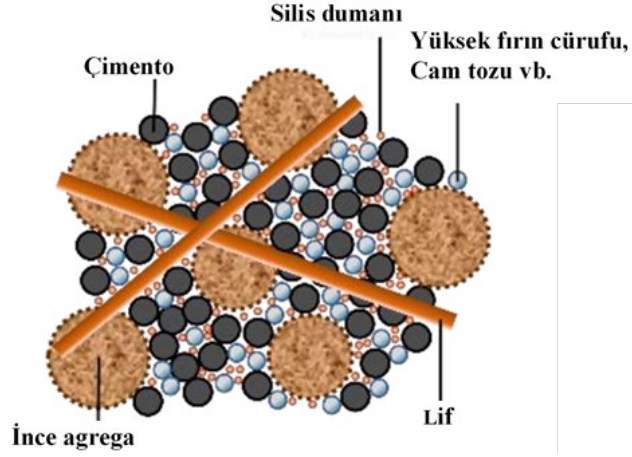
# 1. GİRİŞ

## 1.1 Konu

Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB) başta çok yüksek basınç dayanımı olmak üzere üstün mikro içyapı ve mekanik özelliklere sahip yeni nesil bir beton türüdür. Hızla gelişen beton teknolojisi ile birlikte betonun sadece yüksek basınç dayanımına sahip olmasının yanı sıra, tasarım esaslarına bağlı olarak eğilme ve kesme dayanımı, süneklik, durabilite, işlenebilirlik gibi özelliklere de gereksinim duyulmaktadır. UYPB'un ortaya çıkması ve son yıllardaki gelişmesi, bu gereksinimlerin bir sonucudur (Hassan vd., 2012; Rossi, 2013; Yu vd., 2015).

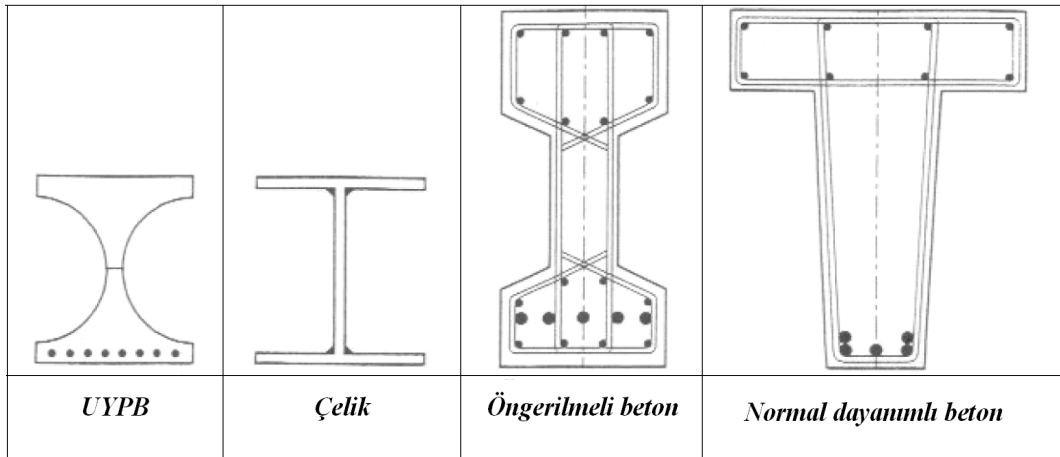
UYPB karışımı genel olarak ince agrega, çimento, su, akışkanlaştırıcı katkı ve silis dumanından oluşmaktadır. UYPB'da çok yüksek mekanik özellikler elde etmek amacıyla su/çimento oranının düşük olması gerektiğinden, çimento miktarı geleneksel betonlara göre oldukça yüksektir. Ancak, su/çimento oranının düşük olması betonun işlenebilirliği azaltan önemli bir faktördür. Bu sebeple, betonun daha akışkan olmasını sağlamak amacıyla karışımında süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. UYPB karışımında belirli miktarda çimento yerine uçucu kül, yüksek fırın cürufu, cam tozu gibi katkı maddeleri de kullanılabilir (Şekil 1.1). Çok ince malzemeler olan silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve cam tozu gibi katkı maddeleri betonun iç-yapısındaki çimento taneleri arasındaki boşlukları doldurmaktadır (Şekil 1.1). Bununla birlikte, bu katkıları puzolanik özellikleri nedeniyle buhar veya basınç küremesi sonucunda kimyasal reaksiyona girerek çimento gibi bağlayıcı özellik kazanmakta ve betonun mekanik özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir (Biol, 2016). UYPB, tek başına kullanıldığında gevrek bir davranışa sahip olduğundan karışıma uygun oranda çelik veya sentetik lif eklendiğinde, şekil değiştirme kapasitesi ve buna bağlı olarak tokluk kapasitesi artmaktadır.

UYPB karışımında uygun oranda bağlayıcı malzemeler kullanıldığında, standart kür koşulları altında 120 MPa ve üzerinde beton basınç dayanımlarına ulaşılabilir. Bununla birlikte, uygun lif içeriği, düşük su/bağlayıcı oranı ve karışımdaki bağlayıcı malzemelerin optimum oranı sonrasında, standart kür koşulları veya özel kür koşulları altında (buhar kürü, basınç kürü, kaynar su kürü gibi) en az 150 MPa'lık bir basınç dayanımı hedeflenmektedir (Habel ve Gauvreau, 2008; AFGC/SETRA, 2013; Fehling vd., 2014; Biol, 2016; Hussein ve Amleh, 2018).

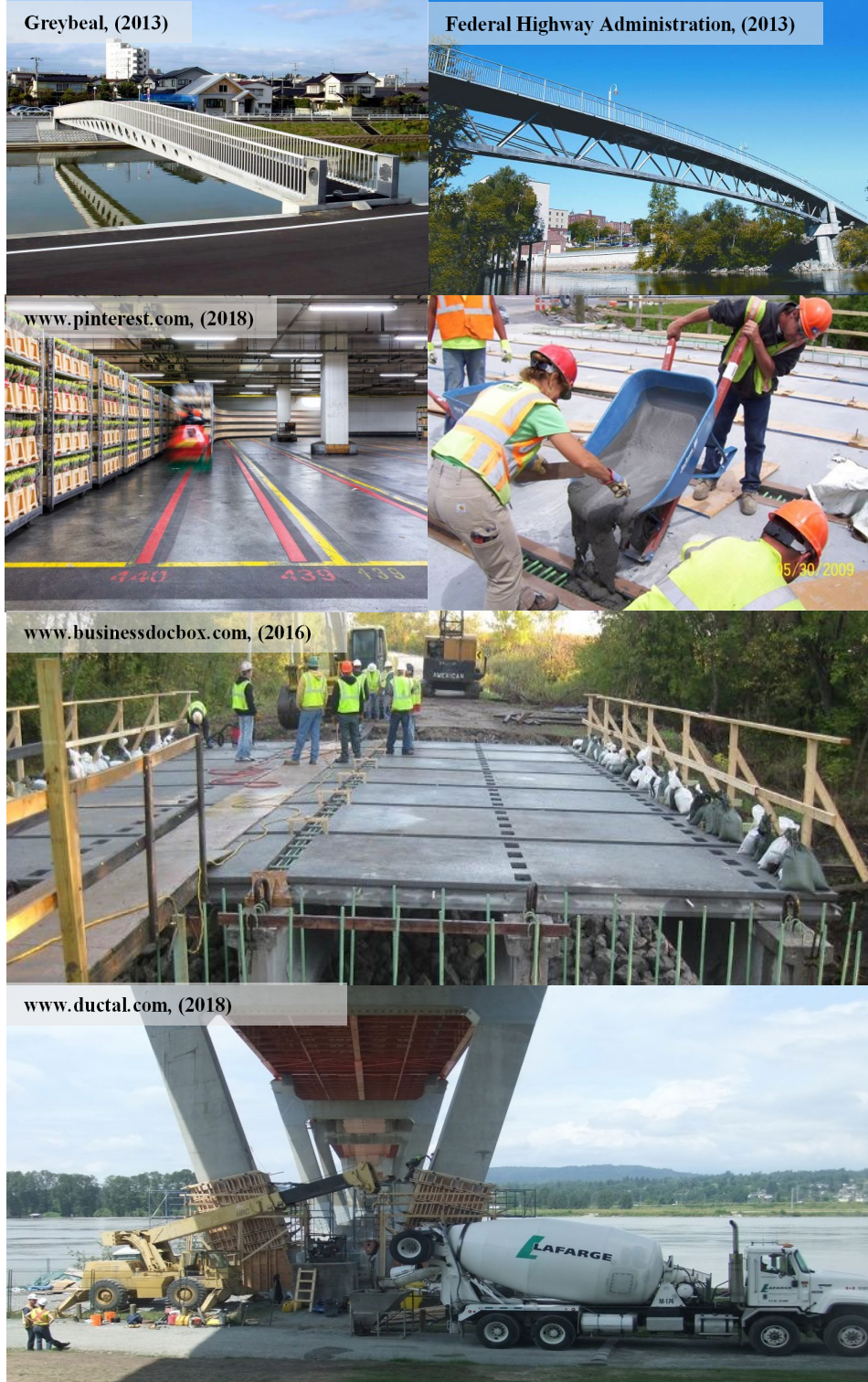


**Şekil 1.1:** UYPB'un genel içeriği (Park vd., 2015).

Özellikle çelik lif içeren UYPB'un yüksek basınç dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesi sayesinde geleneksel ve ön üretimli betonarme elemanlara göre daha estetik ve daha narin kesitli elemanlar üretilebilmektedir (Şekil 1.2). Bunun sonucu olarak, farklı yapısal uygulamalarda (endüstriyel yapılar, köprüler, viyadükler, köprü ayakları, vb.) ve ayrıca yapıların onarım ve güçlendirilmesi ile ağır yüklere maruz endüstriyel zemin döşemelerinde UYPB kullanımı yaygınlaşmıştır (Şekil 1.3) (Wille vd., 2011; Moreillon ve Menetrey, 2013; Turker vd., 2019). UYPB'un özel kür koşulları ve malzeme gereksinimi, hızlı dayanım kazanma özelliği gibi özellikleri nedeniyle prefabrike elemanların üretiminde de yer almaya başlamıştır (Greybeal, 2008; Birol, 2016; Yoo ve Yoon, 2016).



**Şekil 1.2:** Eşit moment taşıma kapasitesine sahip farklı malzemelerden üretilmiş kesitler (Blais ve Couture, 1999; Kiremitçi, 2008).



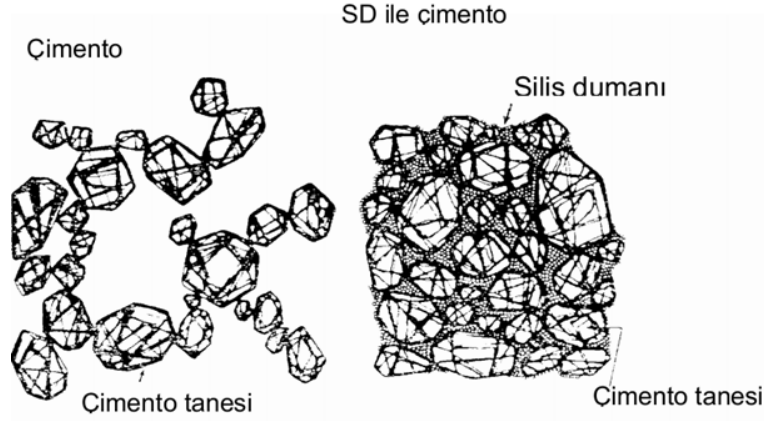
**Şekil 1.3:** UYPB'un farklı kullanım alanlarına ait örnekler.

UYPB olarak sınıflandırılan beton türünün ortaya çıkması ve geliştirilmesine ait çalışmalar 1970'li yıllarda başlamıştır. 1970'li yıllarda çoğunlukla betondaki hidratasyon reaksiyonları, su/çimento oranının azaltılması ve kür koşullarının betonun mekanik özelliklerine olan etkileri yoğun olarak araştırılmıştır. Yudenfreund vd. (1972)'de, özel karıştırma tekniği ile

0.2'den daha küçük su/çimento oranına sahip ve yaklaşık 200 MPa'lık basınç dayanımlı çimento harcı üretilmiştir. 1980'li yıllarda, kimyasal katkıların geliştirilmesi, uçucu kül ve silis dumanı gibi katkı maddelerinin betonda kullanılması ve UYPB'un durabilite özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu dönemde, akışkanlaştırıcı ve puzolanik katkıların kullanılmaya başlaması ve geliştirilmesi ile birlikte iki yaklaşım ortaya çıkmıştır. Bunlardan birincisi, *Densified Small Particles* (DSP) yaklaşımıdır. Burada, betonun boşluk oranını azaltarak sıkı bir iç-yapı elde etmek ve ayrıca mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla düşük su/çimento oranı ve buna bağlı olarak yoğun miktarda akışkanlaştırıcı katkı, silis dumanı ve ince agrega kullanılmaktadır (Rossi, 2001; Taşdemir vd., 2003; Eide ve Hisda, 2012). İkinci yaklaşım ise, *Macro Defect Free* (MDF) yaklaşımıdır. Bu yaklaşım ile hazırlanan karışım, Portland veya yüksek alüminli çimentoların yüksek moleküler kütleli suda çözünen bir polimer ile birleştirilmesinden oluşmaktadır. Burada, polimerin görevi düşük su oranında karışımın viskozitesini arttırarak çimento tanelerinin topaklanmasını önlemektir (Taşdemir vd., 2004; Sarı, 2008). Birchall vd. (1981)'de, MDF yöntemi kullanılarak standart kür koşulları altında 200 MPa üzeri basınç dayanımına sahip çimento hamuru üretilmiştir. 1990'lı yıllarda UYPB üretiminde akışkanlaştırıcı katkıların geliştirilmesi, çimento yerine farklı ek bağlayıcıların kullanılabilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde ise, daha çok UYPB içeriğinin daha iyi anlaşılması ve nano teknoloji kavramlarının betonda uygulanması üzerinde durulmuştur (Naaman ve Wille, 2012; Eide ve Hisda, 2012).

Silis Dumanı (SD), silis ve ferro silis üretiminin bir yan ürünüdür. SD, silisyum ve ferrosilisyum üretiminde, elektrik ark fırınlarında yaklaşık 200°C sıcaklıkta, yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli puzolanik bir malzemedir. SD tanecik boyutu, çimentonun tanecik boyutundan yaklaşık 100 kat daha küçüktür (ACI 226, 1988; Akçaözoğlu, 2007). Bu nedenle, UYPB üretiminde ince silis dumanı taneleri daha büyük olan çimento tanelerinin arasına girerek boşlukları doldurmakta ve puzolanik reaksiyona girerek daha sıkı bir iç-yapı elde edilebilmektedir (Şekil 1.4) (Ekinci ve Yeğınobalı, 1996). Buna karşın, karışımdaki SD taneleri çok ince olduğundan betonun karışım suyu ihtiyacını arttırmaktadır. Bu olumsuz durumu gidermek amacıyla karışıma yüksek oranda süper akışkanlaştırıcı katkıları eklenmektedir (Hijorth, 1983; Ekinci ve Yeğınobalı, 1996).





**Şekil 1.4:** Çimento hamurunda silis dumanının doldurma etkisi (Hijorth, 1983).

Karışımında çelik lif içermeyen UYPB oldukça gevrek bir davranış göstermektedir. Bu nedenle, betonun mekanik özelliklerini, tokluğunu ve buna bağlı enerji yutma kapasitesini iyileştirmek için farklı geometrilere ve boyutlarda (düz, tek veya çift kancalı, dalgalı, kıvrımlı, vb.) lifler eklenmektedir. Üstün mekanik özellikleri ile beraber, sıkı iç-yapı ve liflerin çatlakları sınırlaması sayesinde yeterli oranda çelik lif içeren bu betonlar için *Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB)* veya *Yüksek Performanslı Lif Takviyeli Çimento Kompoziti* gibi tanımlar kullanılmaktadır (Taşdemir ve Bayramov, 2002; AFGC, 2013; Turker vd., 2019). UYPLB karışımında kullanılan çelik liflerin hacimsel oranı, geometrisi, narinliği (boy/çap) ve dayanımı betonun mekanik özellikleri etkilemekle birlikte, işlenebilirliği de azaltmaktadır. Bu nedenle, karışıma eklenecek lif tipi ve oranı dikkate alınarak optimum beton karışımı hazırlanmasına özen gösterilmelidir.

UYPLB karışımında tek tip lif kullanımı yerine farklı tiplerde ve oranlarda lifler birlikte (hybrid) de kullanılabilir. Bu yaklaşımdaki ana amaç, çatlakların mikro ve makro düzeylerde sınırlı tutulmasıdır. Mikro çatlak, uzunluğu yapı veya elemanın boyutlarına göre çok küçük olan çatlak türü iken, makro çatlak eleman boyunca bir veya birden fazla noktada bölgeleşen çatlaktır. Hybrid lif kullanımında, kısa lifler mikro çatlakların oluşumunu ve yayılımını sınırlarken, uzun ve kancalı lifler çatlakları köprüleme özelliği sayesinde (*crack-bridging*) bölgeleşen çatlakları kontrol etmede ve betonun yüksek şekildeğişme kapasitesine ulaşmada büyük önem arz etmektedir (Betterman vd., 1995; Rossi, 2000; Kocatürk vd., 2015; Turker vd., 2019; Yavas vd., 2020).

UYPB'da kullanılan çimento miktarı geleneksel normal dayanımlı betonlara göre daha yüksektir. Son dönemlerde yapılan deneysel çalışmalarda, UYPB karışımında kullanılan çimentonun yüksek maliyeti, çevresel etkileri ve büzülme gibi olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla *Cam Tozu (CT)*, *Yüksek Fırın Cürufu (YFC)* ve *Uçucu Kül (UK)* gibi katkı maddeleri eklenerek beton davranışı farklı parametreler (beton basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, sünme, iç-yapı, işlenebilirlik) açısından incelenmiştir (Yazıcı vd., 2008, 2009; Yu vd., 2015; Shaikh vd., 2018).

CT, camın mikro boyutta öğütülmesi sonucu üretilmektedir. UYPB üretiminde CT kullanıldığında düşük miktarda puzolanik reaksiyona girerek beton karışımında çimento ve diğer puzolanik bağlayıcılar yerine kısmi olarak kullanılabilir (Vaitkevicius vd., 2014). Üretimde çimentonun azaltılarak yerine CT kullanılması, çimento üretimi sırasındaki enerji tüketimini ve karbon salınımını azaltarak çevre kirliliğine karşı olumlu bir etki oluşturmaktadır (Soliman ve Tagnit-Hamou, 2016; Du ve Tan, 2017). Bu şekilde, UYPB'na ait kriterlerin sağlandığı betonun üretilebileceği görülmüştür (Vaitkevicius vd., 2014).

YFC beton teknolojisinde yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olmakla birlikte, pik demir imalatından üretilen bir yan üründür. YFC, betonun geçirimsizliğini azaltarak daha sıkı bir iç-yapının oluşumuna ve betonun mekanik özelliklerini artırmada kullanılan bir katkı türüdür. UYPB karışımında çimento miktarını azaltılmak amacıyla YFC kullanımı, beton üretimine bağlı karbon salınımını azalttığından çevre kirliliği açısından olumlu bir etki yaratmaktadır (Yazıcı vd., 2010). Ayrıca, çimento yerine kısmi olarak YFC'nun kullanılması, çimento üretiminde olan gerekli enerjiden tasarruf sağlanmakla birlikte, ekonomik, teknik ve çevresel etkileri azaltan pozitif yönde bir katkı sunar. Çevre dostu bu tür betonlar *yeşil beton (green concrete)* olarak da isimlendirilmektedir (Song ve Saraswathy, 2006).

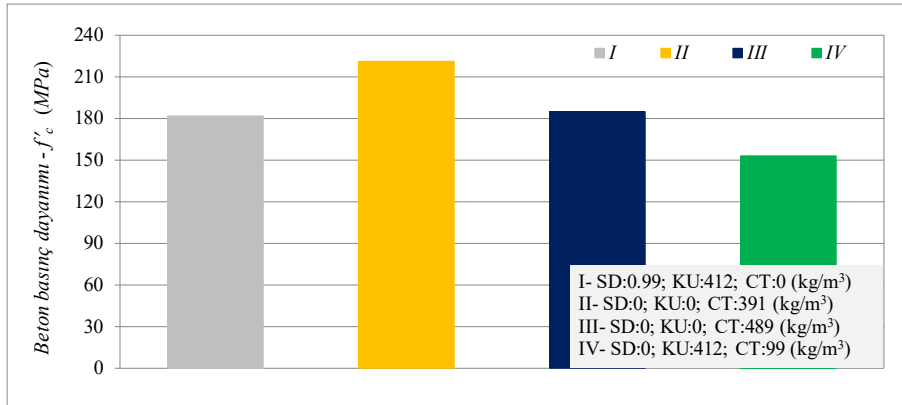
Kür uygulaması, betonun erken nihai dayanımını kazanması için çimento ve/veya puzolanik bağlayıcıların hidratasyon tepkimelerini geliştirmek ve hızlandırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. UYPB'un basınç dayanımı üzerinde, uygulanan kür yöntemi önemli bir etkiye sahiptir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte çimentonun hidratasyon hızı artmakta ve bu sebeple beton dayanımlarında artış görülmektedir. Ancak, hidratasyon hızı yüksek olan durumlarda homojen olmayan bir matris oluştuğundan, daha yavaş hidratasyon yapan karışımlarda daha yüksek dayanımlar elde edilmektedir. Standart su kürü ile 28 günde kazanılan dayanımlar, buhar ve basınç kürü ile çok daha kısa sürede elde edilebilmektedir

(Neville, 1995; Yazıcı, 2007; Park vd., 2015; Hiremath ve Yaragal, 2017; Azmee ve Shafiq, 2018). Bununla birlikte, kür uygulamasının betonun erken dayanım kazanmasında ve ayrıca, sünme ve büzülme gibi istenmeyen durumların olumsuz etkilerini gidermede önemli katkı sağladığı bilinmektedir.

## 1.2 Literatür Özeti

### 1.2.1 Cam Tozu ile ilgili Çalışmalar

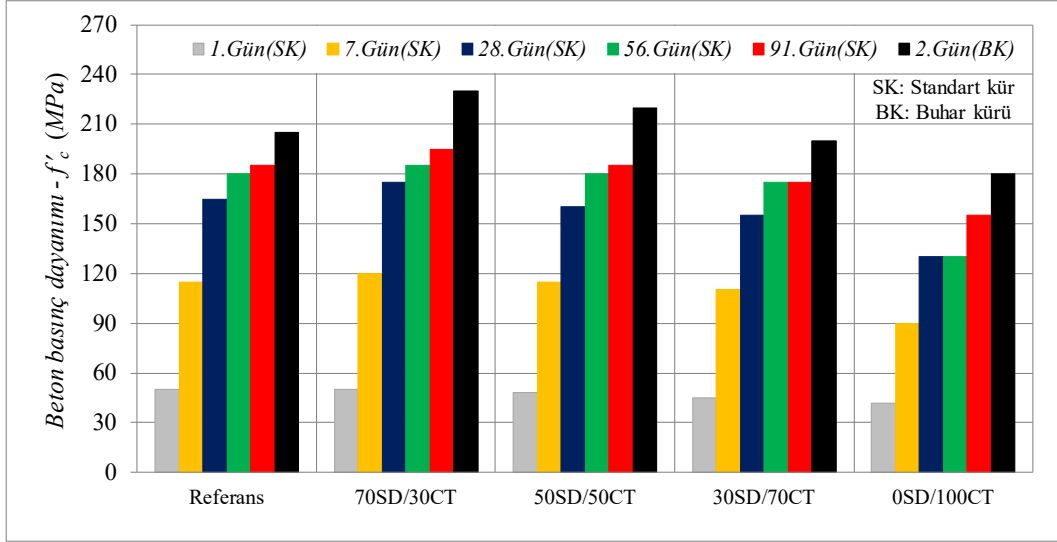
Vaitkevičius vd., (2014)'te, UYPB karışımında silis dumanı (SD) ve/veya kuvars unu (KU) yerine farklı oranlarda cam tozu (CT) kullanımının iç-yapıya ve beton basınç dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Bunun için, 50 mm yarıçapında ve yüksekliğindeki 6 adet silindir numunenin 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, en yüksek dayanımları KU yerine CT'nun kullanıldığı SD içeren karışımda belirlenirken, KU ve SD'nın tamamı yerine CT kullanıldığı karışımın basınç dayanımı neredeyse sabit kalmıştır (Şekil 1.5). Bununla birlikte, karışımda SD'nın tamamı yerine CT kullanılması halinde basınç dayanımın azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.5). Bunun sebebi olarak, CT'nun betonun iç-yapısını ve mekanik özelliklerini iyileştirmesine karşın, SD kadar iyi bir puzolanik bağlayıcı olmadığı şeklinde ifade edilmektedir.



