

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS POMZASI İLE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN FİBER TAKVİYELİ HAFİF
BETON TASARIMI VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre KESKİNER

AĞUSTOS 2016

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS POMZASI İLE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN FİBER TAKVİYELİ HAFİF
BETON TASARIMI VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hazırlayan
Emre KESKİNER

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT

Jüri Üyeleri
Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT
Doç. Dr. Doç. Dr. M. Cihan AYDIN
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ

AĞUSTOS 2016

Emre KESKİNER tarafından hazırlanan “**Bitlis Pomzası ile Kendiliğinden Yerleşen Fiber Takviyeli Hafif Beton Tasarımı ve Özelliklerinin Araştırılması**” adlı tez çalışması 30/09/2016 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ
(Başkan)

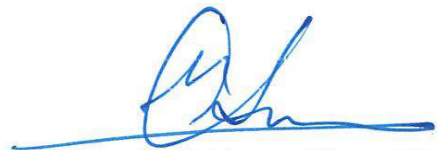
Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT
(Danışman)

Doç. Dr. Mehmet Cihan AYDIN
(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 08/11/2016 gün ve 42/10 Sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Mehmet Cihan AYDIN
Enstitüsü Müdürü

ÖZET

BİTLİS POMZASI İLE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN FİBER TAKVİYELİ HAFİF BETON TASARIMI VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre KESKİNER

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT

Ağustos 2016, 68 sayfa

Bu tez çalışması, Bitlis pomzası ile kendiliğinden yerleşen fiber takviyeli hafif beton tasarımı ve özelliklerinin araştırılması üzerine laboratuvar çalışması sonuçlarını sunmaktadır. Tez çalışmasında, bağlayıcı olarak CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Bununla birlikte, uçucu kül (UK) ve volkanik pomza taşı tozu (PT) viskozite arttırıcı katkı olarak kullanılmıştır. Karışım tasarımında, çimento 400kg/m^3 dozajda, bahsedilen bu katkılar ise 150kg/m^3 oranlarında kullanılmıştır. Tasarım sürecinde farklı uzunluk ve boy/çap oranlarına sahip, 4 çelik ve 2 polipropilen sentetik fiber kullanılmıştır. Tüm tasarımlarda, kaba agrega olarak volkanik pomza taşı kullanılmışken, tasarım sürecinde ince agrega olarak doğal nehir kumu kullanılmıştır. Tüm bu malzemeler ile birlikte akma-yayılma, V-hunisi ve L-kutusu deneyleri uygulanarak 13 fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen hafif beton (FTKYHB) tasarlanmıştır. Tasarlanan FTKYHB'lar 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük $23\pm 2^\circ\text{C}$ standart su kürü uygulanmıştır. Her bir kür yaşı sonrasında, tasarlanan beton serilerine basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyleri uygulanmıştır. Buna ek olarak, 28 ve 90 günlük kür yaşı sonrasında bazı durabilite deneyleri uygulanmıştır. Tasarlanan FTKYHB'ların durabilite özelliklerini belirleyebilmek için yüksek sıcaklık, donma-çözünme, ıslanma-kuruma ve asite dayanıklılık deneyleri uygulanmıştır.

Genel sonuç olarak, FTKYHB tasarımı 13 farklı beton karışımı (D1-D13) ile sağlanmıştır ve bu tasarımı gerçekleştirilen betonların taze beton, dayanım ve durabilite özellikleri

belirlenmiştir. Çalışma sonucunda genel olarak daha kısa fiberlerin kullanıldığı beton karışımlarının taze beton özelliklerinde gelişmeler gözlenmiştir. Buna zıt olarak, makro fiberlerin kullanıldığı serilerin eğilmede çekme dayanımları daha yüksek sonuçlar verirken mikro fiber kullanılan karışımlarda daha düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. En iyi sonuçlar karışımında UK katkısı içeren beton serilerinden ve en kötü sonuçlar ise polipropilen sentetik fiber içeren ve katkı olarak PT içeren serilerden elde edilmiştir. 28 günlük kür yaşı sonrasında, tüm tasarlanan FTKYHB'lar taşıyıcı beton özellikleri kazanmıştır. FTKYHB tasarımında UK kullanımı daha iyi dayanım ve durabilite özellikleri verirken karışımında PT kullanılan seriler bunu takip etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen hafif beton, taze, dayanım ve durabilite özellikleri.



ABSTRACT

THE DESIGN of FIBER REINFORCED SELF COMPACTING LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCED with BITLIS PUMICE and INVESTIGATION of PROPERTIES

Emre KESKİNER

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Nusret BOZKURT

September 2016, 68 pages

This thesis reports a laboratory work results on the design of fibre reinforced self-compacting lightweight concrete produced with Bitlis pumice and investigation of properties. In the thesis, CEM I 42.5 N type cement was used as a binder. Moreover, fly ash (FA) and volcanic pumice powder (VPP) were used as viscosity enhancing admixtures. In the mix design, cement was used in dosages of 400kg/m^3 with mentioned powder admixtures in the rate of 150 kg/m^3 . In the design process, 4 steel and 2 polypropylene synthetic fibres were used having different lengths and aspect ratios. While volcanic pumice aggregate was been using as a coarse aggregate, natural river sand aggregate was used as the fine aggregate in the design process. With all these materials, 13 Fibre reinforced self-compacting lightweight concrete (FRSCLWC) were designed applying slump-flow, V-funnel and L-box tests. Designed FRSCLWCs were cured at the ages of 3, 7, 14, 28, 56, 90 and 150-days in standard water cure at the temperature of $23\pm 2^\circ\text{C}$. After the curing process, compressive strength, flexural tensile strength and ultrasonic pulse velocity tests were applied at each curing day. Besides, some durability tests were also implemented after 28 and 90-curing days. High temperature, freezing-thawing, wetting-drying and acid resistance tests were performed to detected durability properties of designed FRSCLWCs.

FRSCLWC design was achieved in 13 different concrete mixes (D1-D13) and identified their fresh concrete, strength and durability properties. As general result, an improvement was observed on fresh concrete properties with using of smaller fibres in the mix design. On

the contrary, concrete series having macro fibres gave higher flexural tensile strengths while concrete series having micro fibres were giving lowers. The best results were obtained from the concrete series including macro steel fibres and FA while the worst result obtained from the concrete series containing polypropylene synthetic fibres and VPP. After the 28-curing day, all designed FRSCLWCs gained structural concrete properties. FA using in the FRSCLWC design gave the better strength and durability properties and VPP using followed it.

Key words: Fibre reinforced self-compacting lightweight concrete, fresh, strength and durability properties



TEŞEKKÜR/ÖNSÖZ

Tez çalışması sırasında her türlü bilgi, teşvik ve deneyimleri ile yardımlarını esirgemeyen Tez Danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT' a, yüksek lisans eğitimim süresince sağladıkları katkılardan dolayı İnşaat Mühendisliği ABD. Öğretim Üyeleri ve İnşaat Mühendisliği Araştırma Görevlilerine, tez çalışmalarımda ki yardımlarından dolayı bütün arkadaşlarıma, özellikle her türlü maddi ve manevi destekleri ile göstermiş oldukları sabırdan dolayı kıymetli annem, babam ve aileme sonsuz teşekkür ederim. Deney malzemesi desteğinde bulunan Polipropilen Elyaf Sanayi, DOLAN Bims, SİKA Yapı Kimyasalları AŞ'ne ve ZEY Yapı Sanayi Madencilik Enerji Müş. Tic. A.Ş'ye teşekkürlerimi sunarım..

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR/ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Hafif Beton.....	6
2.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	7
2.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı.....	7
2.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi.....	8
2.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları	9
2.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mühendislik Özellikleri	10
2.2.5. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Bileşenleri	11
2.2.6.Taze Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik Deney Metotları	13
2.2.7. Taze beton Reolojisi ve Kendiliğinde Yerleşen Beton	19
2.3. Fiber Takviyeli Betonlar.....	20
2.3.1. Çelik Tel Donatılı Betonlar.....	20

2.3.2. Sentetik Fiber	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Kullanılan Malzemeler	24
3.1.1 Çimento.....	24
3.1.2 Viskozite Arttırıcı Toz Malzeme	25
3.1.3 Agrega	26
3.1.4 Karışım Suyu	27
3.1.5 Kimyasal Katkı Malzemesi.....	27
3.1.6 Kullanılan Fiberler.....	27
3.2 Karışım Oranları.....	27
3.3 Taze Beton Deney Yöntemleri.....	30
3.4 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler	31
3.4.1 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi	31
3.4.2 Basınç Dayanımı Deneyi	32
3.4.3 Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı Tayini Deneyi.....	32
3.5. Durabilite Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler	33
3.5.1 Yüksek Sıcaklık Deneyi	33
3.5.2 Donma-Çözünme Deneyi.....	34
3.5.3 Asit dayanıklılığı deneyi.....	34
3.5.4 Islanma-Kuruma Deneyi	35
4. BULGULAR	36
4.1 Taze Beton Özelliklerinin İncelenmesi	36
4.2. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi	41
4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi	41
4.2.2. Eğilmede Çekme Deneyi.....	43
4.3. Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi.....	45
4.3.1. Yüksek Sıcaklık Deneyi Bulgularının İncelenmesi	45
4.3.2 Donma-Çözünme Deneyi Bulgularının İncelenmesi	51

4.3.3. Asit Dayanıklılık Deneyi Bulgularının İncelenmesi	54
4.3.4 Islanma-Kuruma Deneyi Bulgularının İncelenmesi	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
5.1. SONUÇLAR	61
5.2. ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	68



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
2.1. Hafif Betonların Sınıflandırılması	6
2.2. Çökme sonrası yayılma deney düzeneği aparatları	15
2.3. V – hunisi	16
2.4. L-kutusunun genel yapısı	18
2.5. L - kutusunun tipik tasarımı ve boyutları	18
2.6. a)Reolojik modeller, b)Normal beton ve KYB arasındaki farklılıklar	19
2.7. Düz, pürüzsüz yüzeyli teller	21
2.8. Üzerinde girintiler (çentikler) açılmamış teller	21
2.9. Uzunluğu boyunca dalgalı (kırıklı) teller	21
2.10. Ay biçimi dalgalı teller	22
2.11. İki ucu kırılmış teller	22
2.12. Bir ucu kırılmış teller.....	22
3.1. Taze beton deneylerinde kullanılan aletler	31
3.2. Yük kontrollü eğilmede çekme deneyi ve basınç deneyi aletleri	32
3.3. Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılan laboratuvar tipi fırın.....	33
3.4. Donma-çözünme deneyinde kullanılan deney aleti ve numune örneği	34
3.5. Asit dayanıklılık deneyinde kullanılan numune örneği	35
3.6. Islanma-kuruma deneyinde kullanılan ayarlı fırın.....	36
4.1 Taze betonun yayılma deneyi	38
4.2. Farklı oranlardaki karışımların 500mm’ ye yayılma süreleri	39
4.3. Farklı karışımların V-Hunisi deneyindeki akma süreleri	39
4.4. Farklı karışımların L-kutusu deneyindeki H2/H1 oranları	40
4.5. Sertleşmiş karışım örneklerinin ortalama yaş birim hacim ağırlık değerleri.....	40
4.6. Beton türlerinin yaşlara göre basınç dayanımları	41
4.7. Beton türlerinin yaşlara göre USG hızı	42
4.8. KYFTHB’ların erken yaş eğilmede çekme mukavemetleri	44
4.9. KYFTHB’ların ileri yaş eğilmede çekme mukavemetleri.....	45
4.10. KYFTHB’ların Yüksek sıcaklık deneyinden sonra numunelerde oluşan hasarlar	46
4.11. Yüksek sıcaklık sonrası beton içerisinde çelik fiberlerin görünümü a) 200°C sonrası b)400°C sonrası c) 600°C sonrası d) 800°C sonrası	47

4.12. Yüksek sıcaklık sonrası beton içerisinde polipropilen sentetik fiberlerin görünümü a) 400 ⁰ C sonrası b) 600 ⁰ C sonrası c) 800 ⁰ C sonrası	47
4.13. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 28 günlük basınç dayanımı	41
4.14. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 90 günlük basınç dayanımları	47
4.15. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 28 günlük USG hızları	49
4.16. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 90 günlük USG hızları	49
4.17. KYFTHB'ların yüksek sic. maruz kalmış 28 günlük eğilmede çekme dayanımı	50
4.18. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 90 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımı	51
4.19. KYFTHB'ların donma-çözünmeye maruz kalmış beton basınç dayanımları	52
4.20. KYFTHB'ların donma-çözünme numuneleri	52
4.21. KYFTHB'ların donma-çözünme USG hızları	53
4.22. KYFTHB'ların donma-çözülme deneyleri sonrası eğilmede çekme dayanımları	54
4.23. KYFTHB'ların asit dayanıklılık deneyi basınç dayanımları	55
4.24. KYFTHB'ların asit dayanıklılık deneyine maruz kalmış beton numunesi	55
4.25. KYFTHB'ların asit etkisine maruz kalan numunenin USG hızı tayini	56
4.26. KYFTHB'ların asit etkisine uğramış betonun eğilmede çekme değerleri	56
4.27. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış betonun görüntüsü	57
4.28. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 28 basınç dayanımları	58
4.29. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 90 basınç dayanımları	58
4.30. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 28 günlük USG hızları	59
4.31. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 90 günlük USG hızları	59
4.32. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyi 28 günlük eğilmede çekme değerleri	60
4.33. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyi 90 günlük eğilmede çekme değerleri	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. Hafif Beton Sınıfları	6
2.2. KYB nin kabul edilebilir limit değerleri	13
2.3. KYB' yi değerlendirmek için test özellikleri ve metotları.....	14
3.1. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel değerler ile TS EN197-1 sınır değerleri	25
3.2. Tez çalışmasında kullanılan pomza tozu ve uçucu külün kimyasal analizleri	26
3.3. Pomza agregalarına ait fiziksel özellikler.....	26
3.4. Kimyasal katkıya ilişkin teknik bilgiler	27
3.5. Karışım çeşitliliğini oluşturan fiberlerin uzunluk ve boy/çap oranları.....	28
3.6. Kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait karışım oranları	29
4.1. KYHB serilerinin taze beton özellikleri	37

SİMGELER DİZİNİ

T ₅₀	50 cm çapa yayılma süresi
T _v	geçiş zamanı

KISALTMALAR DİZİNİ

KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
ACI	Vibrasyon kullanılmadan kalıba yerleşen bir beton türü
VAK	Viskozite arttırıcı madde
ASTM	American society for testing and materials
GO	Betonun geçme oranı
FTKYB	Fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen beton
USG	Ultrasonik ses geçirgenliği
SD	Silis dumanı
VP	Pomza tozu

1.GİRİŞ

Beton, bağlayıcı, kum-çakıl, su ve ihtiyaç duyulduğunda katkı maddelerinin karıştırılarak bir arada kullanılmasıyla elde edilen ve karışıma giren maddelerin hesaplar dahilinde belirlendiği oranları hassasiyetle belirlenmiş bir karışımı, gerek duyulan şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve doğru bakım koşulları altında sertleştirmek yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir [1]. Karışımında çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompazitesini arttırır [2]. Günümüzde betonun en yaygın kullanımı, 1850’li yıllarda betonarmenin icadı ile başlamıştır. Çelik çubuklarla donatılmış beton konusunda ilk yayın 1855’ de yazılmıştır. Avrupa ve Amerika’ da betonarmenin gelişmesi bunu hızla izlemiştir. 1900’ ü izleyen yıllarda betonarme ile ilgili yönetmelikler, beton karışım hesapları ile ilgili mukavemet ve su formülleri, ideal granülometri eğrileri ve ilk etkili vibrasyon geliştirilmiştir. 1970-80’li ve onları izleyen yıllarda endüstriyel beton üretiminin dünyada ve ülkemizde hızla geliştiği görülmüştür [1]. Günümüz teknolojisinde üretilen betonlar, özellikle dayanımı, rijitliği, tokluğu, sünekliği ile uzun açıklıklı köprülerin, yüksek binaların, yer altı yapılarının ve diğer alt ve üst yapıların inşa edilebilmesine olanak sağlamaktadır [3].

1980’li yıllarda beton yapıların durabilitesini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalarda Japon bilim adamları Okamura, Ozawa ve Maekawa Tokyo Üniversitesi’nde kendiliğinden yerleşen betonu geliştirdiler [4]. Kendiliğinden yerleşen betonlar, herhangi bir vibrasyon gerektirmeksizin, kendi ağırlığı altında hareket ederek döküldüğü kalıbı boşluk bırakmadan doldurabilen, aynı zamanda bu yüksek akıcı kıvamına rağmen segregasyona uğramayan betonlardır [5]. Akıcı kıvama sahip, gürültü kirliliği oluşturmeyen ve daha az işçilik gerektiren ekonomik betonlardır. Sık donatılar arasından segregasyon olmaksızın akabilen ve her türlü kalıba kendi ağırlığının etkisiyle minimum boşlukla yerleşebilen durabilitesi yüksek, kararlı bir teknik yapıya sahip betonlardır [6].

20. yüzyılın son çeyreğinde lifli betonlar üzerine birçok çalışma yapılmış ve bu konuda önemli mesafeler kaydedilmiştir. Aslında liflerin gevrek malzemeler içinde kullanılması çok eski tarihlere kadar dayanır. Bundan en az 3500 yıl önce Bağdat yakınlarında 57 m yüksekliğindeki AqarQuf, güneşte fırınlanmış samanla karışık tuğlalar ile inşa edilmiştir. Son 100 yıldır asbestli lifler, 50 yıldır selüloz lifler ve son 30 yıldır da çelik, propilen ve cam lifler çimento ürünlerini kuvvetlendirmek üzere kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalar sonucunda betona katılan çelik liflerin betonda meydana

gelebilecek çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Çelik liflerin betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu, çarpma dayanımını, çekme dayanımını ve eğilme dayanımını arttırdığı da görülmüştür [7].

Betona ilave edilen fiberler, ilk çatlak dayanımını yükselterek ve aşırı yükler altında oluşan çatlakların yayılmasına karşı direnç göstererek, betonun dinamik ve sürekli yükler altındaki dayanımını artırır. Çatlak kenarlarında bulunan fiberler, köprü vazifesi görerek üzerlerine gelen gerilmeleri aktarırlar. Böylece çatlamış yapı elemanları, taşıma güçlerini aniden kaybetmezler ve büyük deformasyonlar yapabilirler. Enerji yutma kapasiteleri artar [8].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Genel olarak betonun tanımı ve karışımında kullanılan malzemelerden daha önce bahsedilmiştir. Bu şekilde elde edilen betonda çimento ve suyun oluşturduğu hamur fazı sürekli ortamı, agregalar ise dağınık fazı meydana getirirler. Bu anlamda beton aglomerakompozit bir malzemedir. Betonun istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamı onu diğer yapı malzemelerinden üstün kılan en önemli özelliklerinden biridir. Başlangıçta plastik ya da akıcı kıvamda olup, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan betondan, işlenebilir olması, mukavemetinin yüksek olması ve dış etkenlere karşı dayanıklı olması gibi bir takım özellikler beklenir. Basınç dayanımı, betonun kalitesi hakkında genel bir fikir verir, ancak bazı durumlarda geçirimsizlik ve dayanıklılık daha önemli özellik olabilmektedir. Hangi amaçla üretilirse üretilsin, beton üç özelliği bünyesinde bulundurmalıdır. Bunlar, taze halde iken işlenebilme, sertleşmiş halde iken mekanik dayanım ve çevre koşullarına dayanıklılık yani durabilitedir [9].

Beton hakkında günümüze kadar olan gelişim sürecinin sonunda, ihtiyaçlara cevap verebilmek amacı ile farklı özelliklerde betonlar üretilmektedir. Özellikle son yıllarda, beton endüstrisindeki gelişmeler sonucunda çok yüksek dayanımlara ve kırılma enerjilerine erişilmiştir. Mekanik, fiziksel ve ekonomik özelliklerinin çeşitliliği dolayısı ile net bir sınıflandırma yapılamamaktadır [10].

Mukhlif [11] tarafından 2013 yılında yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, (VP) ve (SD) içeren ve içermeyen kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. İlk grup KYB'lar

VP'nun çimentoyla ağırlıkça %0, %5, %10 ve %20 oranlarında yer değiştirmeleriyle elde edilmiştir. Daha sonra silis dumanının %8 oranında katılmasıyla ikinci grup KYB'lar üretilmiştir. KYB'ların sertleşmiş özellikleri 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda test edilmiştir. Bunun yanı sıra genelleştirilmiş doğrusal model varyans analizi kullanılarak VP değişim düzeyi, SD ilavesi gibi faktörlerin istatistiksel anlamlılıkları irdelenmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre VP miktarının artması KYB'ların akışkanlığını artırırken, SD ilavesi viskoziteyi artırıcı etki göstermiştir. Ayrıca, SD ilavesinin, KYB'ların sertleşmiş özelliklerinde VP kullanımından kaynaklanan olumsuz etkiyi telafi ettiği görülmüştür.

Dolgun ve Özcan [12] tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada, Nevşehir ilinden getirilen, öğütülmüş toz pomzanın kendiliğinden yerleşen beton üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel karışımlarda su/bağlayıcı oranı ise 0,4 ve bağlayıcı miktarı 500 kg/m³ sabit olarak belirlenmiştir. Kontrol betonuna, normal portland çimentosu ile % 10, 15, 20 ve 25 değişik oranlarında pomza tozu ilave edilmiştir. Üretilen betonlar kaynar kür, sıcak kür, standart kür şartlarında deneylere tabi tutularak ultrasonik ses hız değerleri ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Kaynar kür şartlarında ise basınç dayanımlarının pomza ilavesi ile artış gösterdiği sıcak kür şartlarında pomza tozu ilavesinin basınç dayanımlarında düşüşe neden olduğu, tespit edilmiştir. Standart kür şartlarında bırakılan betonların 3 ve 7 günlük basınç dayanımlarının pomza tozu ilavesi ile birlikte düşüşe neden olduğu, 28 gündeki betonların ise pomza tozu ilavesinin kontrol betonun basınç dayanımlarına yaklaştığı bazı betonlarda bir miktar artış sergilediği görülmüştür. Standart kür edilen beton numunelerde 28 günlük aşınma dayanımlarının pomza tozu ilavesi ile arttığı ve üç farklı kür durumunda basınç dayanımlarının ultrasonik ses hız değerleri ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Artık [13] tarafından 2009 yılında yapılan bir çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonlarda farklı agregaların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, 5 seride çakıl ve 5 seride kırma taş agregaları kullanılarak, her bir seriden 150 mm'lik küp numuneler ile 18'er numune olmak üzere toplam 180 adet beton üretilmiştir. Su/bağlayıcı oranı değişken olduğu ve bağlayıcı miktarın sabit alındığı beton deneyleri tasarlanmıştır. Üretilen beton numunelerin taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri uygulamışlardır. Taze beton deneyleri olarak T₅₀₀ yayılma zamanı, çökmede yayılma, VT5, V-hunisi, Doldurma kutusu, L-kutusu, hava içeriği, birim hacim ağırlık deneyleri yapmışlardır. Sertleşmiş beton deneyleri olarak da ultra ses, basınç dayanımı, yarmada çekme, birim hacim ağırlık, aşınma ve donma çözülme deneyi yapmışlardır. Çıkan sonuçlara göre kırma ve çakıl taş agreganın kendiliğinden yerleşen betonun dayanıklılık ve dayanım

özelliklerine etkisini karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda taze beton özelliklerinin genellikle çakıllı serisinde, sertleşmiş beton özelliklerinin çakıl serisinde ise 28. gündeki dayanımları 33,18 ile 50,14 MPa arasında olurken kırma taş serisinde ise 42,12 ile 49,85 MPa arasında değerler aldığı; kırma taş serilerinde daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.

Özgüler [14] tarafından 2007 yılında yapılan bir çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonların agrega tipinin etkisi ile mekaniksel özelliklerin üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyde Elazığ Palu yöresinde bulunan doğal agrega ve kırma taş kullanılmış çimento olarak ise CEM I 42.5 R kullanılmıştır. İnce malzeme olarak Elazığ yöresinden kolaylıkla temin edilebilecek ve atık durumdaki bir madde olan Elazığ Eti Krom AŞ'ye ait Ferrochrom tozu 125 μ 'luk elekten elenerek deneylerde kullanılmıştır. Kimyasal katkı madde olarak Sika Kimyasalları AŞ'ye ait ViscoCrete 3080-VP katkı maddesi kullanılmıştır. Bu çalışmada, agrega boyutu 16mm olan 350 ve 400 dozlu silindir, küp ve kırış numunelerden oluşan 4 seri için beton testleri uygulanmıştır.