**Şekil 1.5:** Farklı oranlarda CT, SD ve KU içeren UYPB'na ait basınç dayanımları (Vaitkevicius vd., 2014).

Soliman vd. (2017)'de, UYPB'da SD yerine CT'nun kullanılabilirliği farklı oranlar gözönüne alınarak incelenmiştir. Bunun için hazırlanan birinci grup karışımda, karışımdan SD tamamen çıkarılarak yerine farklı tane çaplarında CT kullanılmıştır. İkinci grup karışımda ise, SD miktarı ağırlıkça %30, %50, %70 ve %100 oranlarında azaltılarak yerine CT eklenmiştir. Her bir karışımından 50 mm boyutlarında küp numuneler alınarak, standart kür (20 °C'de 6 ve 12 gün) ve 90 °C'de 2 günlük buhar kürü uygulanmış ve beton basınç

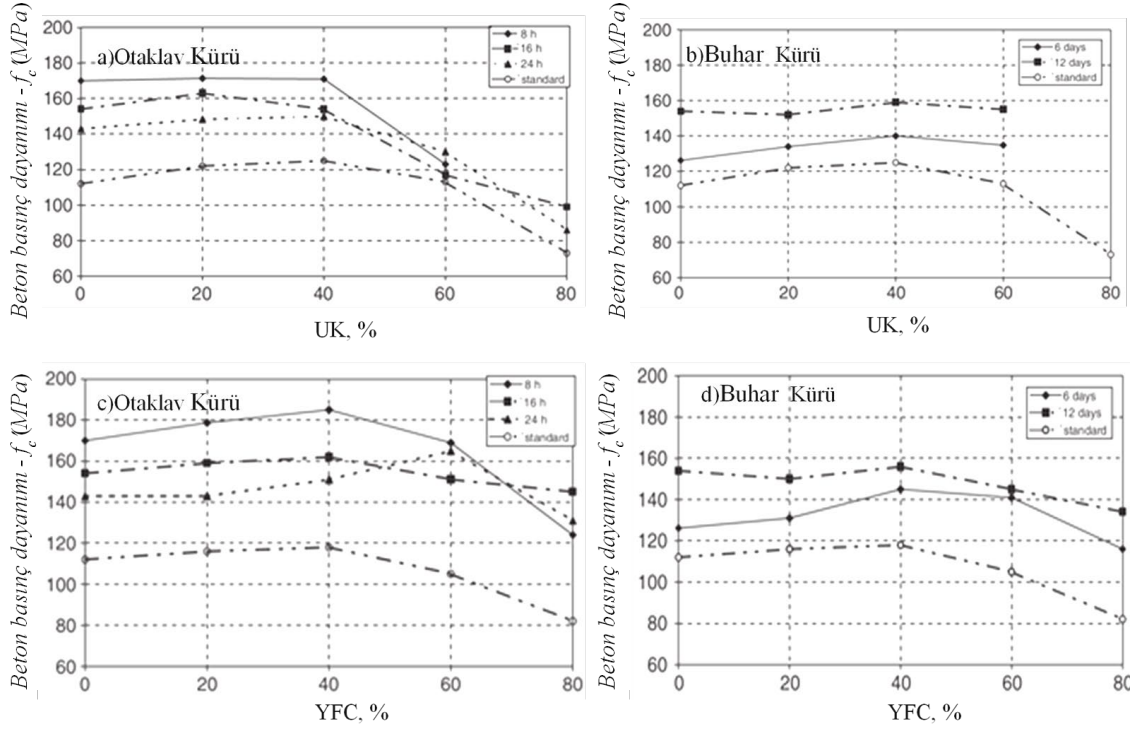
dayanımları farklı test günleri için elde edilmiştir (Şekil 1.6). Çalışmada, her iki kür yöntemi için %70SD+%30CT ve %50SD+%50CT içeren karışımlara ait basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu ve karışımındaki CT miktarı arttıkça dayanımların azalan bir eğilimde olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6: Numunelerin 1, 7, 28, 56 ve 91 günlük beton basınç dayanımları (Soliman ve Tagnit-Hamou, 2017).

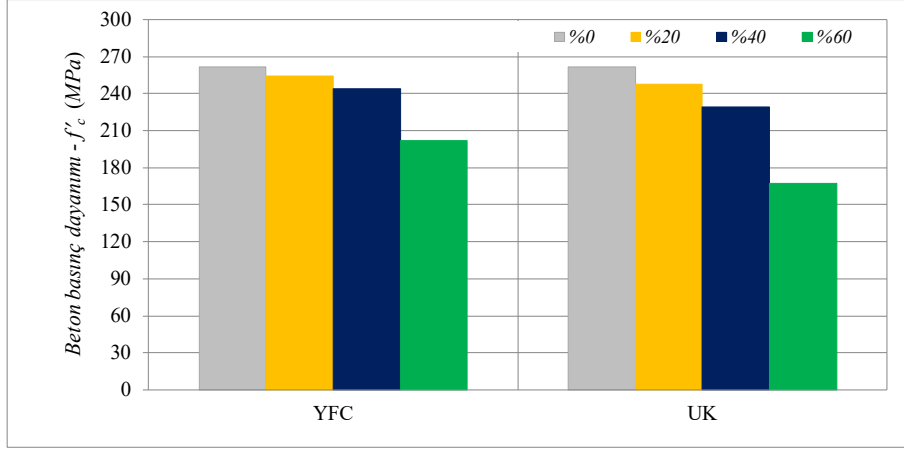
### 1.2.2 Yüksek Fırın Cürufu ile ilgili Çalışmalar

Yazıcı (2007)'de, Reaktif Pudra Beton (RPB) karışımında çimento yerine farklı oranlarda YFC ve UK kullanımlarının betonun basınç dayanımı üzerindeki etkileri farklı kür koşulları altında incelenmiştir. Bunun için, çimento yerine %20-%80 arasında değişen oranlarda YFC veya UK eklenen her bir beton karışımı için 50mm boyutlarında küp numuneler alınarak, standart kür (20°C'deki suda 28 gün), 90°C'de 6 ve 12 gün boyunca buhar kürü ve ayrıca, 210°C ve 2.0 MPa basınç altında 8, 16 ve 24 saat otoklav kürü uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kür yönteminden bağımsız olarak çimento yerine %40'a kadar YFC veya UK kullanımlarının betonun basınç dayanımını artırdığı, daha yüksek oranlarda ise dayanımların hızla azaldığını göstermiştir (Şekil 1.7). Bununla birlikte, buhar ve otoklav kürleme yöntemleri standart küre göre daha iyi sonuç vermekle birlikte, en yüksek dayanımlara otoklav kürü ile ulaşılmıştır (Şekil 1.7).



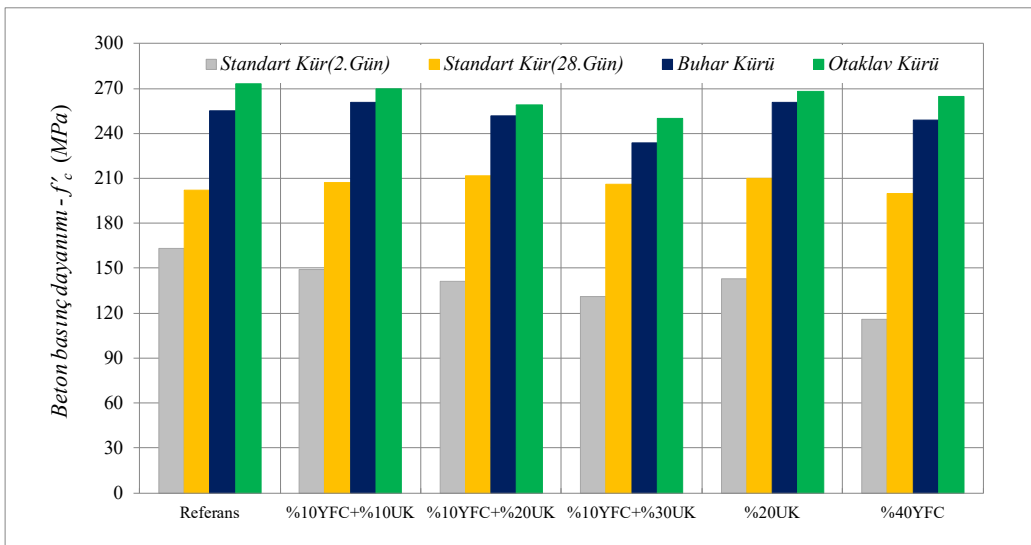
**Şekil 1.7:** RPB'unda farklı oranlarda YFC ve UK kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (Yazıcı, 2007).

Yazıcı vd., (2008)'de, RPB karışımında çimento miktarını azaltmak amacıyla farklı oranlarda YFC ve UK kullanımları deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için, SD sabit tutularak çimento yerine %10YFC + %10UK, %10YFC + %20UK, %10YFC + %30UK, %20YFC + %10UK, %20YFC + %20UK, %30YFC + %10UK ve %30YFC + %30UK içeren beton karışımları hazırlanmıştır. Çalışmada, 50mm boyutlarında hazırlanan küp numunelere 210°C'de 2.0MPa'lık basınç altında 8 saat otoklav kürü uygulanmıştır. RPB karışımında çimento yerine kullanılan YFC ve UK miktarı arttıkça basınç dayanımları azalmasına karşın, genel olarak 200MPa'lık hedef dayanımın sağlamıştır (Şekil 1.8). Bununla birlikte, %40 YFC veya %20 UK kullanılmasıyla elde edilen basınç dayanımlarının referans numuneye ait sonuca oldukça yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.8).



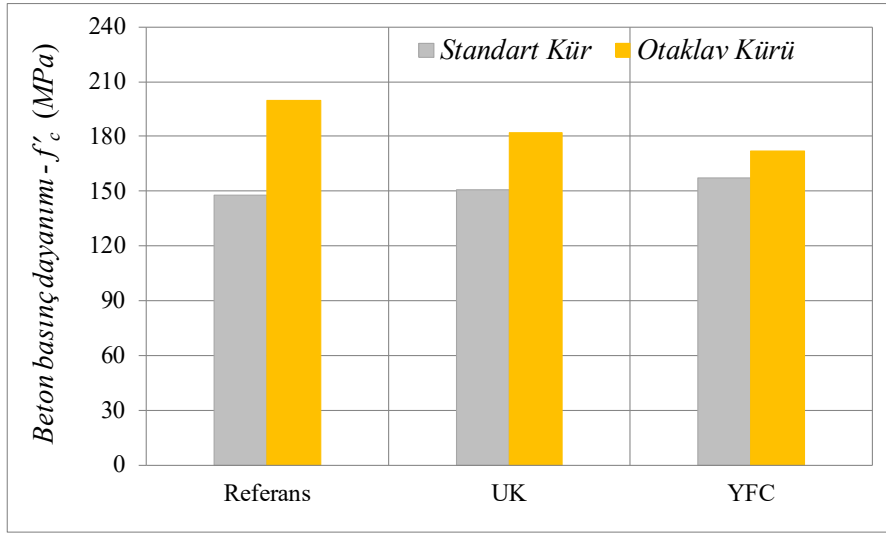
**Şekil 1.8:** RPB karışımında farklı oranlarda YFC ve UK kullanımlarının basınç dayanımı üzerindeki etkisi (Yazıcı vd., 2008).

Yazıcı vd., (2009)'da, RPB karışımında çimento ve SD yerine YFC ve UK'ün farklı oranlarda eklenmesinin beton basınç dayanımına olan etkileri farklı kür koşulları için incelenmiştir. Bu amaçla, çimento ve SD yerine %10YFC+%10UK, %10YFC+%20UK, %10YFC+%30UK, %30UK ve %40YFC içeren karışımlar hazırlanmıştır. Her bir beton karışımı için hazırlanan numunelere standart kür (20°C'deki suda 28 gün) veya 100°C'de 3 gün buhar kürü veya 210°C ve 2.0 MPa basınç altında 8 saat otoklav kürü uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, buhar kürü veya otoklav kürü uygulanmış %10YFC+%10UK, %30UK ve %40YFC numunelere ait basınç dayanımlarının, katkısız referans karışıma çok yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.9). Bununla birlikte, 28 günlük standart kür ile elde edilen dayanımlara 24 saatlik otoklav kürü ile ulaşılacağı belirtilmiştir. RPB karışımında kullanılan YFC ve UK miktarları arttıkça basınç dayanımları azalım göstermesine karşın, genel olarak 200MPa'lık hedef dayanımın sağlandığı belirlenmiştir (Şekil 1.9).



**Şekil 1.9:** Çimento ve SD yerine YFC ve UK'nun kullanılabilirliği (Yazıcı vd., 2009).

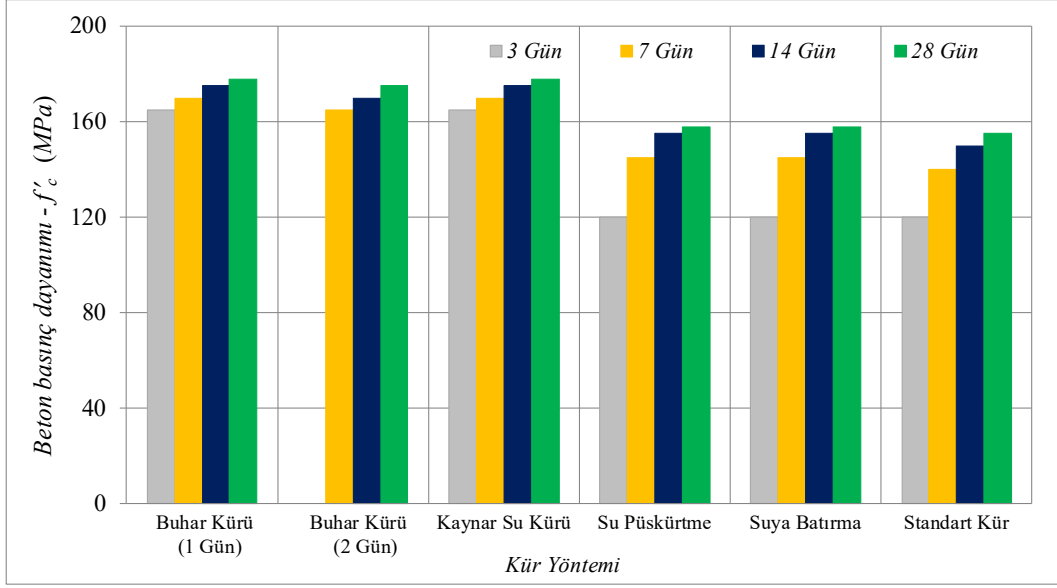
Yalçınkaya ve Yazıcı (2017)'de, UYPB'da yüksek oranlarda YFC veya UK kullanımının erken yaşlardaki rötre davranışına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için, katkısız referans karışım ile, çimento yerine %50 YFC veya %30 UK'ün eklendiği üç beton karışımı için hazırlanan küp numunelere standart kür veya 210°C'de 2.0 MPa'lık basınç altında 8 saat otoklav kürü uygulanmıştır. Tüm beton karışımları 6/0.16mm boyutlarında ve toplam hacmin %2 oranında düz çelik lif içermektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, otoklav kürü uygulanan tüm numunelerde basınç dayanımlarının önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Standart kürü numunelerde YFC veya UK kullanılmasıyla basınç dayanımlarında belirgin bir değişim olmamasına karşın, otoklav kürü sonucunda dayanımların azalım eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 1.10). Buna karşın, her iki kür yöntemi ile UYPB için hedef basınç dayanımı olan 150MPa değerine ulaşılabilmektedir.



**Şekil 1.10:** UYPB'da farklı oranlarda YFC ve UK kullanımının basınç dayanımına etkisi (Yalçınkaya ve Yazıcı, 2017).

### 1.2.3 Kür Koşulları ile ilgili Çalışmalar

Askar vd., (2013)'de, farklı kür koşullarının UYPLB'nun mekanik özelliklerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, 100mm boyutlarında hazırlanan küp numunelere, spreyleme, suya batırma, standart kürleme (20°C'deki suda 28 gün), kaynar suda bekletme, kalıptan alındıktan 1 ve 2 gün sonra 90 °C'de 60 saat buhar kürü uygulanmış ve 3, 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Çalışmada, buhar kürü ve kaynar su kürü yöntemlerinin UYPB'nun mekanik özelliklerini orantılı olarak artırdığı ve 28 günlük en yüksek dayanımlara bu yöntemler ile ulaşılmıştır (Şekil 1.11). Spreyleme, suya batırma ve standart kürleme yöntemleri özellikle erken beton yaşları için daha az sonuç vermesine karşın, sonuçların birbirlerine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.11).

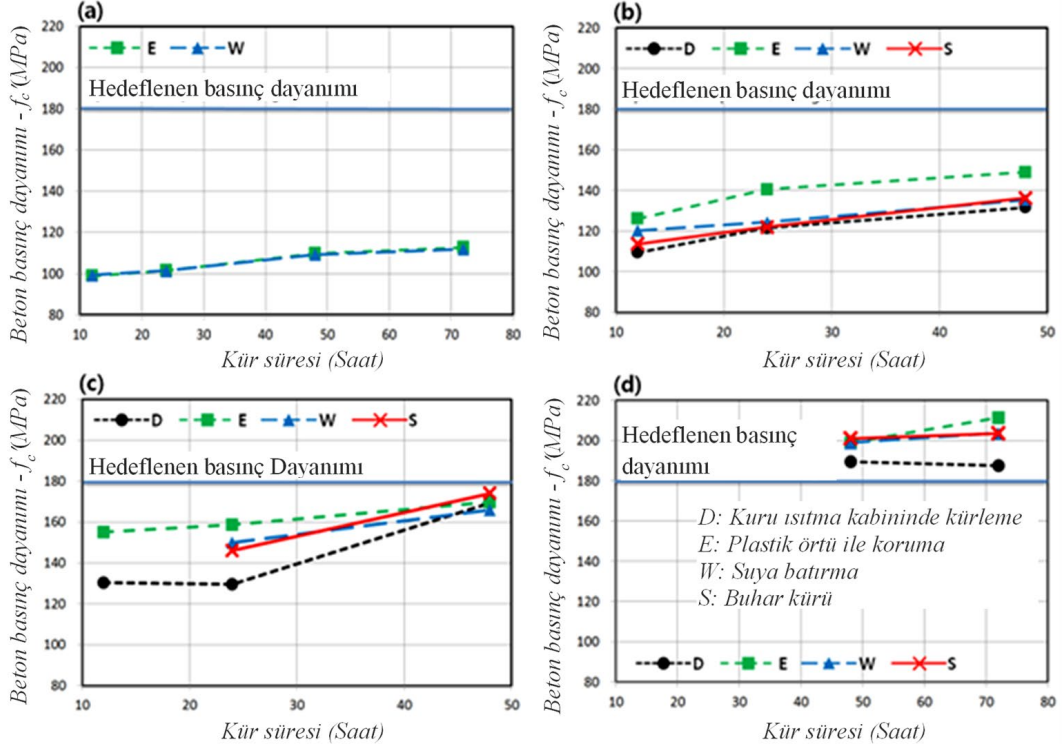


**Şekil 1.11:** Farklı kür yöntemlerinin UYPLB'un basınç dayanımına etkisi (Askar vd., 2013).

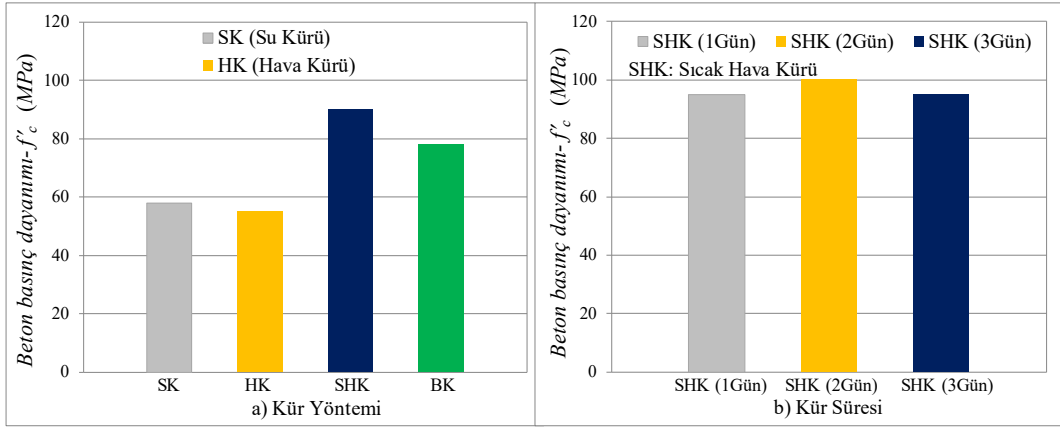
Park vd., (2015)'de, farklı kür koşullarının UYPB'un erken basınç dayanımına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için, 20°C-90°C arasında değişen kür sıcaklığı, 12-48 saat arasında değişen kürleme öncesi bekletme zamanı, 12-72 saat arasında değişen kür süresi ve ortam nemi değiştirilerek hazırlanan küp numunelerin 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kürleme süresi ve kürleme sıcaklığıyla erken basınç dayanımlarının orantılı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 1.12). 2 gün boyunca 60°C'de kürlenmiş bazı numunelere ait 7 günlük dayanımların 28 günlük hedef dayanıma (180 MPa) oldukça yaklaştığı görülmüştür (Şekil 1.12). Diğer taraftan, numunelerin kür öncesi bekletme süresi ile ilgili olarak belirli bir sonuç oluşmamakla birlikte, bu sürenin çok kısa veya çok uzun olmadıkça basınç dayanımında önemli etkisinin olmadığı ifade edilmiştir.

Hiremath ve Yarağal (2017)'de farklı kür koşullarının RPB'un basınç dayanımına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için, su/çimento oranı 0.18 ve 0.20 olan iki farklı beton karışımı hazırlanarak 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımları elde edilmiştir. Çalışmada, 100mm boyutlarındaki küp numunelere 24 saatlik standart su kürü, dış ortamda bekletme, sıcak hava kürü ve 90°C'de buhar kürü uygulanmıştır. Ayrıca, beton dayanımında sıcak hava kürünün etkisini araştırmak için numuneler 100°C'de 1-3 günlük küre maruz bırakılmıştır. Çalışmada, 7 ve 28 günlük beton yaşları için 0.18'lik su/çimento oranına sahip betonların daha yüksek basınç dayanımlarına sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 1.13). Sıcak hava kürü yönteminin diğerlerine göre daha başarılı olduğu belirlenmiş ve 2 günlük sıcak hava kürü uygulaması sonucunda 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %82'si elde edilmiştir.



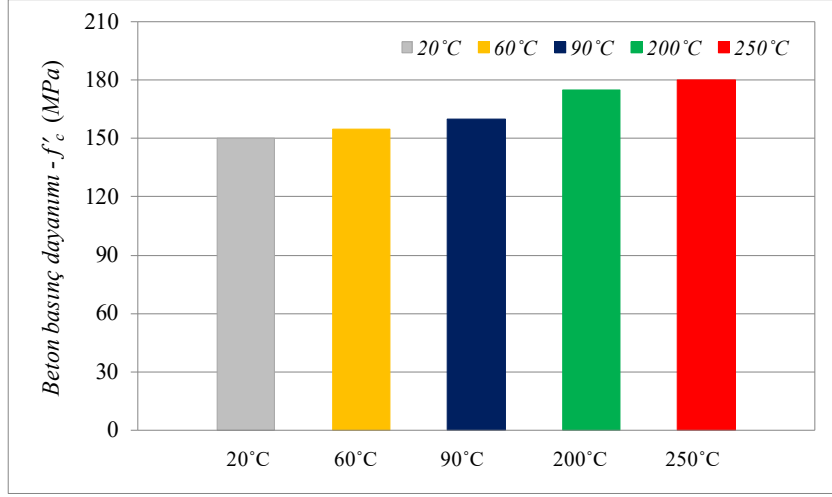


**Şekil 1.12:** Farklı kür koşulları altında UYPB karışımlarına ait basınç dayanımları, Kürleme sıcaklığı a) 20°C, b) 40°C, c) 60°C, d) 90°C (Park vd., 2015).