Sağlam ve arkadaşları [15] tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, Kendiliğinden yerleşen betonun genel özelliklerini, bileşim özelliklerini ve çalışma mekanizmasını incelemişlerdir. Ayrıca prefabrike ve hazır beton sanayiinde kullanılan farklı çimentolarla farklı katkılarla uyumlarını araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel testlerde taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından katkı-çimento etkileşiminin mühim olduğu kanaatini vurgulamışlardır. Bu sebeple uygulamaya başlamadan önce katkı-çimento uyumlarının deneysel çalışmalarla yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Shahid Iqbal [16] tarafından yapılan bir çalışmada fiber takviyeli betonun genel özelliklerini incelemiştir. Çelik lif içeriğinde % 0.5 den % 1.25'e bir artıştan sonra sıkışma dayanımında hafif bir azalma eğilimi gösterir. Çelik lif miktarının artması ile basınç dayanımında % 7 düşüş olmuştur. Yarmada çekme dayanımı deneyleri etrafında % 0,75 çelik lif içeriğinin artması ile % 18 lik yarma ve çekme mukavemetinde artış olduğunu göstermektedir. Her ne kadar çelik lif miktarının artması ile betonun elastisite modülü hafif bir azalma olsa da söz konusu değişim önemli değildir. % 0,75 veya daha fazla çelik lif içeriği kullanıldığında eğilme gücü artar ve beton sertleşme davranışı sergiler. Yani % 70 civarında eğilme mukavemetinde artış ancak % 0.5 den % 1.25 çelik lif miktarının artması ile ilk çatlak yükünde % 11 civarında hafif bir artış olur [16].

Saim Sinan Boratav [17] tarafından yapılan bir çalışmada fiber takviyeli betonun genel özelliklerini incelemiştir. Kullanılan liflerin, kuru birim ağırlığı önemli ölçüde arttırmadığı görülmüş, ancak plastik ve rötre deneylerinde özellikle çelik lifin olumlu yönde

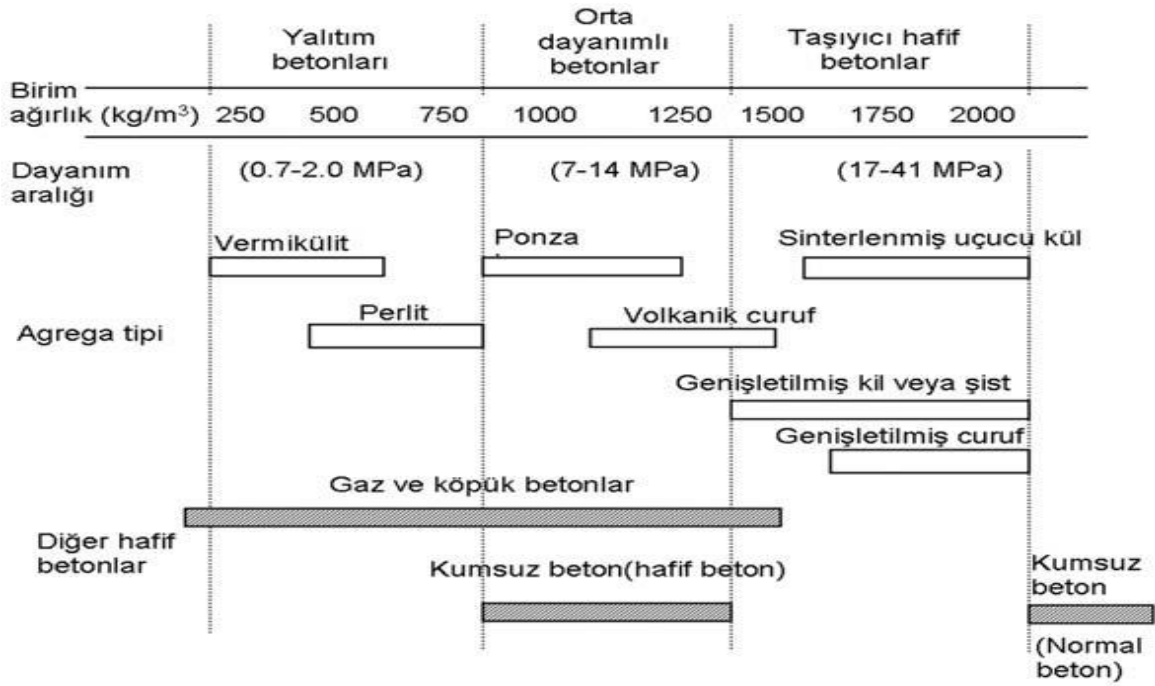
katkısı olduğu saptanmıştır. Beton kuru birim ağırlığı 1900 kg/m³ miktarlarında tutularak 50 MPa'lık basınç dayanımları elde edilmiştir. Elastik modulus değerlerinin ise normal betonunkinden daha az olduğu saptanmıştır [17].

Ghazal Asaad [18] tarafından yapılan bir çalışmada fiber takviyeli betonun genel özelliklerini incelemiştir. Kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik özelliklerinin karbon lif katılmasından önemli bir şekilde etkilendiğini gösterdi. Ayrıca, karbon lif kullanımının akışkanlaştırıcı ihtiyacını arttırdığı da gözlemlendi [18].

Murat Kurt [19] tarafından yapılan bir çalışmada fiber takviyeli betonun genel özelliklerini incelemiştir. Çimento yerine yüksek fırın cürufu ve uçucu külün ikamesi ile betonun yayılma çapı artarken, pomza tozunun ikamesi ile de betonun yayılma çapında azalma görülmüştür. Kendiliğinden yerleşen hafif betonda yoğunluk arttıkça işlenebilirliğin de kolaylaştığı görülmektedir. Su/(çimento+mineral katkı) oranı ve mineral katkı türü sabit olmak üzere hafif agregası (pomza) miktarı artırıldığında 50 cm çapa yayılma süresinin uzadığı görülmektedir. %100 hafif agregadan (pomza) üretilen I. grup karışımlarda uçucu kül içeren karışımların V-hunisi akış süresi 8-12 sn arasında kalırken, yüksek fırın cürufu içeren karışımların V-hunisi akış süreleri 12-17 sn arasında kalmaktadır. Pomza tozu içeren karışımlar ise 17-24 sn arasında değişmektedir. Uçucu külün V-hunisi akış süresini kısaltmada daha etkili olduğu görülmüştür. Hafif agregası oranının artması yani yoğunluğun azalması V-hunisi akış süresini artırmıştır. Betonun V-hunisinden akış sebebi kendi ağırlığının eşik gerilmeyi aşması olduğundan, KYHB'larda bu sürenin uzayacağı açıktır. Bunun iki nedeni olabilir. Birincisi betonun akış sebebi kendi ağırlığının eşik gerilmeyi aşması olduğundan, birim hacim ağırlık azaldıkça akış süresi uzayacaktır. Bu yüzden önerilen değerlerin bir miktar üzerindeki sürelerde V-hunisi akış süresi uygun kabul edilebilir. İkinci sebebi karışım içerisinde hafif agregası miktarının artması taze betonun ayrışma eğilimini artırmaktadır. Mineral katkı oranı ve türü ile su/(çimento+mineral katkı) oranının ısı iletkenlik katsayısına etki ettiği görülmüştür. Su/(çimento+mineral katkı) oranı arttıkça betonun boşluk hacmi artacağından ısı iletkenliğinin azalması beklenen sonuçtur. Hafif agregaların su emme yüzdesi oldukça yüksektir. Karışım sırasında ya da taze beton deneyleri sırasında su emmeye devam etmesi deneylerin homojenliğini etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda su emdirilmiş hafif agregası kullanılmalıdır [19].

2.1. Hafif Beton

Hafif betonlar çoğunlukla birim ağırlık ve dayanım şartlarına göre sınıflandırılır. Taşıyıcı olan hafif betonların birim ağırlığı 1450-1800 kg/m³ aralığında bulunmaktadır. Mukavemetleri 7-17 N/mm² arasında bulunan betonlar yalıtım betonu ve orta dayanımlı beton sınıfına girer[20].



Şekil 2.1. Hafif Betonların Sınıflandırılması [21]

Çizelge 2.1. Hafif Beton Sınıfları [20]

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanım Aralığı (MPa)
S1	800	1-7
S2	800-1200	7-10
S3	1000-1400	10-14
S4	1300-1800	14-25
S5	1500-1800	25-40
S6	1800-2000	40-70

S2 sınıfında bulunan betonlar yapının toplam ağırlığını düşürecek duvar olarak kullanılabilirler. Böylece depreme karşı dayanıklılıkta da büyük fayda sağlanmış olur. Sınıf

4 ve üstü için endüstriyel yolla üretilen hafif agregaların kullanılmasıyla hafif beton elde edilir [22].

Bazı ülkelerde hafif betonun taşıyıcı beton olarak kabul edilebilir olması için en düşük basınç dayanımının 17 MPa'ın üstünde olması öngörülmüştür. Bazı ülkelerde ise sınıflandırma için birim ağırlıkla ilgili bir sınırlandırma getirilmeyerek koşul konulan değer basınç dayanımı ve ısı iletim katsayısı olmuştur[22].

Çizelge 2.1' deki gibi sınıflandırılırsa S1 sınıfındaki beton ısı yalıtımında ve kısmen taşıyıcı beton olarak kullanılabilir. S2 ve S3 betonları kısmen yalıtım özelliği olan taşıyıcı betonlardır. S4, S5 ve S6 betonları ise taşıyıcı hafif betonlardır fakat birçok ülkede taşıyıcı beton olarak kabul edilirler. ASTM C330 standardında hafif beton için 28 günlük silindir basınç dayanımının 17 MPa' dan küçük olmaması ve birim ağırlığının 1840 kg/m^3 ' ten fazla olmaması istenmektedir[21].

Hafif betonlar ilk olarak ekonomik olmaları nedeniyle kullanılırlar. Beton kalıbına yerleşirken daha düşük basınç oluşması nedeniyle üretim ve yerleşme kolaylaşır. Yangın bakımından ise normal betona göre daha elverişlidir. Bunların yanında boşluklu yapı oluşturmasından dolayı mukavemetleri düşer. Aşınmaya karşı dayanıksızdır ve rutubete karşıda yalıtım gereklidir[22].

2.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton

2.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı

Taze betonun homojen sıkıştırma enerjisi ile özellikle işlenilebilirliğin düşük olması halinde sık donatılı kalıplara yerleştirilmesi oldukça güçtür. Betonun sıkıştırma enerjisine gerek olmadan kendi ağırlığı ile sıkışarak yerleşmesi istenmiştir. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı yararlar bilim adamlarını bu konuda araştırma yapmaya yöneltmiş, özel bir tip beton üretilmesi ihtiyacı hissedilmiştir. Taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak için kendiliğinden yerleşen beton kavramı ortaya çıkmıştır [22, 23].

Taze betonun kendiliğinden yerleşme özelliği, betonun sadece yer çekimi etkisiyle, homojenliğini kaybetmeden kalıbı doldurabilme ve donatıları sarabilme kabiliyeti olarak tanımlanır. Bu kabiliyete kendiliğinden yerleşen betonun doğal reolojik özelliklerini kazanacak şekilde tasarım yapılmasıyla ulaşılır. Eğer betona yerleştirme esnasında

vibrasyon, şişleme veya buna benzer bir etkiden kaynaklanan bir dış enerji uygulanması gerekmiyorsa bu beton, “kendiliğinden yerleşen” olarak tanımlanabilir [22, 23, 24].

KYB literatürde farklı isimlerde kullanılmaktadır. Bunlar, Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete), Kendiliğinden Yerleşen Beton (Self-Consolidating Concrete) ve Kendiliğinden Seviyelenen Beton (Self-Leveling Concrete)’dur. Bunlardan en sık kullanılanı ise kendiliğinden yerleşen beton adıdır [25]. ACI’nın kendiliğinden yerleşen beton tanımı şöyledir; Kendiliğinden yerleşen beton, yüksek akışkanlığa sahip, ayrışma göstermeden yayılarak kalıbı doldurabilen ve mekanik vibrasyona ihtiyaç duymadan donatıyı sarabilen betondur [26]. Kuzey Amerika’da, kendiliğinden sıkışma (self-compacting) yerine (self-consolidating) tabiri kullanılmaktadır. Kendiliğinden seviyelenme (self-levelling) özelliğinin, zorunlu olmamakla birlikte, kendiliğinden sıkışma özelliğine eş değer olduğu belirtilmektedir [27]. 2005 yılında çıkarılan EFNARC (2005) Standardı da kendiliğinden yerleşen betonu homojenliğini kaybetmeden ve vibrasyon ihtiyacı duymadan, sık donatılı durumlarda dahi kendi ağırlığı ile akabilen ve kalıbı tamamen doldurabilen beton olarak adlandırmıştır [22].

2.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi

KYB’lar 1988 yılında Japonya’da betonarme yapılar yapmak amacıyla geliştirildi. KYB üzerine yazılan ilk yazı 1989’da Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında sunulmuştur. Aynı bildirinin 1992’de İstanbul’daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında sunulması KYB kavramının dünyaya yayılmasını kolaylaştırmıştır. 1994’de Bangkok’daki ACI çalıştayından sonra KYB, dünyadaki araştırmacıların ve mühendislerin ilgi odağı haline gelmiştir. 1996’da New Orleans’da ACI Sonbahar Kongresinde KYB, Amerika ve Kanada’da da iyice yaygın hale gelmiştir; sonuç olarak KYB üzerine dünya ölçeğinde araştırmalar başlamış oldu [24]. Diğer bir görüşe göre ise KYB Japonya’da su altı beton dökümü uygulamalarında vibrasyonsuz tekniğin kullanılmasının verdiği tecrübelerle üretilmeye başlanmıştır. 1986 yılında Tokyo Üniversitesinde Okamura’nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam ettirmişlerdir. Collepardi’ye göre ise, ilk KYB uygulaması 1980’lerin başında İtalya’nın S. Marco Rıhtım inşaatında su altı temel betonu dökümünde 40.000 m³ Reoplastik Beton kullanılarak yapılmıştır. Bu betonun çok yüksek viskoziteye (kohezif), vibrasyona gerek duyulmadan su altında kalıba yerleşebilen ve bu kohezyonuyla deniz suyunun yıkayıcı

etkisine direnç gösterebilen özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir. Neticede kimyasal katkı teknolojisinin gelişmesi, Reoplastik Beton ve su altı betonu uygulamalarından tecrübe ve bilgi birikiminin oluşması KYB'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır [29, 30].

Bugün KYB kullanılarak elde edilen üstünlüklerin ötesinde, bu kullanımı geleneksel hale getirerek genele yayma fikri ulaşılmak istenen bir hedef olarak görünmektedir. KYB ile ilgili dünyada yapılmış araştırmalar KYB'nin tüm sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Pratikteki sorunları görmek için pilot uygulama projeleri geliştirilmiştir. Günümüz itibarıyla önemli deneyimler elde edilmiş ve büyük gelişme kaydedilmiştir, ancak bazı noktalarda halen yanıtlanması gereken sorular bulunmaktadır [31].

2.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları

Günümüzde KYB özel tip betonlar sınıfında sayılabilir. Genellikle büyük boyutlu inşaatlarda, sık donatılı dar kesit özelliklerinin bir arada olduğu perde tipi elemanlarda, tamir, bakım ve yenileme işlerinde, tünel gibi özel kalıp gerektiren işlerde kullanılan KYB henüz normal beton kadar geniş kullanım alanına sahip değildir. Bunun en önemli nedeni maliyetinin yanı sıra, dizayn ve uygulama alanlarında yeni yöntemler gerektirmesidir. KYB üretiminde yöntem geliştirilmesi çalışmaları çeşitli kuruluşlar tarafından devam ettirilmektedir [32].

ABD'de KYB'nin kullanımı otoyol köprü inşaatlarında ve oldukça sınırlıdır. Bununla beraber, Amerika prefabrik endüstrisi KYB teknolojisini mimari beton uygulamalarında kullanmaya başlamıştır. KYB, otoyol köprü inşaatlarında daha geniş uygulama için yüksek bir potansiyele sahiptir. 2000 yılında Japonya'da prefabrik elemanlarda ve hazır beton olarak kullanılan KYB miktarı yaklaşık, 400.000 m³ olmuştur [33].

KYB ile betonarme yapılarda geleneksel betona kıyasla mimari ve estetik açıdan çok daha kaliteli dış görünüş elde edilebilmektedir. Aynı zamanda boşluksuz yüzey betonarme elemanlar için geçirimsiz ve dolayısıyla durabil bir yapı anlamına gelir. Polimer teknolojisinin sürekli gelişimiyle gelecek yıllarda çok daha düşük su/toz oranına sahip, dayanım ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslı KYB'ler üretilmesi beklenmektedir [34].

2.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mühendislik Özellikleri

Bütün özel betonları geleneksel betonun bir türevi olarak düşünmek gerekir. Bu nedenle özel bir beton türünün özellikleri belirlenirken, geleneksel beton referans kabul edilmektedir. KYB içinde aynı durum söz konusudur. Örneğin, sertleşmiş betonun özelliklerinin tespiti ve durabilite özellikleri için geleneksel beton ve KYB aynı standartlara tabidir [35]. KYB tasarlanırken, betondan beklenen özellikler belirlenmelidir. Baskın olması istenen özellikler doğrultusunda mühendis, karışım oranları, döküm ve bakım şartları gibi özellikleri belirleyecektir. KYB konusunda yapılan sempozyumlarda sunulan bildirilerde, projelerde ve makalelerde, bu betonun sadece yüksek dayanımlı beton olarak düşünülmemesinin doğru olacağı kanaatine varılmıştır. KYB karışım oranları belirlenirken istenen özellikleri (taze veya sertleşmiş halde) doğrultusunda yüksek performans gösteren betondur [36, 37].

2.2.4.1. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı, geleneksel betonda olduğu gibi KYB’de de tanımlayıcı en önemli özelliktir. Tespiti geleneksel betonda olduğu gibidir. Dayanımı yüksek olan betonların, performanslarının da yüksek olacağı bilinmektedir. Ancak belirli bir beton özelliğini iyileştirmek için sürekli beton dayanımını çok yüksek tutmaya çalışmak ekonomik kayıplara yol açacaktır. Bu nedenle inşa edilecek yapı için yeterli dayanım sınıfı ve istenen diğer özellikler belirlenmeli, bu beklentileri karşılayacak şekilde beton karışım oranları düzenlenmeli ve uygulanmalıdır [36].

2.2.4.2. Çekme dayanımı

KYB büyük çoğunlukla basınç dayanımı kullanılarak sınıflandırılır. Bu durumda da geleneksel betonda olduğu gibi çekme dayanımının önemi yoktur ve ihmal edilir. Zaten KYB’nin çekme dayanımı, geleneksel betonda olduğu gibi oldukça küçüktür. Betonarme elemanlardaki çatlak genişliklerini kontrol altında tutmak, erken yaştaki termal etkilerden betonu korumak ve başka diğer sebeplerle betonun çekme dayanımının artırılması gerektiği durumlarda, bu özellik KYB’de lif kullanılarak betona kazandırılır [36].

2.2.4.3. Elastisite modülü

Yapı elemanlarının sehimlerinin hesaplanmasında, levha elemanlarda kontrol parametresi olarak ve ön gerilmeli elemanlarda elastisite modülünün bilinmesi gerekir. Agrega elastisite modülü, tipi ve miktarı, betonun elastisite modülü üzerinde direkt etkilidir. Artan toz miktarı nedeniyle, KYB'nin elastisite modülünde geleneksel betona oranla değişiklikler olacaktır. Bu durum tasarım ve uygulamalarda göz önünde bulundurulmalıdır [36].

2.2.5. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Bileşenleri

KYB için kullanılan malzemeler geleneksel vibrasyonlu beton için kullanılan malzemelerle aynıdır. Ancak KYB' nin tutarlı ve üniform bir performansa sahip olması için ilk seçimde ve ayrıca gelen harmanların üniformluğunun sürekli gözlemlenmesinde ilave dikkat gereklidir. Bu şartları sağlamak için bileşen malzemelerin kontrolü arttırılmalı ve kabul edilebilir değişiklikler sınırlandırılmalıdır. Böylece KYB' nin günlük üretimi her bir harmanı ayarlama ve/veya test etme ihtiyacı olmadan uygunluk kriterleri içinde kalır [38].

2.2.5.1. Çimento

Geleneksel betonda kullanılan çimentolar KYB'da da kullanılmaktadır. KYB ile ilgili literatürde PÇ-42.5 çimento kullanımı öngörülmektedir. Çimento dozajının 350-450 kg/m³ arasında olması tavsiye edilir. Çimento dozajının 500 kg/m³'ten fazla olması rötreyi ve dolayısıyla beton çatlaklarını artıracak belirtilmektedir. Çimento dozajının 350 kg/m³'ten az olması ise aktivitesi yüksek bir uçucu kül veya bir miktar gizli bağlayıcılık özelliği olduğu bilinen yüksek fırın cürufunun çok ince öğütülmüş hali ve bunlara ilaveten sağlanabiliyorsa yeterli miktarda silis dumanı ilavesi ile mümkündür [37].

2.2.5.2. Mineral katkıları

Tane boyutu 0.125 mm'den küçük olan, öğütülmüş kireçtaşı, öğütülmüş granit tozu gibi inert toz malzeme ile uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi toz halinde puzolanik malzemeyi içerir. Mineral katkı KYB'da geleneksel betondan daha fazla

kullanılır. Beton harcının hacimce % 40'ı kum, % 60'ı ise mineral katkı+çimento+su' dan oluşan çimento hamurudur [39].

2.2.5.3. Toz malzeme

Mineral katkı ve çimento miktarı toplamına 'Toz Malzeme' denilmektedir. Betonda toz malzeme miktarı genelde 400-600 kg/m³ arasında kalmaktadır [40].

2.2.5.4. Karışım suyu

Yine geleneksel betonda kullanılabilen su KYB'da da karışım suyu olarak kullanılabilmektedir.

2.2.5.5. Süper-akışkanlaştırıcı katkı

Kalitesi kanıtlanmış bir süper-akışkanlaştırıcı satıcı firmanın tavsiyesi doğrultusunda ve deney karışımlarına göre ayarlanarak, çimento ağırlığının belirli bir oranında betona karıştırılır. KYB için şarttır [39].

2.2.5.6. Viskozite artırıcı katkı (VAK)

Ayrışma direnci sağlamak için satıcı firmanın tavsiyesi doğrultusunda ve deney karışımları sonucu uygun dozda betona katılır. Mineral katkı türü ve miktarına, süper-akışkanlaştırıcı türü ve miktarına, çakıl ve kumun granülometrik ayarlamalarına bağlı olarak bazı KYB'lar Viskozite Artırıcı Katkı kullanılmaksızın istenen taze beton özelliklerini sağlayabilir.

2.2.5.7. Agregalar

Agreganın nem miktarı, su emmesi, gradasyonu ve ince malzeme çeşitliliği yakın bir şekilde gözlemlenmeli ve sabit bir kalitede KYB üretimi için sürekli izlenmelidir[40].

2.2.5.7.1. İri agreg

Maksimum dane boyutu 20 mm olan, geleneksel betonda kullanılan kırmataş veya doğal agregalar kullanılabilir. Yüksek akışkanlığın sağlanabilmesi için betondaki iri agreg miktarının sınırlandırılması gerekir [39].

2.2.5.7.2. İnce agreg

0.125 mm < d < 4 mm aralığında geleneksel beton için kullanılan doğal veya kırma kum KYB içinde kullanılır.

2.2.6. Taze Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik Deney Metotları

KYB nin kabul edilebilirliği için KYB taze beton deneyleri yapılır ve bu deneylerde ölçülen değerler için kabul edilebilir test özellikleri vardır. Bu limit değerler ve test özellikleri Çizelge 2.2. ve Çizelge 2.3. de verilmiştir.

Çizelge 1.2. KYB nin kabul edilebilir limit değerleri [36].