**Şekil 1.13:** Farklı kür yöntemlerinin ve sürelerinin RPB'un basınç dayanımına etkisi a) Farklı kür yöntemleri, b) Kür süresinin etkisi (Hiremath ve Yaragal, 2017).

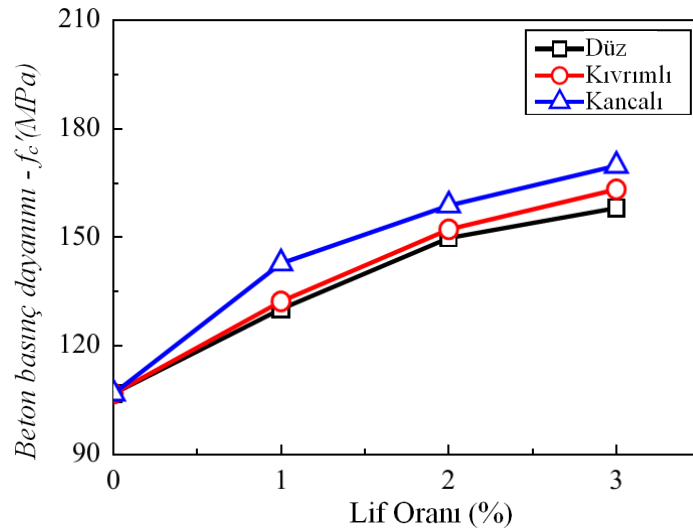
Shen vd., (2019)'da, hacimsel olarak %2 düz çelik lif içeren UYPB'un mekanik özelliklerine farklı kür koşullarının etkisi incelenmiştir. Çalışmada 40x40x160 mm boyutlarında üretilen prizma numunelere, standart kür, 60°C ve 90°C'de 2 gün buhar kürü ile 200°C ve 250°C de 8 saatlik otoklav kürü uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, en düşük basınç dayanımı standart kür koşullarında oluşurken, buhar kürü ve otoklav kürü uygulanan numunelere ait basınç dayanımlarının belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, kür sıcaklığının artması ile betona ait mekanik özellikler artmıştır (Şekil 1.14).



**Şekil 1.14:** UYPB'un basınç dayanımına farklı kür sıcaklıklarının etkisi (Shen vd., 2019).

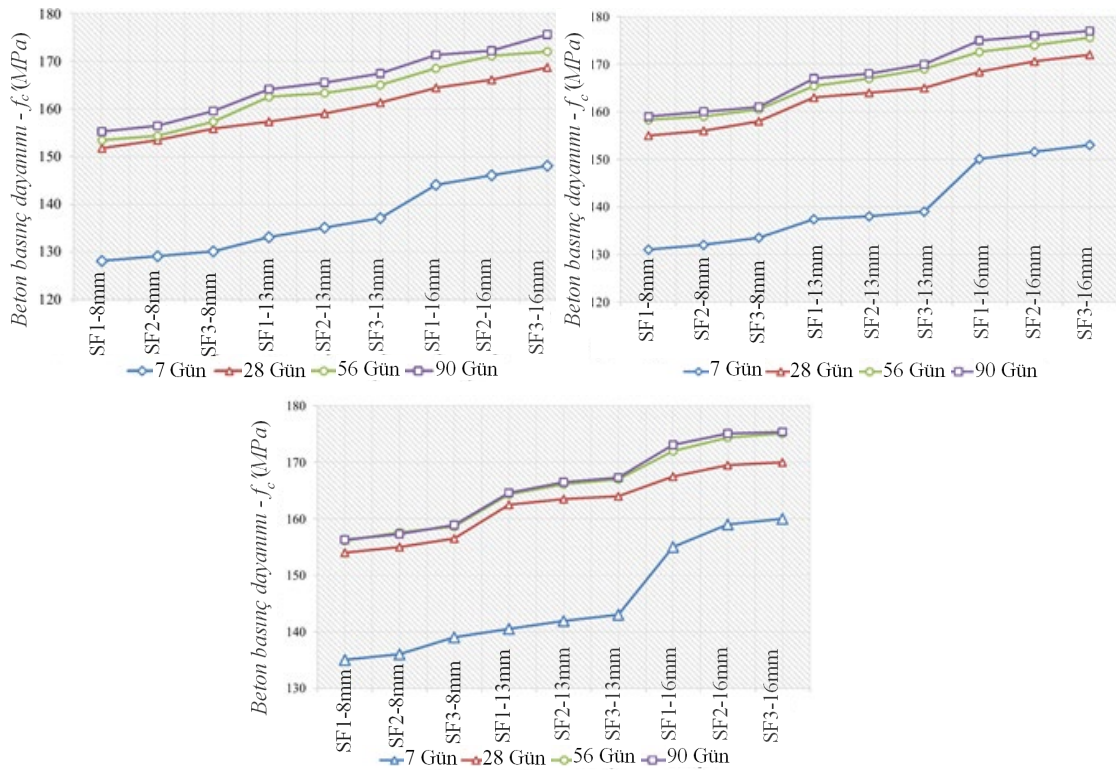
#### 1.2.4 Çelik Lif ile ilgili Çalışmalar

Wu vd., (2015)'te, UYPB'da çelik lif tipi ve miktarının basınç dayanımına, işlenebilirliğe ve eğilme dayanımına etkileri incelenmiştir. Bunun için, toplam hacmin %1, %2 ve %3 oranlarında düz, kıvrımlı ve kancalı çelik lif eklenen karışımlar ile karşılaştırma amaçlı lifsiz referans karışım olmak üzere toplam 10 karışım hazırlanmıştır. 40mm boyutlarındaki prizma numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük beton basınç dayanımları belirlenmiştir. Çalışmada, UYPB'un basınç dayanımına lif içeriğinin önemli katkı sağladığı belirlenmiştir. Düz lif ile karşılaştırıldığında, kancalı ve kıvrımlı lif kullanımlarının basınç dayanımını sırasıyla %48 ve %59 oranlarında artırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, karışımdaki lif miktarı ve beton yaşı arttıkça dayanımların artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.15).



**Şekil 1.15:** UYPB'da farklı çelik lif tipleri için lif oranının etkisi (Wu vd., 2016).

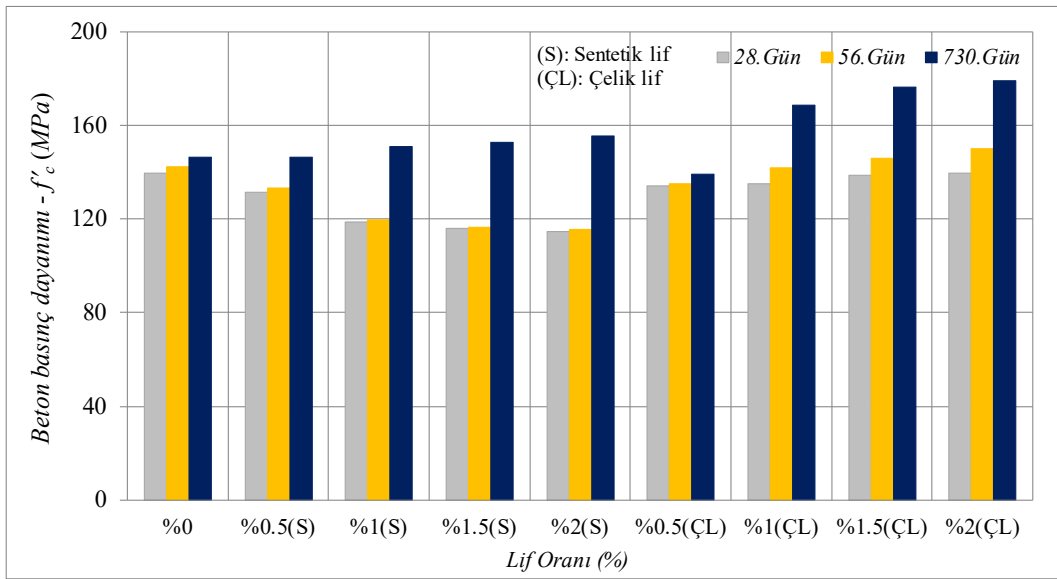
Arel, (2016)'da, kancalı çelik lif kullanımının UYPB'un basınç dayanımına etkisi üç farklı kür uygulaması için araştırılmıştır. Bunun için, 0.2 mm çapında ve 8, 13, ve 16 mm uzunluklarında tek kancalı çelik lif içeren karışımlar hazırlanmıştır. 15cm boyutlarındaki küp numunelere standart kür, 65°C'de 10 saatlik buhar kürü ve 80°C'lik sıcak su kürü uygulandıktan sonra 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, beton içeriğindeki çelik lif uzunluğunun artması ile basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür (Şekil 1.16). Çalışmada en yüksek basınç dayanımlarına buhar kürü ile ulaşılmıştır. Ayrıca, kür yönteminden bağımsız olarak, 56 ve 90 günlük dayanımların birbirlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.16).



**Şekil 1.16:** Farklı kür koşulları altında çelik lif uzunluklarının basınç dayanımına etkisi a) Standart kür, b) Buhar kürü, c) Sıcak su kürü (Arel, 2016).

Birol vd., (2016)'da, UYPB karışımında farklı oranlarda SD ve YFC kullanımlarının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bunun için, lifsiz toplam 24 UYPB karışımı hazırlanmıştır. Daha sonra, bu karışımlar içinde en iyi performans gösteren içerik seçilerek, farklı oranlarda çelik lif kullanımının UYPB'un basınç ve eğilme dayanımına etkileri incelenmiştir. Düz ve iki tip kancalı çelik liflerin %1 ve %1.5 oranlarında kullanıldığı karışımların 28 günlük beton basınç dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışında, karışımdaki lif oranından bağımsız olarak çelik lif kullanımının beton basınç dayanımını artırdığı belirlenmiştir.

Smarzewski (2017)'de, düz, sentetik ve kancalı çelik lif içeren UYPB'un mekanik özelliklerinde kür süresinin etkisi araştırılmıştır. Bunun için, toplam hacmin %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında lif içeren ve ayrıca, liffsiz referans karışım olmak üzere toplam 9 UYPB karışımı hazırlanmıştır. Her bir karışım için 100mm boyutlarındaki küp numunelerin 28, 56 ve 730 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir (Şekil 1.17). Elde edilen sonuçlar, beton karışımında minimum %1 oranında sentetik veya çelik lif eklenmesinin iki yıllık kür süresi sonrasındaki basınç dayanımlarını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, UYPB'da çelik lif kullanımının sentetik liflere göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 1.17).



**Şekil 1.17:** Farklı lif oranları için sentetik ve çelik lif kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (Smarzewski, 2017).

### 1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB) içeriğinde çimento (Ç) yerine katkı olarak sadece cam tozu (CT) ve/veya yüksek fırın cürufu (YFC) kullanımlarının beton basınç dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, UYPB karışımlarına çelik lif eklenmesi ve/veya buhar kürü uygulanması durumlarında, bu katkı maddelerinin basınç dayanımlarına olan etkileri de araştırılmıştır.

Bu kapsamda, çimento yerine sadece CT veya YFC kullanılması ile eşit ve farklı oranlarda CT ve YFC'nun birlikte kullanıldığı 16 beton karışımı için üçer adet hazırlanan küp numunelerin 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük eksenel basınç testleri yapılarak basınç dayanımları

elde edilmiştir. Deneysel incelemeler, bağlayıcı miktarı  $1000 \text{ kg/m}^3$ , su/bağlayıcı oranı 0.19 ile  $1200 \text{ kg/m}^3$  ve 0.18 olduğu iki farklı karışım (*Tip-1* ve *Tip-2*) için yapılmıştır. Çalışmada, gözönüne alınan beton yaşları için numunelerin basınç dayanımlarına ait ortalama değerler esas alınarak, ilgili katkı maddeleri ile çelik lif ve buhar kürü uygulamasına ait sonuçlar katkısız numuneler referans alınarak değerlendirilmiştir.

## 2. DENEYSEL İNCELEMELER

Deneysel çalışma kapsamında katkı olarak, cam tozu (CT) ve yüksek fırın cürufunun (YFC) farklı oranlarda bağımsız ve birlikte kullanılması durumlarını içeren toplam 16 beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımlarına çelik lif eklenmesi ve/veya 60°C’de 24 saatlik buhar kürü uygulanması durumları için hazırlanan 100mm boyutlarındaki küp numunelerin 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük beton basınç dayanımları belirlenmiştir.

### 2.1 Malzeme Özellikleri ve Bileşenleri

Katkısız UYPB karışımlarında bağlayıcı bileşen olarak çimento (Ç) ve silis dumanı (SD), ince agrega ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır (Şekil 2.1). Betondaki Ç miktarı azaltılarak bunun yerine katkıların kullanıldığı karışımlarda CT ve/veya YFC kullanılmıştır. Betonun oluşturan ana ve katkı malzemelerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

- *Çimento (Ç)*: UYPB karışımlarında CEM I 42.5R portland çimentosu ana bağlayıcı olarak kullanılmıştır (Şekil 2.1 ve Tablo 2.1).
- *Silis Dumanı (SD)*: SD’nin tanecik boyutu Ç tanecik boyutunun yaklaşık %1’i oranındadır (Akçaözoğlu, 2007). SD taneleri daha büyük olan Ç tanelerinin arasına girerek boşlukları doldurmakta ve puzolanik reaksiyona girerek daha sıkı bir iç-yapı ve üstün mekanik özellikler elde edilebilmektedir (Şekil 2.1 ve Tablo 2.1).
- *Cam Tozu (CT)*: Camın mikro boyutta öğütülmesi ile üretilen CT, UYPB’da düşük miktarda kullanıldığında puzolanik reaksiyona girdiğinden, karışımda Ç ve diğer puzolanik bağlayıcılar yerine kısmi olarak kullanılabilir (Şekil 2.1 ve Tablo 2.1).
- *Yüksek Fırın Cürufu (YFC)*: YFC, betonun geçirimsizliğini azaltarak daha sıkı bir iç-yapının oluşumuna ve betonun mekanik özelliklerini artırmak amaçlı kullanılan bir katkıdır. Karışımda Ç miktarını azaltılmak amacıyla da kullanılmaktadır (Şekil 2.1 ve Tablo 2.1).

**Tablo 2.1:** UYPB karışımında kullanılan bağlayıcı bileşenlerin özellikleri.

		<i>Ç</i>	<i>SD</i>	<i>CT</i>	<i>YFC</i>
Birim hacim ağırlığı	(kg/m <sup>3</sup> )	3250	2200	2500	2900
SiO <sub>2</sub>	(%)	19.80	90-93	70.22	41.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	5.47	0.40-0.90	1.64	16.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	3.46	1.0-2.0	0.52	0.61
CaO	(%)	64.44	0.20-0.70	11.13	29.26
MgO	(%)	1.30	0.90-1.30	2.49	7.68
SO <sub>3</sub>	(%)	2.67	---	---	1.90
Na <sub>2</sub> O	(%)	0.40	0.20-0.60	13.20	0.80
K <sub>2</sub> O	(%)	0.67	1.0-1.3	---	1.10
Cl	(%)	0.01	---	---	0.01
C <sub>3</sub> S	(%)	58.47	---	---	---
C <sub>2</sub> S	(%)	12.83	---	---	---
C <sub>3</sub> A	(%)	8.64	---	---	---
C <sub>4</sub> AF	(%)	10.53	---	---	---

- *İnce Agregası*: Üretilen beton numunelerinde en büyük tane boyutu 0.8mm olan kuvars agregası kullanılmıştır (Şekil 2.1).
- *Süper Akışkanlaştırıcı (SA)*: UYPB karışımlarında istenilen kıvamı sağlamak için yeni nesil polikarboksilik eter esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır (Tablo 2.2).

**Tablo 2.2:** UYPB karışımında kullanılan süper akışkanlaştırıcının özellikleri.

<b>Malzemenin yapısı</b>	Polikarboksilik eter esaslı
<b>Görünüm</b>	Kahverengi-Sıvı
<b>Yoğunluk (20°C'de)</b>	1.069 - 1.109 kg/lt
<b>pH değeri</b>	≈ 5-7
<b>Alkali içeriği (%)</b>	≤3.00
<b>Klor iyon içeriği (%)</b>	≤0.10

- *Çelik Lif (ÇL)*: Çelik lif içeren UYPB karışımlarında toplam hacmin %1'i oranında düz lifler kullanılmıştır. Bunlara ait geometrik ve mekanik özellikler Tablo 2.3'de verilmiştir.

**Tablo 2.3:** Kullanılan çelik lifin boyut ve mekanik özellikleri.

<b>Çap</b>	(mm)	0.16
<b>Uzunluk</b>	(mm)	13
<b>Narinlik</b>	(uzunluk/çap)	81
<b>Yoğunluk</b>	(gr/cm <sup>3</sup> )	7.80
<b>Çekme dayanımı</b>	(MPa)	2500



**Şekil 2.1:** UYPB'ü oluşturan bileşenler.

## 2.2 UYPB Karışımlarının Hazırlanması

Deneysel çalışma kapsamında, UYPB karışımında Ç miktarı azaltılarak yerine CT ve/veya YFC kullanımlarının beton basınç dayanımına etkisi iki farklı bağlayıcı miktarı için incelenmiştir. Bağlayıcı miktarının  $1000 \text{ kg/m}^3$  olduğu *Tip-1* karışımında su/bağlayıcı oranı 0.19,  $1200 \text{ kg/m}^3$  olduğu *Tip-2* karışımında ise 0.18'dir. Her iki tipteki beton karışımı için,  $1 \text{ m}^3$ 'e ait ağırlıklar oranlar Tablo 2.4'te sunulmuştur.

Tablo 2.4'teki oranlar esas alınarak, UYPB'ü oluşturan bileşenler tartıldıktan sonra,  $56 \text{ dm}^3$  kapasiteli standart bir pan-mixer'de kuru olarak 3 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra, kuru karışıma gerekli suyun tamamı ve SA'nın yarısı ilave edilerek 5 dakika daha karıştırılmıştır. Plastik kıvamdaki karışıma kalan SA eklendikten sonra, homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. ÇL içeren karışımlarda ise, karışım plastik kıvama geldikten sonra topaklanma olmaması için ÇL'ler serpilme şeklinde ilave edilmiş ve karışım homojen oluncaya kadar karıştırılmıştır (Şekil 2.2).

Hazırlanan beton karışımları, 100mm boyutlarındaki plastik küp kalıplarına yerleştirilmiştir (Şekil 2.3). Buharlaştırma ile oluşacak su kaybını engellemek için test numuneleri ince bir plastik örtü ile korunmuştur. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan küp numuneler, farklı test günlerine (7, 14, 28, 56 ve 90) kadar  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ 'lik laboratuvar koşulunda bekletilmiştir. Bununla birlikte, buhar kür uygulanan numuneler kalıptan alındıktan 24 saat sonra  $60^\circ \text{C}$ 'lik buhar kürü kabiniinde 24 saat bekletilmiş ve daha sonra test günlerine kadar laboratuvar



koşulunda bekletilmiştir (Şekil 2.4). Uygulanan buhar kürüne ait sıcaklığın artışı ve azalışını gösteren protokol Şekil 2.5'te verilmiştir.

**Tablo 2.4:** 1m<sup>3</sup> UYPB karışımı için bileşenlerin ağırlıkları

Karışım Kodu	Ç (kg/m <sup>3</sup> )	SD (kg/m <sup>3</sup> )	CT (kg/m <sup>3</sup> )	YFC (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	SA (kg/m <sup>3</sup> )	Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	ÇL (kg/m <sup>3</sup> )	Su / Ç	Bağlayıcı
T1-R	800	200	---	---	190	25	1195	---	0.24	Tip-1
T1-%4C	700	200	100	---	190	25	1170	---	0.27	
T1-%8C	600	200	200	---	190	25	1145	---	0.32	
T1-%4Y	700	200	---	100	190	25	1185	---	0.27	
T1-%8Y	600	200	---	200	190	25	1175	---	0.32	
T1-%4C-%4Y	600	200	100	100	190	25	1160	---	0.32	
T1-%8C-%4Y	500	200	200	100	190	25	1135	---	0.38	
T1-%8C-%8Y	400	200	200	200	190	25	1127	---	0.48	
T2-R	960	240	---	---	216	30	935	---	0.23	Tip-2
T2-%4C	840	240	120	---	216	30	905	---	0.26	
T2-%8C	720	240	240	---	216	30	875	---	0.30	
T2-%4Y	840	240	---	120	216	30	925	---	0.26	
T2-%8Y	720	240	---	240	216	30	910	---	0.30	
T2-%4C-%4Y	720	240	120	120	216	30	895	---	0.30	
T2-%8C-%4Y	600	240	240	120	216	30	865	---	0.36	
T2-%8C-%8Y	480	240	240	240	216	30	855	---	0.45	
T1-R-ÇL	800	200	---	---	190	25	1170	78	0.24	Tip-1
T1-%4C-ÇL	700	200	100	---	190	25	1145	78	0.27	
T1-%8C-ÇL	600	200	200	---	190	25	1120	78	0.32	
T1-%4Y-ÇL	700	200	---	100	190	25	1160	78	0.27	
T1-%8Y-ÇL	600	200	---	200	190	25	1150	78	0.32	
T1-%4C-%4Y-ÇL	600	200	100	100	190	25	1135	78	0.32	
T1-%8C-%4Y-ÇL	500	200	200	100	190	25	1110	78	0.38	
T1-%8C-%8Y-ÇL	400	200	200	200	190	25	1100	78	0.48	
T2-R-ÇL	960	240	---	---	216	30	905	78	0.23	Tip-2
T2-%4C-ÇL	840	240	120	---	216	30	875	78	0.26	
T2-%8C-ÇL	720	240	240	---	216	30	850	78	0.30	
T2-%4Y-ÇL	840	240	---	120	216	30	895	78	0.26	
T2-%8Y-ÇL	720	240	---	240	216	30	885	78	0.30	
T2-%4C-%4Y-ÇL	720	240	120	120	216	30	870	78	0.30	
T2-%8C-%4Y-ÇL	600	240	240	120	216	30	835	78	0.36	
T2-%8C-%8Y-ÇL	480	240	240	240	216	30	825	78	0.45	



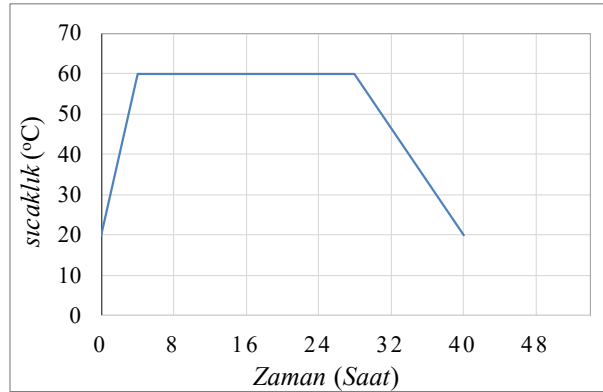
Şekil 2.2: UYPB karışımının hazırlanması, a) Kullanılan pan-mixer, b) Yarı kuru karışım, c) Plastik kıvamlı karışım.



Şekil 2.3: Hazırlanan küp numuneler.



Şekil 2.4: Buhar kürü kabini.



Şekil 2.5: Buhar kürü uygulamasına ait sıcaklık – zaman değişimi.