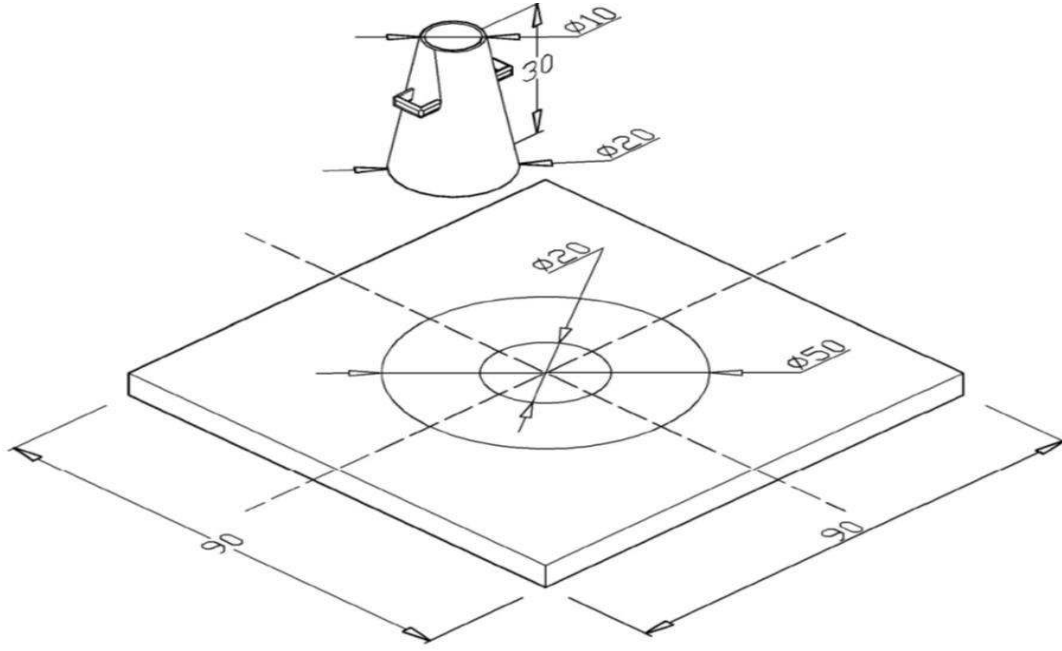
Deney metodu	Birim	Limit değer	
		min	max
Yayılma tablasında yayılma	mm	650	800
Yayılma tablasında ilk 50 cm yayılma için geçen süre	sn	2	5
(V - hunisi)	sn	6	12
V hunisi 5 dakika gecikmeli	sn	0	3
(L kutusu)	H2/H1	0,8	1
(U kutusu)	(H2-H1) mm	0	30

Çizelge 2.3. KYB' yi değerlendirmek için test özellikleri ve metotları [41].

Özellik	Test metodu	Ölçülen değer
Akıcılık/doldurma yeteneği	Çökme – yayılma deneyi	Toplam yayılma
	Kajima kutusu	Görsel doldurma
Viskozite/akıcılık	T500	Akma zamanı
	V- huni	Akma zamanı
	O- huni	Akma zamanı
	Orimet	Akma zamanı
Geçme yeteneği	L-kutusu	Geçme oranı
	U-kutusu	Yükseklik farkı
	J-halkası	Kademeli yükseklik,
	Fill Box	GeçmeKkabiliyeti
	Kajima kutusu	Görsel geçme yeteneği
Ayrışma direnci	Penetrasyon	Derinlik
	Elek ayrışması	Terleme yüzdesi
	Oturma kolonu	Ayrışma oranı

2.2.6.1. Slump yayılma deneyi

Bu deney çökme (ASTM C143-90a) deneyinin bir düzenlemesidir. Standart çökme deneyinde 20 cm'den daha çok çöken betonlarda, yayılma çapı ile kıyaslama yapmak karşılaştırma açısından daha hassas sonuçlar vermektedir [33]. Deney için 90 x 90 cm ebatlarında su geçirmez ve sert malzemeden yapılmış (çelik veya kontrplak) pürüzsüz bir tabakaya, akış zamanını kaydetmek için 0,1 saniye hassasiyetli bir kronometre ve Abrams hunisine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.2. Çökme sonrası yayılma deney düzeneği aparatları [32].

Pürüzsüz tabakanın merkezine Şekil 2.2’de görüldüğü gibi $\varnothing 20$ cm ve $\varnothing 50$ cm çaplı daireler çizilir. Tabaka ve huni ıslak bir bezle silinir, tabakada kuru yer kalmayacağı gibi su artığı da olmamalıdır. Temizlenmiş tabaka sabit ve dengeli bir şekilde yerleştirilir. Huni 20 cm’lik dairenin içerisine yerleştirilerek hazırlanmış olan 6-7 lt’lik beton, standart şişleme yapılmadan huniye bir kap vasıtasıyla serbest düşürülerek doldurulur. Huninin hidrostatik basınç etkisiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek için doldurma sırasında huniyi tabakaya doğru bastırmak gerekir. Huni 30 sn’den fazla bekletilmeden tabakaya dik olarak tek bir hareketle yukarı doğru kaldırılır. T50 değeri için, huninin tabaka ile bağlantısının koptuğu anda kronometre başlatılır ve harç 50 cm halkasına ilk değdiği anda durdurulur ve bu değer kaydedilir. Yayılma tamamlanıncaya kadar beklenir. Bu değer taze betonun akış hızını belirler ve plastik viskozite ile ilişkilendirilmektedir. 50 cm çapa yayılma süresi T_{50} olarak adlandırılır. Viskozitesi yüksek karışımlarda yayılmanın tamamlanması için birkaç dakika beklemek gerekebilir. Yayılma durunca birbirine dik iki çap ölçülerek deney tamamlanır. Bu çaplar arasındaki fark 5cm’den fazla ise deney tekrarlanmalıdır [38].

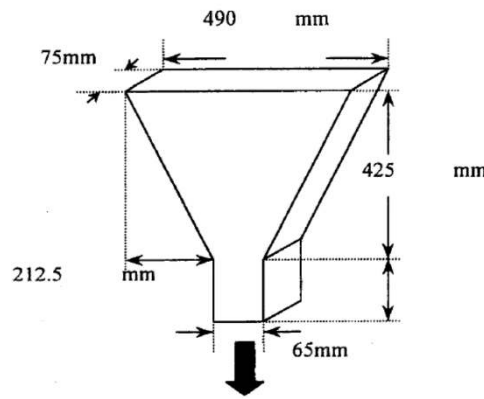
2.2.6.2. V Hunisi deneyi

V hunisi deneyi kendiliğinden yerleşen betonun viskozite ve doldurma becerisini belirlemek üzere kullanılır. En büyük agregâ boyunun 20 mm’nin üzerinde olduğu durumlarda test

uygun değildir. Bu testi yapmak için V şeklindeki huni taze beton ile doldurulur, betonun huniden akma süresi ölçülür ve V-hunisi akma süresi olarak kaydedilir. Huni ve tabanındaki kapak temizlenir, kapak dahil tüm iç yüzey hafifçe nemlendirilir. Kapak kapatılır ve huninin içine beton numunesi sıkıştırmadan, sallamadan dökülür. Ardından beton numunesinin üst yüzeyi düz bir çubuk ile düzeltilir ve böylece beton numunesinin üst yüzeyi ile huninin üstünün aynı hizada olması sağlanır. Kap tekrar betonun dökülebileceği şekilde huninin altına yerleştirilir. Huniyi doldurduktan 10 ± 2 saniye sonra kapak açılır ve kapak açıldıktan sonra huninin üstünden aşağıya bakıldığında ilk olarak alttaki kap görünene kadarki betonun huniden kaba geçiş zamanı (t_v) kronometre ile 0.1 saniye hassasiyetinde ölçülür. t_v V-hunisi akma süresidir.

Test aletleri:

1. V-hunisi: Şekil 2.3. deki boyutlarla (tolerans ± 1 mm) tabanında su geçirmeyen ve çabuk açılabilen bir kapak içermelidir. Huninin desteklenerek üst kısmının yatay durması sağlanmalıdır. V-hunisi metalden yapılmalı, yüzeyleri düzgün, çimento harcı ile reaksiyona girmeyecek ve paslanmayacak şekilde olmalıdır.
2. Kap: Hacmi 12 lt' den az olmamak koşuluyla, en az huninin hacmi kadar olacak.
3. Kronometre: 0.1 saniye hassasiyetinde ölçüm yapan kronometre.
4. Düz kenarlı çubuk: Hunideki beton numunesinin üst yüzeyini düzeltmek için düz bir çubuk.



Şekil 2.3. V – hunisi

2.2.6.3. L – Kutusu deneyi

L-kutusu testi KYB' nin donatı çubukları gibi dar boşluklardan, ayrışmaya veya tıkanmaya uğramadan geçme kabiliyetini belirlemek için uygulanır. İki türü vardır: İki çubuklu test ve

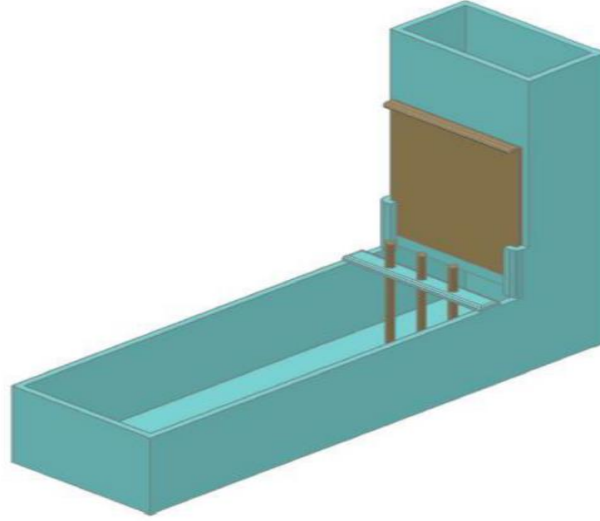
üç çubuklu test. Üç çubuklu test daha sık donatı çubuklarının bulunduğu durumları simgeler. Hacmi bilinen belli bir miktar taze betonun dikey konumdaki düzgün donatı çubukları arasından yatay olarak akması sağlanır ve donatının ilerisine geçen betonun yüksekliği ölçülür. L-kutusunu düz ve yatay bir taban üzerine oturtulur, dikey ve yatay kısımlar arasındaki kapağı kapatılır. Beton numunesini kaptan L-kutusunun besleme gözüne dökülür ve 60 ± 10 saniye kadar bekletilir. Ayırışma olursa not edilir ve daha sonra kapağı kaldırarak beton numunenin yatay kısma geçişi sağlanır. Betonun akması durduğunda L-kutusunun yatay kısmının en sonunda kutunun genişliği boyunca eşit aralıklarla üç noktada, betonun üst kısmı ile kutunun yatay kısmının üst kısmı arasındaki dikey mesafe ölçülür. Ardından kutunun yatay kısmının yüksekliğini kullanarak bu üç ölçüm ile betonun ortalama derinliği (H_2 mm) hesaplanır. Aynı prosedürü kullanarak kapağın hemen arkasındaki betonun ortalama yüksekliği de (H_1 mm) ölçülür.

Betonun geçme oranı (GO) aşağıdaki denklemle hesaplanır:

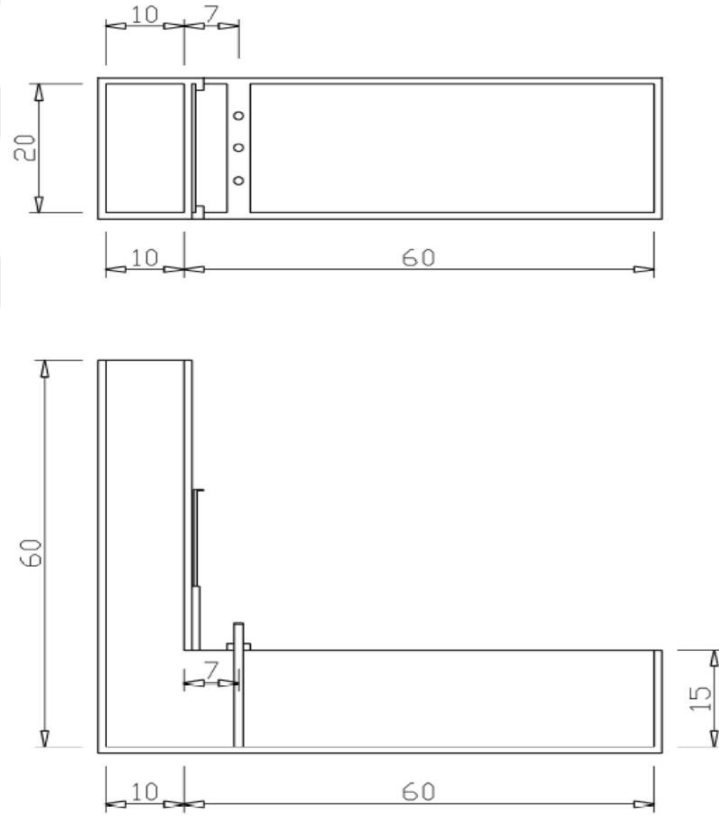
$$GO = H_2 / H_1$$

Test aletleri:

1. L-kutusu: Şekil 2.4.'deki genel düzeneğe ve Şekil 2.5.'deki boyutlara (tolerans ± 1 mm) göre hazırlanmış olmalıdır. L-kutusu rijit olacak şekilde hazırlanmalı, yüzeyleri düz, pürüzsüz, çimento harcı ile reaksiyona girmeyecek ve paslanmaya uğramayacak şekilde olmalıdır. Dikey kazan temizlik kolaylığı için kaldırılabilir olmalıdır. Kapı kapandığında dikey kazanın hacmi en üst seviyeye kadar doldurulduğunda 12.6 - 12.8 lt olmalıdır. Donatıyı tutan düzenekte, iki çubuklu deney için 55 mm aralıklı 12 mm çapında 2 adet düzgün çubuk ve üç çubuklu deney için 12 mm çapında 41 mm aralıklı 3 adet düzgün yüzeyli çubuk kullanılır. Bu donatıların L-kutusunda yerleri değiştirilebilir olmalı ve L-kutusunda kutu içerisinde dikey ve yatay olarak eşit uzaklıklarda yerleştirilmelidir.
2. Cetvel: 0 mm' den 300 mm' ye kadar her 1 mm' de bir işaretlenmiş cetvel.
3. Kap: Numuneyi tutmak için hacmi 14 lt' den az olmayan bir kap.



Şekil 2.4. L-kutusunun genel yapısı

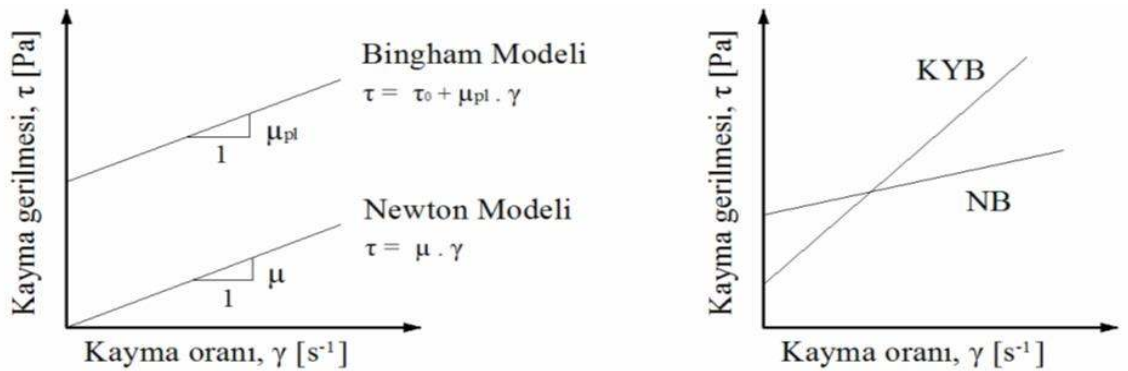


Şekil 2.5. L - kutusunun tipik tasarımı ve boyutları

2.2.7. Taze beton Reolojisi ve Kendiliğinde Yerleşen Beton

Reoloji, maddenin akışı ve deformasyonu ile ilgilenen bir bilim dalı olarak ifade edilebilir. Özellikle mühendislik uygulamalarında reoloji kavramı, ideal katılara, basit akışkanlara ve gazlara uymayan malzemelerin davranışını incelemeye kullanılır. Davranışları ideal malzeme kanunlarına uyan malzemelerin özellikleri arasında önemli farklılıklar yoktur. Mühendislik uygulamalarında reoloji, genellikle karmaşık davranışlar gösteren malzemeler için incelenmektedir. Beton söz konusu olduğunda, taze betonun reolojik davranışları göz önüne alınır [39].

Taze betonun akıcılık özelliği dikkate alındığında, matematiksel olarak modellenmesi için, sıvı olarak incelenmesi gerekir. Bu modellemeye betonun, yerleşme, yüzeyinin düzelmesi, ayrışma ve kalıp basıncı gibi konuların özelliklerinin belirlenmesi için ihtiyaç duyulur. Tüm beton çeşitlerinde reoloji ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. KYB, Bingham Modeli kullanılarak, yüzey gerilmesi ve plastik viskozite olarak iki parametre ile modellenir. Ancak KYB de çoğu zaman yüzey gerilmeleri küçük olduğu için Newton sıvısı olarak ta modellenebileceği vurgulanmaktadır (Şekil 2.6a-2.6b). Normal betonda oluşan yüzey gerilmeleri, KYB'den daima büyüktür. Bu durum, KYB'de hidrostatik basıncın daha büyük olması, dolayısıyla kalıpların daha büyük basınçlara maruz kaldığı anlamına gelmektedir. Bu durum uygulamalarda dikkate alınması gereken önemli bir özelliktir [42].



Şekil 2.6. a) Reolojik modeller, b) Normal beton ve KYB arasındaki farklılıklar [43]

Betonda reolojik özelliklerin belirlenmesi için 60'ın üzerinde test metodu kullanılmaktadır. Bunların %70'inden fazlası tek parametre ölçen metotlardır. Bu parametreler, yüzey gerilmesi veya plastik viskozitedir [43-44].

2.3. Fiber Takviyeli Betonlar

2.3.1. Çelik Tel Donatılı Betonlar

Çelik tel donatılı beton, agrega, çimento ve su gibi temel beton bileşenlerine, mineral ve/veya kimyasal katkıların yanı sıra çelik tel katılmasıyla elde edilen bir kompozit malzemedir. Çelik teller yalın betonların ve betonarme elemanların performanslarının iyileştirilmesi için kullanılır [5]. Düşük çekme dayanımına sahip olan betonun bu zayıf özelliği, çekme kuvvetlerinin oluşturduğu bölgeye donatı konularak asılır. Yapı elemanlarında oluşan kesit tesirleri, betonun çekme mukavemetini aştığı zaman, çatlaklar ortaya çıkar. Donatısız beton, bu durumda ilave çekme kuvveti karşılayamaz. Bu bölgede çelik çekme donatılarının olması da, bu çatlamayı önleyemez. Çubuk donatılar ancak çatlakların genişlemesine engel olurlar. Bu çatlaklar, yapı elemanının dayanımını ve durabilitesini azaltırlar. Betona ilave edilen çelik teller, ilk çatlak dayanımını yükselterek ve aşırı yükler altında oluşan çatlakların yayılmasına karşı direnç göstererek, betonun ve donatılı betonun dinamik ve sürekli yükler altındaki dayanımını artırır.

Çatlak kenarlarında bulunan çelik teller, köprü vazifesi görerek, gerilmeleri aktarırlar. Böylece, çatlamış yapı elemanları, taşıma güçlerinin aniden kaybetmezler ve büyük deformasyonlar yapabilirler. Gevrek olan betonun çekme şekil değiştirmesini arttırarak betona yarı-sünek davranış özelliği kazandıran çelik teller, bu özelliğinden dolayı betonun çatlama dayanımı ve tokluk özelliklerini iyileştirirler. Özetle, çelik tel donatılı betonların, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı ve çatlak dayanımı sonrası yük taşıma kapasiteleri normal betonlara oranla belirgin iyileşmeler göstermektedir [8,5].

2.3.1.1. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller

Betonun takviyesinde kullanılan çelik teller ACI 544'e [17] göre tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda telin narinliği anlamına da gelmektedir. Çelik tel teçhizatlı beton imalinde kullanılan bu çelik teller, düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile imal edilmelidirler. Bu tellerin çekme-kopma gerilmesi ortalaması en az 345 N/mm^2 olmalı, her bir tel için en az 310 N/mm^2 olmalıdır.

TS 10513'e [18] göre çelik teller şekillerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

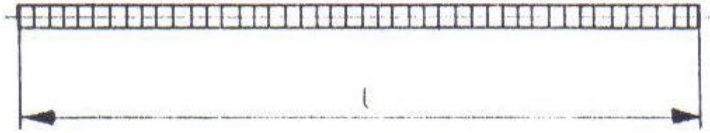
- A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller (Şekil 2.7.)
- B Sınıfı: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller (Şekil 2.8, 2.9, 2.10)
- C Sınıfı: Sonu kancalı teller (Şekil 2.11, 2.12)

Çelik teller TS 10513'te [18] tiplerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

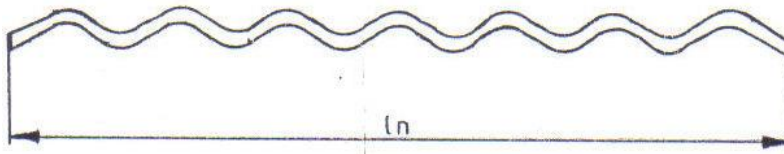
- A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller (Şekil 2.7.)
- B Sınıfı: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller:
 1. Üzerinde girintiler (çentikler) açılmamış teller (Şekil 2.8.)
 2. Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller (Şekil 2.9.)
 3. Ay biçimi dalgalı teller (Şekil 2.10.)
- C Sınıfı: Sonu kancalı teller:
 1. İki ucu kıvrılmış teller (Şekil 2.11.)
 2. Bir ucu kıvrılmış teller (Şekil 2.12.)



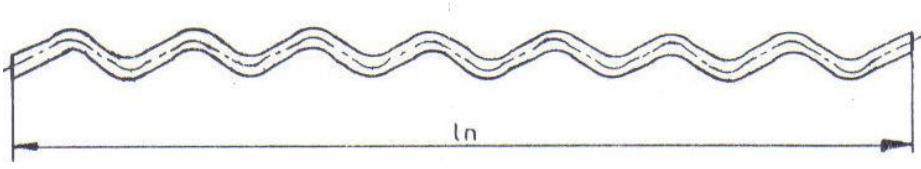
Şekil 2.7. Düz, pürüzsüz yüzeyli teller



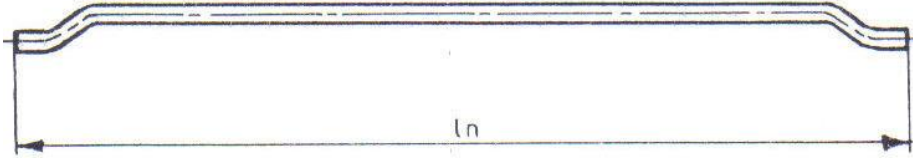
Şekil 2.8. Üzerinde girintiler (çentikler) açılmamış teller



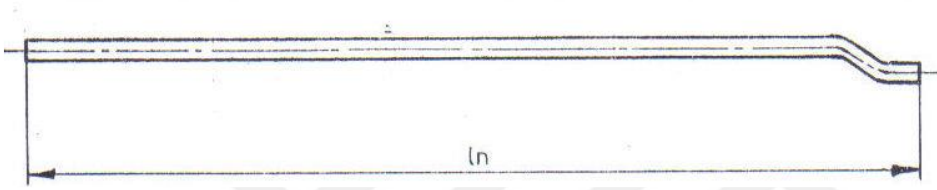
Şekil 2.9. Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller



Şekil 2.10. Ay biçimi dalgalı teller



Şekil 2.11. İki ucu kıvrılmış teller



Şekil 2.12. Bir ucu kıvrılmış teller

2.3.1.2. Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanım Alanları

Çelik tel içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirgin avantajlardan dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Bu kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir:

- Tünellerin püskürtme beton kaplamalarında; Çekme donatısı kullanılmadan yüksek dayanımlı beton elde edilir. Kaplama kalınlığı, düz ve hasırlı olan beton kaplama kalınlıklarına oranla daha az olmaktadır. Kırılmaya karşı yüksek enerji yutma kapasitesinden dolayı daha büyük bir süneklik sağlarlar.
- Yol kaplamalarında; Havaalanı, karayolu gibi yol kaplamalarında aşınma ve çekme dayanımının yüksek olmasından dolayı dayanımı ve dayanıklılığı yüksek beton elde edilmelidir. Ayrıca plak kalınlığının daha az olmasına imkan verirler.
- Endüstri yapılarında; Dayanıklılığı ve çarpma rijitliği yüksek olan endüstri yapılarının inşasına imkan verirler. Ayrıca yük taşıma sınırının yüksek olması, çatlak kontrolü sağlanması ve ani yüklemelere karşı yüksek direnç göstermesinden dolayı endüstri

yapılarının zeminlerinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca ambar ve hangar zeminlerinde, iskele ve rıhtım kaplamaları gibi kullanım alanları da bulunmaktadır.