### 2.3 UYPB Karışımlarının Özellikleri ve Sınıflandırılması

Deneysel çalışmada kullanılan numune kodları Tablo 2.5'te özetlenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen her UYPB karışımı için *Tip-1* ve *Tip-2* bağlayıcı miktarlarını (1000 ve 1200 kg/m<sup>3</sup>) göstermesi amacıyla T1 ve T2 kodları kullanılmıştır. Katkıların kullanılmadığı referans karışımlar T1-R ve T2-R olarak kodlanmıştır. Karışıma sadece CT eklenmesi halinde %4 ve %8 oranları için sırasıyla *Tip-1* karışımlarında T1-%4C ve T1-%8C, *Tip-2* karışımlarında T2-%4C ve T2-%8C kodları kullanılırken, benzer şekilde %4 ve %8 oranlarında YFC için *Tip-1* karışımlarında T1-%4Y ve T1-%8Y kodları, *Tip-2* karışımlarında T2-%4Y ve T2-%8Y kodları kullanılmıştır. Bununla birlikte, %4CT ve %4YFC, %8CT ve %4YFC, %8CT ve %8YFC şeklinde eşit ve farklı oranlardaki karışımlar için sırasıyla T1/T2-%4C-%4Y, T1/T2-%8C-%4Y ve T1-T2-%8C-%8Y isimlendirmesi yapılmıştır. Çelik lif içeren karışımların kodlarına *ÇL* kısaltması eklenirken, buhar kürü uygulanan karışımlara *K* kısaltması eklenmiştir (Tablo 2.5).

**Tablo 2.5:** Hazırlanan UYPB karışımlarına ait kodlamalar.

Karışım	Açıklama	Karışım	Açıklama
T1-R	Tip-1 için katkısız referans numune	T2-R	Tip-2 için katkısız referans numune
T1-%4C	Tip-1 için %4CT içeren numune	T2-%4C	Tip-2 için %4CT içeren numune
T1-%8C	Tip-1 için %8CT içeren numune	T2-%8C	Tip-2 için %8CT içeren numune
T1-%4Y	Tip-1 için %4YFC içeren numune	T2-%4Y	Tip-2 için %4YFC içeren numune
T1-%8Y	Tip-1 için %8YFC içeren numune	T2-%8Y	Tip-2 için %8YFC içeren numune
T1-%4C-%4Y	Tip-1 için %4CT+%4YFC içeren numune	T2-%4C-%4Y	Tip-2 için %4CT+%4YFC içeren numune
T1-%8C-%4Y	Tip-1 için %8CT+%4YFC içeren numune	T2-%8C-%4Y	Tip-2 için %8CT+%4YFC içeren numune
T1-%8C-%8Y	Tip-1 için %8CT+%8YFC içeren numune	T2-%8C-%8Y	Tip-2 için %8CT+%8YFC içeren numune
T1-R-ÇL	T1-R'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-R-ÇL	T2-R'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-%4C-ÇL	T1-%4C'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-%4C-ÇL	T2-%4C'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-%8C-ÇL	T1-%8C'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-%8C-ÇL	T2-%8C'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-%4Y-ÇL	T1-%4Y'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-%4Y-ÇL	T2-%4Y'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-%8Y-ÇL	T1-%8Y'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-%8Y-ÇL	T2-%8Y'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-%4C-%4Y-ÇL	T1-%4C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-%4C-%4Y-ÇL	T2-%4C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-%8C-%4Y-ÇL	T1-%8C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-%8C-%4Y-ÇL	T2-%8C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-%8C-%8Y-ÇL	T1-%8C-%8Y'ye çelik lif eklenmiş numune	T2-%8C-%8Y-ÇL	T2-%8C-%8Y'ye çelik lif eklenmiş numune
T1-R-K	T1-R'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-R-K	T2-R'ye buhar kürü uygulanmış numune
T1-%4C-K	T1-%4C'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-%4C-K	T2-%4C'ye buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8C-K	T1-%8C'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8C-K	T2-%8C'ye buhar kürü uygulanmış numune
T1-%4Y-K	T1-%4Y'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-%4Y-K	T2-%4Y'ye buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8Y-K	T1-%8Y'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8Y-K	T2-%8Y'ye buhar kürü uygulanmış numune
T1-%4C-%4Y-K	T1-%4C-%4Y'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-%4C-%4Y-K	T2-%4C-%4Y'ye buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8C-%4Y-K	T1-%8C-%4Y'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8C-%4Y-K	T2-%8C-%4Y'ye buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8C-%8Y-K	T1-%8C-%8Y'ye buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8C-%8Y-K	T2-%8C-%8Y'ye buhar kürü uygulanmış numune

Tablo 2.5 (Devam)

Karışım	Açıklama	Karışım	Açıklama
T1-R-ÇL-K	T1-R'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-R-ÇL-K	T2-R'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune
T1-%4C-ÇL-K	T1-%4C'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-%4C-ÇL-K	T2-%4C'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8C-ÇL-K	T1-%8C'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8C-ÇL-K	T2-%8C'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune
T1-%4Y-ÇL-K	T1-%4Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-%4Y-ÇL-K	T2-%4Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8Y-ÇL-K	T1-%8Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8Y-ÇL-K	T2-%8Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune
T1-%4C-%4Y-ÇL-K	T1-%4C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-%4C-%4Y-ÇL-K	T2-%4C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8C-%4Y-ÇL-K	T1-%8C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8C-%4Y-ÇL-K	T2-%8C-%4Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune
T1-%8C-%8Y-ÇL-K	T1-%8C-%8Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune	T2-%8C-%8Y-ÇL-K	T2-%8C-%8Y'ye çelik lif eklenmiş ve buhar kürü uygulanmış numune

## 2.4 Test Düzenegi

100mm boyutlarındaki küp numunelerin Balıkesir Üniversitesi Prof. Dr. Şerif SAYLAN Yapı Mekaniği Laboratuvarındaki 3000 kN kapasiteli yük kontrollü basınç presi yardımıyla aksenal basınç testleri yapılmış ve beton basınç dayanımları belirlenmiştir (Şekil 2.6). Tüm basınç testleri süresince 1.0 MPa/sn'lik sabit yükleme hızı seçilmiştir.



Şekil 2.6: a) Yapı mekaniği laboratuvarı b) Basınç presi c) Kırılmış küp numuneler.

### 3. FARKLI UYPB KARIŞIMLARINA AİT BASINÇ DAYANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, UYPB karışımında Ç yerine sadece CT veya YFC kullanılması ile eşit ve farklı oranlarda CT ve YFC'nun birlikte kullanılmasının beton basınç dayanımı üzerindeki etkileri *Tip-1* ve *Tip-2* karışımları için farklı beton yaşlarında değerlendirilmiştir. Ayrıca, karışıma CT ve YFC eklenmesinin yanısıra çelik lif eklenmesi ve/veya buhar kürü uygulamasına ait sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir.

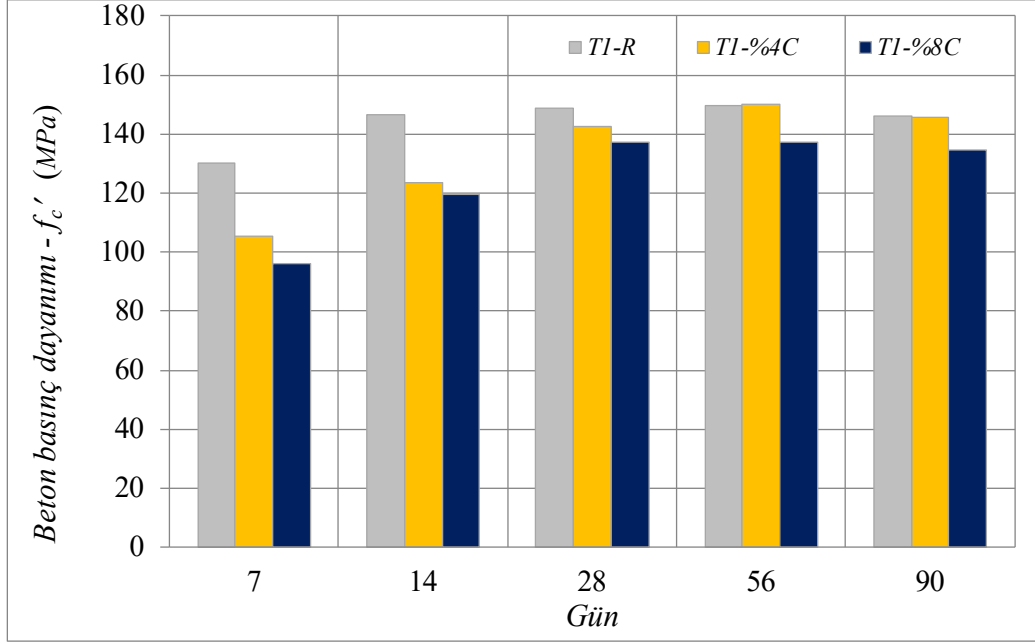
#### 3.1 Tip-1 Karışımlarına ait Sonuçlar

Toplam bağlayıcı miktarının  $1000 \text{ kg/m}^3$  olduğu *Tip-1* karışımlarına ait beton basınç dayanımları, karışımların farklı oranlarda CT ve/veya YFC içermesi, lifli veya lifsiz olması, buhar kürü uygulanıp uygulanmamasına bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

##### 3.1.1 Cam Tozu Kullanımının Etkisi

UYPB karışımında, katkısız referans numune (GP1-T1) ile Ç yerine %4 ve %8 oranlarında CT içeren karışımlara (T1-%4C ve T1-%8C) ait basınç dayanımları Tablo 3.1'de, basınç dayanımlarının değişimi ise Şekil 3.1'de verilmiştir. Ayrıca, 28 günlük beton basınç dayanımına göre diğer beton yaşları için elde edilen dayanımlara ait gerçekleşme oranları ( $f_c'^{\text{gün}} / f_c'^{28}$ ) Tablo 3.1'de hesaplanmıştır.

UYPB karışımındaki CT miktarı arttıkça beton basınç dayanımının erken (7 ve 14 gün) ve 28 günlük beton yaşında azalan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3.1 ve Tablo 3.1). Buna karşın, 56 ve 90 günlük ilerleyen yaşlarda %4'lük CT içeren numunelere ait basınç dayanımlarının referans numuneyle çok yakın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, referans ve CT içeren numunelerde, beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür (Şekil 3.1). Burada, basınç dayanımlarındaki artışların erken beton yaşlarında daha hızlı olduğu, ilerleyen yaşlarda ise, beklenildiği gibi, yavaş olduğu görülmüştür. CT içeren UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımına göre 56 ve 90 günlük test sonuçlarının en fazla %5 arttığı belirlenmiştir (Tablo 3.1).



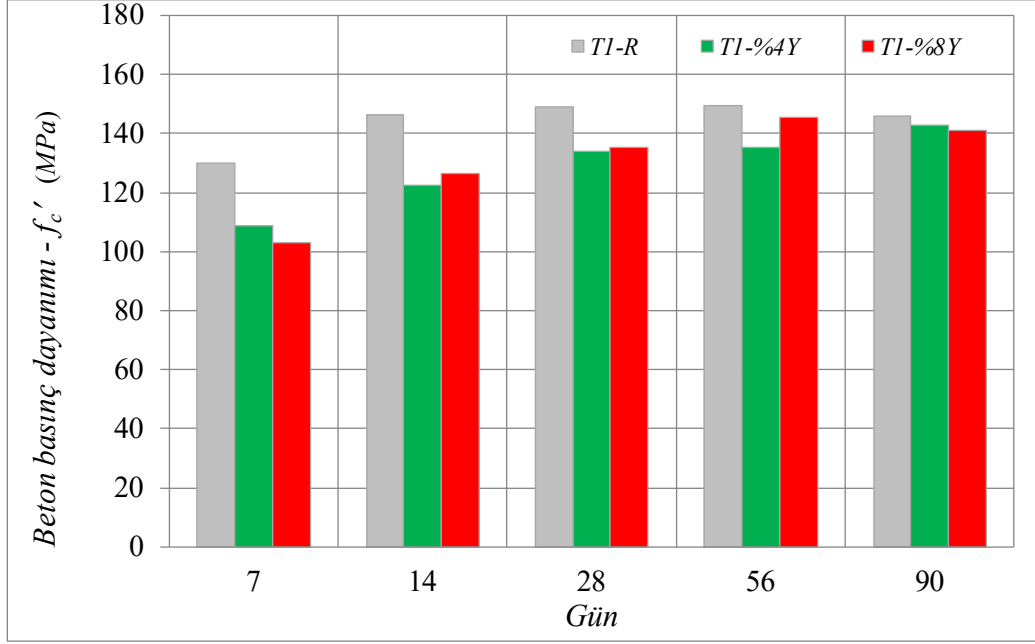
Şekil 3.1: Farklı beton yaşları için CT kullanımının basınç dayanımına etkisi (Tip-1).

Tablo 3.1: Farklı oranlarda CT içeren Tip-1 numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	f'c (MPa)					f'c <sup>gün</sup> / f'c <sup>28</sup>			
					7	14	28	56	90				
T1-R	---	---	---	Yok	130.2	0.88	146.4	0.98	<b>148.8</b>	149.5	1.00	146.0	0.98
T1-%4C	%4	---	---	Yok	105.5	0.74	123.6	0.88	<b>142.5</b>	150.2	1.05	145.5	1.02
T1-%8C	%8	---	---	Yok	96.1	0.70	119.7	0.87	<b>137.1</b>	137.1	1.00	134.8	0.98

### 3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Etkisi

Katkısız referans numune (T1-R) ile %4 ve %8 oranlarında YFC içeren karışımlara (T1-%4Y, T1-%8Y) ait basınç dayanımları Tablo 3.2'de, basınç dayanımlarının değişimi ise Şekil 3.2'de verilmiştir. Ayrıca, 28 günlük beton basınç dayanımına göre diğer beton yaşları için elde edilen dayanımlara ait gerçekleşme oranları ( $f_c^{\text{gün}} / f_c^{28}$ ) Tablo 3.2'de sunulmuştur. Tüm beton yaşları için sadece YFC içeren karışımların (T1-%4Y ve T1-%8Y) beton basınç dayanımları referans karışıma göre azalan bir eğilim göstermektedir (Şekil 3.2). Burada, erken beton yaşlarındaki (7 ve 14 gün) azalış en fazla %21 iken, 28, 56 ve 90 günlük yaşlarda en fazla %10 olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.2). CT içeren numunelerde olduğu gibi, YFC içeren numunelerde beton yaşı arttıkça basınç dayanımları artış göstermektedir. Bu artışların, erken beton yaşlarında daha hızlı olduğu, ilerleyen yaşlarda ise, beklenildiği gibi yavaş olduğu görülmüştür (Şekil 3.2 ve Tablo 3.2). YFC içeren UYPB karışımları için, 28 günlük dayanımına göre 56 ve 90 günlük test sonuçlarının en fazla %7 arttığı belirlenmiştir.



Şekil 3.2: Farklı beton yaşları için YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi (Tip-1).

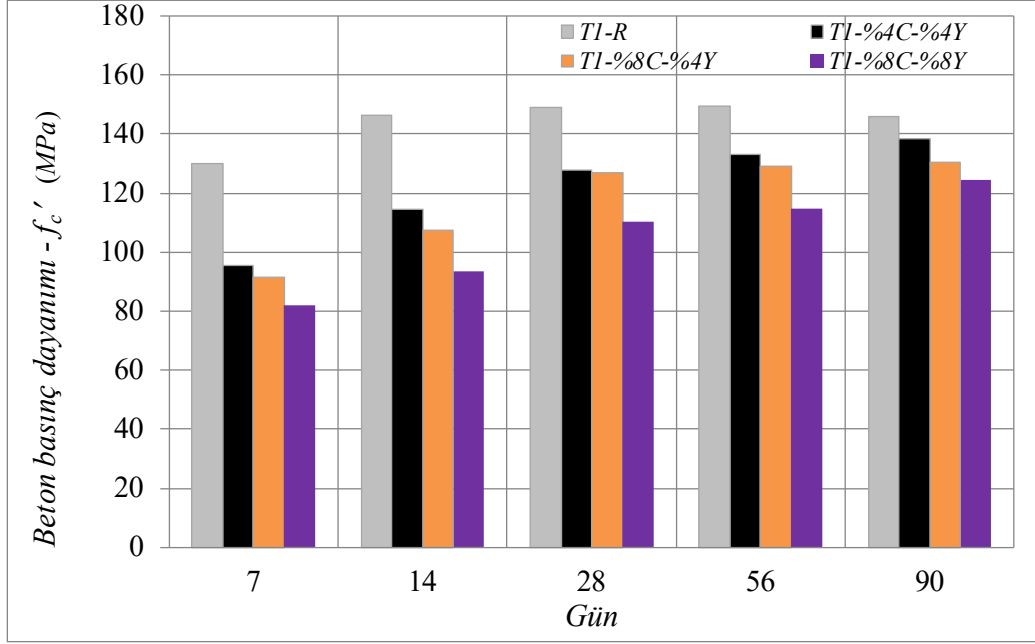
Tablo 3.2: Farklı oranlarda YFC içeren Tip-1 numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa)					$f'_c^{\text{gün}} / f'_c^{28}$			
					7	14	28	56	90	7	14	56	90
T1-R	---	---	---	Yok	130.2	0.88	146.4	0.98	148.8	149.5	1.00	146.0	0.98
T1-%4Y	---	%4	---	Yok	108.9	0.81	122.3	0.91	134.0	135.2	1.01	142.9	1.07
T1-%8Y	---	%8	---	Yok	103.2	0.76	126.5	0.93	135.4	145.3	1.07	141.0	1.04

### 3.1.3 Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun Birlikte Kullanımının Etkisi

UYPB karışımında çimento yerine CT ve YFC'nun eşit ve farklı oranlarda kullanıldığı karışımlara (T1-%4C-%4Y, T1-%8C-%4Y, T1-%8C-%8Y) ait basınç dayanımları Tablo 3.3'de, basınç dayanımlarının değişimi ise Şekil 3.3'de verilmiştir. Ayrıca, 28 günlük beton basınç dayanımına göre diğer beton yaşları için elde edilen dayanımlara ait gerçekleşme oranları ( $f'_c^{\text{gün}} / f'_c^{28}$ ) Tablo 3.3'de verilmiştir. UYPB karışımında eşit miktarda CT ve YFC kullanılması (%4CT + %4YFC ve %8CT + %8YFC) halinde, her beton yaşı için katkı oranları arttıkça beton basınç dayanımları referans karışıma göre azalan bir eğilim göstermektedir (Şekil 3.3 ve Tablo 3.3). Bununla birlikte, karışımdaki YFC miktarı sabit tutulup CT miktarı artırıldığında (%8CT + %4YFC), benzer şekilde, tüm beton yaşları için basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür (Şekil 3.3). Bu azalış, erken beton yaşlarında en fazla %37 iken, 28, 56 ve 90. günler için sırasıyla %26, %23 ve %17 oranlarındadır (Tablo

3.3). UYPB karışımına eklenen CT ve YFC'na ait oranlardan bağımsız olarak, sadece CT veya YFC içeren karışımlarda olduğu gibi, beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.3 ve Tablo 3.3). Bu artışın erken beton yaşlarında daha hızlı, ilerleyen beton yaşlarında ise daha yavaş olduğu görülmektedir. CT ve YFC içeren UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımına göre 56 ve 90 günlük test sonuçlarının sırasıyla en fazla %4 ve %12 oranında artış göstermiştir (Tablo 3.3).



Şekil 3.3: Farklı beton yaşları için CT ve YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi (Tip-1).

Tablo 3.3: Eşit ve farklı oranlarda CT ve YFC içeren Tip-1 numunelerine ait beton basınç dayanımları.

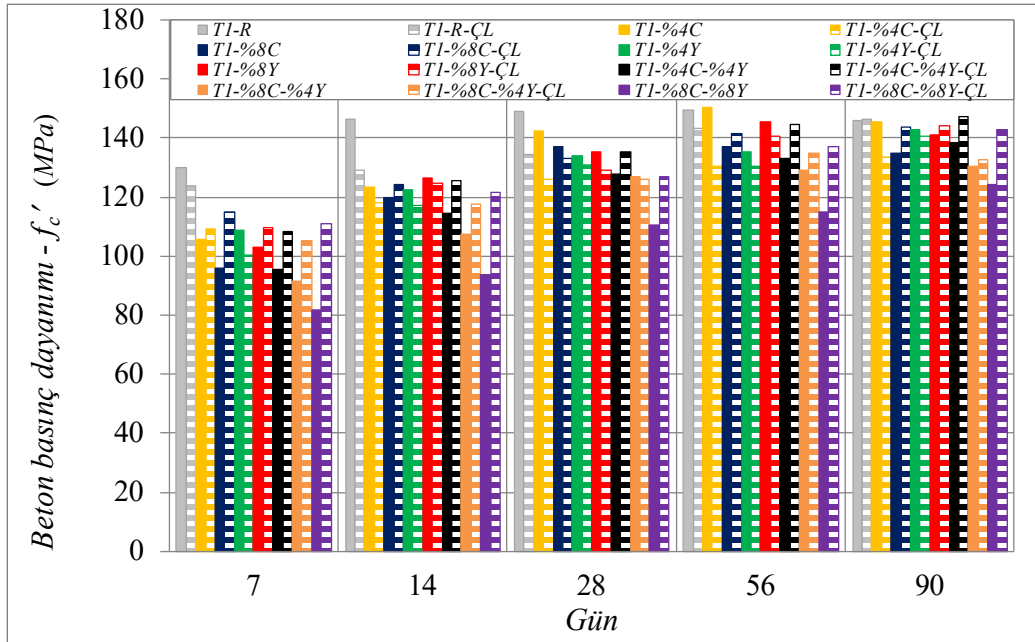
Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c^{28} / f'_c^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
T1-R	---	---	---	Yok	130.2	0.88	146.4	0.98	<b>148.8</b>	149.5	1.00	146.0	0.98
T1-%4C-%4Y	%4	%4	---	Yok	95.6	0.75	114.4	0.89	<b>128.0</b>	133.0	1.04	138.5	1.08
T1-%8C-%4Y	%8	%4	---	Yok	91.8	0.72	107.4	0.85	<b>126.8</b>	129.1	1.02	130.5	1.03
T1-%8C-%8Y	%8	%8	---	Yok	82.0	0.74	93.7	0.85	<b>110.5</b>	114.8	1.04	124.3	1.12

### 3.1.4 Çelik Lif Kullanımına ait Sonuçlar

Deneysel çalışmada, Tip-1 bağlayıcı miktarının kullanıldığı UYPB karışımlarına toplam hacmin %1'i oranında kısa-düz çelik lif eklenmesinin beton basınç dayanımına olan etkisi tüm Tip-1 karışımları referans alınarak incelenmiştir. CT ve/veya YFC içeren karışımlarda



çelik lifin katkısı farklı beton yaşları için Şekil 3.4 ve Tablo 3.4’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bununla birlikte, çelik lif içeren UYPB karışımlarında, CT ve YFC’nun tek başına veya birlikte kullanılması halinde beton basınç dayanımlarının değişimi Şekil 3.5 ve Tablo 3.5’de sunulmuştur. Şekil 3.4 ve Tablo 3.4’den görüleceği üzere, %4 veya %8 oranlarında sadece CT ve YFC içeren lifsiz UYPB karışımlarına çelik lif eklenmesi sonucunda 28 günlük basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Buna karşın, karışımda CT ve YFC’nun %4 ve %8’lik eşit oranlarda kullanıldığı küp numunelere (T1-%4C-%4Y ve T1-%8C-%8Y) ait dayanımlar artış göstermiştir. Bununla birlikte, %8CT + %4YFC içeren karışımda ise basınç dayanımının hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. Erken beton yaşlarında (7 ve 14 gün), katkısız referans numune dışında, çelik liflerin beton basınç dayanımlarını genel olarak artırdığı söylenebilir (Şekil 3.4 ve Tablo 3.4). Bu artış, 7 günlük test sonuçlarında daha belirgin iken, 14 günlük sonuçlarda daha düşük düzeydedir. 56-90 günlük beton yaşlarında ise, %4 CT içeren karışım dışında çelik liflerin beton basınç dayanımlarını en çok %19 oranında artırdığı belirlenmiştir (Şekil 3.4 ve Tablo 3.4). Gözönüne alınan tüm beton yaşları için %8CT +%8 YFC içeren UYPB karışımına çelik lif eklenmesi sonucunda basınç dayanımındaki değişimler, diğer karışımlara göre daha fazla elde edilmiştir (Şekil 3.4 ve Tablo 3.4).