- Su yapılarında; Baraj, kanal, dinlendirme havuzu, dolu savak v.b. hidrolik yapıların plaklarının yerine kullanılabilirler. Ayrıca aşınma direnci yüksek olduğundan kavitasyon hasarlarına karşı kaplama olarak da kullanılabilirler [5,45].
- Şevlerin stabilizasyonu ve istinat duvarı yapımında; Yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip olmasından dolayı kaya ve toprak zeminlerin şev stabilizasyonu veya istinat duvarı yapımında kullanılmaktadırlar.
- Kabuk yapılarda; Kesit kalınlıklarının azaltılmasına olanak sağladığından, ince kabuk yapılarda, kubbelerde ve kalınlığı sınırlı olan yapı elemanlarında kullanılmaktadırlar.
- Depreme dayanıklı yapılarda; Sünekliğin yüksek olması istenen yapılarda kullanılabilirler. Çelik tel donatılı betonların sünekliği normal betonlara oranla yüksek olduğundan çarpma ve titreşim gibi dinamik yük etkilerine karşı daha dayanıklıdır. Bu nedenle depreme dayanıklı her tür yapıda kullanılabilmektedirler [5,45].

2.3.1.3. Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışları

Çelik tel donatılı beton hidrolik bağlayıcı, agrega ve çelik telin karışımı ile üretilen betondur. Betona ikamesiyle matraste süreksiz ve rastgele dağılı olarak bulunan çelik teller, yükler ve çevresel değişiklikler altında betonda çatlak gelişimini köprüleme etkisi yapar. Çelik teller, yeteri kadar dayanıma sahip, çelik tel-matris bağı yeterli ve uygun miktarda kullanılırsa çatlak genişliğini küçük düzeyde tutar ve betonun tepe yükü sonrası büyük şekil değiştirme yaparak yük taşımasını sağlar. Böylece yüksek sünekliğe sahip betonlar elde etmek mümkün olur[5]. Çelik tellerin betona katılmasıyla betonun sünekliği ve çatlak direnci büyük ölçüde iyileştirilir. Çelik teller betonun çatlak oluşumundan sonra yük taşımasını sağlar. Ayrıca karışım içerisinde homojen bir şekilde dağılı bulunan çelik teller, betonun sertleşmesi sırasında çekme gerilmeleri ile hamur içerisinde oluşan çok sayıda küçük boşlukları ve çatlaklara karşı köprüleme etkisi yaparak çatlakların oluşumunu ve gelişimini büyük ölçüde azaltır [46,47].

2.3.2. Sentetik Fiber

Polimer malzemeler ilk çağlardan beri kullanılan bir malzemedir. İpek gibi doğal polimerler giyimde kullanılmıştır. Polimer teknoloji anlamında en önemli keşiflerden biri sentetik polimerler olmuştur. Kısa zamanda değişik endüstriyel alanlarda kullanılmaya başlayan fiberler çimentolu malzemelerin bilinen özelliklerini geliştirmek içinde kullanılmaya başlandı [48]. Sentetik fiber petrokimya ve tekstil endüstrisindeki araştırmalar sonucu bulunan suni bir fiber çeşididir[48]. Çimentolu malzemelerde sentetik fiber kullanımı birçok avantajları da yanında getirmektedir. Beton içine sentetik fiber ilave etmek büzülmeyi ve büzülmeden dolayı meydana çıkacak hasarları en aşağı değere çekmekte yarar sağlamaktadır. Aynı zamanda oluşabilecek çatlakların büyümesini önlemede faydalıdır [49].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Çimento

Bu çalışmada kullanılacak çimento malzemesi, TS EN 197-1 [97] ile uyumlu CEM I 42.5 N tipi Portland çimentodur. Çimento Çimentaş Sanayi A.Ş. fabrikasından alınmıştır. Üretimden hemen sonra temin edilerek bozulmalar olmadan kısa sürede deneylerde kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel değerler ile TS EN197-1 sınır değerleri.

Analiz sonuçları	TİP I 42.5 N [109]	TS EN 197-1:2002 [97]
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22,4	$\geq 20,0$
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,4	
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,0	$62,5 \geq X \geq 42,5$
SO ₃ (%)	2,6	$\leq 3,5$
MgO (%)	2,1	$\leq 5,0$
CI (%)	0,007	$\leq 0,1$
Kızdırma Kaybı (%)	1,7	$\leq 5,0$
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,3	$\leq 5,0$
Özgül yüzey (cm ² /g)	3749	
Priz Başlangıç (dakika)	161	$\geq 60,0$
Priz Sonu (saat)	04:20	
Hacim Sabitliği (mm)	0,4	$\leq 10,0$
Serbest Kireç (%)	0,5	-
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O) (%)		-
Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29,6	-

3.1.2 Viskozite Arttırıcı Toz Malzeme

Karışım oranları belirlenirken ince malzeme oranını arttırmak için katkı malzemesi olarak uçucu kül ve pomza tozu kullanılmıştır.

3.1.2.1 Uçucu Kül

Uçucu kül Sivas Kangal’da bulunan termik santralden temin edilmiştir. Santralden açığa çıkan çevreye zararlı uçucu kül beton üretiminde kullanılarak, atık malzeme olarak kalıp çevreye zarar vermesi engellenirken aynı zamanda beton maliyetini düşürme yönünde büyük fayda sağlayacaktır. Temin edilen uçucu külün özgül ağırlığı 2.26 gr/cm³, içerdiği kristal fazlar: kuvarz, hematit, manyetit, anhidrit, feldspat ve serbest kireçtir. Ana faz ise amorf ve camsı fazdır. Uçucu külün kimyasal analiz sonuçları Tablo 6.2’de verilmiştir.

3.1.2.2 Öğütülmüş Pomza Tozu

Bitlis ili Ahlat bölgesinde bulunan pomza ocaklarından temin edilen pomza agregasını öğütme işlemine tabi tutularak özgül ağırlığı 2.35 gr/cm³, nemlilik %1.8, rengi açık gri ve

mineralojik bileşimi volkan camı olan pomza tozu elde edilmiştir. Pomza tozları, 0,063-0.125 mm’lik eleklerden elenerek elde edilmiştir. Pomza tozunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tez çalışmasında kullanılan pomza tozu ve uçucu külün kimyasal analizleri

İçerik	Uçucu Kül	Pomza Tozu
Yoğunluk (gr/cm³)	2,26	2,35
SiO₂	38,35	69,08
Al₂O₃	16,68	13,32
Fe₂O₃	5,11	4,97
CaO	27,62	0,71
MgO	1,61	0,14
SrO	4,43	-
Na₂O	0,62	5,28
Diğer	5,55	6,50
Kızdırma Kaybı	0,79	1,87

3.1.3 Agregası

Agregası olarak Bitlis Ahlat yöresi doğal pomza agregası kullanılmıştır. Beton tasarımında yüksek akıcılığı yakalayabilmek için agregası çapı en fazla 16 mm olarak seçilmiştir. Deney numunelerinin etkilenmemesi için agregasının nem içeriği kontrol edilerek tüm deneylerde aynı nem içeriğinde agregası kullanılmıştır. Kullanılan agregaya ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 3.3’te verilmiştir. İnce agregası olarak 0-4 mm doğal dere kumu kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Pomza agregalarına ait fiziksel özellikler.

Agregası Grubu	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm
30 dk Su Emme oranı (%)	33.90	17.48	26.57
Toplam Su Emme Oranı (%)	40.16	38.89	51.84
Gevşek Birim Ağırlığı (kg/dm³)	0.45	0.38	0.29
Kuru Özgöl Ağırlık (kg/dm³)	0.94	0,88	0,69

3.1.4 Karışım Suyu

Karışım tasarımlarında ve numune dökümlerinde karışım suyu olarak Bitlis Eren Üniversitesi içme suyu hiç bir işleme tabi tutulmadan kullanılmıştır.

3.1.5 Kimyasal Katkı Malzemesi

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde, betonun akışkanlığını arttırmak için kimyasal katkı olarak, Sika Yapı Kimyasalları AŞ'den temin edilen 3. nesil hiper-akışkanlaştırıcı ürün kullanılmıştır. Bu ürün beton karışımındaki su miktarını yüksek oranda azaltmasının yanında uzun süre işlenebilirliğini kaybettirmediği için tercih edilmiştir. Sık donatılı betonarme imalatında kullanımında betona oldukça iyi performans sergilediği bilinmektedir.

Kullanılan bu ürünle ilgili bazı teknik bilgiler Çizelge 3.4 'te sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Kimyasal katkıya ilişkin teknik bilgiler

Görünüm/Renk	Açık kahverengi sıvı
Ph değeri	5-9
Kimyasal yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk (kg/l, 20°C'de)	1.045-1.085
Donma noktası (°C)	-6
Suda çözünabilir klorür (%)	En fazla %0.1, klorür içermez

3.1.6 Kullanılan Fiberler

Bu tez çalışmasında fiber malzeme olarak metalik ve sentetik polimer esaslı olmak üzere 2 farklı fiber kullanıldı. Fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen betonun mekanik ve durabilite özelliklerini araştırabilmek için 4 farklı boy/çap oranına sahip çelik fiber ve 2 farklı boyut ve şekilde polimer esaslı sentetik fiber seçilmiştir.

3.2 Karışım Oranları

Tez çalışmasında fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen betonun mekanik ve durabilite özelliklerini inceleyebilme amacıyla 6 tip fiber ile 13 farklı karışım oranına sahip beton serileri tasarlanmıştır. Beton tasarımlarında fiberlerin betonun dayanım ve durabilite

özelliklerini nasıl etkilediğini görebilmek için 12 seride tekil olarak kullanıldı. 13. Seride her fiberden belirli oranlarda alınarak karma karışım olarak tasarlanmıştır. İlk 6 beton serisinde toz malzeme olarak uçucu kül, sonraki 6 serisinde ince toz malzeme olarak pomza tozu kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Karışım çeşitliliğini oluşturan fiberlerin uzunluk ve boy/çap oranları

Karışım Kodu	Kullanılan Fiber Uzunluğu ve Boy/Çap Oranları
D1	60 mm, 80 (makro fiber) çelik fiber
D2	45 mm, 50 (macro fiber) çelik fiber
D3	30 mm, 55 (makro fiber) çelik fiber
D4	6 mm, 40 (mikro fiber) çelik fiber
D5	55 mm, 70 (makro fiber) sentetik polimer esaslı fiber
D6	40 mm, 40 (makro fiber) sentetik polimer esaslı fiber
D7	60 mm, 80 (makro fiber) çelik fiber
D8	45 mm, 50 (macro fiber) çelik fiber
D9	30 mm, 55 (makro fiber) çelik fiber
D10	6 mm, 40 (mikro fiber) çelik fiber
D11	55 mm, 70 (makro fiber) sentetik polimer esaslı fiber
D12	40 mm, 40 (makro fiber) sentetik polimer esaslı fiber
D13	KARMA

Çizelge 3.6. Kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait karışım oranları

No	Çimento ve Kullanılan Toz Malzemeler Ç:Çimento,UK:Uçucu Kül, PT:Pomza Taşı Tozu				Kullanılan Agregalar N:NehirKumu; P:Pomza Agregası			Fiber (%)	Katkı (%)
	Ç (%)	UK (%)	PT (%)	Su (%)	0-4 mm (%)	4-8 mm (%)	8-16 mm (%)		
D1	12,7	6,7	0	16,5	36,9	10,02	15,3	0,64	2
D2	12,7	6,7	0	16,5	36,9	10,02	15,3	0,64	2
D3	12,7	6,7	0	16,5	36,9	10,02	15,3	0,64	2
D4	12,7	6,7	0	16,5	36,3	10,02	15,3	0,70	2
D5	12,7	6,7	0	16,5	38,8	10,02	15,3	0,65	2
D6	12,7	6,7	0	16,5	36,8	10,02	15,3	0,65	2
D7	12,7	0	6,7	16,5	36,9	10,02	15,3	0,64	2
D8	12,7	0	6,7	16,5	36,9	10,02	15,3	0,64	2
D9	12,7	0	6,7	16,5	36,9	10,02	15,3	0,64	2
D10	12,7	0	6,7	16,5	36,3	10,02	15,3	0,70	2
D11	12,7	0	6,7	16,5	38,8	10,02	15,3	0,65	2
D12	12,7	0	6,7	16,5	36,8	10,02	15,3	0,65	2
D13	12,7	6,7	0	16,5	36,9	10,02	15,3	0,64	2

Uygulanacak dayanım ve durabilite deneyleri için 75x75x300 mm ölçülerinde prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Deney numuneleri laboratuvar koşullarında hazırlanarak kalıplara herhangi bir şişleme ya da sıkıştırma işlemi yapılmadan yerleştirilmiştir. Bu numuneler bir gün hava ortamında bekletildikten sonra kür havuzuna koyuldu. Test zamanı gelen numuneler testten bir saat önce kür havuzundan çıkartılıp bekletildikten sonra testleri yapıldı.

Karışımların kısaltılmış isimlerinin açıklamaları aşağıda verilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde bu kısaltmalar kullanılacaktır.

D1 – 400 dozlu, toz malzeme olarak uçucu kül, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 60mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D2 - 400 dozlu, toz malzeme olarak uçucu kül, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 45mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D3 – 400 dozlu, toz malzeme olarak uçucu kül, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 30mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D4 – 400 dozlu, toz malzeme olarak uçucu kül, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 6mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D5 – 400 dozlu, toz malzeme olarak uçucu kül, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 55 mm sentetik polimer esaslı fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D6 – 400 dozlu, toz malzeme olarak uçucu kül, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 40 mm sentetik polimer esaslı fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D7 – 400 dozlu, toz malzeme olarak pomza tozu, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 60mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D8 – 400 dozlu, toz malzeme olarak pomza tozu, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 45mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D9 – 400 dozlu, toz malzeme olarak pomza tozu, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 30mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D10 – 400 dozlu, toz malzeme olarak pomza tozu, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 6mm çelik fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D11 – 400 dozlu, toz malzeme olarak pomza tozu, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 55 mm sentetik polimer esaslı fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D12 – 400 dozlu, toz malzeme olarak pomza tozu, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber olarak 40 mm sentetik polimer esaslı fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

D13 – 400 dozlu, toz malzeme uçucu kül, kaba agregası olarak pomza, ince agregası ise dere kumu ve fiber malzeme olarak karma fiber kullanılan beton karışımını ifade eder.

3.3 Taze Beton Deney Yöntemleri

Bu çalışmada beton karışımlarını tasarlayabilmek için çökme-yayılma (T_{500} ve yayılma çapı), V-hunisi ve L-kutusu deneyleri yapılmıştır. Taze beton deneyleri, standartlarca KYB elde etmek için tasarlanan aparatlar ile yapılmıştır. Geçiş yeteneğinin değerlendirildiği L-kutusu deneyi, yüksek seviyede uzunluğa sahip çelik ve polipropilen sentetik makro fiberlerin kullanıldığı karışımlarda, donatı engeli olmaksızın, 1, 2 ve 3 donatı engelli olarak ayrı ayrı uygulanmıştır. Daha önceden yapılmış olan araştırmalar ve bu araştırmalarda önerilen tavsiyeler doğrultusunda bu tür bir uygulama yoluna gidilmiştir. FTKYB üretimi için tasarım karışımları 55 dm^3 hacim kapasiteli pan tipi karıştırıcı ile hazırlanmıştır. Gerekli

miktarda deneme karışımları hazırlanarak, sırası ile çökme-yayılma çapı ve çökme-yayılma süresi (T500), V-hunisi akış hızı ve L-kutusu deneyleri uygulanmıştır. Taze beton deneylerinde kullanılan deney alet ve aparatları Şekil 3.1 te sunulmuştur.



Şekil 3.1. Taze beton deneylerinde kullanılan aletler

3.4 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler

3.4.1 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Eğilmede çekme dayanımı deneyleri 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük numunelerin tümüne uygulandı. Deneyler boyutları 75x75x300 mm olan prizmatik kiriş numuneler üzerinde uygulanmıştır. Sonrasında basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Test edilen numunelere dair bilgiler deney föylerine işlenerek sonuç grafikleri oluşturulmuştur.

3.4.2 Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük su kürü sonrasında ve yapılan durabilite deneyleri sonrasında uygulanmıştır. Eğilmede çekme dayanımı deneyine maruz kalmış numuneler çatlamların olduğu bölgeye en uzak iki köşeden basınç deneyine maruz bırakılmıştır. Numunelere basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 standardındaki hususlar dikkate alınarak uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneyinin uygulanmasında 3000 kN yükleme kapasiteli hidrolik yüklemeli, bilgisayar kontrollü otomatik pres kullanılmıştır. Basınç deneyi sonrasında kırımı gerçekleştirilen her bir numuneye ait bilgiler ışığında sonuç grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.2. Yük kontrollü eğilmede çekme deneyi ve basınç deneyi aletleri

3.4.3 Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı Tayini Deneyi

Üretilen beton serilerinin ultrasonik ses geçirgenlik (USG) hızını belirlemede Pundit cihazı kullanılmıştır. Bu alet kullanılarak ses dalgasının, numunenin düzgün bir yüzeyinden, karşılıklı olarak diğer yüzeyine geçiş süresi kaydedilmiştir.

Tez çalışmasında USG hızı tayini bütün numuneler için uygulanmıştır. Numunelerde meydana gelen çapaklanmalar temizlenerek her iki tarafından ölçümler yapılarak kaydedilmiştir. Kaydedilen bu ölçüm değerleriyle USG hızı tayinine dair sonuç grafikleri hazırlanmıştır.

3.5. Durabilite Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler

3.5.1 Yüksek Sıcaklık Deneyi

Yüksek sıcaklık etkisi birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Yapılan bu araştırmalardan farklı olarak bu tez çalışması kapsamında 200, 400, 600 ve 800 derecelerinde deneye tabi tutulan numuneler üzerinde meydana gelen deformasyonlar ve dayanım kayıpları incelendi. Bu deney 28. kür yaşını dolduran ve 90. kür yaşını dolduran numuneler üzerinde uygulanmak koşulu ile 2 farklı beton yaşında uygulanmıştır. Böyle uygulanmasının sebebi, standart yaşını dolduran beton numuneleri ile puzolanik aktivite açısından nispeten ileri yaşını dolduran beton serileri arasındaki dayanım ve dayanıklılık farkını belirleyebilmek içidir. Bu işlem sırasında otomatik ısı kontrollü fırın kullanılmıştır. Isınma hızı 6°C/dakika, 1200°C limit sıcaklık kapasitesi gibi teknik özelliklere sahip olan laboratuvar tipi bu fırınla, ısınma hızını, numunenin bekletileceği limit sıcaklık derecesini, bekleme süresini otomatik olarak ayarlama imkanı vardır.



Şekil 3.3. Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılan laboratuvar tipi fırın

3.5.2 Donma-Çözünme Deneyi

Bu deney kapsamında deneye girecek numuneler için standartlar çerçevesinde bir donma-çözünme döngüsü oluşturulmuştur. Bu döngüler başlarken, sıcaklığın öncelikle 120 dakikada 0°C'ye düşürülmesi, 120 dakika 0°C'de bekletilmesi, 600 dakika süre aralığında -15°C'ye düşürülmesi, 120 dakika -15°C'de bekletilmesi ve 480 dakika süre aralığında +20°C'ye yükseltilmesi ile toplamda 24 saat olacak şekilde ayarlanmış ve bu döngü 50 kez (50 gün) tekrarlanmıştır. Deney tamamlandıktan sonra numuneler üzerinde USG hızı tayini, eğilmede çekme deneyi ve basınç deneyi uygulanmıştır. Bu döngülerde 2 farklı kür yaşı sonrası uygulanarak arkasından mukavemet testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Donma-çözünme deneyinde kullanılan deney aleti ve numune örneği

3.5.3 Asit dayanıklılığı deneyi

Asit dayanıklılık deneyinde sülfirik asit kullanılmıştır. Sülfirik asit kullanılarak pH derecesi 3 olarak hazırlanan çözelti plastik leğenlere doldurulmuş, numuneler çözelti içine yerleştirilmiş ve laboratuvar koşullarında 50 gün bekletilmiştir. 50 günün sonunda deneyi tamamlanmış numuneler üzerinde USG hızı tayini, eğilmede çekme deneyi ve basınç deneyi uygulanmıştır.



Şekil 3.5. Asit dayanıklılık deneyinde kullanılan numune örneği

3.5.4 Islanma-Kuruma Deneyi

Islanma-kuruma deneyinde numuneler için % 3 tuz konsantrasyonunda tuzlu su çözeltisi ve Van gölü suyundan 2 farklı çözelti hazırlanmıştır. Leğenlere koyulan numunelere bu çözeltiler eklenmiştir. Çözeltiden çıkarılan numuneler etüv yardımı ile fırın kurusu hale getirilmiştir. Fırından çıkarılan numuneler soğuduktan sonra tekrar çözelti içine koyulmuştur. Sonrasında numuneler tekrar 45°C sıcaklıktaki fırına yerleştirilerek ıslanma-kuruma çevriminin başlaması sağlanmıştır. Numuneler bu şekilde 6 saat fırın içerisinde kurumaya bırakılmış, sonrasında soğumaya alınmış ve soğuyan numuneler 4 saat tuzlu su çözeltisi ve Van gölü suyuna yerleştirilerek ıslanma etkisine bırakılmıştır. Bu şekilde ıslanma-kuruma deneyi 50 çevrim tekrarlanmıştır. Çevrimleri tamamlanan numuneler üzerinde USG hızı tayini, eğilmede çekme dayanımı deneyi ve basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır



Şekil 3.6. Islanma-kuruma deneyinde kullanılan ayarlı fırın

4. BULGULAR

Laboratuvar koşullarında tasarımı gerçekleştirilen, uygun kür koşullarına tabi tutularak ve durabilite deneylerine maruz bırakılarak şartlandırılan 13 farklı FTKYHB serisi üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bulgular bu bölümde değerlendirilmiştir.

4.1 Taze Beton Özelliklerinin İncelenmesi

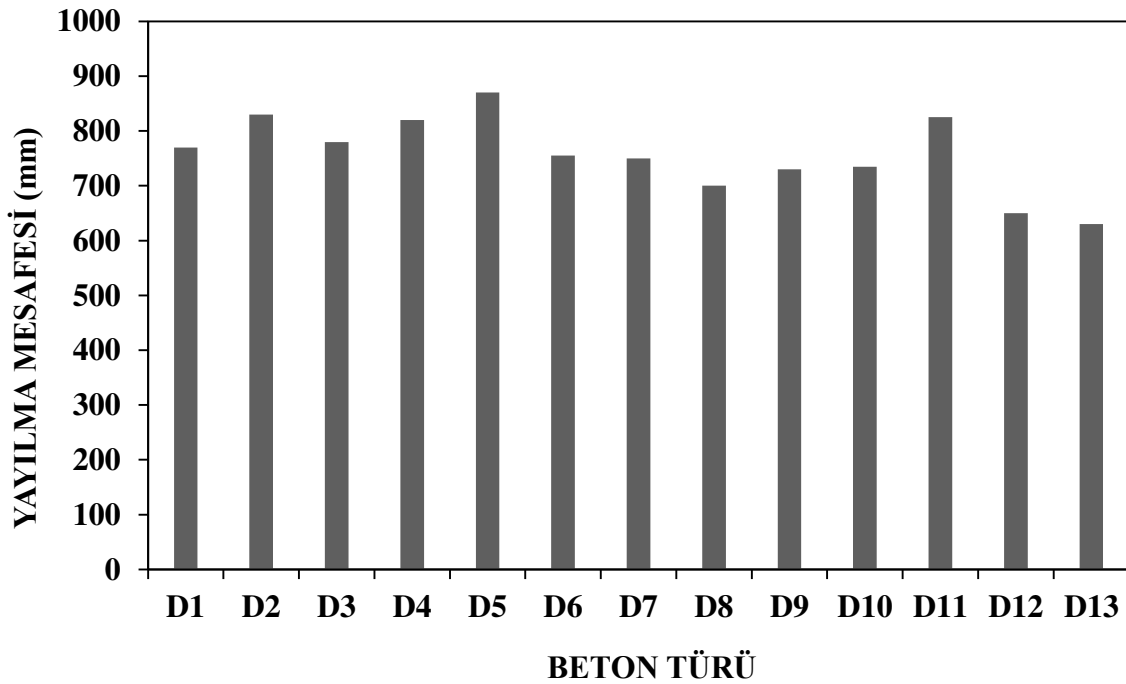
Deneme karışımları sonucunda 13 farklı kendiliğinden yerleşen fiber takviyeli hafif beton karışımının taze beton özellikleri araştırılmış ve Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge4.1. KYHB serilerinin taze beton özellikleri

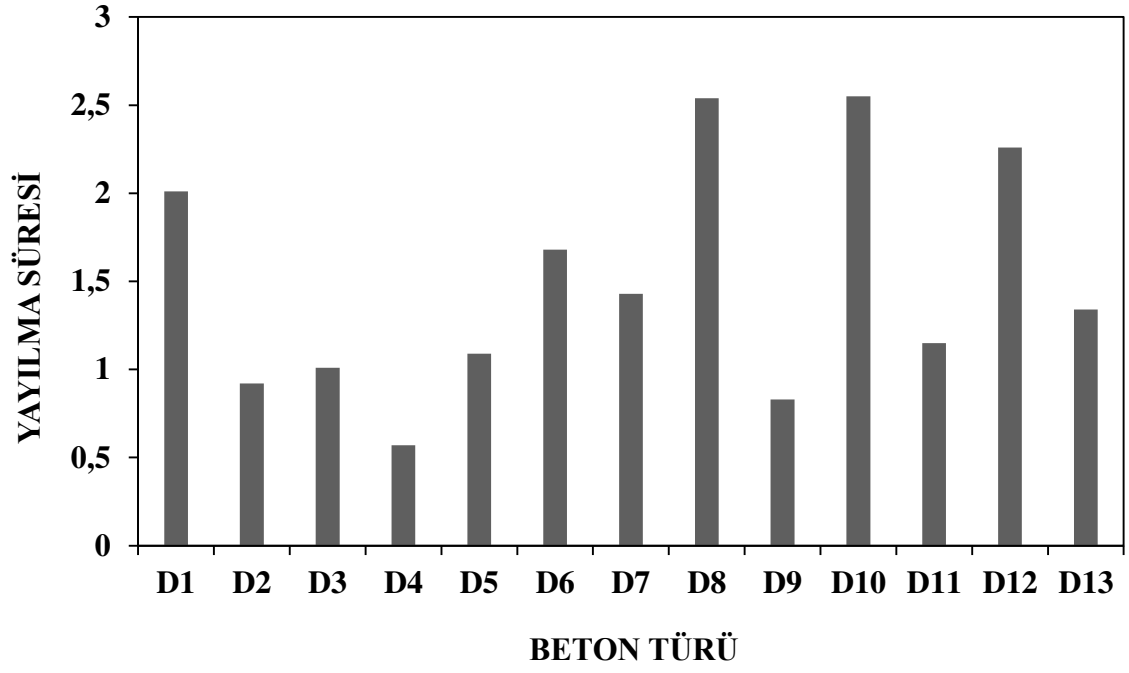
Beton Kodu	Çökme-Yayılma çapı (mm)	Çökme-Yayılma süresi T ₅₀₀ (sn)	V-Hunisi (sn)	L-kutusu (H2/H1)			Taze Bet.-Ortam Sıc.(°C)	Taze BHA kg/m ³
				I	II	III		
D1	770	2,01	11,24	0.83	T	T	4,5	1960
D2	830	0,92	7,23		0,96	T	4,9	1930
D3	780	1,01	6,82			0,85	4,8	1890
D4	820	0,57	7,75			0,93	3,4	1980
D5	870	1,09	17,75			0,94	3,8	1930
D6	755	1,68	14,48			0,97	1,7	1970
D7	750	1,43	7,58		0,83	T	4,4	1980
D8	700	2,54	7,54		0,83	T	7,9	1970
D9	730	0,83	6,93			0,82	7,5	1940
D10	735	2,55	8,64			0,98	1,6	1920
D11	825	1,15	9,24			0,84	5,2	1930
D12	650	2,26	6,14			0,77	5,0	1910
D13	630	1,34	6,3		0,78	T	6,9	1980

Çizelgede kullanılan roma rakamları (I,II,III), L-kutusu deneyinde kullanılan donatı çubuk sayısını göstermektedir. Yine L-kutusu deney sonuçlarının verildiği sütunda kullanılan “T” harfi yapılan L-kutusu deneyinde tıkanma olduğunu işaret etmektedir. Çizelge xx, deneysel çalışma kısmında belirtilen 6 farklı fiberin, karışımlarda yalnız bir fiberin bulunduğu FTKYB ve karma fiberin bulunduğu 13. Seri FTKYB un taze beton özelliklerini göstermektedir. Tablo 5.1de sunulan %100 tekil fiber içeren D1-D6 kodlu beton serilerinin ilk 4’ ü farklı fiber boyut oranına sahip çelik fiberler, D5-D6 kodlu beton serilerinin ise polipropilen sentetik fiberleri içermektedir. Genel olarak Çizelge 4.1 incelendiğinde, tüm beton serilerinin çökme yayılma çapı 630 mm ile 870 mm arasında değiştiği görülmektedir. Çizelge 4.1 den yola çıkarak aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur. Grafikler genel olarak incelendiğinde uzun boyutlu fiberlerin bulunduğu karışımların yayılma çapı düşük ve yayılma süreleri uzarken, boyutları daha küçük olan fiberlerle oluşturulan karışımların yayılma çapları daha büyük ve yayılma süreleri daha kısa olmuştur. Ayrıca ilk 6 seride toz malzeme olarak uçucu kül kullanılması, sonraki 6 seride kullanılan pomza taşına göre daha ağır olmasından dolayı daha büyük yayılma çapı görülmüştür. L-kutusu deneyinde fiber boyu büyük olan serilerde 3 çubuklu deneylerde tıkanmalar görülmüştür. Aynı serilerin V-hunisi deneylerinde ise akış süresini uzatmıştır. Taze birim ağırlık değerleri 1890-1980 (kg/m³) değerleri arasında yer almaktadır. Bu değerler beton değerlendirmesinde hafif beton

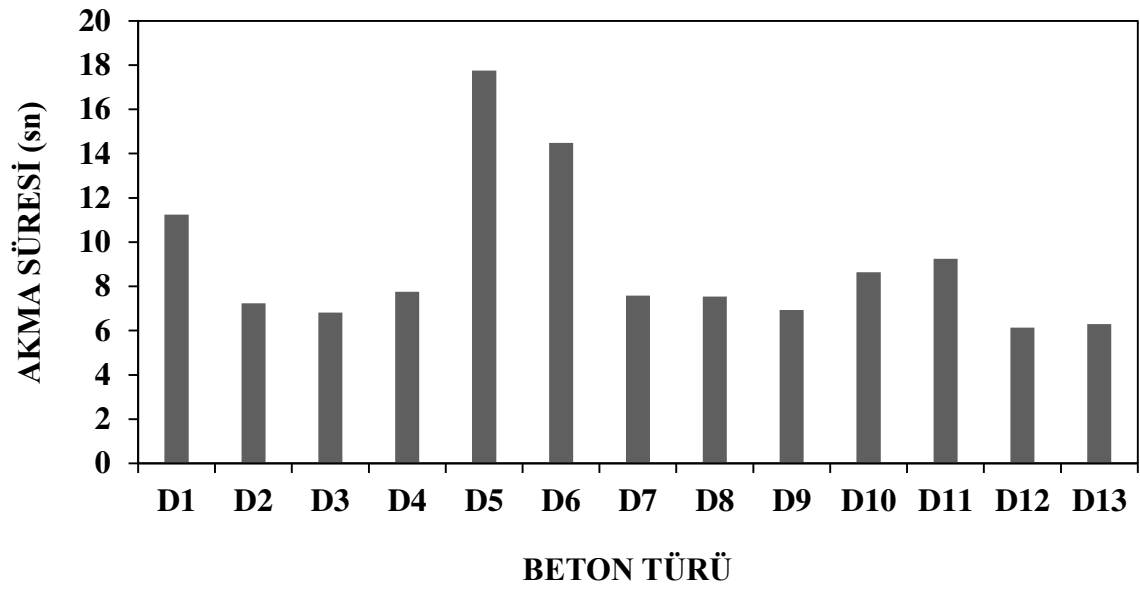
olarak ele alınabileceğini göstermektedir. Şekil 4.1.-4.4. incelendiğinde çelik fiberlerin karışımlardaki kullanım boylarının kısılması ile taze özelliklerde genel bir iyileşme gözlenmektedir. Ancak polipropilen sentetik fiberlerin kullanıldığı karışımlarda durum tersi yöndedir. Sergilenen şekiller dikkatlice incelendiğinde polipropilen sentetik fiberlerin boyunun kısılması ile taze özelliklerde genel bir kötüleşme gözlenmektedir. Bu durum ise çelik fiberler ile polipropilen sentetik fiberlerden daha ağır olması ve bu ağırlıkları ile taze özelliklere yardımcı olması durumu ile açıklanabilir. Polipropilen sentetik fiberler karışım içerisinde hafif agregalar ile benzer davranışı sergileyerek taze özellikleri negatif yönde etkilemişlerdir. Diğer taraftan polipropilen sentetik fiberin boy kısılması aynı hacim içerisinde daha fazla sayıda polipropilen sentetik fiberin girmesi anlamına da gelmektedir. Bu durumunda taze özellikleri ters yönde etkilediği düşünülmektedir. Taze birim hacim ağırlıkların sunulduğu Şekil 4.5 incelendiğinde ise, tüm tasarlanan FTKYHB serilerinin 2000kg/m^3 'ten daha düşük olduğu görülmektedir.



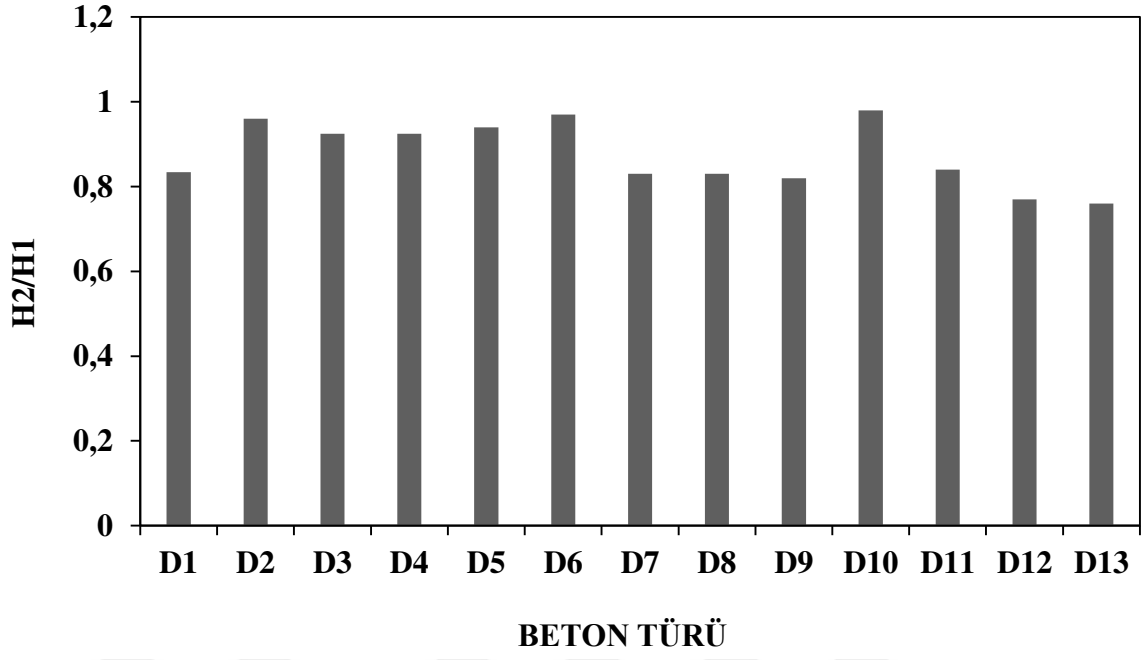
Şekil 4.1. Taze betonun yayılma deneyi



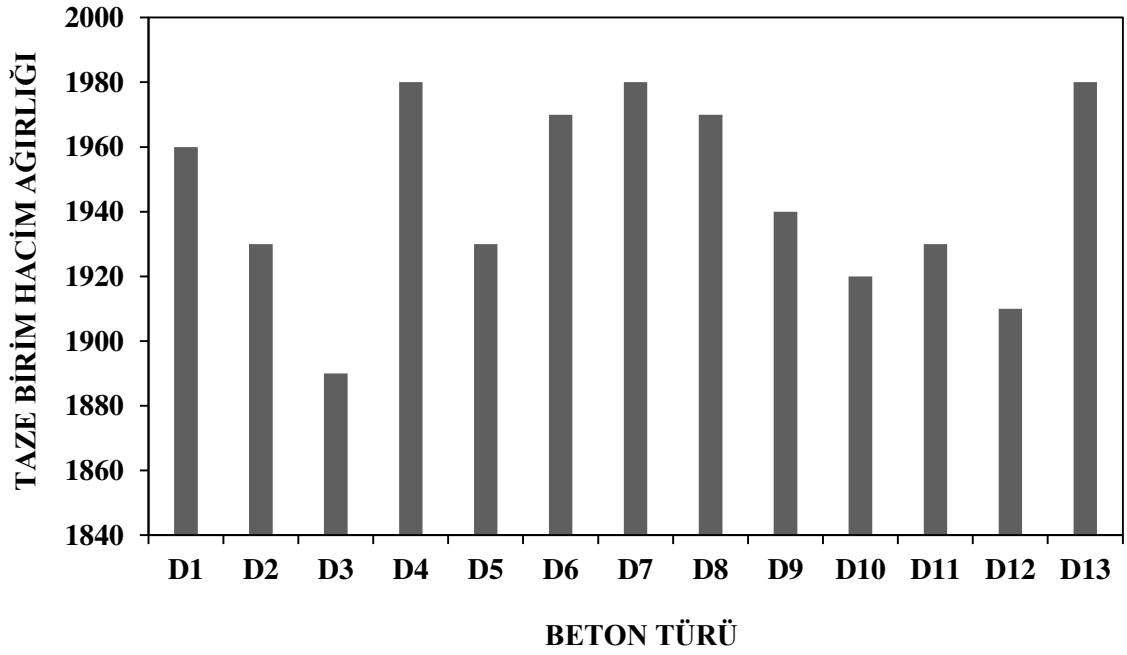
Şekil 4.2. Farklı oranlardaki karışımların 500mm' ye yayılma süreleri



Şekil 4.3. Farklı karışımların V-Hunisi deneyindeki akma süreleri



Şekil 4.4. Farklı karışımların L-kutusu deneyindeki H2/H1 oranları



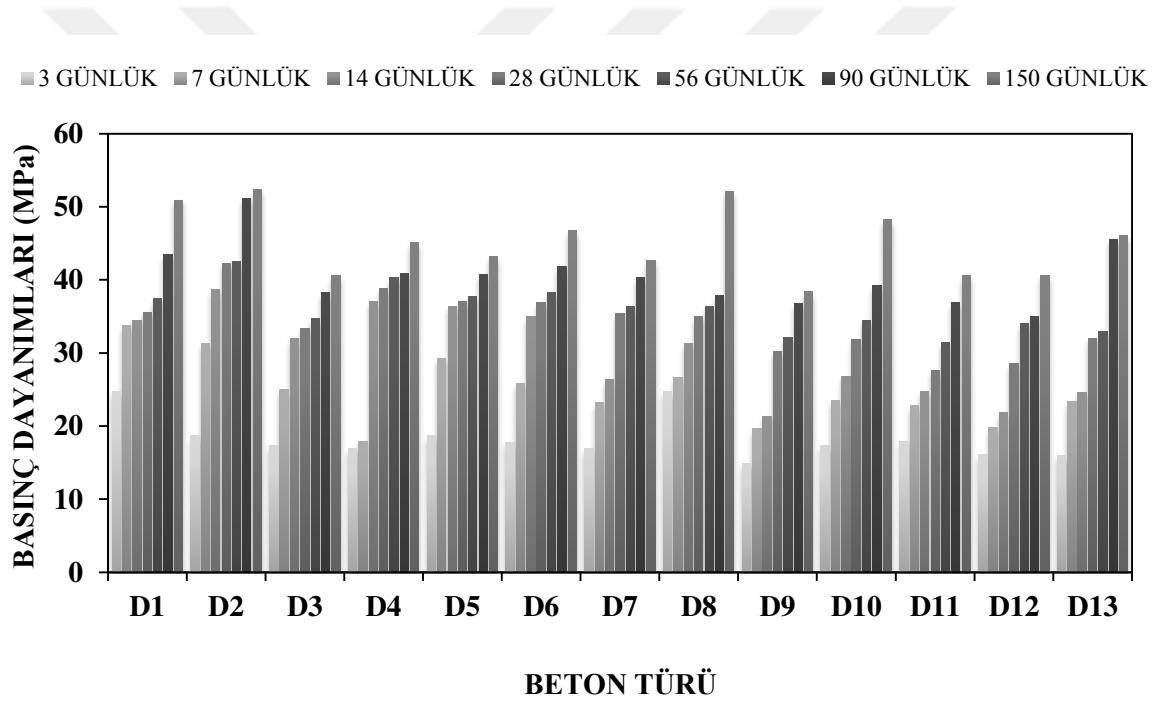
Şekil 4.5. Sertleşmiş karışım örneklerinin ortalama yaş birim hacim ağırlık değerleri

4.2. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

Sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar deney türüne göre aşağıdaki şekilde verilmiştir.

4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

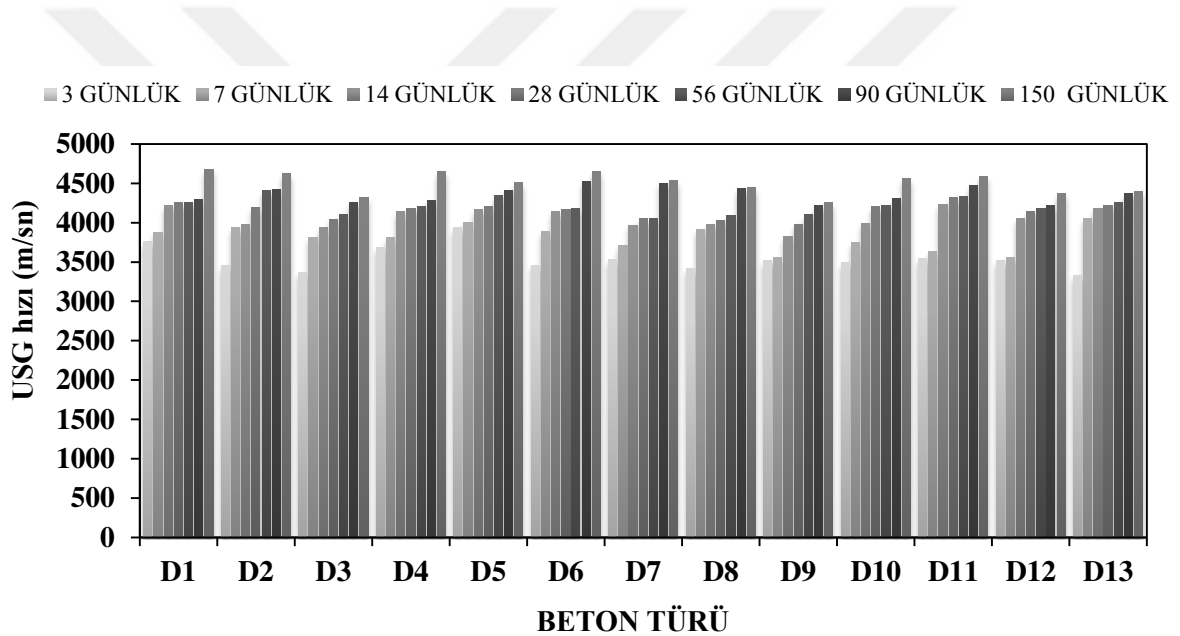
Karışımların değişik yaşlardaki basınç dayanım değerleri, USG hızı aşağıdaki Şekil 4.6. 4.7’de verilmiştir. Beton örnekleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra dayanım değerlerinin saptanacağı yaşlara kadar kür havuzunda bekletilmişlerdir.



Şekil 4.6. Beton türlerinin yaşlara göre basınç dayanımları

Şekil 4.6 incelendiğinde beton serilerinin basınç dayanımı, artan kür süresine göre her bir seri kendi içinde verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kür süresi arttıkça her bir beton serinde kendi içinde basınç mukavemetinde artmalar görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi uçucu kül toz malzeme katkılı seriler pomza tozu malzemesi katkılı serilerden daha yüksek basınç dayanımı vermektedir. Beton serilerinin karışımındaki tek değişken faktör farklı tip fiber ve bu fiberlerle oluşturulan farklı karma fiber grubu olduğu için beton basınç dayanımları da bir birine yakın sonuçlar vermiştir. Mikro fiber takviyeli serilerde basınç dayanımında çok

az farklılıklar meydana gelmiştir. Sahmaran ve Yaman [50] ile Nehdi ve Ladanchuk [51]'nin yapmış oldukları araştırmalar neticesinde de, karışımda makro fiber yerine mikro çelik fiber kullanımı ile basınç dayanımında daha yüksek sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Qian ve Stroeve [52] karışıma mikro fiber ilave etmenin basınç dayanımını yüksek ölçüde arttırdığını makro fiberin ise tersi yönde etki oluşturduğunu vurgulamışlardır. Diğer taraftan, Song ve Hwang [53], Yazıcı ve diğ. [54] fiber boyutsal oranının ve fiber hacminin artırılmasının basınç dayanımında artışa neden olduğunu savunurken, Kayalı ve diğ. [55], Yalçın ve diğ. [56], Quanbing ve Beirong [57] basınç dayanımında ciddi bir gelişme gözlenmediğini savunmuşlardır. Bu çalışmada ise, aynı yaş farklı serilerde yaklaşık olarak aynı değerlere ulaşılırken ileri yaş basınç mukavemetinde çelik fiberlerin bulunduğu serilerde basınç dayanımının daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir.

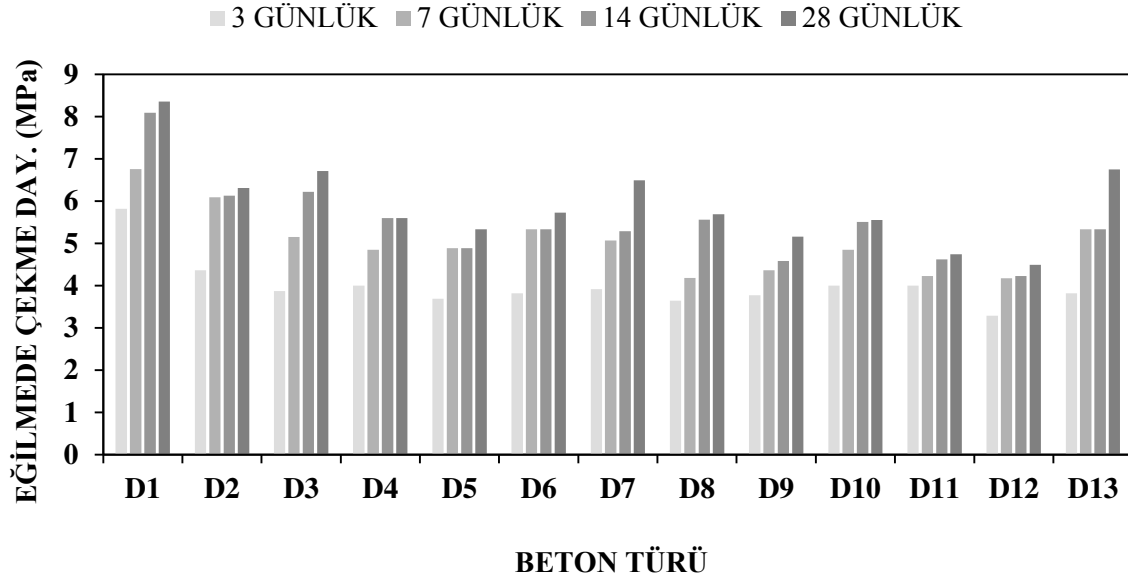


Şekil 4.7. Beton türlerinin yaşlara göre USG hızı

Şekil 4.7 incelendiğinde beton serilerinin USG hızının, artan kür süresine göre her bir seri kendi içinde verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kür süresi arttıkça her bir beton serisinde basınç dayanımı sonuçlarına benzer şekilde kendi içinde USG hızında da artmalar görülmektedir. Beton içerisindeki demir donatının USG hızını etkilediği bilinmektedir [58]. Aynı yaş farklı serilerde yaklaşık olarak aynı değerlere ulaşılırken ileri yaş USG hızlarında fiberler boylarının büyük olduğu serilerde USG hızının diğer serilere göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir.