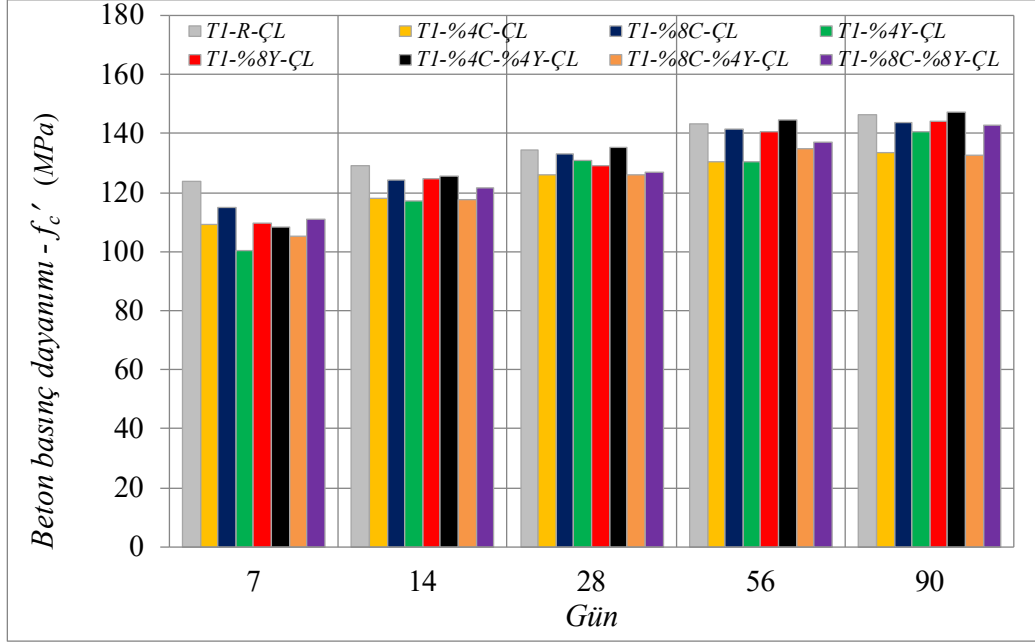
Şekil 3.4: Tip-1 karışımı için UYPB'a çelik lif eklenmesinin basınç dayanımına etkisi.

**Tablo 3.4:** Çelik liflerin beton basınç dayanımına etkisi.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f_c'$ (MPa) — $f_c'$ lifli / $f_c'$ lifsiz				
					7	14	28	56	90
T1-R	---	---	---	Yok	130.2	146.4	<b>148.8</b>	149.5	146.0
T1-R-ÇL	---	---	%1	Yok	123.8	129.1	<b>134.6</b>	143.2	146.5
T1-%4C	%4	---	---	Yok	105.5	123.6	<b>142.5</b>	150.2	145.5
T1-%4C-ÇL	%4	---	%1	Yok	109.4	118.2	<b>126.1</b>	130.4	133.5
T1-%8C	%8	---	---	Yok	96.1	119.7	<b>137.1</b>	137.1	134.8
T1-%8C-ÇL	%8	---	%1	Yok	114.8	124.4	<b>133.3</b>	141.6	144.0
T1-%4Y	---	%4	---	Yok	108.9	122.3	<b>134.0</b>	135.2	142.9
T1-%4Y-ÇL	---	%4	%1	Yok	100.4	117.1	<b>131.1</b>	130.4	140.6
T1-%8Y	---	%8	---	Yok	103.2	126.5	<b>135.4</b>	145.3	141.0
T1-%8Y-ÇL	---	%8	%1	Yok	109.7	124.9	<b>129.1</b>	140.6	144.1
T1-%4C-%4Y	%4	%4	---	Yok	95.6	114.4	<b>128.0</b>	133.0	138.5
T1-%4C-%4Y-ÇL	%4	%4	%1	Yok	108.4	125.6	<b>135.5</b>	144.8	147.5
T1-%8C-%4Y	%8	%4	---	Yok	91.8	107.4	<b>126.8</b>	129.1	130.5
T1-%8C-%4Y-ÇL	%8	%4	%1	Yok	105.4	117.5	<b>126.0</b>	134.9	132.5
T1-%8C-%8Y	%8	%8	---	Yok	82.0	93.7	<b>110.5</b>	114.8	124.3
T1-%8C-%8Y-ÇL	%8	%8	%1	Yok	111.0	121.5	<b>127.0</b>	137.1	142.9

Diğer taraftan *Tip-1* bağlayıcı miktarının kullanıldığı çelik lifli karışımlarda, %4 oranında sadece CT veya YFC eklenmesi halinde beton basınç dayanımları referans karışıma (T1-R-ÇL) göre azalmaktadır (Şekil 3.5 ve Tablo 3.5). Bu katkıların %8'e çıkması halinde dayanımlar artış eğilimine geçmesine karşın, referans numunelere ait dayanımları geçmediği görülmektedir (Şekil 3.5 ve Tablo 3.5). Bu davranış, gözönüne alınan her beton yaşında benzer karakterdedir.

%4 oranında CT ve YFC'nun eşit miktarda kullanıldığı T1-%4C-%4Y-ÇL karışımında, erken beton yaşlarında basınç dayanımları azalım gösterirken, 28 gün ve ileri beton yaşlarında dayanımların referans karışımla hemen hemen aynı olduğu görülmüştür (Şekil 3.5). Ayrıca, CT ve YFC'nun birlikte kullanıldığı diğer çelik lifli karışımlarda (T1-%8C-%4Y-ÇL ve T1-%8C-%8Y-ÇL) ise tüm beton yaşlarında basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 3.5 ve Tablo 3.5). Her bir lifli karışım için, 28 günlük beton basınç dayanımlarına gerçekleşme oranları erken yaşlarda (7 ve 14 gün) daha hızlı olduğu, ilerleyen yaşlarda ise sınırlı kaldığı görülmüştür. Burada, 56 ve 90 günler için test sonuçlarının sırasıyla, en fazla %9 ve %13 arttığı belirlenmiştir (Tablo 3.5).



Şekil 3.5: Çelik lif içeren *Tip-1* karışımlarında CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi.

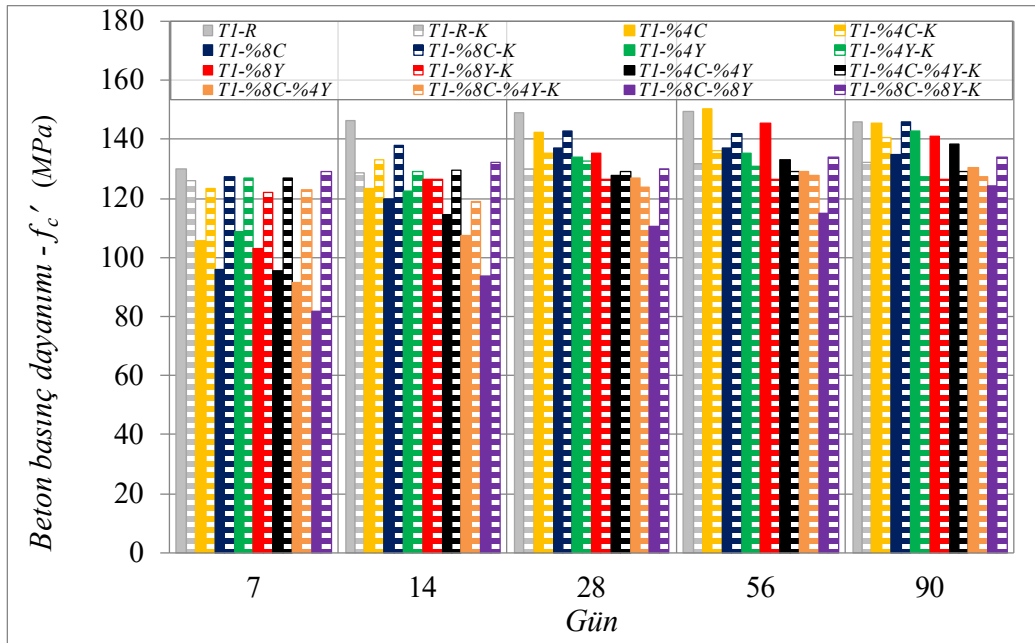
Tablo 3.5: Çelik lifli *Tip-1* numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa)					$f'_c^{\text{gün}} / f'_c^{28}$				
					7	14	28	56	90	7	14	28	56	90
T1-R-ÇL	---	---	%1	Yok	123.8	0.92	129.1	0.96	<b>134.6</b>	143.2	1.06	146.5	1.09	
T1-%4C-ÇL	%4	---	%1	Yok	109.4	0.87	118.2	0.93	<b>126.1</b>	130.4	1.03	133.5	1.06	
T1-%8C-ÇL	%8	---	%1	Yok	114.8	0.86	124.4	0.93	<b>133.3</b>	141.6	1.06	144.0	1.08	
T1-%4Y-ÇL	---	%4	%1	Yok	100.4	0.77	117.1	0.89	<b>131.1</b>	130.4	0.99	140.6	1.07	
T1-%8Y-ÇL	---	%8	%1	Yok	109.7	0.85	124.9	0.97	<b>129.1</b>	140.6	1.09	144.1	1.12	
T1-%4C-%4Y-ÇL	%4	%4	%1	Yok	108.4	0.80	125.6	0.93	<b>135.5</b>	144.8	1.07	147.5	1.09	
T1-%8C-%4Y-ÇL	%8	%4	%1	Yok	105.4	0.84	117.5	0.93	<b>126.0</b>	134.9	1.07	132.5	1.05	
T1-%8C-%8Y-ÇL	%8	%8	%1	Yok	111.0	0.87	121.5	0.96	<b>127.0</b>	137.1	1.08	142.9	1.13	

### 3.1.5 Kür Koşullarına ait Sonuçlar

Çalışma kapsamında hazırlanan UYPB numunelerine buhar kürünün beton basınç dayanımına olan etkisi lifsiz ve lifli *Tip-1* karışımları referans alınarak değerlendirilmiştir. Farklı oranlarda CT ve/veya YFC eklenen karışımlarda kürün etkisi farklı beton yaşları için Şekil 3.6 ve Tablo 3.6'da verilmiştir. Bununla birlikte, buhar kürü uygulanmış UYPB karışımlarında, CT ve YFC'nun tek başına veya birlikte kullanılması halinde beton basınç dayanımlarının değişimi Şekil 3.7 ve Tablo 3.7'de sunulmuştur.

Katkısız referans numuneye (T1-R) buhar kürü uygulanması sonucunda, her beton yaşı için basınç dayanımlarının %3-%12 arasında değişen oranlarda azaldığı görülmüştür (Şekil 3.6 ve Tablo 3.6). Diğer taraftan, UYPB karışımına %4 oranında CT eklenmesi hali için, buhar kürü beton basınç dayanımını artırırken, 28 günlük ve daha ileri beton yaşlarında çok az oranda azaltmıŐtır. CT miktarının %8'e çıkarılması halinde ise, basınç dayanımları her beton yaşı için artış göstermekle birlikte değişimin daha belirgin olduğu görülmüştür (Şekil 3.6). Beton karışımına %4 ve %8 oranlarında sadece YFC eklenmesi halinde, buhar kürü erken beton yaşlarında (7 ve 14 gün) basınç dayanımları artırırken, 28 gün ve ileri beton yaşlarında bu değişimlerin azalan yönde olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.6 ve Tablo 3.6). EŞit ve farklı oranlarda CT ve YFC'nun birlikte kullanıldığı karışımlara (T1-%4C-%4Y-K, T1-%8C-%4Y-K ve T1-%8C-%8Y-K) ait basınç dayanımları, 7 ve 14 günlük beton yaşları için %57'ye ulaşan oranlarda artış gösterebilirken, 28 ve ileri günlerdeki bu değişimlerin daha sınırlı kaldığı belirlenmiştir (Tablo 3.6).

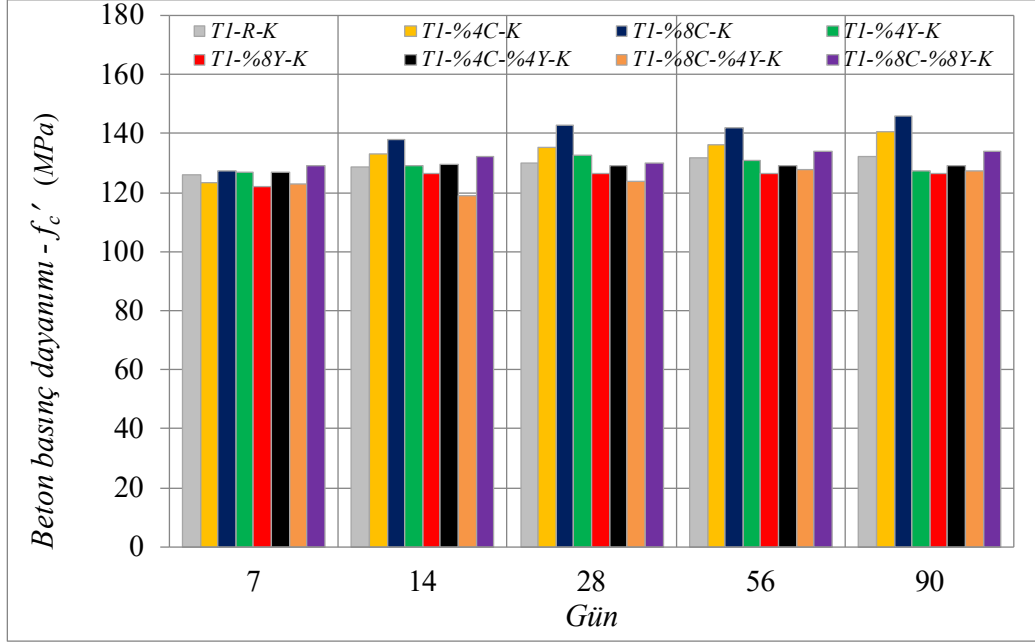


Şekil 3.6: Tip-1 karışımı için buhar kürünün beton basınç dayanımına etkisi.

**Tablo 3.6:** Buhar kürünün beton basınç dayanımına etkisi.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f_c'$ (MPa)			$f_c'$ kürü / $f_c'$ kürsüz					
					7	14	28	56	90				
T1-R	---	---	---	Yok	130.2	146.4	<b>148.8</b>	149.5	146.0				
T1-R-K	---	---	---	Var	126.1	128.7	<b>130.0</b>	131.8	132.1	0.88	0.90		
T1-%4C	%4	---	---	Yok	105.5	123.6	<b>142.5</b>	150.2	145.5				
T1-%4C-K	%4	---	---	Var	123.5	133.3	<b>135.2</b>	136.4	140.8	0.91	0.97		
T1-%8C	%8	---	---	Yok	96.1	119.7	<b>137.1</b>	137.1	134.8				
T1-%8C-K	%8	---	---	Var	127.4	138.0	<b>142.7</b>	141.9	146.0	1.04	1.08		
T1-%4Y	---	%4	---	Yok	108.9	122.3	<b>134.0</b>	135.2	142.9				
T1-%4Y-K	---	%4	---	Var	127.1	129.3	<b>132.6</b>	130.9	127.4	0.97	0.89		
T1-%8Y	---	%8	---	Yok	103.2	126.5	<b>135.4</b>	145.3	141.0				
T1-%8Y-K	---	%8	---	Var	122.0	126.3	<b>126.6</b>	126.3	126.3	0.87	0.90		
T1-%4Y-%4Y	%4	%4	---	Yok	95.6	114.4	<b>128.0</b>	133.0	138.5				
T1-%4Y-%4Y-K	%4	%4	---	Var	127.1	129.5	<b>129.3</b>	129.0	129.0	0.97	0.93		
T1-%8Y-%4Y	%8	%4	---	Yok	91.8	107.4	<b>126.8</b>	129.1	130.5				
T1-%8Y-%4Y-K	%8	%4	---	Var	122.9	118.8	<b>123.9</b>	127.9	127.5	0.99	0.98		
T1-%8Y-%8Y	%8	%8	---	Yok	82.0	93.7	<b>110.5</b>	114.8	124.3				
T1-%8Y-%8Y-K	%8	%8	---	Var	129.0	132.2	<b>130.1</b>	133.8	134.2	1.17	1.08		

Diğer taraftan buhar kürü uygulanmış beton numunelerine, bağımsız, eşit ve farklı oranlarda CT ve YFC eklenmesinin beton basınç dayanımına etkisinin olmadığı söylenebilir (Şekil 3.7 ve Tablo 3.7). Buna karşın, %4 ve %8 oranında sadece CT içeren numunelerde (T1-%4C-K ve T1-%8C-K), buhar kürü sonrasındaki 90 günlük basınç dayanımları referans numuneye (T1-R-K) göre bir miktar artış göstermiştir (Tablo 3.7). UYPB karışımına eklenen CT ve YFC'na ait oranlardan bağımsız olarak beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.7). Bu artışın erken beton yaşlarında daha hızlı, ilerleyen beton yaşlarında ise daha yavaş olduğu görülmektedir. Buhar kürü *Tip-1* UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımına göre 56 ve 90 günlük basınç dayanımları T1-%8C-%4Y-K dışında en fazla %5 artmıştır (Tablo 3.7).



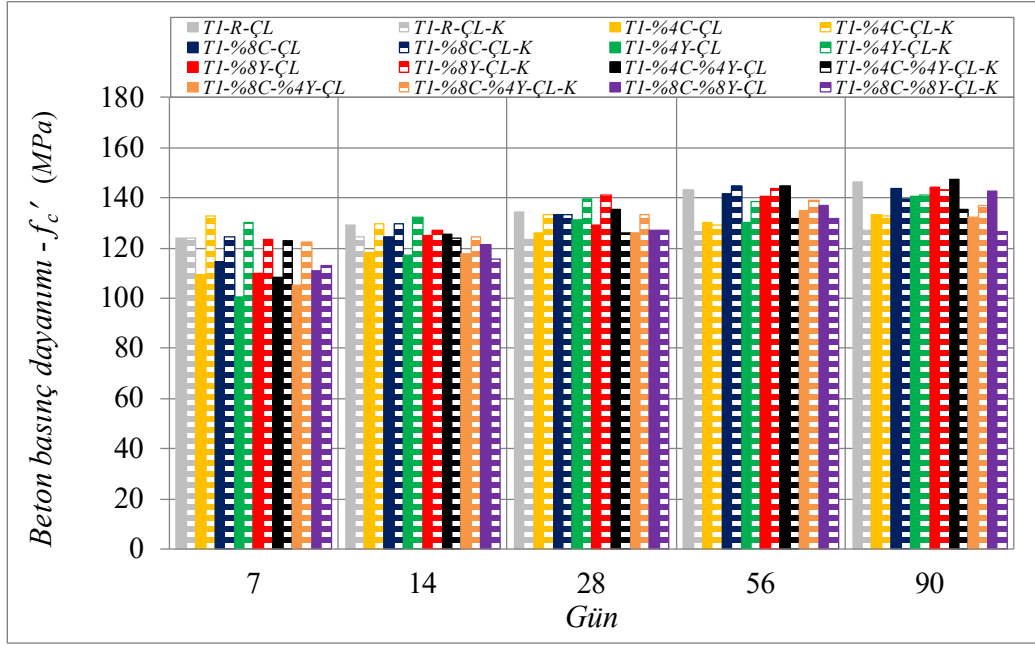
Şekil 3.7: Buhar kürlü beton karışımlarında CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (Tip-1)

Tablo 3.7: Buhar kürlü Tip-1 numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c^{28} / f'_c^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
T1-R-K	---	---	---	Var	126.1	0.97	128.7	0.99	<b>130.0</b>	131.8	1.01	132.1	1.02
T1-%4C-K	%4	---	---	Var	123.5	0.96	133.3	0.99	<b>135.2</b>	136.4	1.01	140.8	1.04
T1-%8C-K	%8	---	---	Var	127.4	0.89	138.0	0.97	<b>142.7</b>	141.9	0.99	146.0	1.02
T1-%4Y-K	---	%4	---	Var	127.1	0.96	129.3	0.98	<b>132.6</b>	130.9	0.99	127.4	0.96
T1-%8Y-K	---	%8	---	Var	122.0	1.00	126.3	1.00	<b>126.6</b>	126.3	1.04	126.3	1.04
T1-%4C-%4Y-K	%4	%4	---	Var	127.1	0.98	129.5	1.00	<b>129.3</b>	129.0	1.05	129.0	1.05
T1-%8C-%4Y-K	%8	%4	---	Var	122.9	0.99	118.8	0.96	<b>123.9</b>	127.9	1.14	127.5	1.14
T1-%8C-%8Y-K	%8	%8	---	Var	129.0	0.99	132.2	1.02	<b>130.1</b>	133.8	1.03	134.2	1.03

Katkısız çelik lifli referans numuneye (T1-R-ÇL) buhar küre uygulanması halinde, her beton yaşı için basınç dayanımlarının %13'e ulaşan oranlarda azaldığı görülmüştür (Şekil 3.8 ve Tablo 3.8). %4 ve %8 oranlarında sadece CT veya YFC içeren (T1-%4C-ÇL, T1-%8C-ÇL, T2-%4Y-ÇL ve T2-%8Y-ÇL) lifli karışımlara ait basınç dayanımlarının buhar küre uygulanması ile, erken ve 28 günlük beton yaşlarında %30'a varan oranlarda arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.8 ve Tablo 3.8). Bu artışın katkı oranının artmasıyla bir miktar azaldığı söylenebilir. Bu karışımlar için ilerleyen (56 ve 90 gün) beton yaşlarında ise buhar kürenin basınç dayanımını çok fazla değiştirmedeği görülmüştür (Şekil 3.8). CT ve

YFC'nun eşit oranlarda kullanıldığı çelik lifli (T1-%4C-%4Y-ÇL ve T1-%8C-%8Y-ÇL) karışımlara buhar kürü uygulanması ile 14 ve 28 günlük beton yaşlarında basınç dayanımlarının hemen hemen aynı kaldığı, ilerleyen beton yaşlarında ise sünme etkisi ile %11'e ulaşan oranlarda azalmaların olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, YFC miktarı sabit tutulup CT miktarının artırılmasıyla, çelik lifli karışıma (T1-%8C-%4Y-ÇL) buhar kürü uygulanması ile beton basınç dayanımının erken (7 ve 14 gün) yaşlarda en fazla %16, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında ise sırasıyla %6, %3 ve %3 oranlarında arttığı belirlenmiştir (Tablo 3.8).



Şekil 3.8: Çelik lif içeren UYPB karışımlarında buhar kürünün basınç dayanımına etkisi (Tip-1)

Tablo 3.8: Buhar kürlü çelik lifli numunelerin beton basınç dayanımına etkisi (Tip-1).

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_{c^{CL-K}} / f'_{c^{CL}}$				
					7	14	28	56	90
T1-R-ÇL	---	---	%1	Yok	123.8	129.1	<b>134.6</b>	143.2	146.5
T1-R-ÇL-K	---	---	%1	Var	123.9	124.4	<b>123.5</b>	126.5	127.3
T1-%4C-ÇL	%4	---	%1	Yok	109.4	118.2	<b>126.1</b>	130.4	133.5
T1-%4C-ÇL-K	%4	---	%1	Var	132.7	129.5	<b>133.4</b>	129.0	132.9
T1-%8C-ÇL	%8	---	%1	Yok	114.8	124.4	<b>133.3</b>	141.6	144.0
T1-%8C-ÇL-K	%8	---	%1	Var	124.3	129.8	<b>133.5</b>	144.9	139.5
T1-%4Y-ÇL	---	%4	%1	Yok	100.4	117.1	<b>131.1</b>	130.4	140.6
T1-%4Y-ÇL-K	---	%4	%1	Var	130.3	132.4	<b>139.6</b>	138.5	141.4
T1-%8Y-ÇL	---	%8	%1	Yok	109.7	124.9	<b>129.1</b>	140.6	144.1
T1-%8Y-ÇL-K	---	%8	%1	Var	123.6	127.1	<b>141.3</b>	144.0	143.0

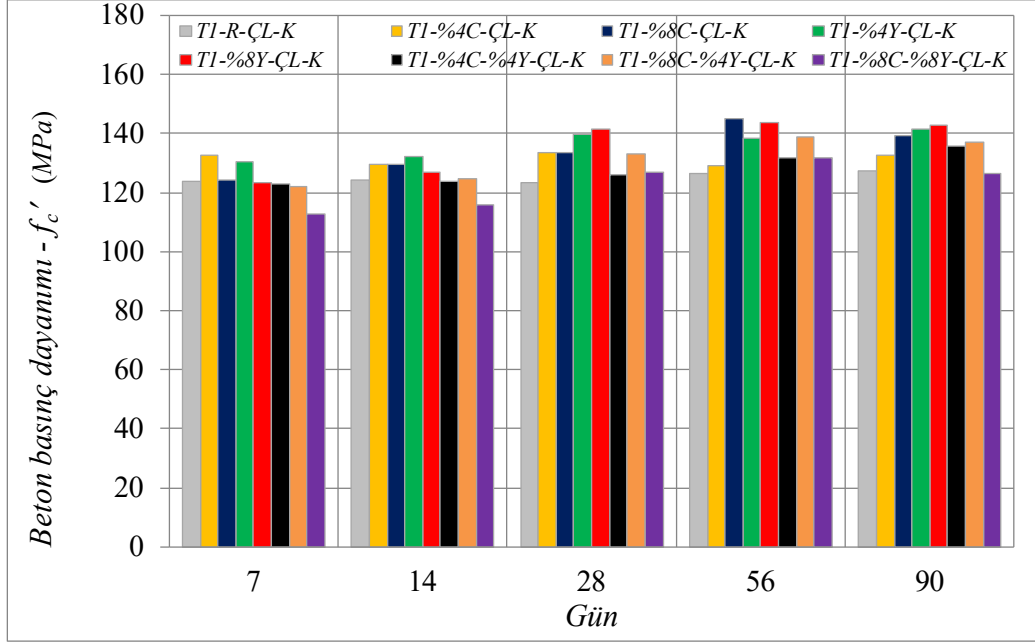
**Tablo 3.8** (Devam)

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f_c'$ (MPa) — $f_c'^{CL-K} / f_c'^{CL}$				
					7	14	28	56	90
T1-%4C-%4Y-ÇL	%4	%4	%1	Yok	108.4	125.6	<b>139.5</b>	144.8	147.5
T1-%4C-%4Y-ÇL-K	%4	%4	%1	Var	122.8	1.13 123.8	0.99 <b>125.8</b>	0.90 131.6	0.91 135.6
T1-%8C-%4Y-ÇL	%8	%4	%1	Yok	105.4	117.5	<b>126.0</b>	134.9	132.5
T1-%8C-%4Y-ÇL-K	%8	%4	%1	Var	122.2	1.16 124.6	1.06 <b>133.3</b>	1.03 138.9	1.03 137.0
T1-%8C-%8Y-ÇL	%8	%8	%1	Yok	111.0	121.5	<b>127.0</b>	137.1	142.9
T1-%8C-%8Y-ÇL-K	%8	%8	%1	Var	112.9	1.02 115.7	0.95 <b>126.8</b>	1.00 131.8	0.96 126.6

Çelik lif ve buhar kürü uygulamalarının bağımsız etkilerinin yanısıra birleşik etkilerinin incelendiği beton karışımlarında, %4 ve %8 oranlarında sadece CT veya YFC eklenen karışımların basınç dayanımları referans karışıma (T1-R-ÇL-K) göre tüm beton yaşları için artış göstermiştir (Şekil 3.9 ve Tablo 3.9). Bu artış, erken (7 ve 14 gün) beton yaşlarında en fazla %7 iken, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında sırasıyla %14, %15 ve %12 oranlarındadır (Tablo 3.9). Bu karışımlar için ilerleyen beton yaşlarında katkı oranının artması ile basınç dayanımı artışının bir miktar daha belirginleştiği söylenebilir. CT ve YFC'nun eşit oranda birlikte kullanıldığı karışımların basınç dayanımları 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında referans karışıma göre yaklaşık aynı oranlarda (en fazla %7) artış göstermiştir (Şekil 3.9 ve Tablo 3.9). Bununla birlikte %4CT+%4YFC içeren karışımın erken yaşlardaki (7 ve 14 gün) basınç dayanımlarının hemen hemen aynı kaldığı söylenebilirken, %8CT+%8YFC içeren karışımın basınç dayanımlarında %9 ve %7 oranlarında bir azalma görülmüştür. YFC miktarının sabit tutulup CT miktarının artırıldığı (T1-%8C-%4Y-ÇL-K) karışımında ise basınç dayanımı erken (7 ve 14 gün) yaşlarda hemen hemen sabit kalırken 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında %10'a varan oranlarda artış göstermektedir (Tablo 3.9).

UYPB karışımına eklenen CT ve YFC'na ait oranlardan bağımsız olarak çelik lifli ve buhar kürlü *Tip-1* karışımlarında beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir (Şekil 3.9 ve Tablo 3.9). Bu artışın, erken beton yaşlarında daha hızlı, ilerleyen beton yaşlarında ise daha yavaş olduğu belirlenmiştir. Buhar kürlü ve çelik lifli *Tip-1* UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımına göre 56 ve 90 günlük test sonuçları en fazla %8 artış göstermiştir (Tablo 3.9).





Şekil 3.9: Buhar kürlü ve çelik içeren karışımlarda CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (Tip-1)

Tablo 3.9: Çelik lifli ve buhar kürlü Tip-1 numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c^{28} / f'_c^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
TI-R-ÇL-K	---	---	%1	Var	123.9	1.00	124.4	1.01	<b>123.5</b>	126.5	1.02	127.3	1.03
TI-%4C-ÇL-K	%4	---	%1	Var	132.7	0.99	129.5	0.97	<b>133.4</b>	129.0	0.97	132.9	1.00
TI-%8C-ÇL-K	%8	---	%1	Var	124.3	0.96	129.8	0.97	<b>133.5</b>	144.9	1.09	139.5	1.04
TI-%4Y-ÇL-K	---	%4	%1	Var	130.3	0.93	132.4	0.95	<b>139.6</b>	138.5	0.99	141.4	1.01
TI-%8Y-ÇL-K	---	%8	%1	Var	123.6	0.87	127.1	0.90	<b>141.3</b>	144.0	1.02	143.0	1.01
TI-%4C-%4Y-ÇL-K	%4	%4	%1	Var	122.8	0.98	123.8	0.98	<b>125.8</b>	131.6	1.05	135.6	1.08
TI-%8C-%4Y-ÇL-K	%8	%4	%1	Var	122.2	0.92	124.6	0.93	<b>133.3</b>	138.9	1.04	137.0	1.03
TI-%8C-%8Y-ÇL-K	%8	%8	%1	Var	112.9	0.89	115.7	0.91	<b>126.8</b>	131.8	1.04	126.6	1.00

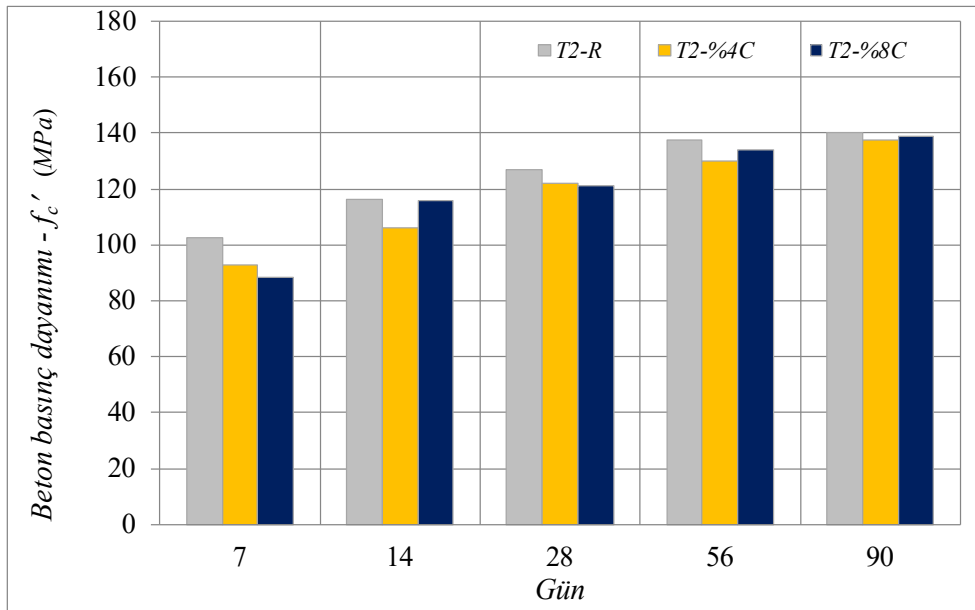
### 3.2 Tip-2 Karışımlarına ait Sonuçlar

Toplam bağlayıcı miktarının  $1200 \text{ kg/m}^3$  olduğu Tip-2 karışımlarına ait beton basınç dayanımları karışımların farklı oranlarda CT ve/veya YFC içermesi, lifli veya lifsiz olması, buhar kürlü uygulanıp uygulanmamasına bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

#### 3.2.1 Cam Tozu Kullanımına ait Sonuçlar

UYPB karışımında, katkısız referans numune (T2-R) ile Ç yerine %4 ve %8 oranlarında CT içeren karışımlara (T2-%4C, T2-%8C) ait basınç dayanımları Tablo 3.10'da, basınç

dayanımlarının değişimi ise Şekil 3.10'da verilmiştir. Ayrıca, 28 günlük beton basınç dayanımına göre diğer beton yaşları için elde edilen dayanımlara ait gerçekleşme oranları ( $f_c'^{\text{gün}} / f_c'^{28}$ ) Tablo 3.10'da hesaplanmıştır. UYPB'da %4 ve %8 oranlarında CT içeren karışımların tüm beton yaşları için basınç dayanımlarının referans karışıma göre azalma eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 3.10 ve Tablo 3.10). Burada, erken beton yaşlarındaki (7 ve 14 gün) azalım en fazla %14 iken, 28 ve 56 günlük beton yaşlarında bu azalımın en fazla %5 olduğu belirlenmiştir. Buna karşın %4 ve %8 CT içeren her iki karışım için de 90 günlük beton yaşındaki basınç dayanımlarının referans numuneyle çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 3.10 ve Tablo 3.10). Ayrıca, referans ve CT içeren numunelerde (T2-R, T2-%4C ve T2-%8C), beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür (Şekil 3.10 ve Tablo 3.10). CT içeren UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımlarına göre 56 ve 90 günlük test sonuçlarının sırasıyla en fazla %10 ve %14 arttığı belirlenmiştir (Tablo 3.10).



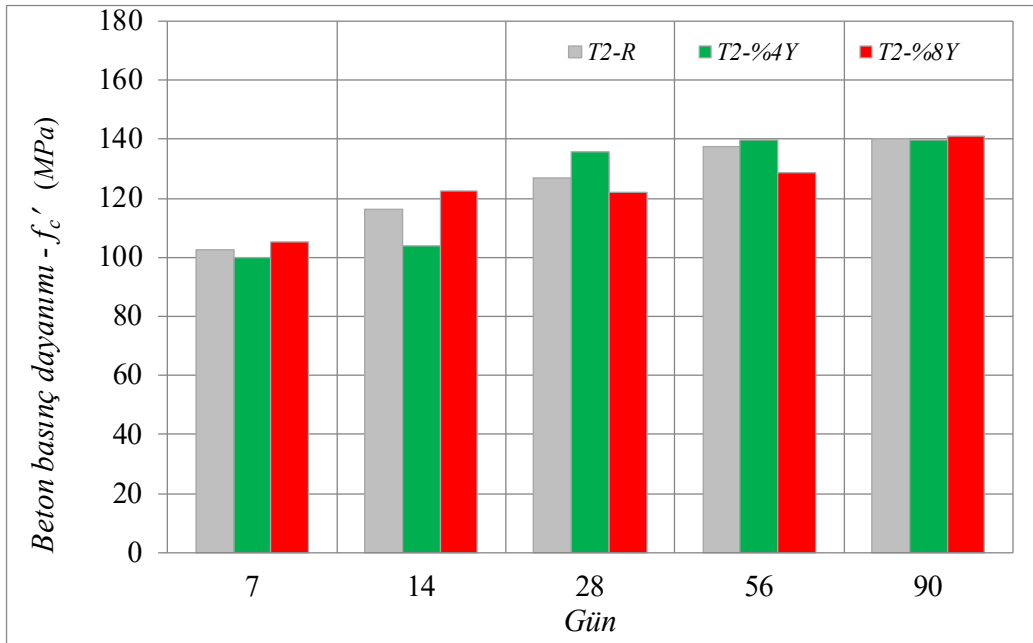
Şekil 3.10: Farklı beton yaşları için CT kullanımının basınç dayanımına etkisi (Tip-2).

Tablo 3.10: Farklı oranlarda CT içeren Tip-2 numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f_c'$ (MPa) — $f_c'^{28} / f_c'^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
T2-R	---	---	---	Yok	102.6	0.81	116.1	0.91	<b>126.9</b>	137.6	1.08	140.3	1.11
T2-%4C	%4	---	---	Yok	93.1	0.76	106.3	0.87	<b>121.9</b>	130.2	1.07	137.7	1.13
T2-%8C	%8	---	---	Yok	88.4	0.73	116.0	0.96	<b>121.2</b>	133.8	1.10	138.7	1.14

### 3.2.2 Yüksek Fırın Cürufu Kullanımına ait Sonuçlar

UYPB karışımında katkısız referans numune (T2-R) ile Ç yerine %4 ve %8 oranlarında YFC eklenen karışımlara (T2-%4Y, T2-%8Y) ait basınç dayanımları Tablo 3.11’de, basınç dayanımlarının değişimi ise Şekil 3.11’de verilmiştir. Ayrıca, 28 günlük beton basınç dayanımına göre diğer beton yaşları için elde edilen dayanımlara ait gerçekleşme oranları ( $f_c'^{gün} / f_c'^{28}$ ) Tablo 3.11’de sunulmuştur. %4YFC içeren karışımın beton basınç dayanımı referans karışıma göre erken beton yaşlarında (7 ve 14 gün) azalırken, %8YFC içeren karışımda bir miktar artış göstermiştir (Şekil 3.11). Bununla birlikte, 28 ve 56 günlük beton yaşlarında ise %4YFC içeren karışımın beton basınç dayanımı artış gösterirken %8YFC içeren karışımın basınç dayanımı azalmıştır (Şekil 3.11 ve Tablo 3.11). YFC içeren her iki karışım için de 90 günlük basınç dayanımlarının referans karışımla hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Sadece CT içeren beton karışımlarında olduğu gibi, referans ve YFC içeren (T2-R, T2-%4Y, T2-%8Y) numunelerde, beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının da arttığı görülmüştür. Bu artışların, erken beton yaşlarında daha hızlı olduğu, ilerleyen yaşlarda ise, beklenildiği gibi yavaş olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.11 ve Tablo 3.11). YFC içeren UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımlarına göre 56 ve 90 günlük test sonuçlarının sırasıyla en fazla %5 ve %15 oranında arttığı belirlenmiştir (Tablo 3.11).



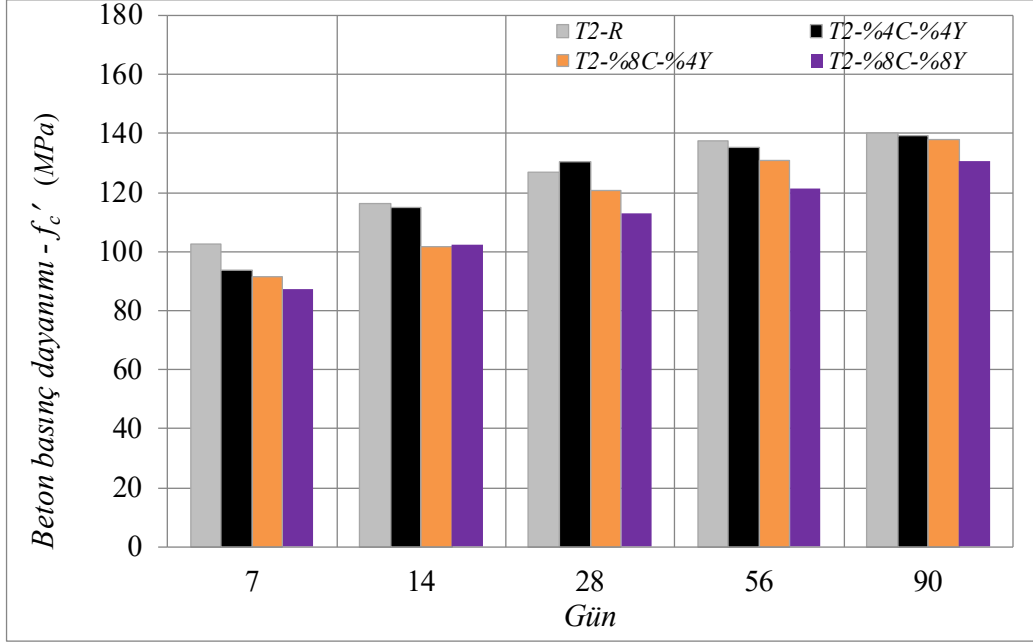
Şekil 3.11: Farklı beton yaşları için YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi (Tip-2).

**Tablo 3.11:** Farklı oranlarda YFC içeren *Tip-2* numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa)					$f'_c^{28} / f'_c^{\text{gün}}$			
					7	14	28	56	90				
T2-R	---	---	---	Yok	102.6	0.81	116.1	0.91	<b>126.9</b>	137.6	1.08	140.3	1.11
T2-%4Y	---	%4	---	Yok	100.0	0.74	104.0	0.77	<b>135.9</b>	139.7	1.03	139.8	1.03
T2-%8Y	---	%8	---	Yok	105.4	0.86	122.5	1.00	<b>122.1</b>	128.7	1.05	140.9	1.15

### 3.2.3 Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun Birlikte Kullanımına ait Sonuçlar

UYPB karışımında Ç yerine CT ve YFC'nun eşit ve farklı oranlarda kullanıldığı karışımlara (T2-%4C-%4Y, T2-%8C-%4Y, T2-%8C-%8Y) ait basınç dayanımları Tablo 3.12'de, basınç dayanımlarının değişimi ise Şekil 3.12'de sunulmuştur. UYPB karışımında eşit miktarda CT ve YFC eklenmesi (%4CT + %4YFC ve %8CT + %8YFC) halinde, erken beton yaşlarında (7 ve 14 gün) katkı miktarı arttıkça referans karışıma göre beton basınç dayanımları azalan bir eğilim göstermiştir (Şekil 3.12 ve Tablo 3.12). 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında ise, %4CT + %4YFC eklenen karışımın basınç dayanımları hemen hemen referans karışımla aynı iken %8CT + %8YFC içeren karışımın basınç dayanımları sırasıyla %11, %12 ve %7 oranlarında azalmıştır (Tablo 3.12). Bununla birlikte, karışımdaki YFC miktarı sabit tutulup CT miktarı artırıldığında (%8CT + %4YFC), erken, 28 ve 56 günlük beton yaşları için basınç dayanımları sırasıyla %11, %13 ve %5 oranlarında azalırken, 90 günlük basınç dayanımını referans numuneye çok yakındır (Şekil 3.12 ve Tablo 3.12). UYPB karışımına eklenen CT ve YFC oranlarından bağımsız olarak, sadece CT veya YFC içeren karışımlarda olduğu gibi, beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.12 ve Tablo 3.12). Bu artışın erken beton yaşlarında daha hızlı, ilerleyen beton yaşlarında ise daha yavaş olduğu görülmektedir. CT ve YFC içeren UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımına göre 56 ve 90 günlük dayanımların sırasıyla en fazla %8 ve %15 oranlarında artmıştır (Tablo 3.12).



**Şekil 3.12:** Farklı beton yaşları için CT ve YFC kullanımının basınç dayanımına etkisi (*Tip-2*).

**Tablo 3.12:** Eşit ve farklı oranlarda CT ve YFC içeren *Tip-2* numunelerine ait beton basınç dayanımları.

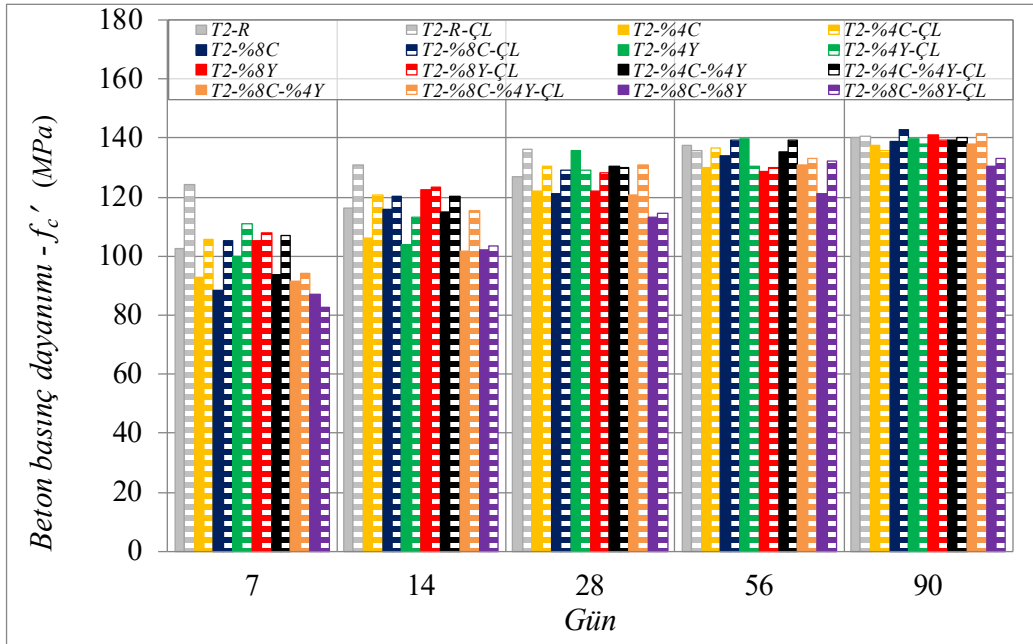
Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c^{28} / f'_c^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
T2-R	---	---	---	Yok	102.6	0.81	116.1	0.91	<b>126.9</b>	137.6	1.08	140.3	1.11
T2-%4C-%4Y	%4	%4	---	Yok	94.0	0.72	114.9	0.88	<b>130.3</b>	135.4	1.04	139.5	1.07
T2-%8C-%4Y	%8	%4	---	Yok	91.7	0.66	101.5	0.84	<b>120.7</b>	130.8	1.08	138.1	1.14
T2-%8C-%8Y	%8	%8	---	Yok	87.2	0.77	102.4	0.91	<b>113.1</b>	121.4	1.07	130.5	1.15

### 3.2.4 Çelik Lif Kullanımına ait Sonuçlar

Deneysel çalışmada, *Tip-2* bağlayıcı miktarının kullanıldığı UYPB karışımlarına toplam hacmin %1'i oranında kısa-düz çelik lif eklenmesinin beton basınç dayanımına olan etkisi tüm *Tip-2* karışımları referans alınarak incelenmiştir. CT ve/veya YFC içeren karışımlarda çelik lifin katkısı farklı beton yaşları için Şekil 3.13 ve Tablo 3.13'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bununla birlikte, çelik lif içeren UYPB karışımlarında, CT ve YFC'nun tek başına veya birlikte kullanılması halinde beton basınç dayanımlarının değişimi Şekil 3.14 ve Tablo 3.14'de sunulmuştur.

Katkısız referans numune ile %4 ve %8 oranlarında sadece CT veya YFC içeren lifsiz UYPB karışımlarına çelik lif eklenmesi sonucunda, çelik liflerin beton basınç dayanımlarını erken beton yaşlarında arttırdığı (en fazla %21) belirlenmiştir. Bu artış, 7 günlük test sonuçlarında daha belirgin iken, 14 günlük sonuçlarda daha düşük düzeydedir (Şekil 3.13 ve Tablo 3.13). İlerleyen beton yaşlarında (56 ve 90 gün) ise, %4 ve %8 oranlarında CT içeren karışımların basınç dayanımları çok az oranda artış gösterirken (en fazla %5), YFC içeren karışımlara dayanımların hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. %4YFC içeren karışım dışında 28 günlük basınç dayanımları %5-%7 arasındaki oranlarda artmıştır (Şekil 3.13 ve Tablo 3.13).

CT ve YFC'nun %4 ve %8'lik eşit oranlarda kullanıldığı karışımlara çelik lif eklenmesi sonucunda, %4CT+%4YFC eklenen karışımda erken beton yaşlarında basınç dayanımının artış gösterdiği, %8CT+%8YFC içeren karışımda ise belirgin bir değişimin olmadığı görülmüştür. Bu karışımların 28 gün ve ilerleyen yaşlarında ise, basınç dayanımlarında belirgin bir değişimin olmadığı görülmektedir (Şekil 3.13 ve Tablo 3.13). CT ve YFC'nun birlikte kullanıldığı %8CT + %4YFC içeren karışımda basınç dayanımının erken ve 28 günlük beton yaşlarında artış gösterdiği, buna karşın ilerleyen beton yaşlarında hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür (Şekil 3.13 ve Tablo 3.13).



Şekil 3.13: Tip-2 karışımı için UYPB'a çelik lif eklenmesinin basınç dayanımına etkisi.

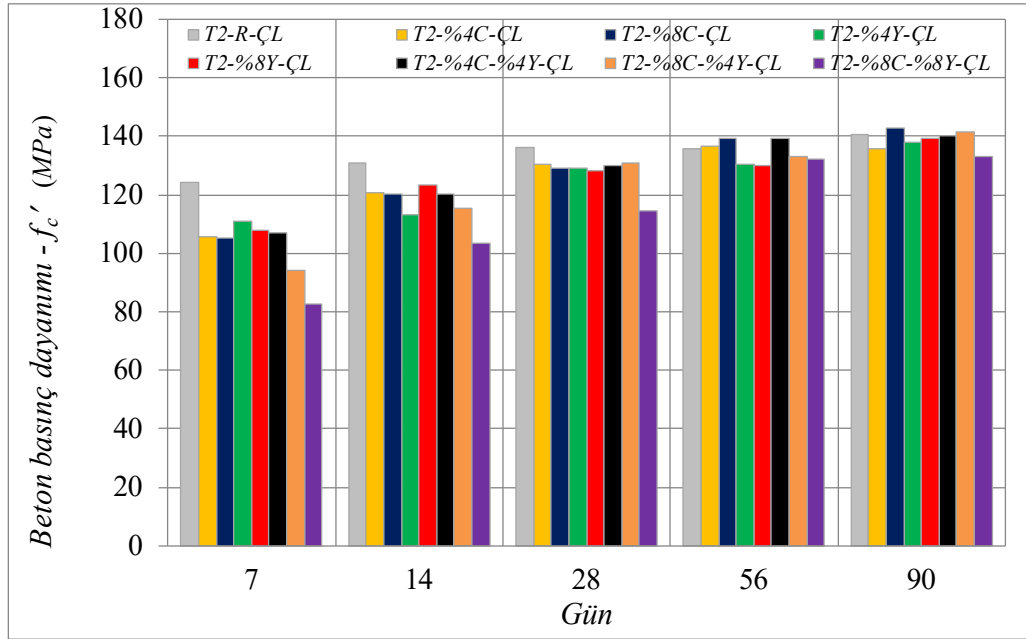
**Tablo 3.13:** Çelik liflerin beton basınç dayanımına etkisi.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c$ lifli / $f'_c$ lifsiz					
					7	14	28	56	90	
T2-R	---	---	---	Yok	102.6	116.1	<b>126.9</b>	137.6	140.3	
T2-R-ÇL	---	---	%1	Yok	124.2	1.21 130.7	1.13 <b>136.1</b>	1.07 135.7	0.99 140.8	1.00
T2-%4C	%4	---	---	Yok	93.1	106.3	<b>121.9</b>	130.2	137.7	
T2-%4C-ÇL	%4	---	%1	Yok	108.8	1.17 120.8	1.14 <b>130.5</b>	1.07 136.5	1.05 135.8	0.99
T2-%8C	%8	---	---	Yok	88.4	116.0	<b>121.2</b>	133.8	138.7	
T2-%8C-ÇL	%8	---	%1	Yok	105.3	1.19 120.3	1.04 <b>129.1</b>	1.07 139.4	1.04 142.9	1.03
T2-%4Y	---	%4	---	Yok	100.0	104.0	<b>135.9</b>	139.7	139.8	
T2-%4Y-ÇL	---	%4	%1	Yok	111.1	1.11 113.2	1.09 <b>129.1</b>	0.95 130.4	0.93 138.0	0.99
T2-%8Y	---	%8	---	Yok	105.4	122.5	<b>122.1</b>	128.7	140.9	
T2-%8Y-ÇL	---	%8	%1	Yok	108.1	1.03 123.3	1.01 <b>128.1</b>	1.05 130.2	1.01 139.2	0.99
T2-%4C-%4Y	%4	%4	---	Yok	94.0	114.9	<b>130.3</b>	135.4	139.5	
T2-%4C-%4Y-ÇL	%4	%4	%1	Yok	107.0	1.14 120.5	1.05 <b>129.9</b>	1.00 139.2	1.03 140.0	1.00
T2-%8C-%4Y	%8	%4	---	Yok	91.7	101.5	<b>120.7</b>	130.8	138.1	
T2-%8C-%4Y-ÇL	%8	%4	%1	Yok	94.4	1.03 115.6	1.14 <b>130.7</b>	1.08 133.0	1.02 141.5	1.02
T2-%8C-%8Y	%8	%8	---	Yok	87.2	102.4	<b>113.1</b>	121.4	130.5	
T2-%8C-%8Y-ÇL	%8	%8	%1	Yok	82.5	0.95 103.3	1.01 <b>114.7</b>	1.01 132.3	1.09 133.3	1.02

*Tip-2* bağlayıcı miktarının kullanıldığı çelik lifli karışımlarda, katkı kullanılması sonucunda erken (7 ve 14 gün) ve 28 günlük beton basınç dayanımlarının referans karışıma göre azalım eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 3.14 ve Tablo 3.14). Erken beton yaşlarında bu azalım en fazla %34 iken, 28 günlük beton yaşında en fazla %16 oranındadır (Tablo 3.14). 56 günlük beton yaşında %4 ve %8CT içeren karışımlara ait basınç dayanımlarının referans karışıma göre artış eğiliminde olduğu görülürken, %4 ve %8YFC içeren numunelerin basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, %4CT içeren karışımlar haricinde 90 günlük basınç dayanımlarının referans numuneyle hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.14 ve Tablo 3.14).

CT ve YFC'nun %4 oranında birlikte kullanıldığı T2-%4C-%4Y-ÇL karışımında, 28 günlük basınç dayanımları referans numuneyle (T2-R-ÇL) göre bir miktar azalırken, 56 günlük sonuçların arttığı, 90 günde ise hemen hemen aynı kaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, CT ve YFC'nun eşit ve farklı oranlarda kullanıldığı T2-%8C-%4Y-ÇL ve T2-%8C-%8Y-ÇL karışımlarına ait basınç dayanımlarının, genel olarak, referans numuneyle (T2-R-ÇL) göre bir miktar daha az olduğu görülmektedir (Şekil 3.14 ve Tablo 3.14). Her bir lifli karışım için, 28 günlük beton basınç dayanımlarına göre gerçekleşme oranlarının erken yaşlarda

daha hızlı olduğu, ilerleyen yaşlarda ise sınırlı kaldığı görülmüştür. Burada, 56 ve 90 günlük test sonuçlarının en fazla %16 arttığı belirlenmiştir (Tablo 3.14).



Şekil 3.14: Çelik lif içeren *Tip-2* karışımlarında CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi.

Tablo 3.14: Çelik lifli *Tip-2* numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f_c'$ (MPa) — $f_c'^{28} / f_c'^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
T2-R-ÇL	---	---	%1	Yok	124.2	0.91	130.7	0.96	136.1	135.7	1.00	140.8	1.03
T2-%4C-ÇL	%4	---	%1	Yok	108.8	0.83	120.8	0.93	130.5	136.5	1.05	135.8	1.04
T2-%8C-ÇL	%8	---	%1	Yok	105.3	0.82	120.3	0.93	129.1	139.4	1.08	142.9	1.11
T2-%4Y-ÇL	---	%4	%1	Yok	111.1	0.86	113.2	0.88	129.1	130.4	1.01	138.0	1.07
T2-%8Y-ÇL	---	%8	%1	Yok	108.1	0.84	123.3	0.96	128.1	130.2	1.02	139.2	1.09
T2-%4C-%4Y-ÇL	%4	%4	%1	Yok	107.0	0.82	120.5	0.93	129.9	139.2	1.07	140.0	1.08
T2-%8C-%4Y-ÇL	%8	%4	%1	Yok	94.4	0.72	115.6	0.88	130.7	133.0	1.02	141.5	1.08
T2-%8C-%8Y-ÇL	%8	%8	%1	Yok	82.53	0.72	103.3	0.90	114.7	132.3	1.15	133.3	1.16

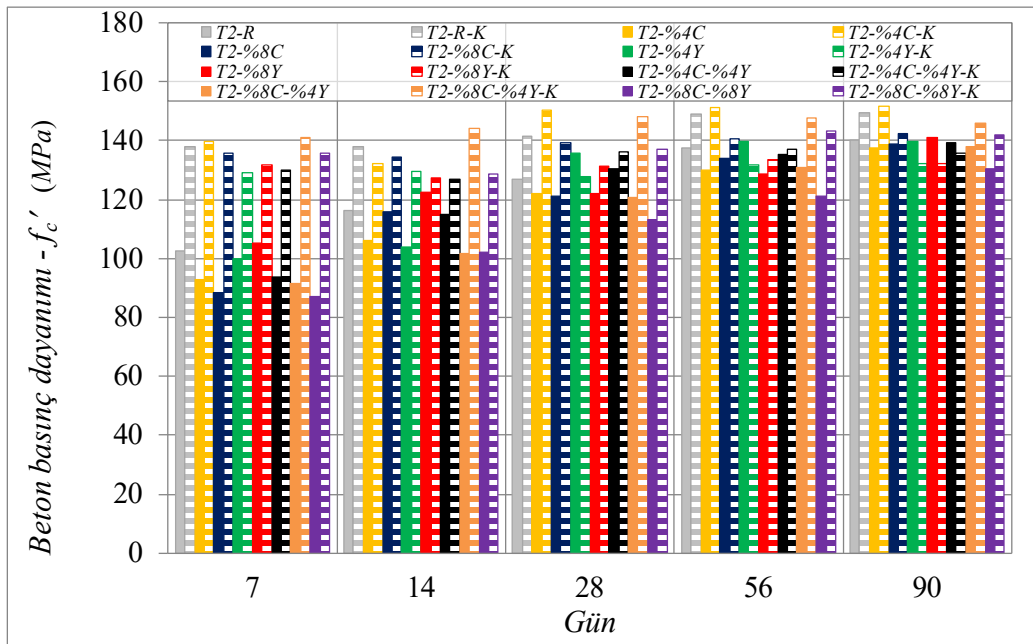
### 3.2.5 Kür Koşullarına ait Sonuçlar

Çalışmada, *Tip-2* bağlayıcı için hazırlanan UYPB numunelerine buhar kürünün beton basınç dayanımına olan etkisi lifli ve lifsiz beton karışımları referans alınarak değerlendirilmiştir. Farklı oranlarda CT ve/veya YFC içeren karışımlarda buhar kürünün etkisi farklı beton yaşları için Şekil 3.15 ve Tablo 3.15'te verilmiştir. Bununla birlikte, buhar kürü uygulanmış



UYPB karışımlarında, CT ve YFC'nun tek başına veya birlikte kullanılması halinde beton basınç dayanımlarının değişimi Şekil 3.16 ve Tablo 3.17'de sunulmuştur.

Deneysel çalışma kapsamında, tüm *Tip-2* karışımlarına ait küp numunelere buhar kürü uygulanması sonucunda, erken (7 ve 14 gün) yaşlarda beton basınç dayanımlarında %61'e ulaşan oranlarda artışlar belirlenmiştir. 28 günlük ve ilerleyen beton yaşlarında ise, %4 oranında YFC içeren karışım haricindeki tüm numunelerde beton basınç dayanımlarının buhar kürüne bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Burada, %4 oranında YFC eklenen karışımda basınç dayanımı en fazla %6 oranında azalırken, diğer karışımlardaki artış 28, 56 ve 90 günler için sırasıyla en fazla %23, %16 ve %9 oranlarındadır (Tablo 3.15).



Şekil 3.15: *Tip-2* karışımı için buhar kürünün basınç dayanımına etkisi.

Tablo 3.15: Buhar kürünün beton basınç dayanımına etkisi.

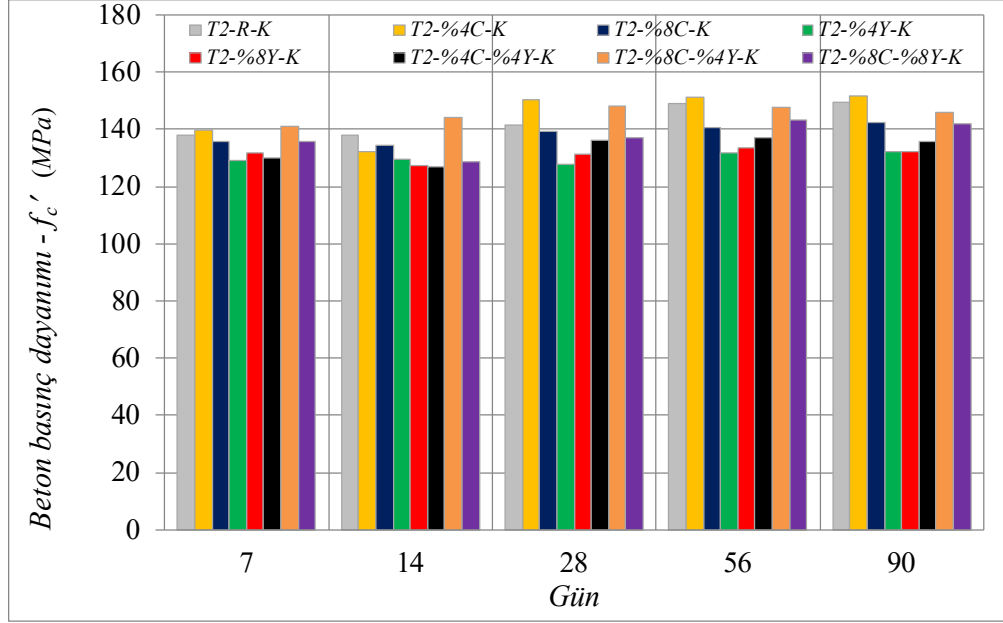
Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c$ kürü / $f'_c$ kürsüz				
					7	14	28	56	90
T2-R	---	---	---	Yok	102.6	116.1	<b>126.9</b>	137.6	140.3
T2-R-K	---	---	---	Var	137.9	138.2	<b>141.4</b>	149.0	149.5
T2-%4C	%4	---	---	Yok	93.1	106.3	<b>121.9</b>	130.2	137.7
T2-%4C-K	%4	---	---	Var	139.8	132.2	<b>150.4</b>	151.3	151.6
T2-%8C	%8	---	---	Yok	88.4	116.0	<b>121.2</b>	133.8	138.7
T2-%8C-K	%8	---	---	Var	136.0	134.4	<b>139.1</b>	140.7	142.5
T2-%4Y	---	%4	---	Yok	100.0	104.0	<b>135.9</b>	139.7	139.8
T2-%4Y-K	---	%4	---	Var	129.3	129.8	<b>127.7</b>	131.8	132.4

**Tablo 3.15** (Devam)

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f_c'$ (MPa) — $f_c'$ kürlü / $f_c'$ kürsüz									
					7	14	28	56	90					
T2-%8Y	---	%8	---	Yok	105.4	122.5		<b>122.1</b>		128.7	140.9			
T2-%8Y-K	---	%8	---	Var	131.9	1.25	127.3	1.04	<b>131.3</b>	<b>1.08</b>	133.7	1.04	132.3	0.94
T2-%4C-%4Y	%4	%4	---	Yok	94.0		114.9		<b>130.3</b>		135.4		139.5	
T2-%4C-%4Y-K	%4	%4	---	Var	129.9	1.38	126.8	1.10	<b>136.2</b>	<b>1.05</b>	137.3	1.01	135.9	0.97
T2-%8C-%4Y	%8	%4	---	Yok	91.7		101.5		<b>120.7</b>		130.8		138.1	
T2-%8C-%4Y-K	%8	%4	---	Var	141.2	1.54	144.2	1.42	<b>148.2</b>	<b>1.23</b>	147.6	1.13	146.0	1.06
T2-%8C-%8Y-K	%8	%8	---	Yok	87.2		102.4		<b>113.1</b>		121.4		130.5	
T2-%8C-%8Y-K	%8	%8	---	Var	140.0	1.61	128.5	1.25	<b>137.3</b>	<b>1.21</b>	135.3	1.11	141.9	1.09

Diğer taraftan, buhar kürlü uygulanmış ve %4 ve %8 oranlarında sadece CT veya YFC eklenen UYPB numunelerine ait basınç dayanımlarının, referans karışıma (T2-R) göre erken beton yaşlarında azalan bir eğilimde olduğu görülmüştür (Şekil 3.16 ve Tablo 3.16). Bununla birlikte, %4 oranında CT içeren karışım haricinde, 28 günlük ve daha ileri beton basınç dayanımlarının referans karışıma göre %12'ye ulaşan oranlarda azaldığı, %4CT içeren numunede ise, 28 günlük basınç dayanımı %6 artarken, 56 ve 90 günlük dayanımların referans karışımla hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir (Tablo 3.16). CT ve YFC'nun %4 oranında birlikte kullanıldığı (T2-%4C-%4Y) karışımda referans karışıma göre basınç dayanımları tüm beton yaşları için azalım eğilimindedir. Bu azalım erken beton yaşlarında en fazla %8 iken, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında sırasıyla %4, %8 ve %9 oranlarındadır (Şekil 3.16 ve Tablo 3.16). UYPB karışımında CT ve YFC'nun %8 oranında kullanıldığı numunede (T2-%8C-%8Y), 14 ve daha ileri beton yaşlarında basınç dayanımlarının %3-%9 arasında değişen oranlarda azalmıştır. 7 günlük basınç dayanımı ise, referans numune ile hemen hemen aynıdır (Tablo 3.16). YFC miktarı sabit tutulup CT miktarının artırılmasıyla %8CT+%4YFC içeren karışımda ise; 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımlarının artış eğiliminde olduğu (en fazla %5), 56 ve 90 günlük ilerleyen beton yaşlarında ise referans numuneyle çok yakın sonuçlar alındığı görülmüştür (Şekil 3.16 ve Tablo 3.16).

*Tip-1* karışımlarında olduğu gibi, CT ve YFC'na ait oranlardan bağımsız olarak buhar kürlü tüm *Tip-2* karışımlarının, beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir. Bu artışın erken beton yaşlarında daha hızlı, ilerleyen beton yaşlarında ise daha yavaş olduğu görülmektedir. CT ve YFC içeren buhar kürlü UYPB karışımları için, 28 günlük beton basınç dayanımına göre 56 ve 90 günlük test sonuçları sırasıyla en fazla %3 ve %4 oranlarında artış göstermiştir (Tablo 3.16).

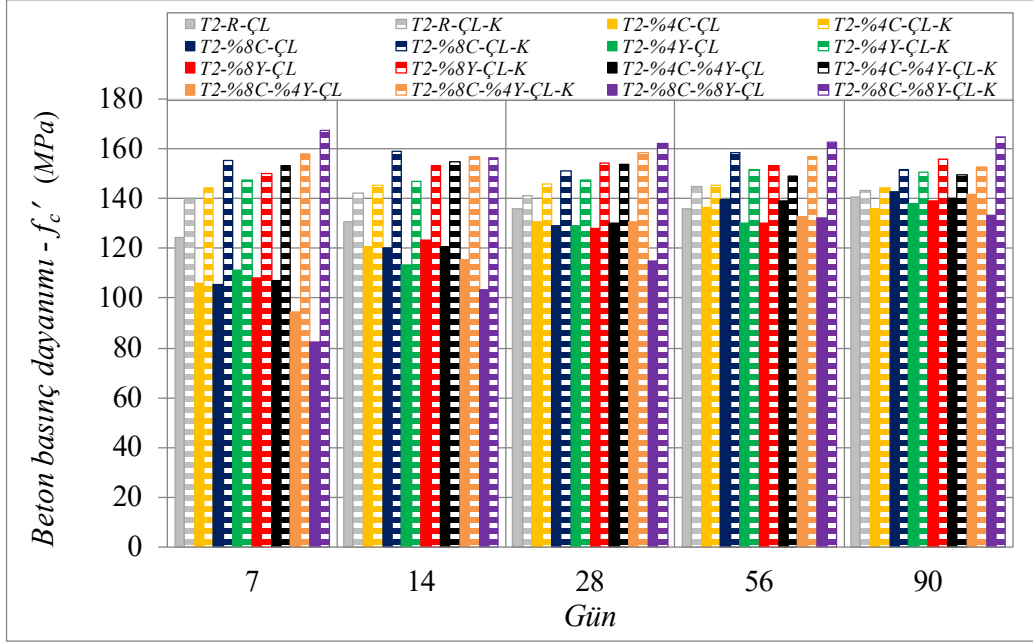


Şekil 3.16: Buhar kürlü karışımlarda CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (*Tip-2*)

Tablo 3.16: Buhar kürlü *Tip-2* numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c{}^{28} / f'_c{}^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
T2-R-K	---	---	---	Var	137.9	0.98	138.2	0.98	<b>141.4</b>	149.0	1.05	149.5	1.06
T2-%4C-K	%4	---	---	Var	139.8	0.93	132.2	0.88	<b>150.4</b>	151.3	1.01	151.6	1.01
T2-%8C-K	%8	---	---	Var	136.0	0.98	134.4	0.97	<b>139.1</b>	140.7	1.01	142.5	1.02
T2-%4Y-K	---	%4	---	Var	129.3	1.01	129.8	1.02	<b>127.7</b>	131.8	1.03	132.4	1.04
T2-%8Y-K	---	%8	---	Var	131.9	1.00	127.3	0.97	<b>131.3</b>	133.7	1.02	132.3	1.01
T2-%4C-%4Y-K	%4	%4	---	Var	129.9	0.95	126.8	0.93	<b>136.2</b>	137.3	1.01	135.9	1.00
T2-%8C-%4Y-K	%8	%4	---	Var	141.2	0.95	144.2	0.97	<b>148.2</b>	147.6	1.00	146.0	0.99
T2-%8C-%8Y-K	%8	%8	---	Var	140.0	1.02	128.5	0.94	<b>137.3</b>	135.3	0.99	141.9	1.03

Çelik lifli UYPB karışımlarına buhar kürü uygulanması sonucunda, *Tip-2* numunelerine ait beton basınç dayanımlarının tüm beton yaşları için arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.17 ve Tablo 3.17). Bu artışların erken beton yaşlarında en fazla %103 oranında olduğu, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında ise sırasıyla en fazla, %41, %23 ve %24 oranlarında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.17). Tüm karışımlarda basınç dayanımlarındaki artışlar erken beton yaşlarında (7 ve 14 gün) daha belirgindir. Genel olarak, karışımlardaki katkı oranı arttıkça buhar kürü uygulanması ile birlikte, özellikle CT ve YFC'nun birlikte kullanıldığı karışımlarda, basınç dayanımının daha da arttığı söylenebilir.



Şekil 3.17: Çelik lif içeren UYPB karışımlarında buhar kürünün basınç dayanımına etkisi (Tip-2)

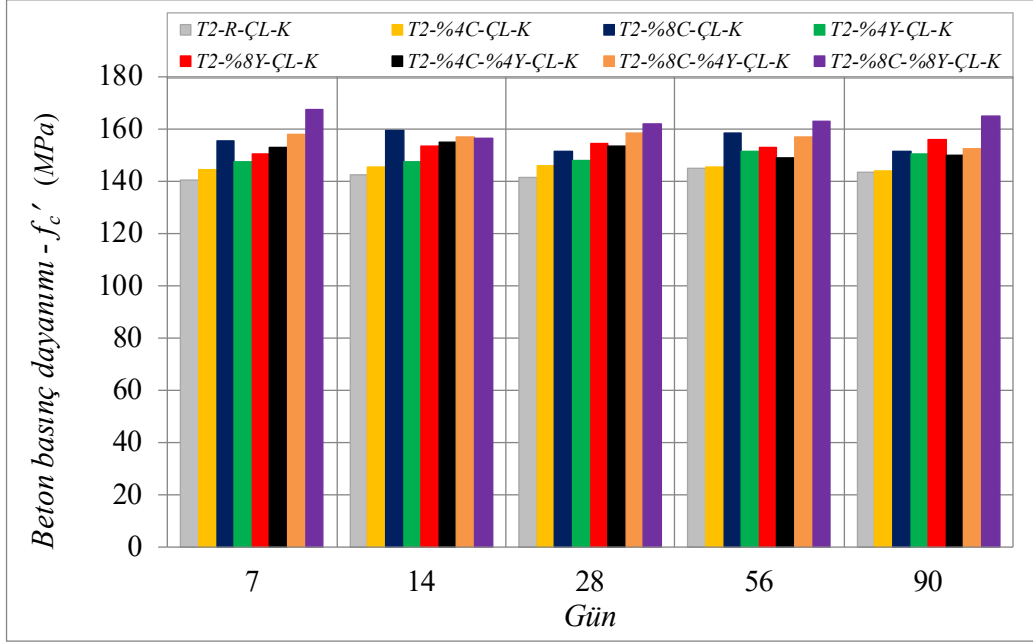
Tablo 3.17: Buhar kürünün çelik lifli numunelerin beton basınç dayanımına etkisi (Tip-2).

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f_c'$ (MPa) — $f_c'^{ÇL-K} / f_c'^{ÇL}$				
					7	14	28	56	90
T2-R-ÇL	---	---	%1	Yok	124.2	130.7	<b>136.1</b>	135.7	140.8
T2-R-ÇL-K	---	---	%1	Var	140.2	142.3	<b>141.4</b>	144.7	143.4
T2-%4C-ÇL	%4	---	%1	Yok	108.8	120.8	<b>130.5</b>	136.5	135.8
T2-%4C-ÇL-K	%4	---	%1	Var	144.5	145.3	<b>145.7</b>	145.2	144.1
T2-%8C-ÇL	%8	---	%1	Yok	105.3	120.3	<b>129.1</b>	139.4	142.9
T2-%8C-ÇL-K	%8	---	%1	Var	155.5	159.2	<b>151.2</b>	158.4	151.6
T2-%4Y-ÇL	---	%4	%1	Yok	111.1	113.2	<b>129.1</b>	130.4	138.0
T2-%4Y-ÇL-K	---	%4	%1	Var	147.3	147.2	<b>147.7</b>	151.6	150.6
T2-%8Y-ÇL	---	%8	%1	Yok	108.1	123.3	<b>128.1</b>	130.2	139.2
T2-%8Y-ÇL-K	---	%8	%1	Var	150.4	153.2	<b>154.3</b>	153.0	155.8
T2--%4C-%4Y-ÇL	%4	%4	%1	Yok	107.0	120.5	<b>129.9</b>	139.2	140.0
T2--%4C-%4Y-ÇL-K	%4	%4	%1	Var	153.0	154.9	<b>153.6</b>	148.8	149.7
T2--%8C-%4Y-ÇL	%8	%4	%1	Yok	94.4	115.6	<b>130.7</b>	133.0	141.5
T2--%8C-%4Y-ÇL-K	%8	%4	%1	Var	157.9	156.8	<b>158.4</b>	157.1	152.5
T2-%8C-%8Y-ÇL	%8	%8	%1	Yok	82.53	103.3	<b>114.7</b>	132.3	133.3
T2--%8C-%8Y-ÇL-K	%8	%8	%1	Var	167.4	156.3	<b>162.0</b>	162.8	164.7

*Tip-2* bağlayıcı miktarının kullanıldığı buhar kürü uygulanmış çelik lifli UYPB numuneleri için tüm beton yaşlarında referans karışıma (T2-R-ÇL-K) göre basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.18 ve Tablo 3.18).

Şekil 3.18 ve Tablo 3.18'den görüleceği üzere %4 ve %8 oranlarında sadece CT veya YFC eklenen karışımların basınç dayanımlarındaki artış erken (7 ve 14 gün) beton yaşlarında en fazla %12 iken, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında en fazla %9 oranındadır. Sadece CT veya YFC içeren numunelerde katkı oranının artmasına bağlı olarak tüm beton yaşlarında basınç dayanımlarındaki artış belirginleşmektedir. CT ve YFC'nun birlikte kullanıldığı karışımlarda (T2-%4C-%4Y-ÇL-K, T2-%8C-%4Y-ÇL-K, T2-%8C-%8Y-ÇL-K) beton basınç dayanımındaki artışın erken (7 ve 14 gün) yaşlarda en fazla %19 olduğu görülürken, 28, 56 ve 90. günler için %3 ile %15 arasında değişim olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.18).

UYPB karışımına eklenen CT ve YFC'na ait oranlardan bağımsız olarak çelik lifli ve buhar kürü uygulanmış *Tip-2* karışımlarında, beton yaşı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir (Şekil 3.18 ve Tablo 3.18). Bu artışın, *Tip-1* bağlayıcı oranına sahip karışımlarda olduğu gibi, erken beton yaşlarında daha hızlı, ilerleyen beton yaşlarında ise daha yavaş olduğu belirlenmiştir. Buhar kürü uygulanmış ve çelik lifli UYPB numuneleri için, 28 günlük beton basınç dayanımına göre 56 ve 90 günlük test sonuçları sırasıyla en fazla %5 ve %2 artış göstermiştir (Tablo 3.18).



Şekil 3.18: Buhar kürlü ve çelik içeren karışımlarda CT ve/veya YFC kullanımlarının basınç dayanımına etkisi (Tip-2)

Tablo 3.18: Çelik lifli ve buhar kürlü Tip-2 numunelerine ait beton basınç dayanımları.

Karışım kodu	CT (%)	YFC (%)	ÇL (%)	K Var Yok	$f'_c$ (MPa) — $f'_c^{28} / f'_c^{\text{gün}}$								
					7	14	28	56	90				
T2-R-ÇL-K	---	---	%1	Var	140.2	0.99	142.3	1.01	<b>141.4</b>	144.7	1.02	143.4	1.01
T2-%4C-ÇL-K	%4	---	%1	Var	144.5	0.99	145.3	1.00	<b>145.7</b>	145.2	1.00	144.1	0.99
T2-%8C-ÇL-K	%8	---	%1	Var	155.5	1.02	159.2	1.05	<b>151.2</b>	158.4	1.05	151.6	1.00
T2-%4Y-ÇL-K	---	%4	%1	Var	147.3	1.00	147.2	1.00	<b>147.7</b>	151.6	1.03	150.6	1.02
T2-%8Y-ÇL-K	---	%8	%1	Var	150.4	0.97	153.2	0.99	<b>154.3</b>	153.0	0.99	155.8	1.01
T2-%4C-%4Y-ÇL-K	%4	%4	%1	Var	153.0	1.00	154.9	1.01	<b>153.6</b>	148.8	0.97	149.7	0.97
T2-%8C-%4Y-ÇL-K	%8	%4	%1	Var	157.9	1.00	156.8	0.99	<b>158.4</b>	157.1	0.99	152.5	0.96
T2-%8C-%8Y-ÇL-K	%8	%8	%1	Var	167.4	1.03	156.3	0.96	<b>162.0</b>	162.8	1.00	164.7	1.02

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB) içeriğinde çimento yerine katkı olarak sadece *cam tozu* (CT) ve/veya *yüksek fırın cürufu* (YFC) kullanımlarının beton basınç dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, UYPB karışımlarına çelik lif eklenmesi ve/veya buhar kürü uygulanması durumlarında, bu katkıların basınç dayanımlarına olan etkileri de araştırılmıştır. Deneysel incelemeler ve değerlendirmeler, bağlayıcı miktarının  $1000 \text{ kg/m}^3$  ve  $1200 \text{ kg/m}^3$  olduğu *Tip-1* ve *Tip-2* karışımları için yapılmıştır.

##### *Tip-1 Karışımlarına ait Sonuçlar*

- UYPB karışımında kullanılan CT veya YFC miktarı arttıkça beton basınç dayanımlarının azalan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Burada, erken beton yaşlarındaki azalım daha belirgin iken, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında bu azalımın daha küçük olduğu belirlenmiştir. UYPB karışımında eşit miktarda CT ve YFC kullanılması (%4CT + %4YFC ve %8CT + %8YFC) halinde de benzer karakteristikte bir davranış elde edilmiştir.
- Sadece CT ve YFC içeren lifsiz UYPB karışımlarına toplam hacmin %1'i oranında çelik lif eklenmesi sonucunda 28 günlük basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Beton karışımında %4 ve %8'lik oranlarda CT ve YFC'nun birlikte kullanıldığı numunelere çelik lif eklenmesi basınç dayanımını arttırırken, %8CT +%4YFC içeren karışımında hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. Erken beton yaşlarında, çelik liflerin beton basınç dayanımlarını genel olarak arttırdığı söylenebilir. Bu artış, 7 günlük test sonuçlarında daha belirgin iken, 14 günlük sonuçlarda daha düşük düzeydedir.
- *Tip-1* bağlayıcı miktarının kullanıldığı çelik lifli karışımlarda, %4 oranında sadece CT veya YFC eklenmesi halinde beton basınç dayanımları referans karışıma göre azalmaktadır. Bu katkıların %8'e çıkması halinde dayanımlar artış eğilimine geçmesine karşın, referans numunelere ait dayanımları geçmediği görülmüştür.
- Katkısız referans numuneye buhar kürü uygulanması sonucunda, her beton yaşı için basınç dayanımlarının %12'ye ulaşan oranlarda azaldığı görülmüştür. UYPB karışımına %4 oranında sadece CT eklenmesi halinde, buhar kürü basınç dayanımını arttırırken, CT miktarının %8'e çıkarılması halinde ise basınç dayanımdaki değişimin daha belirgin olduğu görülmüştür. %4 ve %8 oranlarında sadece YFC içeren betona buhar kürü uygulanması sonucunda, erken beton yaşlarında basınç dayanımları

artarken, 28 gün ve daha ileri beton yaşlarında bu değişimlerin azalan yönde olduğu belirlenmiştir.

- Katkısız çelik lifli referans numuneye buhar kürü uygulanması halinde, her beton yaşı için basınç dayanımlarının %13'e ulaşan oranlarda azaldığı görülmüştür. Çelik lif ve buhar kürü uygulamalarının birleşik etkilerinin incelendiği beton karışımlarında, %4 ve %8 oranlarında sadece CT veya YFC eklenen karışımların basınç dayanımları, referans karışıma göre tüm beton yaşları için artış göstermiştir. Bu karışımlar için ilerleyen beton yaşlarında katkı oranının artması ile basınç dayanımı artışının bir miktar daha belirginleştiği söylenebilir.

#### *Tip-2 Karışımlarına ait Sonuçlar*

- UYPB karışımında kullanılan CT miktarı arttıkça beton basınç dayanımı, *Tip-1*'de olduğu gibi, azalan bir eğilim göstermiştir. Bu değişim, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında oldukça küçüktür. Buna karşın, *Tip-1*'den farklı olarak %4YFC eklenmesi erken beton yaşlarında dayanımı azaltırken, %8YFC içeren karışımda bir miktar artış göstermiştir. Bununla birlikte, 28 ve 56 günlük beton yaşlarında %4YFC içeren karışımın beton basınç dayanımı artış gösterirken %8YFC içeren karışımın basınç dayanımı azalmıştır. UYPB karışımında eşit miktarda CT ve YFC eklenmesi sonucunda, erken beton yaşlarında katkı oranları arttıkça referans karışıma göre beton basınç dayanımları azalan bir eğilim göstermiştir. 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında ise, %4CT + %4YFC içeren karışımın basınç dayanımları hemen hemen referans karışımla aynı iken, %8CT + %8YFC içeren karışımın basınç dayanımları yaklaşık %10 azalmıştır.
- Çalışmada kapsamında, karışım tipi, katkı kullanımı, çelik lif durumu ve buhar kürü uygulamalarına ait farklı alternatiflerin hazırlandığı karışımlardan bağımsız olarak, CT ve/veya YFC içeren numunelerde beton yaşı arttıkça basınç dayanımları artış göstermektedir. Bu artışların, erken beton yaşlarında daha hızlı olduğu, ilerleyen yaşlarda ise, beklenildiği gibi yavaş olduğu görülmüştür.
- *Tip-1*'den farklı olarak, CT ve/veya YFC içeren lifsiz UYPB karışımlarına çelik lif eklenmesi sonucunda beton basınç dayanımlarının erken yaşlarda arttırdığı (en fazla %21) belirlenmiştir. 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında ise %4 ve %8 oranlarında CT içeren karışımların basınç dayanımları bir miktar artış gösterirken, YFC içeren karışımların basınç dayanımlarının hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür.



- Tüm *Tip-2* karışımlarına ait numunelere buhar kürü uygulanması ile, erken beton yaşlarındaki basınç dayanımlarında %61'e varan oranlarda artışlar belirlenmiştir. 28 günlük ve daha ileri beton yaşlarında ise, %4 oranında YFC içeren karışım haricindeki, tüm karışımlarda beton basınç dayanımlarının buhar kürüne bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. UYPB numuneleri için gözlenen bu davranış, *Tip-1* karışımları için elde edilenden farklıdır. Buhar kürü uygulanmış %4 ve %8 oranlarında CT ve/veya YFC içeren buhar kürlü UYPB karışımlarına ait basınç dayanımlarının erken beton yaşlarında azalan bir eğilim göstermiştir. 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımlarının ise, referans karışıma göre %12'ye varan oranlarda azaldığı (%4CT içeren karışım hariç) belirlenmiştir.
- Çelik lifli UYPB karışımlarına buhar kürü sonucunda, beton basınç dayanımları tüm beton yaşları için artmıştır. Bu artışların erken beton yaşlarında en fazla %103 oranında olduğu, 28, 56 ve 90 günlük beton yaşlarında ise sırasıyla en fazla, %41, %23 ve %24 oranlarında olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve tecrübeler ışığı altında, UYPB içeriğinde çimento yerine *cam tozu ve/veya yüksek fırın cürufu* miktarlarına ait daha yüksek oranların kullanılmasının yanısıra, *uçucu kül* kullanımının araştırılmasının konu çerçevesinde önem arz ettiği düşünülmektedir. Bununla birlikte, betonun kür koşullarına ait farklı durumlar ele alınarak gerek taze ve sertleşmiş betonun özelliklerinin gerekse iç-yapı özelliklerinin araştırılması önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- ACI Committee. (1988). Silica fume in concrete (ACI226.3R-87), *ACI Material Journal*, 85, 158-166.
- AFGC/SETRA. (2013). *Ultra high performance fibre-reinforced concretes, revised ed.*, Association Française de Génie Civil; Service d'études techniques des routes et autoroutes, France.
- Akçaözöğlü, K. (2007). *Silis dumanı içeren yüksek dayanımlı harçlarda numune boy değişiminin basınç dayanımı ve birim kısalma üzerindeki etkisi* (Doktora tezi) Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 200284).
- Arel, H.Ş. (2016). Effects of curing type, silica fume fineness, and fiber length on the mechanical properties and impact resistance of UHPFRC. *Results in Physics*, 6, 664-674.
- Askar, L.K., Tayeh, B.A. and Abu Bakar, B.H. (2013). Effect of different curing conditions on the mechanical properties of UHPFC. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 4, 299-303.
- Azmee, N.M. and Shafiq, N. (2018). Ultra high performance concrete: from fundamental to applications. *Case Studies Construction Materials*, 9, doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00197.
- Betterman, L.R., Ouyang, C. and Shah, S.P. (1995). Fiber-Matrix interaction in microfiber-reinforced mortar. *Advanced Cement Based Materials*, 2, 53-61.
- Birchall, J. D., Howard, A. J. and Kendall, K. (1981). Flexural Strength and Porosity of Cements. *Nature*, 289, 388–390.
- Birol, T. (2016). *Ultra yüksek performanslı lifli beton ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme davranışının incelenmesi* (Doktora tezi) Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 456182).
- Birol, T., Hasgul, U., Terzi, M., Yavaş, A., Turker, K. and Yazıcı, H. (May, 2016). Effect of different steel fiber type and content in flexural behavior of ultra high performance fiber reinforced concrete, *3rd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering*, Tirana, Albania.
- Blais, P.Y. and Couture, M. (1999). Precast, prestressed pedestrian bridge – world's first reactive powder structure. *PCI Journal*, 44, 60-71.

- Du, H. and Tan, K.H. (2017). Properties of high volume glass powder concrete. *Cement & Concrete Composites*, 75, 22-29, doi:10.1016/j.cemconcomp.2016.10.010.
- Ductal. <http://www.ductal.com>. Erişim Tarihi: 25.12.2019.
- Ekinci, C.E. ve Yeğinobalı, M.A. (1996). Silis Dumanı Katkılı Betonların arpma Dayanımı, *4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı* (s.279-289), İstanbul: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Fehling, E., Schmidt, M., Walraven, J., Leutbecher, T. and Frönlich, S. (2014). Ultra-High Performance Concrete, UHPC: Fundamentals, Design, Examples, *Beton-Kalender*, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Germany.
- Graybeal, B. A. (2008). Flexural Behavior of an Ultrahigh-Performance Concrete I-Girder. *Journal of Bridge Engineering*, 13 (6), 602–610.
- Habel, K. and Gauvreau, P. (2008). Response of ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) to impact and static loading. *Cement & Concrete Composites*, 30 (10), 938–946.
- Hassan, A.M.T., Jones, S.W. and Mahmud, G.H. (2012). Experimental test methods to determine the uniaxial tensile and compressive behaviour of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC). *Construction and Building Materials*, 37, 874-882.
- Hijorth, L. (1983). Development and application of high-density cement-cased materials, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A310 (pp. 167-173), London.
- Hiremath, P. and Yaragal, S.C. (2017). Investigation on mechanical properties of reactive powder concrete under different curing regimes. *Materials Today: Proceeding*, 4, 9758- 9762.
- Hussein, L. and Amleh, L. (2018). Size effect of ultra-high performance fiber reinforced concrete composite beams shear. *Structural Concrete*, 19, 141-151.
- Kiremitçi, C.A. (2008). *elik tel donatılı ultra yüksek performanslı imento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı* (Yüksek Lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 246686).
- Kocatürk, A.N., Haberveren, S., Aslan, E.G. ve Taşdemir, M.A. (2015, Kasım), Özel prefabrike elemanların ultra yüksek performanslı betonlarla üretimi, *6.Ulusal Beton Kongresi*, (s. 447-458), İstanbul.

- Mari Bøhnsdalen Eide and Jorun-Marie Hisda (2012). *Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC)– State of the art* (Report No: 44). Oslo: Cooperation partners / Consortium Concrete Innovation Centre (COIN).
- Moreillon L. and Menetrey, P. (October, 2013). Rehabilitation and strengthening of existing rc structures with UHPFRC: various application. In RILEM-fib-AFGC Int., *Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete* (pp. 127-136), Marseille, France.
- Naaman, A.E. and Wille, K. (2012). The Path to Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHP-FRC): Five Decades of Progress, in Proceedings of Hipermat. *3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for Construction Materials*, Kassel, Germany.
- Neville A.M. (1995). *Properties of Concrete*. 4th edition, Harlow, Essex: Longman, UK.
- Park, J-S., Kim, Y.J., Cho, J-R. and Jeon, S-J. (2015). Early-Age strength of ultra high performance concrete in various curing conditions. *Materials*, 8, 5537-5553.
- Rossi, P. (2000). Ultra high performance fibre reinforced concretes (UHPFRC): An Overview, *Fifth RILEM Symposium on fibre reinforced concretes (FRC)*, (pp. 87-100), Lyon.
- Rossi, P. (2001) Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concretes. *Concrete International*, 23 (12), 46-52.
- Rossi, P. (2013). Influence of fibre geometry and matrix maturity on the mechanical performance of ultra high-performance cement-based composites. *Cement & Composites*, 37, 246-248.
- Sarı, D.S. (2016). *Normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışına lif içeriğinin ve dayanımının etkisi* (Yükseklisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 252434).
- Shaikh, F.U., Nishiwaki, T. and Kwon, S. (2018). Effect of fly ash on tensile properties of ultra high performance fiber reinforced cementitious composites (UHP-FRCC). *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 0 (0), 1-15
- Shen, P., Lu, L., He, Y., Wang, F. and Hu, S. (2019). The effect of curing regimes on the mechanical properties, nano-mechanical properties and microstructure of ultra high performance concrete. *Cement and Concrete Research*, 118, 1-13.
- Smarzewski, P. (2017). Effect of curing period on properties of steel and polypropylene fibre reinforced ultra-high performance concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245, doi:10.1088/1757-899x/245/3/032059.

- Soliman, N.A. and Tagnit-Hamou, A. (2016). Development of ultra high performance concrete using glass powder-towards ecofriendly concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 600-612.
- Soliman, N.A. and Tagnit-Hamou, A. (2017). Partial substitution of silica fume with fine glass powder in UHPC: filling the micro gap. *Construction of Building Materials*, 139, 374-383.
- Song, H-W. and Saraswathy, V. (2006). Studies on corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag- an overview. *Journal of Hazardous Materials*, B138, 226-233.
- Taşdemir, M. A. ve Bayramov, F. (2002). Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. *Itüdergisi/d, mühendislik serisi*, 1, (2), 125-144.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F. ve Yerlikaya, M. (2003, Nisan). Geleneksel ve yüksek performanslı çelik donatılı betonlar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426.
- Taşdemir, M.A., Karihaloo, B.L., Bayramov, F., Yerlikaya, M. and Sönmez, R. (2004, June), “HS/HPC, HPFRCC, and SCC for repair and retrofitting of concrete structures”, *The 214 14th ERMCO, European Ready Mixed Concrete Organization Congress*, (pp. 34). Helsinki.
- Turker, K., Hasgul, U., Birol T., Yavas, A. and Yazici, H. (2019). Hybrid fiber use on flexural behavior of ultra high performance fiber reinforced concrete beams. *Composite Structures*, 229, doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111400.
- Vaitkevicius, V., Serelis, E. and Hilbig, H. (2014). The effect of glass powder on the microstructure of ultra high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 68, 102-109.
- Wille, K., Naaman, A.E. and Parra-Montesinos G.J. (2011). Ultra-high performance concrete with compressive strength exceeding 150 MPa (22 ksi): A simpler way. *ACI Material Journal*, 108(1), 46-54.
- Wu, Z., Shi, C., He., W. and Wu, L. (2016). Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 103, 8-14.
- Yalçınkaya, Ç. and Yazıcı, H. (2017). Effects of ambient temperature and relative humidity on early-age shrinkage of UHPC with high-volume mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, 144, 252-259.

- Yavas, A., Birol, T., Türker, K., Hasgöl, U. And Yazıcı, H. (2020). Improvement on flexural performance of UHPFRC with hybrid steel fiber. *Teknik Dergi*, 31 (6), doi.org/10.18400/tekderg.485565
- Yazıcı, H. (2007). The effect of curing conditions on compressive strength of ultra high strength concrete with high volume mineral admixtures. *Building And Environment*, 42, 2083-2089.
- Yazıcı, H., Yiğiter, H., Karabulut, A.Ş. and Baradan, B. (2008). Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete. *Fuel*, 87, 2401-2407.
- Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., Aydın, S. and Karabulut, A.Ş. (2009). Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes. *Construction and Building Materials*, 23, 1223-1231.
- Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., Yiğiter, H., Aydın, S. and Türkel, S. (2010). Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag. *Cement & Concrete Composite*, 32, 639, 648.
- Yoo, D-Y. and Yoon, Y-S. (2016). A review on structural behavior, design, and application of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 10 (2), 125.-142.
- Yu, R., Spiesz, P. and Brouwers, H.J.H. (2015). Development of an eco-friendly ultra-high performance concrete (UHPC) with efficient cement and mineral admixtures uses. *Cement & Composites*, 55, 383-384.
- Yudenfreund, M., Odler, I. and Brunauer, S. (1972). Hardened Portland Cement Pastes of Low Porosity I. Materials and Experimental Methods. *Cement and Concrete Research*, 2 (3), 313–330.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :Niyazi BIÇAKÇIOĞLU

Doğum tarihi ve yeri : 27.09.1989 Balıkesir

e-posta :niyazi\_bicakcioglu@hotmail.com

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Yüksek Lisans	Balıkesir Üniversitesi	2020
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	Özel Naim Çağl Anadolu Lisesi	2007