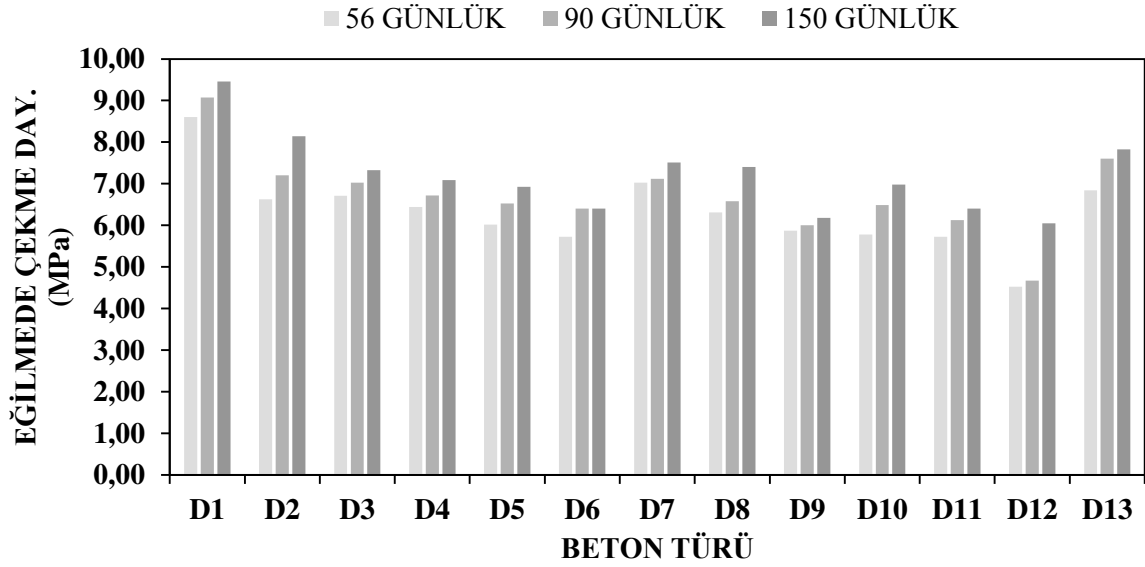
4.2.2. Eğilmede Çekme Deneyi

Şekil 4.8 de görüldüğü üzere artan kür süresine göre erken yaş eğilmede çekme deneyi dayanımları gösterilmektedir. Her bir seri kendi içinde incelendiği zaman erken yaş eğilmede çekme dayanımlarında artışlar görülmektedir. Diğer serilerle kıyaslama yapılacak olunursa, fiber boyu büyük çelik fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen beton serilerinde erken yaş eğilmede çekme dayanımının daha yüksek değerlere çıktığını görebilmekteyiz. Benzer şekilde Yazıcı ve diğ. [54], Miao ve diğ. [58] çalışmalarından elde ettikleri bulgulara dayanarak karışımda fiber boyutsal oranının arttırılması ile ve aynı zamanda kullanılan fiber hacminin arttırılması ile yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımında artış meydana geldiğini belirtmiş, eğilmede çekme dayanımının bu yolla daha yüksek değerler verdiğini savunmuşlardır. Fiber boyutlarının küçülmesiyle erken yaş eğilmede çekme dayanımlarının düşüş göstermesiyle birlikte, karışımında toz malzeme olarak pomza tozunun kullanıldığı karışımlarda uçucu kül katkılı karışımlardan daha düşük eğilmede çekme dayanımları sergilediği görülmektedir. Karma olarak fiberlerin kullanıldığı D13 serisinde ise taze özellikler ile birlikte mukavemet özelliklerinin de geliştiğini görmekteyiz. Bu seri içeriğinde %25 oranında 4 farklı tip çelik fiber kullanılmıştır. Böylelikle D13 serisinde en uzun fiberlerin boyutsal yoğunluğu D1, D2 serilerinin fiber içeriği ile kıyaslandığında hacim içerisinde düşürülmüş olurken taze beton özellikleri geliştirilmiş olmuştur. Bununla birlikte D13 içeriğinde makro fiberlerin varlığı ile D4 ve D10 gibi yalnızca çelik mikro fiber içeren serilerden mukavemeti yükse çıkmıştır. Bu etki karma fiberlerin sinerjisi olarak açıklanabilir.



Şekil 4.8. KYFTHB'ların erken yaş eğilmede çekme mukavemetleri

Şekil 4.8 da görüldüğü üzere artan kür süresine göre ileri yaş eğilmede çekme deneyi dayanımları gösterilmektedir. Her bir seri kendi içinde incelendiği zaman ileri yaş eğilmede çekme dayanımlarında günlere göre artışlar görülmektedir. Diğer serilerle kıyaslama yapılacak olunursa, fiber boyu büyük çelik fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen beton serilerinde ileri yaş eğilmede çekme dayanımının daha yüksek değerlere çıktığını görebilmekteyiz. Erken yaş dayanımlarında olduğu gibi burada da en uzun fiber ve boy çap oranının yüksek olduğu fiberlerde yüksek eğilmede çekme performansları görülürken fiber boyunun kısalması ile dayanım performanslarında düşüşler görülmüştür. Çelik fiberler arasında en düşük eğilmede çekme dayanımı değerleri D4 serisinden elde edilirken, pomza tozunun kullanılarak üretildiği seride ise makro fiberlerin kullanıldığı D9 serisinden elde edilmiştir. Polipropilen sentetik fiberler ise hem uçucu külün kullanıldığı (D5,D6) hem de pomza tozunun kullanıldığı (D11,D12) serilerde her yaşta en düşük dayanım değerlerini sergilemişlerdir. Karma fiberlerin sinerji etkisinin incelendiği D13 serisi ise D2 serisi ile benzer ileri yaş dayanım özelliklerini sergilemişlerdir.



Şekil 4.9. KYFTHB'ların ileri yaş eğilmede çekme mukavemetleri

4.3. Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi

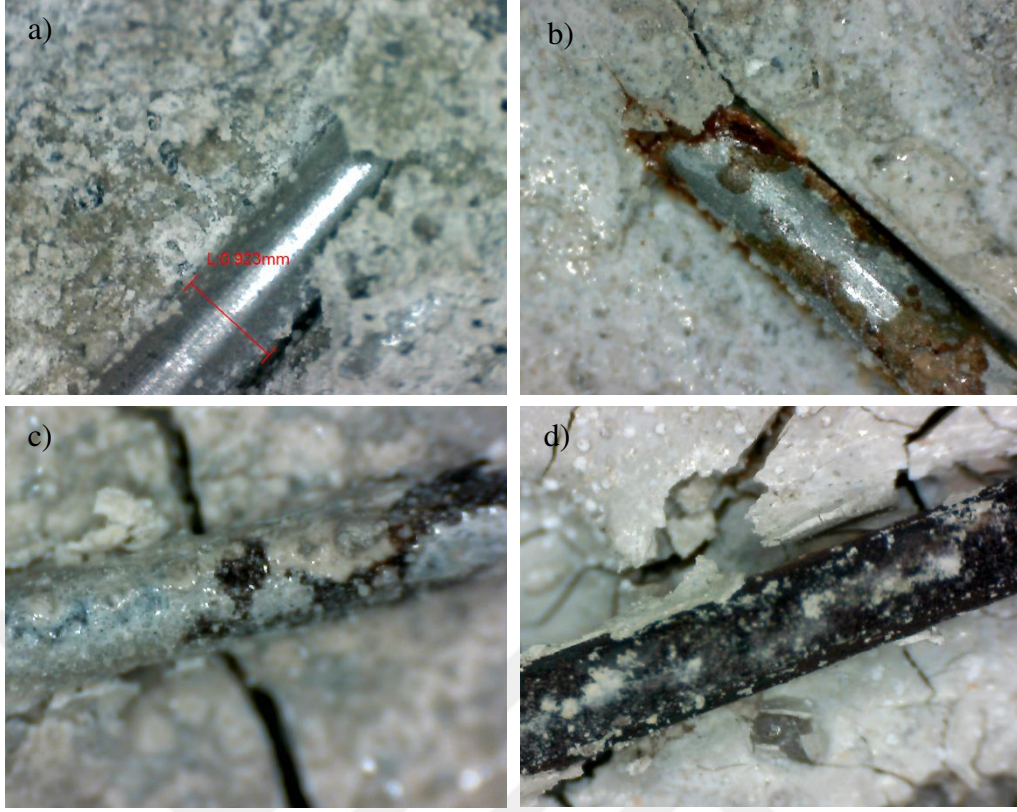
4.3.1. Yüksek Sıcaklık Deneyi Bulgularının İncelenmesi

Yüksek sıcaklık için hazırlanan deney numunelerine 200, 400, 600 ve 800°C sıcaklıklar sonrasında bazı mekanik deneyler uygulanmıştır. Ayrıca laboratuvar sıcaklık koşullarında bu numunelere kontrollük edecek serilere de aynı deneyler uygulanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Uygulanan sıcaklıklar neticesinde, üretilen FTKYB serilerinde öncelikle bazı fiziksel değişimler gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası numune yüzeylerinde, farklı ısı dereceleri uygulanmasından dolayı farklı renklenmeler, farklı çatlak yoğunluğu ve genişliği gibi değişimler gözlenirken içyapıda bozulmalar gözlenmiştir. Uygulanan sıcaklıklar neticesinde, Şekil 4.10 da görüldüğü gibi numunelerde öncelikle fiziksel renk değişimleri dikkati çekmiştir. 200 ve 400°C sıcaklıklarda çok fazla renk değişimi olmamışken sıcaklığın artmasıyla betonların mat gri renginin giderek açık griye dönüştüğü söylenebilir. 400°C ile birlikte numunelerde mikro çatlaklar baş gösterirken sıcaklık değerlerinin artmasıyla çatlaklardaki genişlik ve yoğunluğun arttığı hatta 800°C'de bu çatlakların makro düzeylerde olması sebebi ile numune kenar ve köşelerinde kırılmalara neden olduğu gözlenmiştir.

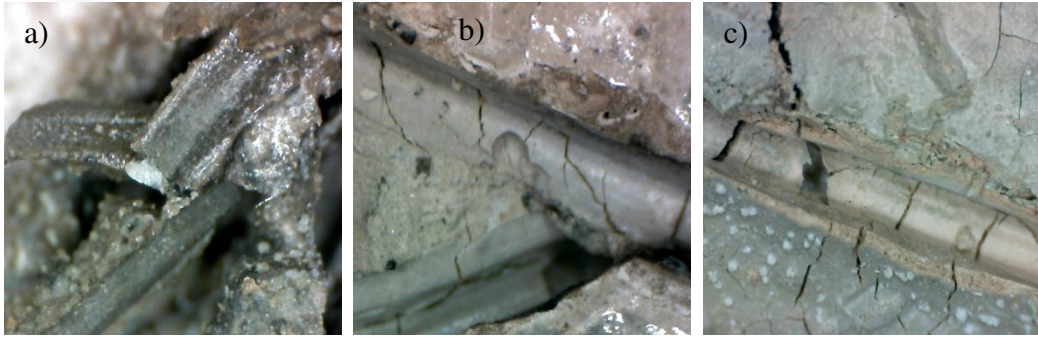


Şekil 4.10. KYFTHB'ların Yüksek sıcaklık deneyinden sonra numunelerde oluşan hasarlar

Şekil 4.11' de yüksek sıcaklık sonrasında beton numunelerin yüzeyinde ve yüzeyine yakın olan çelik fiberlerin yüksek sıcaklık sonrası durumları sunulmuştur. Şekilden de anlaşılacağı üzere sıcaklığın artmasıyla birlikte hem betonlardaki fiziki bozulma hem de fiberlerdeki fiziki bozulma daha net görülmektedir. 200°C'de beton ve fiberde çok sıcaklığa tabi tutulmayan numunelerden çok bir farklılık görülmezken sıcaklığın artmasıyla betonlarda çatlak yapılanması ve fiberlerin yüzeylerinde yanık izleri kararma ve bozulmalar tespit edilmiştir. Şekil 4.12'de ise polipropilen sentetik fiberlerin yüksek sıcaklık sonrası durumları sergilenmektedir. Bu fiberlerde de 200°C sonrası fiberlerde önemli ölçüde değişim gözlenmemiştir ancak yüzeye yakın fiberlerin etkilendiği aşıkardır. 400°C iç yapıda fiberlerin eriyerek tekrar aynı bölgede bozularak sertleştiği Şekil 4.12 a'da görülmektedir. Diğer taraftan 600 ve 800°C sonrasında ise polipropilen sentetik fiberlerin içyapıda tamamen eriyerek kaybolduğu görülmekte ve fiber bulunan yerlerde fiber uzunluğu ve kalınlığınca (bkz. Şekil 4.12 b ve c) büyük boşlukların oluştuğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.11. Yüksek sıcaklık sonrası beton içerisinde çelik fiberlerin görünümü a) 200°C sonrası b) 400°C sonrası c) 600°C sonrası d) 800°C sonrası

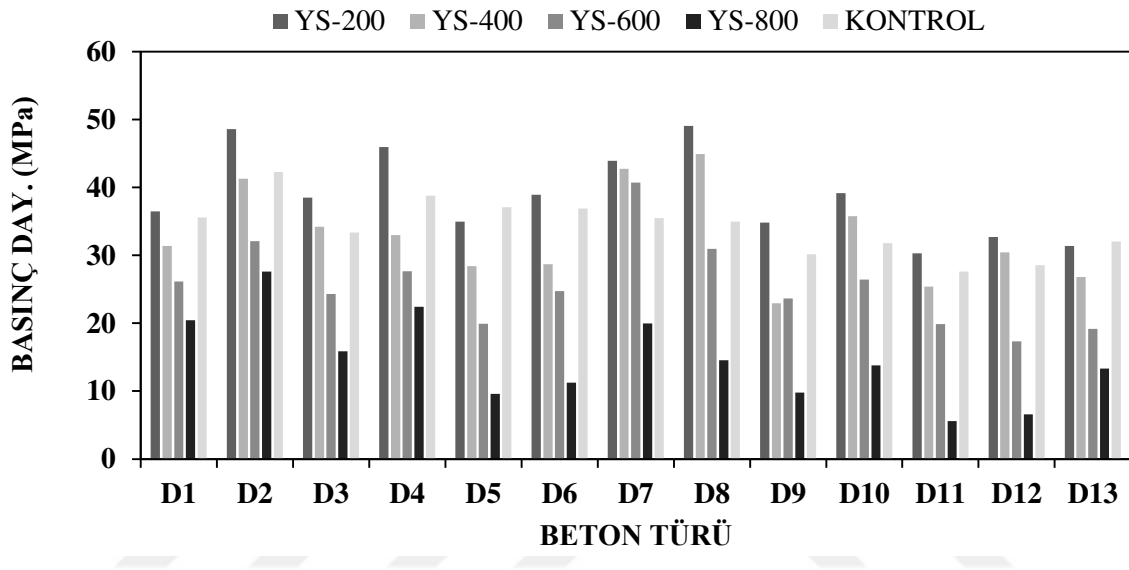


Şekil 4.12. Yüksek sıcaklık sonrası beton içerisinde polipropilen sentetik fiberlerin görünümü a) 400°C sonrası b) 600°C sonrası c) 800°C sonrası

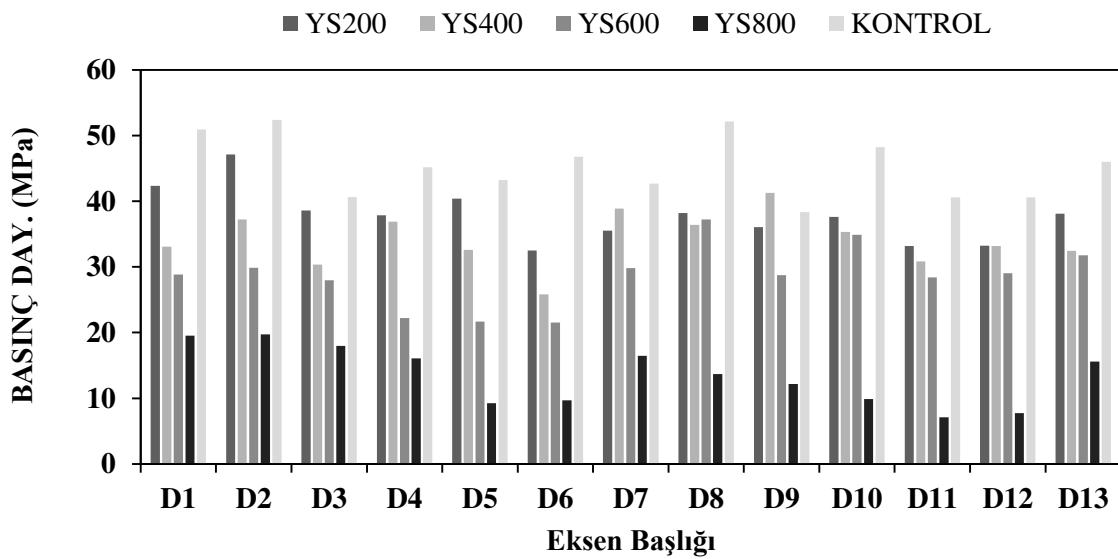
4.3.1.1 Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 da görüldüğü üzere artan sıcaklığın basınç mukavemeti deneyleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Her bir seri kendi içinde incelendiği zaman sıcaklık arttıkça basınç dayanımında düşmeler meydana gelmiştir. Bazı beton serilerinde 200 ve 400 ° C sıcaklıktaki beton serilerinin basınç mukavemetler kontrol serisine kıyasla fazla çıkmıştır.

Bu durumun nedeni 400°C sıcaklığa kadar olan sıcaklıkların beton serisi üzerinde iyi yönde kür etkisi yapmasından kaynaklanmaktadır. Sentetik polimer esaslı fiber takviyeli serilerde yüksek sıcaklığın etkisiyle fiberlerde erimeler ve eriyen fiberlerin bulunduğu alanlarda boşluklar oluşmuştur. Bu boşlukların ve fiberlerin erimesinin etkisiyle sentetik polimer esaslı fiberlerin bulunduğu serilerde daha fazla mukavemet kaybı meydana gelmiştir.



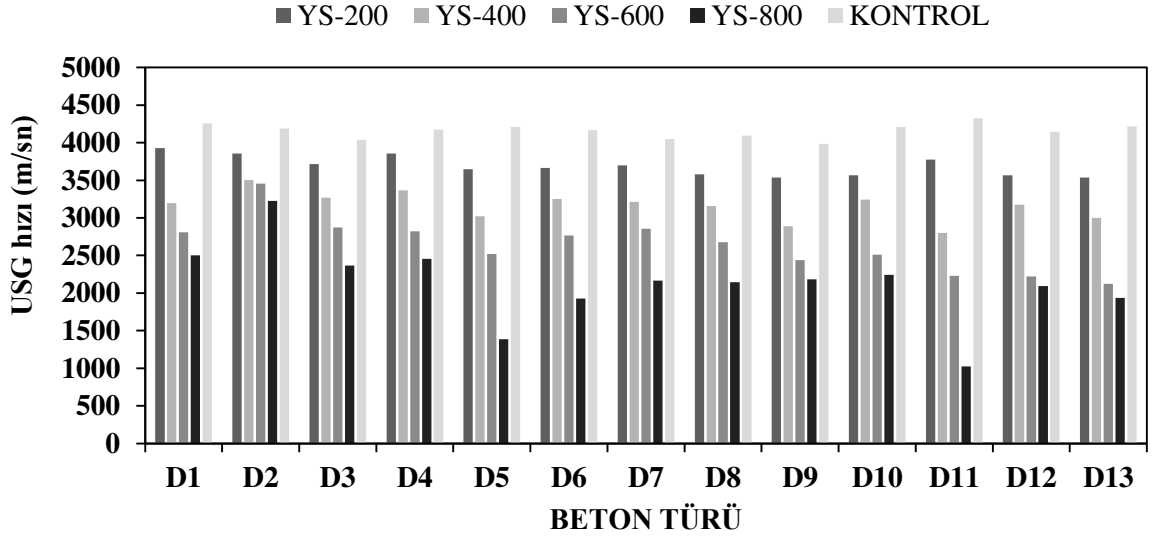
Şekil 4.13. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 28 günlük basınç dayanımı



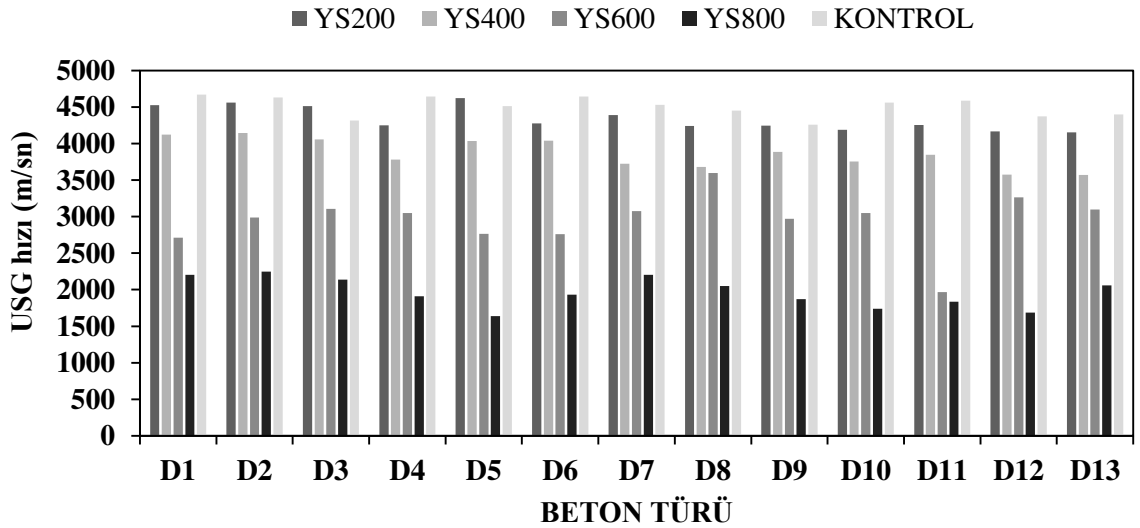
Şekil 4.14. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 90 günlük basınç dayanımları

4.3.1.2 USG Hızı Tayini

Şekil 4.15 de görüldüğü üzere artan fırın sıcaklığının USG hızı deneyleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Her bir seri kendi içinde incelendiği zaman sıcaklık arttıkça USG hızlarında düşmeler meydana gelmiştir.



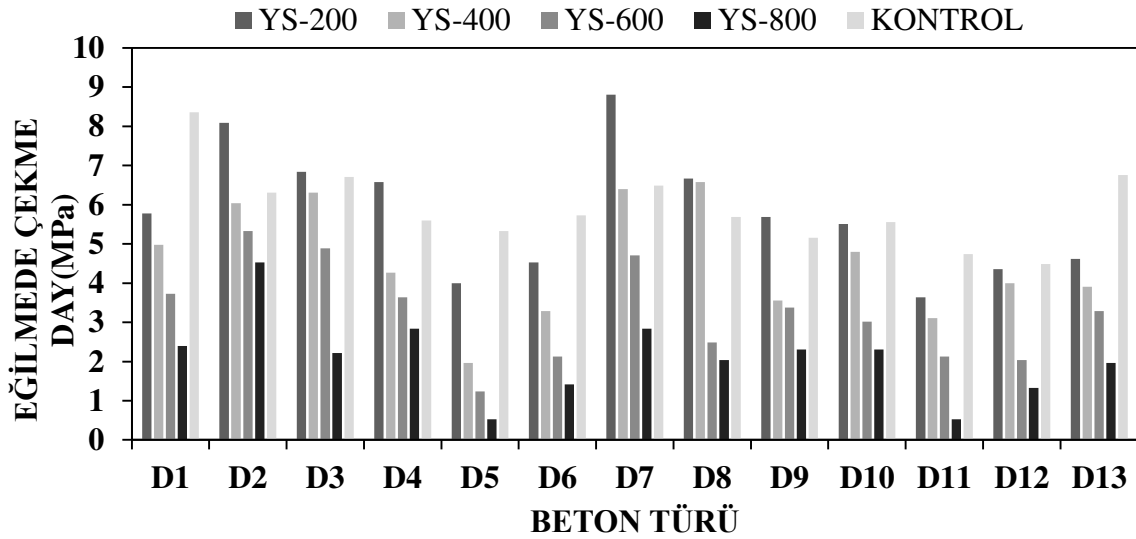
Şekil 4.15. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 28 günlük USG hızları



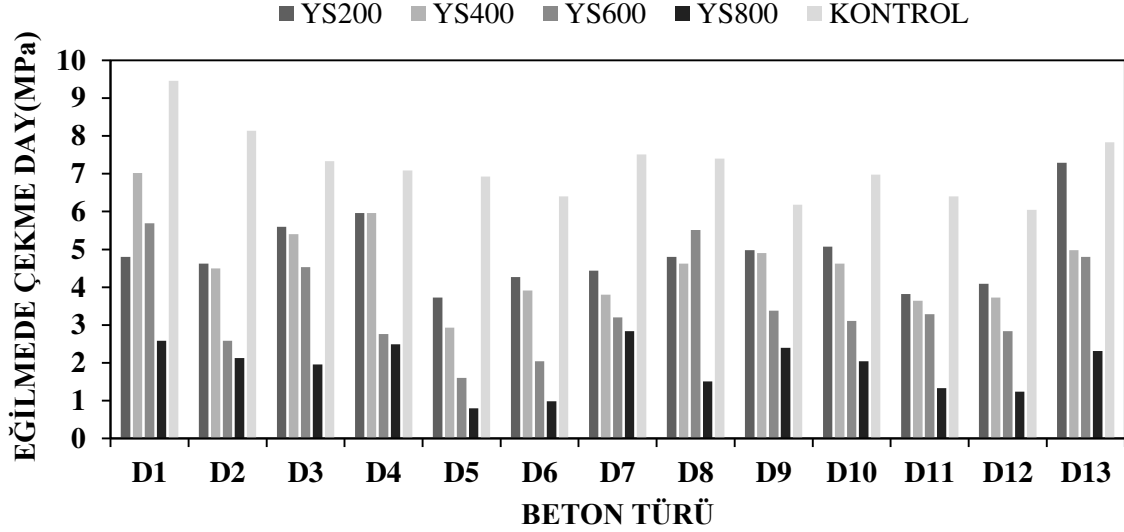
Şekil 4.16. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 90 günlük USG hızları

4.3.1.3. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 da görüldüğü üzere artan fırın sıcaklığının eğilmede çekme dayanımı deneyleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Her bir seri kendi içinde incelendiği zaman sıcaklık arttıkça eğilmede çekme dayanımında düşmeler meydana gelmiştir. Bazı beton serilerinde 200 ve 400 ° C sıcaklıktaki beton serilerinin eğilmede çekme dayanımı kontrol serisine kıyasla fazla çıkmıştır. Bu durumun nedeni 400 ° C sıcaklığa kadar olan sıcaklıkların beton serisi üzerinde iyi yönde kür etkisi yapmasından kaynaklanmaktadır. Sentetik polimer esaslı fiber takviyeli serilerde yüksek sıcaklığın etkisiyle fiberlerde erimeler ve eriyen fiberlerin bulunduğu alanlarda boşluklar oluşmuştur. Bu boşlukların ve fiberlerin erimesinin ekisiyle sentetik polimer esaslı fiberlerin bulunduğu serilerde daha fazla mukavemet kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 4.17. KYFTHB'ların yüksek sıc. maruz kalmış 28 günlük eğilmede çekme dayanımı



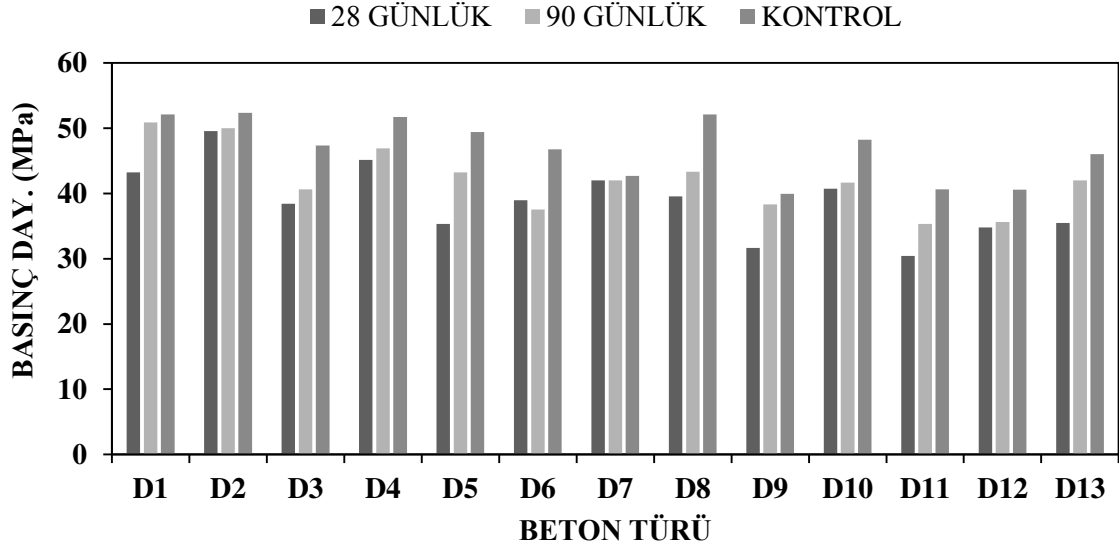
Şekil 4.18. KYFTHB'ların yüksek sıcaklığa maruz kalmış 90 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımı

4.3.2 Donma-Çözünme Deneyi Bulgularının İncelenmesi

Tez kapsamında üretilen beton serilerine 50 donma-çözünme çevrimi sonunda basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve USG hızı tayini deneyleri uygulanarak üretilen beton serilerinin performansları değerlendirilmiştir. Genel gözlem olarak donma-çözünme deneyi sonrasında üretilen hiçbir FTKYB serisinde parça kaybı ya da belirgin yüzey çatlağına rastlanmamıştır. Fakat uygulanan deneyler sonucu farklı oranlarda kayıpların olduğunun belirlenmesi, içyapı bozulmalarını göstermektedir. Donma-çözünme sonrasında uygulanan mekanik deneylerden ve bu mekanik deneyleri desteklemek için uygulanan USG hızı tayini deneyinden elde edilen veriler şekillerle ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.3.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.19. da görüldüğü üzere kontrol numunesi ve donma-çözünme deneyleri uygulanmış beton serileri karşılaştırılmıştır. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde bütün serilerde basınç mukavemeti kayıpları gözlenmiştir. Sentetik polimer esaslı fiber takviyeli serilerde diğer serilere göre daha fazla mukavemet kaybı yaşanmıştır. Uçucu kül toz malzeme kullanılan beton serileri pomza tozu kullanılan beton serilerine göre daha az mukavemet kaybetmiştir.



Şekil 4.19. KYFTHB'ların donma-çözünmeye maruz kalmış beton basınç dayanımları

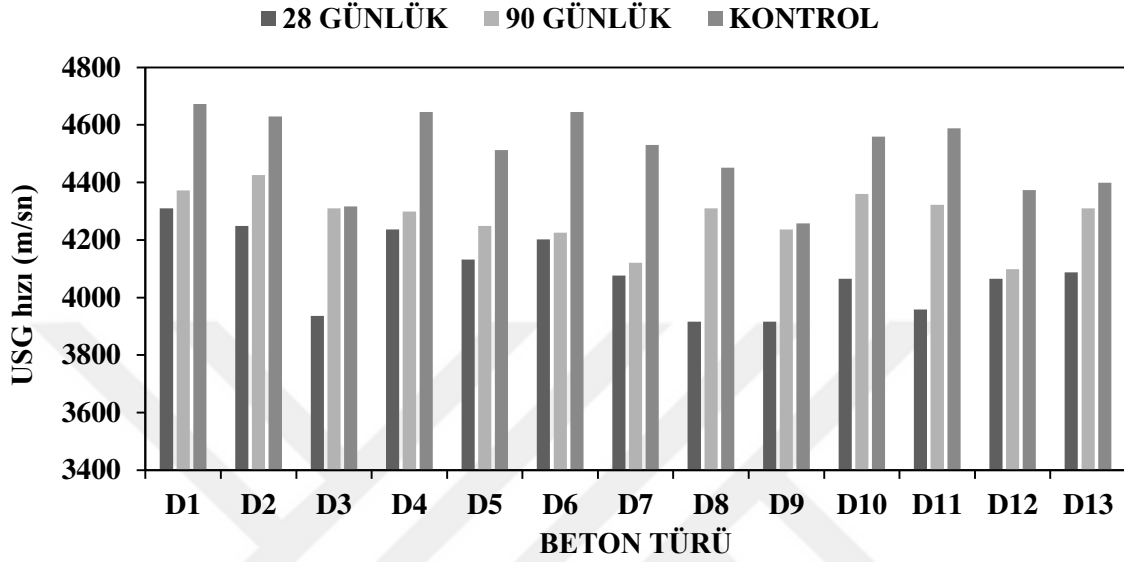


Şekil 4.20. KYFTHB'ların donma-çözünme numuneleri

4.3.2.2. USG Hızı Tayini

Şekil 4.21 da görüldüğü üzere kontrol numunesi ve donma-çözülme deneyleri uygulanmış beton serileri karşılaştırılmıştır. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde bütün serilerde

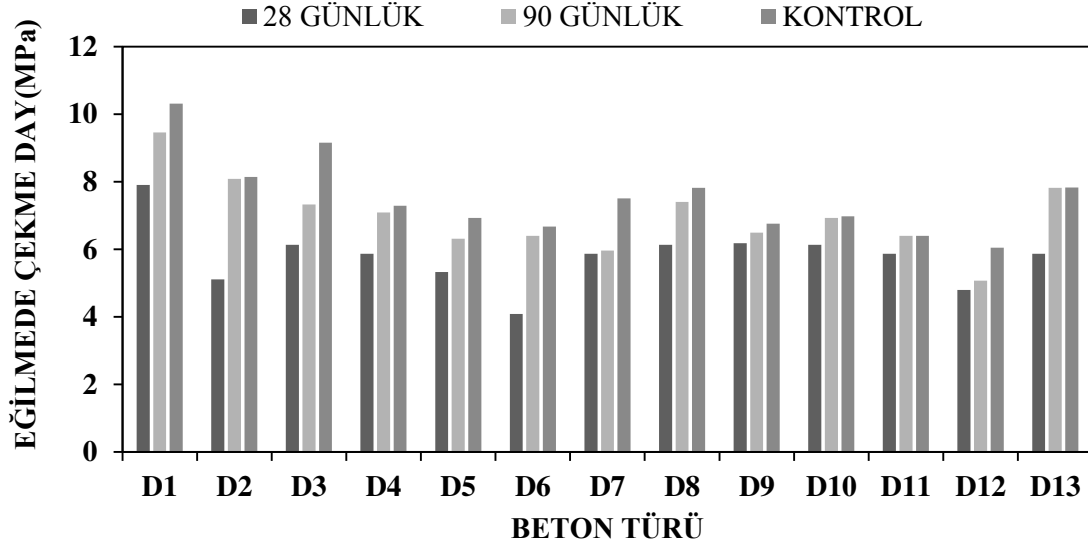
basınç mukavemeti kayıpları gözlenmiştir. Sentetik polimer esaslı fiber takviyeli serilerde diğer serilere göre daha fazla mukavemet kaybı yaşanmıştır. Uçucu kül toz malzeme kullanılan beton serileri pomza tozu kullanılan beton serilerine göre daha az mukavemet kaybetmiştir.



Şekil 4.21. KYFTHB'ların donma-çözünme USG hızları

4.3.2.3. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Şekil 4.22 da görüldüğü üzere kontrol numunesi ve donma-çözünme deneyleri uygulanmış beton serileri karşılaştırılmıştır. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde bütün serilerde eğilmede çekme dayanımında kayıplar gözlenmiştir. Sentetik polimer esaslı fiber takviyeli serilerde diğer serilere göre daha fazla mukavemet kaybı yaşanmıştır. Uçucu kül toz malzeme kullanılan beton serileri pomza tozu kullanılan beton serilerine göre daha az mukavemet kaybetmiştir.



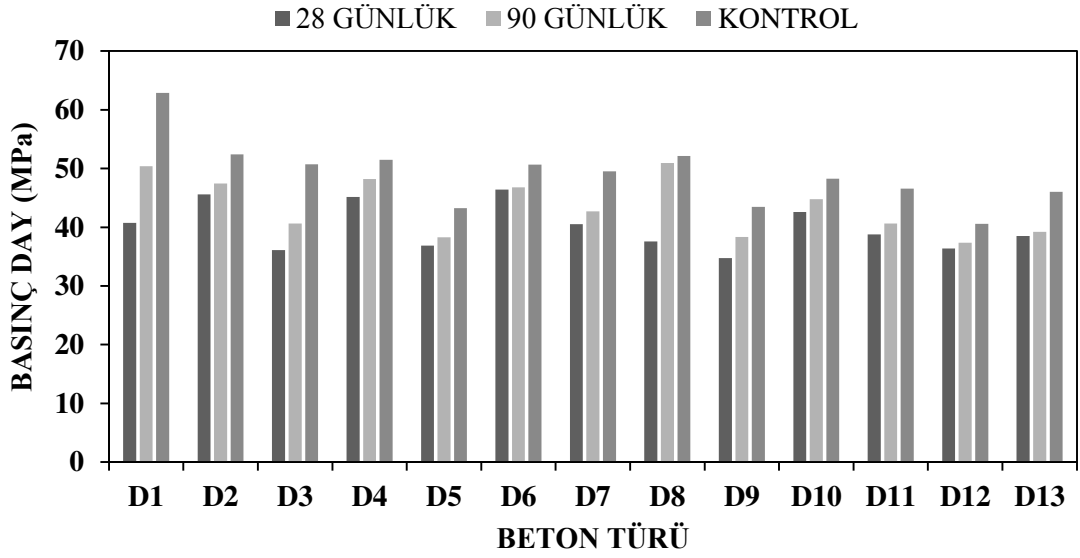
Şekil 4.22. KYFTHB’ların donma-çözülme deneyleri sonrası eğilmede çekme dayanımları

4.3.3. Asit Dayanıklılık Deneyi Bulgularının İncelenmesi

Tez çalışmasında, FTKYB serilerinin asitli ortamlara karşı direncini belirleyebilmek için beton serileri asit etkisi altında bırakılmıştır. Asit etkisi altında bırakılan seriler üzerinde basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı sonuçları belirlenmiştir. Ayrıca mekanik özellik deneylerini desteklemesi açısından, dayanım özellikleri ile bağlantılı olan USG hızı tayini belirlenmiştir. Beton serileri kontrol KYB serisi ile karşılaştırılmıştır.

4.3.3.1 Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.23 de görüldüğü üzere kontrol numunesi ve asit dayanıklılık deneyleri uygulanmış beton serileri karşılaştırılmıştır. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde asit etkisinden dolayı bütün serilerde basınç mukavemeti kayıpları gözlenmiştir. Şekil 4.24 da görüldüğü gibi numunelerde deney sonrası paslanmalar meydana gelmiştir.



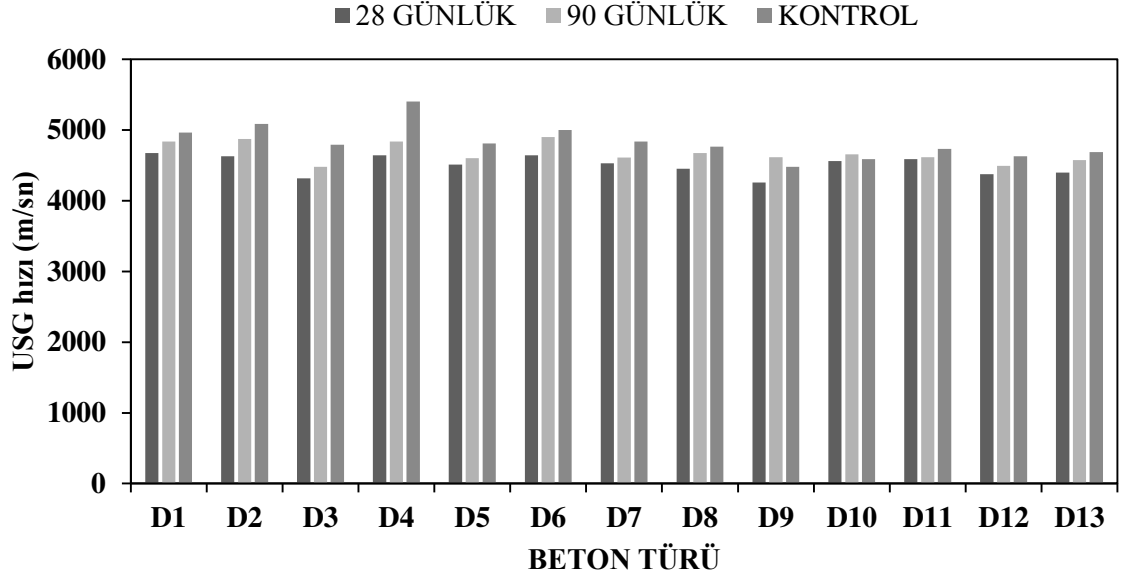
Şekil 4.23. KYFTHB'ların asit dayanıklılık deneyi basınç dayanımları



Şekil 4.24. KYFTHB'ların asit dayanıklılık deneyine maruz kalmış beton numunesi

4.3.3.2. USG Hızı Tayini

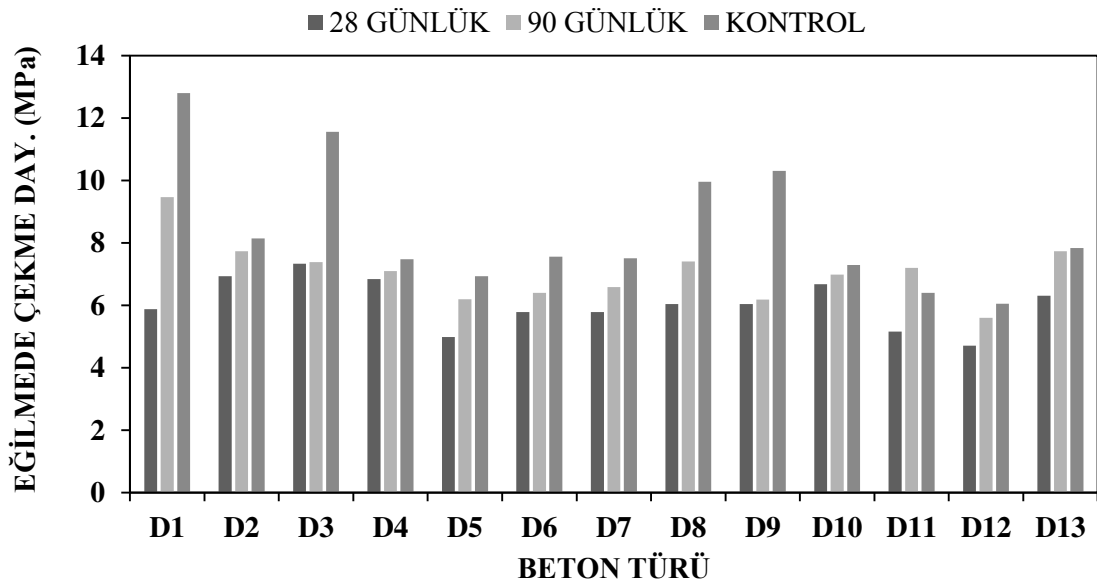
Şekil 4.25 da görüldüğü üzere kontrol numunesi ve asit dayanıklılık deneyleri uygulanmış beton serileri karşılaştırılmıştır. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde asit etkisinde kalmış bütün serilerde USG hızında kayıplar gözlenmiştir.



Şekil 4.25.. KYFTHB’ların asit etkisine maruz kalan numunenin USG hızı tayini

4.3.3.3. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Şekil 4.26 da görüldüğü üzere kontrol numunesi ve asit dayanıklılık deneyleri uygulanmış beton serileri karşılaştırılmıştır. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde asit etkisinden dolayı bütün serilerde eğilmede çekme dayanımlarında kayıpları gözlenmiştir. Şekil 7.24 de görüldüğü gibi numunelerde deney sonrası paslanmalar meydana gelmiştir. Bu kayıplar çelik fiberlerle tasarlanmış beton serilerinde daha az olmuştur.



Şekil 4.26. KYFTHB’ların asit etkisine uğramış betonun eğilmede çekme değerleri

4.3.4 Islanma-Kuruma Deneyi Bulgularının İncelenmesi

FTKYB serileri üzerinde etkili olan bir diğer dayanıklılık deneyi de ıslanma-kuruma deneyidir. Islanma-kuruma deneyinde FTKYB serileri 50 çevrime tabi tutulduktan sonra belirtilen beton serilerinin mekanik özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Çelik fiber içeren FTKYB serilerinin yüzeylerinde yoğun bir şekilde paslanma gözlemlendi. Fakat karışımında yalnızca polipropilen sentetik fiber içeren serilerin yüzeylerinde ise bu tip bir bozulmaya rastlanmamıştır. Çelik fiber içeren FTKYB serilerinin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerinde bulunan fiberlerde bozulma oranı yüksek düzeylerde iken, karışımında yalnızca polipropilen sentetik fiber içeren FTKYB serilerinin yüzey kısmındaki fiberlerin hiçbir şekilde etkilenmediği gözlemlenmiştir.

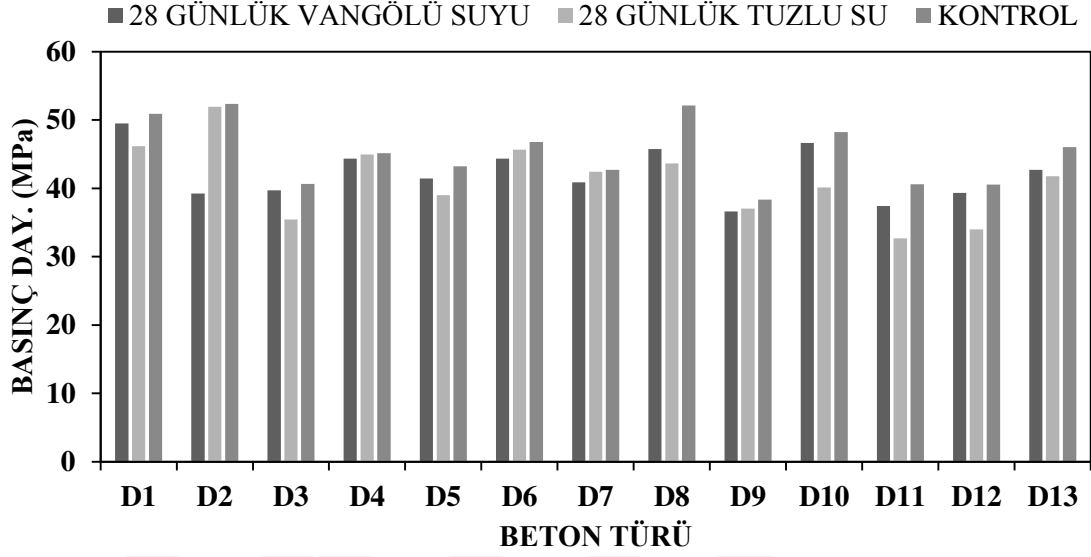


Şekil 4.27. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış betonun görüntüsü

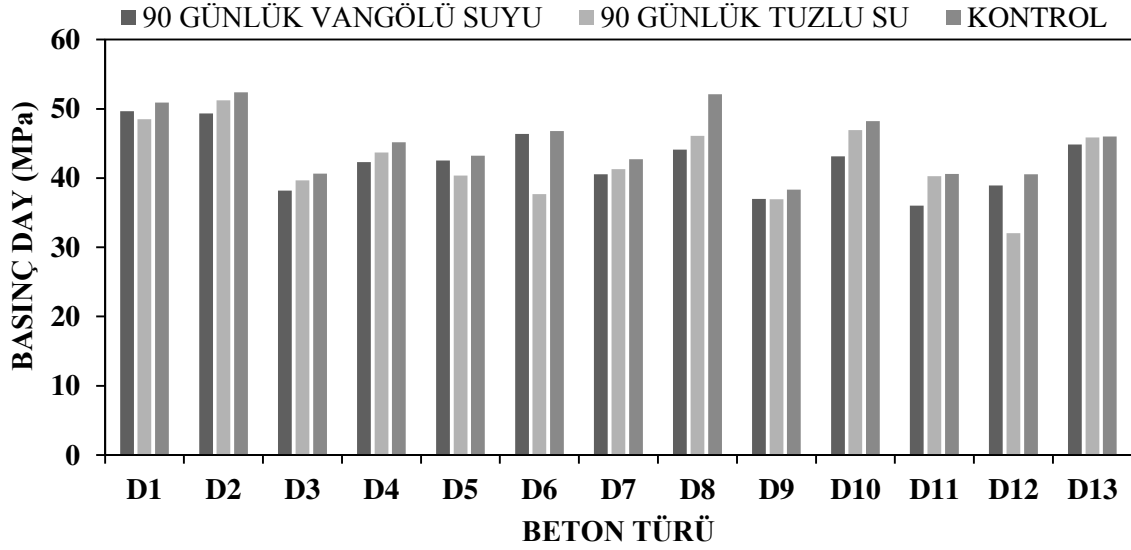
4.3.4.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 incelendiğinde görüldüğü üzere kontrol numunesi, vangölü suyuna maruz kalmış ve tuzlu suya maruz kalmış beton serilerinin basınç dayanımları verilmiştir. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde vangölü suyuna ve tuzlu suya maruz kalmış numuneler yaklaşık olarak aynı oranda kontrol numunesine göre basınç kaybı yaşamıştır.

Genel olarak ise tuzlu suya maruz kalmış serilerde kayıp biraz daha fazla olmuştur. Şekil 4.25 da görüldüğü gibi numunelerde deney sonrası paslanmalar meydana gelmiştir.



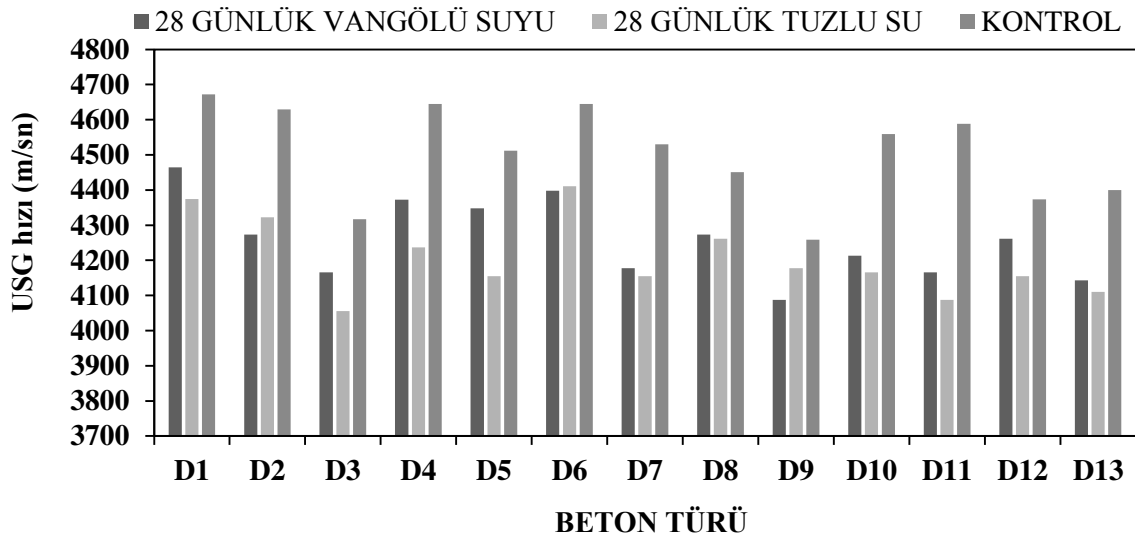
Şekil 4.28. KYFTHB’ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 28 basınç dayanımları



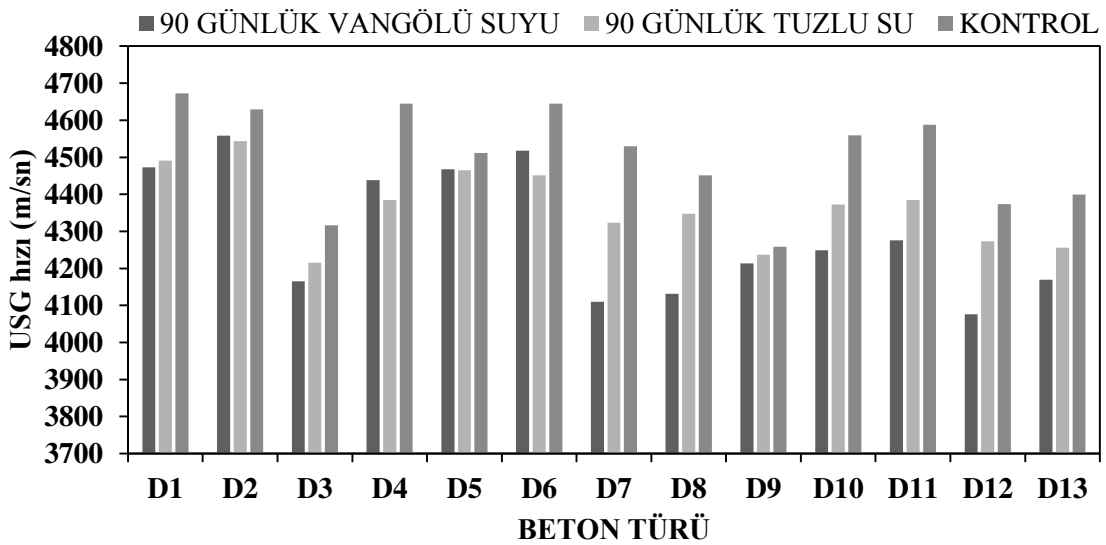
Şekil 4.29. KYFTHB’ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 90 basınç dayanımları

4.3.4.2. USG Hızı Tayini

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 incelendiğinde görüldüğü üzere kontrol numunesi, vangölü suyuna maruz kalmış ve tuzlu suya maruz kalmış beton serilerinin USG hızları verilmiştir. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde vangölü suyuna ve tuzlu suya maruz kalmış numuneler yaklaşık olarak aynı oranda kontrol numunesine göre basınç kaybı yaşamıştır. Genel olarak ise tuzlu suya maruz kalmış serilerde kayıp biraz daha fazla olmuştur.



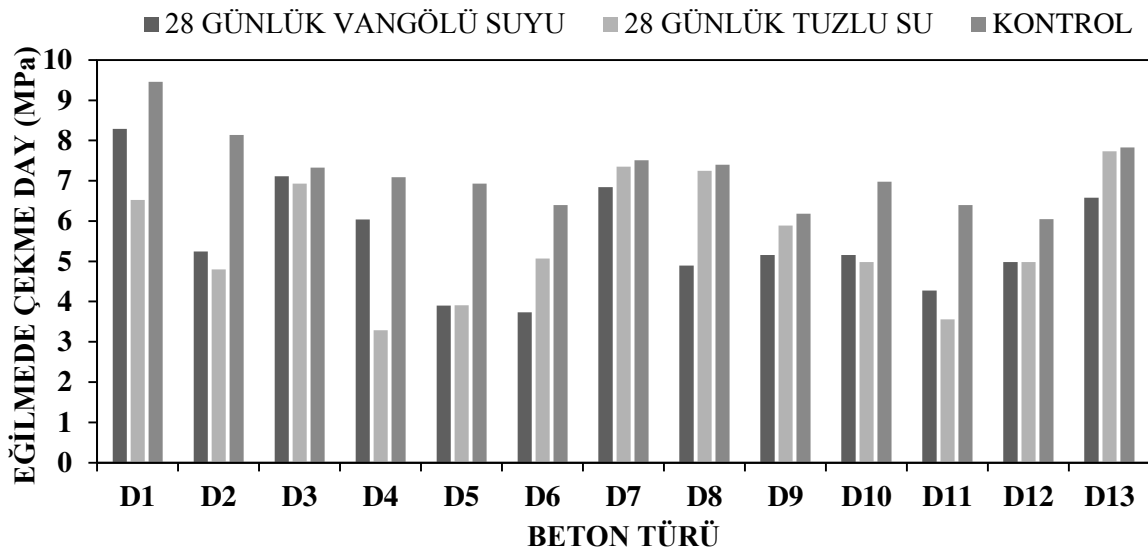
Şekil 4.30. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 28 günlük USG hızları



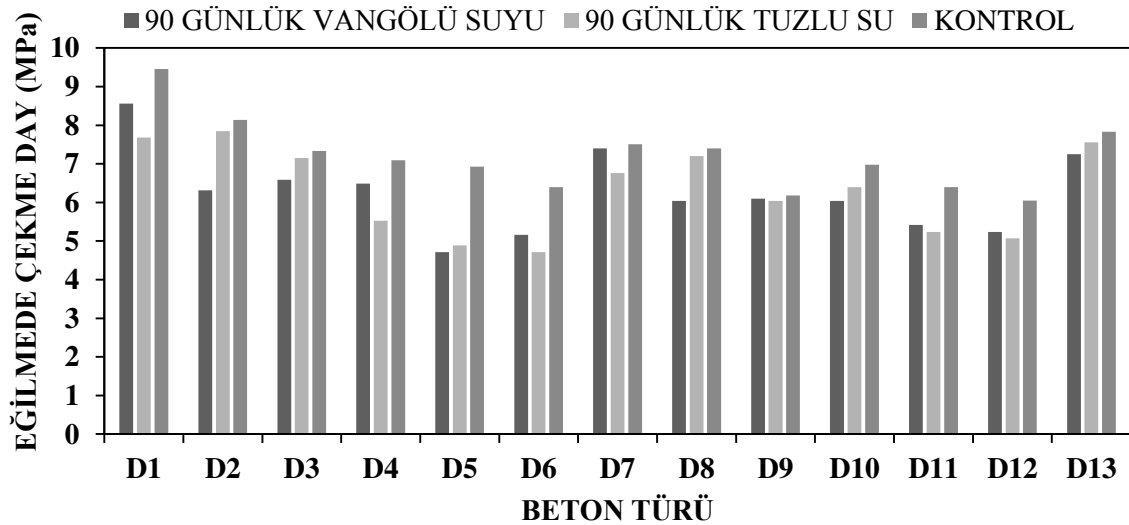
Şekil 4.31. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyine maruz kalmış 90 günlük USG hızları

4.3.4.3. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 incelendiğinde görüldüğü üzere kontrol numunesi, vangölü suyuna maruz kalmış ve tuzlu suya maruz kalmış beton serilerinin basınç dayanımları verilmiştir. Her beton serisi kendi içinde incelendiğinde vangölü suyuna ve tuzlu suya maruz kalmış numuneler yaklaşık olarak aynı oranda kontrol numunesine göre basınç kaybı yaşamıştır. Genel olarak polipropilen sentetik fiber içeren serilerde eğilmede çekme dayanımında meydana gelen azalma diğer serilere göre daha fazla olmuştur.



Şekil 4.32. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyi 28 günlük eğilmede çekme değerleri



Şekil 4.33. KYFTHB'ların ıslanma kuruma deneyi 90 günlük eğilmede çekme değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

13 Farklı fiber içerikli kendiliğinden yerleşen hafif beton tasarlanmıştır.

- Karışım içerisinde kullanılan fiber boyunda ve boy/çap oranlarında değişiklik göstermektedir. Fiber boyu ve boy/çap oranında artış gösterdiğinde betonun taze beton özelliklerinde düşüş meydana gelmiştir. En iyi taze beton özellikleri çelik mikro fiber kullanılan karışımdan elde edildi. FTKYB karışımlarında 30 mm' den daha uzun fiber kullanılması taze beton özelliklerinde yüksek oranda performans düşüklüğü meydana getirmiştir.

- Genel olarak makro beton serilerinde L-kutusu deneyi 3, 2, 1 donatı engeli ile ve donatı engeli olmaksızın denenmiştir. Sonuçta donatı sıklığının azalması ile geçiş yeteneğinde artış, tıkanma riskinde ise azalma görülmüştür. Kullanılan donatı sıklığından çok daha büyük fiber kullanımı durumunda her ne kadar karışım kıvamı iyi, akma ve yayılma yeteneği yüksek de olsa tıkanma meydana gelmiştir. Donatı ile birlikte fiber takviyesi kullanımı durumunda, kullanılacak fiberin donatı sıklığına göre tercih edilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

- Tez çalışmasında üretilen tüm beton serileri, kendi grupları içerisinde aynı yaşlarda benzer basınç dayanımları sergilemiştir. Fiber uzunluk ve boy/çap oranının düşmesi basınç dayanımında artma meydana gelmiştir.

- FTKYB serilerinin çekme dayanımları oldukça yüksek değerler vermiştir. Kullanılan fiberlerin uzunluk ve boy/çap oranının düşürülmesi ile çekme dayanımlarında da düşüş gözlenmiştir.

- USG hızı tayini deneyi neticesinde FTKYB serilerinde çelik fiber kullanımı neticesinde USG hızları birbirine yakınlık gösterirken, karışımda mikro fiber kullanımı USG hızını daha fazla arttırmıştır

- Yüksek sıcaklık uygulanmasıyla tüm beton serilerinde sıcaklığın artmasıyla dayanımlarda düşüş meydana gelmiştir. Tüm beton serilerinin dış görünümünde fiziksel değişimler ve bozulmalar gözlenmiştir. Sıcaklık artışı ile numunelerde çatlak boyu, genişliği ve yoğunluğu artış göstermiştir. 600° C ve 800° C sonrasında polipropilen sentetik fiberlerin tam olarak erimiştir. Sıcaklığın artmasıyla iç yapısında büyük bozulmalar meydana gelmiştir.

- Yapılan donma-çözünme çevrimi sonrası beton serilerinde yüzey bozulmalarına rastlanmazken, uygulanan deneylerden elde edilen bulgular içyapı bozulmalarını ortaya koymuştur.

- FTKYB serilerinin asit etkisine maruz bırakılması sonucu beton yüzeylerine yakın olan çelik fiberlerde paslanma meydana gelmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde de iç yapısında bozukluklar olduğunu ortaya koymuştur.

- Islanma-kuruma deneyi sonrası çelik fiber içeren FTKYB serilerinin yüzeylerinde yoğun bir şekilde paslanma oluşmuştur. Karışımında polipropilen sentetik fiber içeren serilerin yüzeylerinde ise herhangi bir bozulma oluşmamıştır. Karışımında mikro çelik fiber kullanılan FTKYB serilerinin mekanik özellikler olarak ıslanma-kuruma deneyinden etkilenme oranı daha düşüktür.

5.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada Lifsiz taze beton özelliklerini belirlemek amacı ile tasarlanmış olan deney yöntemlerinin, lif takviyesi ile tasarlanacak olan karışımların taze beton özelliklerini belirlemede yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Özellikle makro fiberler ile oluşturulan karışımların L-kutusu ve V-hunisi deneylerinde problemler yaşanmıştır. 30 mm' den daha büyük ölçüde makro fiber kullanımı V- hunisi çıkış ağzında ve L - kutusu donatı engeli önünde tıkanmalar oluşturmaktadır. Diğer bütün taze beton özelliklerinin yüksek olmasına karşın bu deneylerde performans düşüklüğünün yaşanması deney aparatlarının boyutsal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden FTKYHB taze beton özelliklerinin belirlenmesinde daha uygun test metotları geliştirmek uygun olacaktır.

Beton yapı elemanlarında FTKYHB ile tasarım yapılması durumunda fiber boyutları ve donatı sıklığı dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle 30 mm den daha büyük fiber kullanımı betonun kalıba yerleşmesinde büyük sorunlar çıkaracaktır

Polipropilen sentetik mikro fiberin kullanımı betonun yangın etkisine maruz kalması durumunda çok ciddi sorunlar doğuracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Kocataskın, F., 1991. Betonun Dünyü Bugünü Yarını, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) Sf. 23-42.
- [2] Postacıoğlu, B., 1987. Beton Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul
- [3] Köksal, F., 2004. Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ
- [4] Okamura, H., Ouchi, M. April 2003, Self-Compacting Concrete., Journal of Advanced Concrete Technology,
- [5] Okamura, H. July 1997, Self-Compacting High-Performance Concrete., Concrete International.
- [6] Grünwald, S., Walraven, J. C. Dec 2001, Parameter-study on the influence of steel fiber sandcoars eaggregate content on the fresh properties of selfcompacting concrete., Cement And Concrete Research.
- [7] Hannant, D.J., Fibre-Reinforced Concrete.,
- [8] Yerlikaya, M. Ocak-Subat 2002. Çelik Tel Donatılı Endüstriyel Zemin Betonları., Hazır Beton., Sf. 50-51,
- [9] Akman, S., 1992. Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [10] Sengül, C., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ
- [11] Müklif SAR, 2013. Volkanik Pomza Tozunun Yalın ve Silis Dumanı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep
- [12] Dolğun O, 2010. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Öğütülmüş Pomza Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [13] Artık K, 2009. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

- [14] Ögüler AT, 2007. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekaniksel Özelliklerine Agrega Tipinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [15] Sağlam AR, Parlak N, Doğan ÜA, ve Özkul MH, 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu. Beton 2004 Kongresi Bildirileri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [16] Shahid Iqbal, Ahsan Ali, Klaus Holschemacher, Thomas A. Bier. Effect of change in micro steel fiber content on properties of High strength Steel fiber reinforced Lightweight Self-Compacting Concrete (HSLSCC)
- [17] Saim Sinan Boratav, 1997. Fiber Reinforced High Strength Lightweight Concrete
- [18] Ghazal Asaad, 2015. An Experimental Study On The Workability Of Carbon Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete
- [19] Murat Kurt, 2009. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması
- [20] Neville, A. M., (1975), “Properties of Concrete”, Pitman Publishing, London.
- [21] Postacıoğlu, B., Taşdemir, M. A., (1986), “Depreme Dayanıklı Yapılarda Doğal Hafif Agregalı Betonlardan Yararlanılması”, Yapı Endüstri Merkezi Deprem Semineri Bildiriler Kitabı.
- [22] Hızal S, 2010. Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Tasarımı ve Durabilite Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [23] Felekoğlu B, Türkel S, Baradan B, 2004. Kendiliğinden yerleşen beton: bölüm 1 genel tanıtım, kullanım alanları, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni, 05 Haziran, Yıl: 19 Sayı: 117, Sf. 20-24
- [24] Yoğurtçu E, 2005. Kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif beton, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [25] Uygunoğlu T, 2008. Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [26] ACI 237R-07, 2007. Self-Consolidating Concrete. Reported by ACI Committee 237.
- [27] RILEM, 2008, Final report of RILEM TC 205-DSC: durability of self-compacting concrete, Material and Structures.
- [28] Dolgun O, 2010. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Öğütülmüş Pomza Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

- [29] Gönen T, 2009. Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel Ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [30] Wattanalamlerd, C. and Ouchi, M. 2005, Flowability of Fresh Mortar in Self-Compacting Concrete Using Fly Ash, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete, China.
- [31] Li, Y. Zhou, S. Yin, J. and Zhou, W. 2005, Experimental Study on Bond Strength of Rebar in High Performance Concrete Containing Ultra Fine Fly Ash, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete, China.
- [32] Felekoglu B, 2003. Kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [33] Ouchi M., (1999). "Self-compacting concrete – Development, applications and investigations", Nordic Concrete Research Committee Publications,
- [34] Arsalan S, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Uçak Pist Çabuk Onarım (Pço) Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [35] TS EN 206-1, 2002, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [36] EFNARC 2005, The European Guidelines for Self-compacting Concrete: Specification, Production and Use, The European Federation of Specialist Construction Chemical and Concrete Systems.
- [37] Domone, P. L., 2007, A Review of The Hardened Mechanical Properties of Self-compacting Concrete, Cement and Concrete Composites, 29, Sf. 1-12.
- [38] Kaya AO, 2010. Farklı Türde Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Faz ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Alyamaç K., 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekanizması Prensipleriyle İncelenmesi. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [40] Sarıdemir H, 2007. Mineral Ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılarının Kendiliğinden Yerleşen Betonun İşlenebilme Ve Basınç Dayanımına Etkisi. Yüksek lisan tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- [41] Türkiye Hazır Beton Birliği., 2007. Kendiliğinden yerleşen beton klavuzu.
- [42] Billberg, P., 2005, Mechanisms behind reduced form pressure when casting with SCC, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete (May 26-28, 2005), Z. Yu, C. Shi, K. H. Khayat and Y. Xie (The editors), China, 589-598.
- [43] Ferraris, C., 2005, Concrete Rheology: What Is It and Why Do We Need It?, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete (May 26-28, 2005), Z. Yu, C. Shi, K. H. Khayat and Y. Xie (The editors), China, 229-236.
- [44] Schwartzentruber, L. D., and Roy, R. L., and Cordin, J., 2006, Rheological Behaviour of Fresh Cement Pastes Formulated From a Self-compacting Concrete (SCC), Cement and Concrete Research.
- [45] Edamatsu, Y., Nishida, N., Ouchi, M., Compacting Concrete Considering Interaction Between Coarse Aggregate and Mortar Particles, Kochi University of Technology, Kochi, Japan
- [46] Tasdemir, M.A. ve Bayramov, F. Aralık 2002. Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, İTÜ Dergisi/d cilt 1, sayı 2.
- [47] Miao, C., Mu, R., Tian, Q. And Sun, W., 2002. Effect of Sulfate Solution on the Frost Resistance of Concrete with and without Steel Fibre Reinforcement, Cement and Concrete Research, 32, 31-34.
- [48] Sabir, B.B., 2001, Toughness and tortuosity of polypropylene fibre reinforced concrete, Magazine of Concrete Research, 53, No. 3, 163-170
- [49] Halliwell, S.M., 2003, Polymers in Building and Construction, Smithers Rapra, Shropshire- UK.
- [50] Sahmaran, M., Yaman, I. O., 2007, Hybrid Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete with a High-Volume Coarse Fly Ash, Construction and Building Materials.
- [51] Nehdi, M., Ladanchuk, J. D., 2004, Fiber Synergy in Fiber Reinforced Self-Consolidating Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 101, No 6.
- [52] Qian, C.X., Stroeven, P., 2000, Development of Hybrid, Polypropylene-Steel Fibre-Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 30, 63-69

- [53] Song, P.S., Hwang, S., 2004, Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete, Construction and Building Materials.
- [54] Yazıcı, Ş., İnan, G., Tabak, V., 2007, Effect of Aspect Ratio and Volume Fraction of Steel Fiber on The Mechanical Properties of SFRC, Construction and Building Materials.
- [55] Kayali, O., Haque, M.N., Zhu, B., 2003, Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete, Cement & Concrete Composites.
- [56] Yalçın, M., Taşdemir, C., Gökalp, İ., Ekim, H., Yerlikaya, M., 2007, Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanılabilirlik ve Taşıma Gücü Sınır Durumlarına Göre Tasarımı, 7. Ulusal Beton Kongresi: Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [57] Quanbing, Y., Beirong, Z., 2005, Effect of Steel Fiber on the Deicer-Scaling Resistance of Concrete, Cement and Concrete Research.
- [58] Miao, B., Chern, J.-C. and Yang, C.-A., 2003, Influences of Fiber Content on Properties of Self-Compacting Steel Fiber Reinforced Concrete, Journal of Chinese Institute of Engineers, Vol.

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1990 yılında Merkez / Bitlis'te doğdu. İlköğretimi Hüsrevpaşa İlk Öğretim Okulu ve TOBB İlk Öğretim Okulu'nda, liseyi Bitlis Nurullah Eren A.Ö.L'nde tamamladı. 2008 yılında kazandığı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. Ağustos 2013- Eylül 2014 yıllarında Zey Yapı A.Ş Adilcevaz İlçe Emniyet Müdürlüğü Binası İnşaatı Şantiye Şefliği, Eylül 2014 – Temmuz 2015 yıllarında Zey Yapı A.Ş Bitlis İl Emniyet Müdürlüğü Binası İnşaatı Şantiye Şefliği, Temmuz 2015 – Ocak 2016 Pekhan İnşaat A.Ş Betav 835 Kişilik Öğrenci Yurdu Binası İnşaatı Şantiye Şefliği yaptı. Temmuz 2015'den itibaren Pekhan İnşaat A.Ş Bitlis Eren Üniversitesi Tatvan Meslek Yüksek Okulu Binası İnşaatı Şantiye Şefliği yapmaya başladı ve aynı yerlerde devam etmektedir. 2014 yılının Eylül ayında Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı.