



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DONMA ÇÖZÜLME ETKİSİNDEKİ BETONLARDA VAKUM UYGULAMASI VE
LİF KATKISININ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muammer CANLI

HAZİRAN 2017

GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DONMA ÇÖZÜLME ETKİSİNDEKİ BETONLARDA VAKUM UYGULAMASI VE
LİF KATKISININ ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muammer CANLI

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.06.2017

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 30.06.2017

HAZİRAN 2017



KABUL ve ONAY



Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında **Muammer CANLI** tarafından hazırlanan **“DONMA ÇÖZÜLME ETKİSİNDEKİ BETONLARDA VAKUM UYGULAMASI VE LİF KATKISININ ETKİSİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gumüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:


Yrd. Doç. Dr. Mustafa DURMAZ


Üye (Danışman)

:


Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

Üye

:


Yrd. Doç. Dr. Ömer CAN

ONAY

Bu tez ~~4.../.../2017~~ tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması 3501 TÜBİTAK Kariyer Geliştirme Programı projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 212M012

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Donma Çözülme Etkisindeki Betonlarda Vakum Uygulaması Ve Lif Katkısının Etkisi”** isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
06/06/2017

Muammer CANLI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DONMA ÇÖZÜLME ETKİSİNDEKİ BETONLARDA VAKUM UYGULAMASI VE
LİF KATKISININ ETKİSİ**

Muammer CANLI

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

2017, 81 sayfa

Bu çalışmanın amacı, donma çözölmeye maruz betonlarda lif katkısı ve vakum uygulamasının etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, beton katkısı olarak çelik, polyester, polipropilen lif ve polipropilen elyaf kullanılmıştır.

Çelik lifler kısa “3 cm” ve uzun “6 cm” olarak kullanılırken, sentetik lifler kısa “2.5 cm” ve uzun “5 cm” olarak kullanılmıştır. Örneklerin üretim aşamasında, deneysel çalışmanın bir parametresi olarak, betona taze halde vakum uygulaması yapılmıştır. Lif katkılı, vakumsuz ve vakumlu beton örnekler 28 gün sonunda donma çözülmeye maruz bırakılmıştır. Her 50 döngüden sonra temel enine frekans değişim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen temel enine frekans değişim değerleri ile dinamik elastisite modülündeki azalma miktarları ve dayanıklılık faktörü değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, lif katkısı ve vakum uygulamasının donma çözülmeye maruz betonlarda olumlu etki yaptığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Lif, Donma-Çözülme, Durabilite, Sentetik Lif,

ABSTRACT

MS THESIS

**THE EFFECTS OF VACUUM TREATMENT AND FIBER ADDITION ON
CONCRETE UNDER FREEZE-THAW EFFECT**

Muammer CANLI

Gumuşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa ÇULLU

2017, 81 pages

The purpose of this study is to investigate the effects of fiber addition and vacuum treatment in concrete exposed to freeze-thaw effect. With this purpose, steel, polyester, polipropilen fiber and polipropilen wool were used as concrete support additions. While steel fibers were used as short in “3 cm” and long in “6 cm”, synthetic fibers were used as short in “2.5 cm” and long in “5 cm”.

In the production stage of the samples, the concrete was treated with vacuum in the fresh form as a parameter of the experimental study. The fiber-added, vacuumed and non-vacuumed concrete samples were exposed to freezing-thawing after 28 days. After every 50 cycles, main horizontal frequency change values were measured. With the main horizontal frequency change values obtained, reduction amounts in the dynamic modulus of elasticity and the durability factor were determined. Consequently, it was found that fiber addition and vacuum treatment created a positive effect in concretes exposed to freezing-thawing.

Key Words: Steel Fiber, Freeze-Thaw, Durability, Synthetic Fiber,



TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÇULLU'ya, çalışmalarımda büyük emeği olan Yrd.Doç.Dr. Hakan BOLAT'a, deneysel çalışmalarım ile ilgili Yapı Malzemesi Bölümü laboratuvarlarının tüm kapılarını açan Bölüm başkanımıza, 2016-2017 yılları arasında İnşaat Mühendisliği lisans 3. ve 4. Sınıf öğrencilerine,

212M012 numaralı proje kapsamında gerçekleştirdiğim bu tez için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Muammer CANLI
Gümüşhane, 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XV
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
2 GENEL BİLGİLER	5
2.1 Beton ve Beton Özellikleri	5
2.2 Betonda Lif Kullanımı	5
2.2.1 Çelik Lif.....	5
2.2.2 Polipropilen Lif.....	6
2.2.3 Cam Lifi.....	8
2.3 Donma-Çözülme.....	9
2.3.1 Donma-Çözülme Davranışı	11
2.3.2 Betonun Donma-Dözülme Dayanıklılığı.....	12
2.3.3 Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etki Eden Faktörler	13
2.3.4 Donma-Çözülme Mekanizmaları	15
2.3.4.1 Hidrolik Basınç Teorisi.....	15
2.3.4.2 Osmotik Basınç Teorisi	16

2.3.5	Donma-Çözülme Testleri	16
2.3.6	Donma-Çözülme Etkisinin Ölçülmesi	18
3	MATERYAL VE METOT	21
3.1	Materyal	21
3.1.1	Beton	21
3.1.2	Beton Bileşenleri	27
3.1.3	Lifler	29
3.2	Metot	32
3.2.1	Donma Çözülme Dayanımı Tayini	32
4	BULGULAR VE TARTIŞMA	34
4.1	Çelik Lif Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı	34
4.2	Polyester Lif Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı	43
4.3	Polipropilen Lif Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı	52
4.4	Polipropilen Elyaf Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı	61
5	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
6	KAYNAKLAR	77
	ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Çelik lif şekilleri (TS 10513 1992).....	6
Şekil 2.2. Polipropilen lif.....	8
Şekil 2.3. Cam lifi.....	8
Şekil 2.4. Betonda yapay olarak oluşturulmuş hava kabarcıkları a) Suya doymuş betonda boş hava b) Oluşan buzun genişleme alanı sağlaması kabarcıkları (Baradan, 2010)	10
Şekil 2.5. Donma-çözülme sonunda 0°C derecede üretilen referans beton örneklerdeki deformasyon (Çullu, 2009)	18
Şekil 3.1. Donma çözülmeye maruz beton örnekleri.....	33
Şekil 4.1. Düşük dayanımlı çelik lif katkı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	34
Şekil 4.2. Düşük dayanımlı çelik lif katkı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri.....	35
Şekil 4.3. Düşük dayanımlı çelik lif katkı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	36
Şekil 4.4. Düşük dayanımlı çelik lif katkı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri.....	36
Şekil 4.5. Normal dayanımlı çelik lif katkı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	37
Şekil 4.6. Normal dayanımlı çelik lif katkı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri.....	38
Şekil 4.7. Normal dayanımlı çelik lif katkı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	39

Şekil 4.8. Normal dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri.....	39
Şekil 4.9. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	40
Şekil 4.10. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri.....	41
Şekil 4.11. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	42
Şekil 4.12. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri.....	42
Şekil 4.13. Düşük dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	43
Şekil 4.14. Düşük dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	44
Şekil 4.15. Düşük dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	45
Şekil 4.16. Düşük dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	45
Şekil 4.17. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	46
Şekil 4.18. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	47
Şekil 4.19. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	48
Şekil 4.20. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	48
Şekil 4.21. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	49

Şekil 4.22. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	50
Şekil 4.23. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri	51
Şekil 4.24. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	51
Şekil 4.25. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	52
Şekil 4.26. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	53
Şekil 4.27. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	54
Şekil 4.28. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	54
Şekil 4.29. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	55
Şekil 4.30. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	56
Şekil 4.31. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	56
Şekil 4.32. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	57
Şekil 4.33. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	58
Şekil 4.34. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	59
Şekil 4.35. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	59

Şekil 4.36. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	60
Şekil 4.37. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	61
Şekil 4.38. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	62
Şekil 4.39. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	62
Şekil 4.40. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	63
Şekil 4.41. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	64
Şekil 4.42. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	65
Şekil 4.43. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	65
Şekil 4.44. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	66
Şekil 4.45. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	67
Şekil 4.46. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	68
Şekil 4.47. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri.....	68
Şekil 4.48. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri	69

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Polipropilen liflerin bazı özellikleri (Bentur ve Mindess, 2007)	7
Tablo 2.2. Bazı cam liflerinin özellikleri.....	9
Tablo 2.3. Sıcaklık değişiminin alt ve üst sınırları için aralık değerleri (Yetgin, 2009)	17
Tablo 3.1. Lif özellikleri.....	30

1. GİRİŞ

Günümüz yapı dünyasında bilimin her dalında olduğu gibi geniş bir kullanım alanı bulunan yapı malzemeleri ile ilgili yeni gelişmeler ortaya çıkmakta ve uygulamadaki yerini almaktadır. Bu yapı malzemeleri içinde geniş bir kullanım alanı bulunan beton; çimento, agrega, su ve gerekli ise katkı malzemesinin (kimyasal-mineral katkı, lif gibi) uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilen başlangıçta plastik kıvamda olup daha sonra çimentonun hidrasyonu sebebi ile sertleşen bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe çok önemli bir yere sahip olan beton, topraklarının büyük bir kısmı deprem kuşağındaki ülkemiz için hayati öneme sahip olduğundan, uygulamalarda kullanılan betonun istenilen şartları sağlayabilmesi için standartlara uygun olarak üretilmesi ile yetinilmeyip her aşamasında son derece dikkat ve özen gerektiren bir çalışma yapılmalıdır.

Beton performansına malzeme kalitesi, karışım oranı, betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi, kürü etki eden önemli parametreler arasında olup yukarıda belirtildiği üzere çelik lif kullanımının da etkisi vardır. Ayrıca beton kalitesini arttırmak için bu parametrelere ilaveten taze betonun yerleştirilmesinde ve küründe bazı teknolojik uygulamalardan yararlanılır ki bunlardan biri de taze betona yapılan vakum uygulamasıdır. Vakum uygulamasındaki amaç beton yüzeyinden yaklaşık 15 cm derinliğe kadar olan kısmında bulunan ve işlenebilirlik için olan sudan dolayı meydana gelen hava boşluklarının alınmasıdır. Böyle bir yöntemle su miktarı azaltılıp daha iyi bir su/çimento oranına ulaşılır. Karışımındaki su/çimento oranının azaltılması hem fiziksel hem de mekanik özelliklerde iyileşmeye sebep olur. Gerçekleştirilen böyle bir çalışma neticesinde betonun 3 günlük dayanımında %100, 28 günlük dayanımında ise %50 civarında bir artış görülmektedir. Bunların yanında vakum uygulaması erozyona, aşınmaya, devirsel donma çözümlere karşı direnç kazandırmakta ve betonun büzülme ve çatlama yatkınlığı da azalmaktadır. Bu avantajlarının yanında birde betonun erken katılaşmasını sağlamaktadır. Bu durum bazı koşullarda kalıpların daha erken kaldırılabilmesine olanak sağlar (Neville, 1993).

Konut, okul, fabrika, işyeri gibi binalar, köprü, tünel, petrol platformu gibi yapılar kullanım süresi boyunca çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler fiziksel, kimyasal, fiziko - kimyasal veya mekanik olabilmektedir. Yapının maruz kalacağı çevresel etkiler iyi belirlenmeli ve tasarım esnasında da bu etkiler dikkate alınmalıdır.

Dayanıklılık (durabilite, kalıcılık), yapı malzemelerinin ve yapıların kullanım sırasında hava koşullarına, kimyasal etkenlere, aşınmaya ve diğer yıpratıcı dış etkenlere karşı direnç gösterebilmesi olarak tanımlanabilir. (Baradan vd., 2010; Küçük, 2000; ACI 201-2R, 1992). Yapının işlevini yerine getirebilmesi için yapıda kullanılan betonun, maruz kalacağı etkilere karşı dayanıklılığı yeterli olmalı ve yapının performansını belirli bir düzeyin altına düşürmemelidir. Yapıyı etkileyen bu faktörlerin olumsuz etkilerinden dolayı günümüz yapısal tasarımında en az malzeme dayanımları kadar dayanıklılık (durabilite, kalıcılık) ölçütlerinin de dikkate alınması kabul görmektedir (Kaya, 2014; Sommerville, 2000). Ayrıca, malzemelerin dayanıklılık özelliklerinin de tıpkı mekanik özellikler ve maliyetler gibi, yapının tasarım aşamasında dikkate alınması gereken önemli birer unsur olduğu aşikardır (Mehta ve Monterio, 1993).

Betonun maruz kaldığı fiziksel etkilerden bir tanesi de tekrarlı donma-çözülme etkisidir. Özellikle karasal iklim gibi sert iklim koşullarının görüldüğü bölgelerdeki binaların dış cepheleri, köprülerin kolon ve girişleri, barajlar, istinat duvarları, beton yol döşemeleri ve hava alanı pistleri gibi atmosfer etkilerine açık kalacak betonarme yapılarda beton kalıcılığının karşısındaki en büyük tehditlerden birisi donma-çözülme olayıdır (Sevin, 2014; Shang ve Song, 2008; ACI.201-2R, 1992). Beton ve çimento hamuru içerisindeki su, düşük sıcaklıklarda buza dönüşebilir. Suyun donduğunda hacimce genişlediği bilinmektedir. Genleşen su beton bünyesinde iç gerilmelere yol açar ve çatlaklar oluşur (Baradan vd., 2010; Powders ve Helmut 1953). Betonun donmaya karşı dirençli olabilmesi için ihtiyaç duyulan hava hacmi harç hacminin % 9'u kadardır. Katkısız betonda bu havanın homojen dağılması zordur. Homojen dağılımı sağlamak için betona bazı kimyasal katkıları ilave edilmektedir. Hava sürükleyici katkıları betonun içerisindeki havanın homojen dağılmasını sağlar. Birbirinden bağımsız olarak homojen bir biçimde dağılan hava, içerisine giren su donduğunda iç gerilmeler oluşturamaz. Böylece donma-çözülme etkisine maruz beton daha az zarar görür. Ayrıca betonun işlenebilirliği ve donma-çözülme direnci artar, ayrışması ve su ihtiyacı azalır. Ancak hava miktarı %1-8 olan betonlarda, hava miktarındaki her %1'lik artış basınç dayanımını %5 oranında azaltmaktadır (Erdoğan, 2003; Neville,1997; Powers, 1949; Pigeon ve Pleau, 1995; Yalçınkaya, 2009; Sevin, 2014).

Yapı sektöründe kullanılan betonun dayanıklı ve uzun ömürlü olmasının yanında basınç dayanımında istenilen seviyelere çıkartılabilmesi betonun avantajları arasında olup buna karşın dezavantajları ise eğilme ve çekme dayanımının basınç dayanımının yanında

ihmal edilecek kadar düşük olması ve bazı çevresel etkilere karşı dirençsiz olmasıdır. Araştırmacılar, betonun dayanım ve kalıcılık yönünden zayıf olan yönlerini iyileştirebilmek için uzun yıllardan beri kapsamlı çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan biri de betona lif ilave edilmesidir. Yaklaşık 4500 yıl önce yapı malzemesi adı altında kullanılan saman içerikli kil harcından (kerpiç) esinlenen (Aslan ve Aydın, 1999) lifli betonlar üzerindeki ilk çalışmalar 1962'de A.B.D.'de James Romualdi tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların deneysel çalışmaları neticesinde lifli betonların normal betonlara göre üstün özelliklerinin olduğu ortaya çıkmıştır (Vondran, 1992).

Çelik liflerdeki çeşitlilik sebebiyle yük altındaki beton davranışı farklılık gösterir. Beton içerisindeki gerilmeler, malzeme içerisinde meydana gelen mikro çatlaklar sebebiyle düzensizdirler. Beton karışımına katılan lifler, çimento matrisi içerisinde, üzerinden gerilmelerin iletiildiği, küçük köprüler gibidir. Beton karışımında düzensiz olarak bulunan liflerin çatlak sonlarına bitişik olmasından ötürü, lifler çatlağın yayılmasına sebep olan gerilmeleri kendi üzerlerine alarak çatlama kısmına iletirler. Kısaca çelik lifler betondaki çekme gerilmeleri sebebiyle oluşacak kılcal çatlakları engeller (Balaguru ve Shah, 1992). Ayrıca, çelik liflerin kesme, burulma ve yorulmaya karşı dayanımları fazladır. Ayrıca çelik lifli betonlarda; çatlama, dökülme, parçalanma ve dağılma normal betona göre oldukça az olup basınç dayanımlarında belli bir artış görülür (Alyamaç ve İnce, 2008).

Çelik lif takviyeli betonların özelliklerini etkileyen en önemli faktörler narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ve lif miktarıdır (Jean-Louis ve Sana, 2005). Betona katılan çelik liflerin miktarı 30-120 kg/m³, hacimsel olarak ise % 0.5-2.5 aralığında olabilmektedir. Belirtilen bu değerlerden daha az katılması geleneksel beton özelliklerine büyük bir olumlu etken sağlamayacağını göstermiştir. Daha yüksek oranda katıldığında ise geleneksel betona göre daha düşük bir basınç dayanımı meydana getireceği görülmüştür. Bunun en büyük sebebi ise yüksek oranda lif katıldığında karışımda topaklaşma meydana gelmesidir (Alyamaç ve İnce, 2008).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, çelik lif, polyester, polipropilen lif ve polipropilen elyaf katkısının ve taze halde betona vakum uygulamasının donma çözülmeye maruz betonlarda dayanıklılık faktörüne etkisinin araştırılmasıdır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Beton ve Beton Özellikleri

Beton, kolay üretilebilen ve bileşenleri kolay temin edilebilen, ekonomik bir yapı malzemesi olmasına karşın, özellikle yük altındaki davranışının ve mekanik özelliklerinin tam anlaşılmasını sağlamış olması sebebiyle üzerinde yoğun çalışmaların hala sürdürüldüğü bir malzemedir. Yapı endüstrisinde kullanılan betonun, dayanıklı ve uzun ömürlü olmasının yanında basınç dayanımı da oldukça yüksektir. Buna karşın beton basınç etkisi altında gösterdiği başarımı, eğilme ve çekme kuvvetleri etkisi altında gösterememektedir. Ayrıca yüksek süneklikten yoksundur (ACI 201-2R, 1992). Çekme dayanımı düşük olan betonlarda, özellikle dinamik yükler, çatlak oluşumuna ve pek çok çatlağın yayılmasına neden olur. Oluşan çatlaklar tekrarlı yükler altında daha büyük çatlaklara dönüşür ve ani kırılmalar görülebilir. Araştırmacılar, betonun zayıf olan mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için uzun yıllardan beri kapsamlı çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda farklı malzemelerle beton ve elemanlarının donatılması uygulamaları yapılmıştır (Sevin, 2014). Bu uygulamalardan başlıcaları betonda çelik donatılar ve lifler kullanılmaktadır. Ancak çelik donatılar mikro çatlaklara etki edemez ve makro çatlaklarda etkili olurlar. Bu da betonun çatlama dayanımı ve tokluk özelliklerini iyileştirme için en iyi yöntemin lifler olduğunu göstermektedir.

Beton içerisine takviye amacıyla kullanılan lifler, çelik, organik polimer, cam gibi malzemelerden meydana gelen ve farklı şekil ve boyutlara sahip olup bükülebilirlik, esneklik ve dayanıklılık özelliği olan malzemelerdir. Çelik lif takviyeli betonların özelliklerini etkileyen en önemli faktörler narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ve lif miktarıdır (Granju ve Balouch, 2005). Beton içine ilave edilen çelik lifler hacimsel olarak % 0.5-2.5, miktar olarak ise 30-120 kg/m³ aralığında olabilmektedir. Belirtilen bu değerlerden daha az katılması halinde, geleneksel beton özelliklerine önemli bir ölçüde katkı sağlamadığı görülmüştür. Daha yüksek oranda katıldığında ise karışımda topaklaşma meydana gelmesinden dolayı geleneksel betona göre daha düşük bir basınç dayanımı meydana getirdiği belirlenmiştir (Şahin, 2016; Alyamaç ve İnce, 2008).

2.2. Betonda Lif Kullanımı

Betonun sahip olduğu eğilme ve çekme dayanımı, yorulma dayanımı, tokluğu ve darbe etkilerine karşı dayanımı gibi özelliklerini arttırabilmek için beton karışımlarına lif ilavesi yapılabilir. Lif ilave edilen betonun performansındaki artış; liflerin yapısına, geometrik şekillerine ve miktarına, karışımdaki dağılımlarına ve betonun karışım oranlarına bağlıdır (American Concrete Institute, 1988; Yılmaz ve Cavga, 1999). Lif katkılı betonların esin kaynağı yaklaşık 4500 yıl önce yapı malzemesi olarak kullanılan saman ve hayvan kılı içerikli kil harcından (kerpiç)'tir. Lifli betonlar üzerindeki ilk çalışmalar 1962'de A.B.D.'de James Romualdi tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, deneysel çalışmalar sonucunda lifli betonların normal betonlara göre daha üstün özelliklerinin olduğunu belirlemişlerdir (Vondran, 1992). Yapı endüstrisinde kullanılan lifler genellikle yapay liflerdir. Uygulamada en sık kullanılan yapay lifler metalik lifler ve polimer liflerdir.

2.2.1. Çelik Lif

Lifli beton; kısaca çimento, agrega, su gibi ana bileşenlerden oluşan beton karışımlarına belli miktarda lif takviye edilmesiyle üretilen bir beton çeşididir. Buna karşın bu karışımdaki liflerin kesin tanımı yapılamamaktadır. Lifleri tanımlayan ifadeler; lifin mekanik özellikleri, geometrik yapısı, görünüm oranı gibi şekle bağlı özelliklerdir. Lifi en iyi tanımlayan özellik ise lif boyunun lif çapına oranı yani narinliğidir.

Yapılan bazı çalışmalar sonucunda, çelik lifli betonların, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı ve çatlak dayanımı sonrası yük taşıma kapasiteleri normal betonlara kıyasla artış gösterdiği, betonun tokluk özelliğini ve dinamik yüklere karşı dayanımını artırdığı belirlenmiştir (Güngör, 2013; Yerlikaya 2003).

TS 10513'e göre çelik lif tipleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

A sınıfı lifler:

- Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler

B sınıfı lifler:

- Bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş lifler
- Üzerinde çentikler olan lifler
- Uzunluğu boyunca dalgalı(kıvrımlı) lifler

- Ay biçimli dalgalı lifler

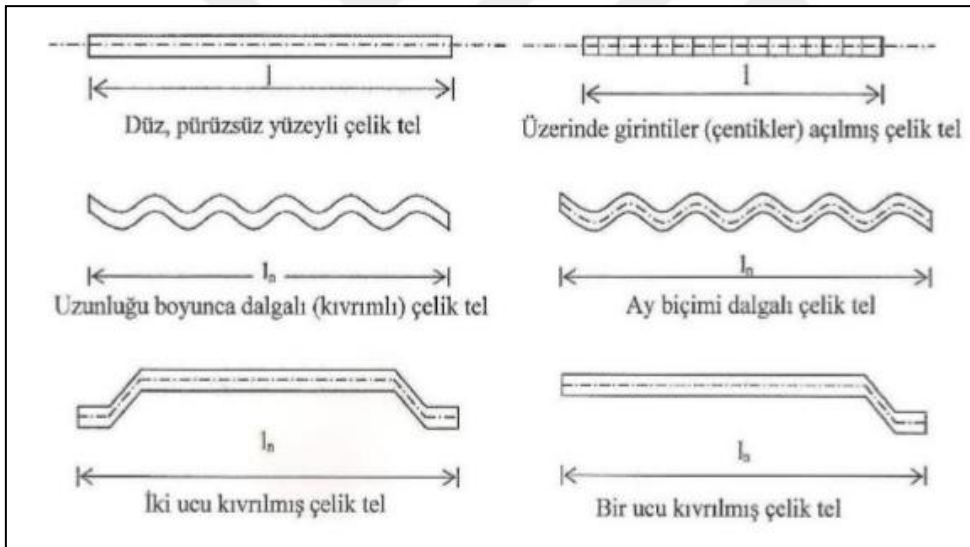
C sınıfı lifler:

- Kancalı uçlu lifler
- İki ucu kancalı lifler
- Tek ucu kancalı lifler

Ayrıca TS 10513'e göre çelik liflerde iki önemli parametre vardır:

- Liflerin çekme-kopma gerilmesinin ortalaması en az 345 N/mm^2 olmalıdır. Her bir lif için çekme-kopma gerilmesi 310 N/mm^2 'den az olmamalıdır.
- $16 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik ortamda, 3.18 mm 'lik bir iç çap çevresinde yapılan lif eğilmede, deneye tabi tutulan liflerin % 90'ının kırılmaksızın 90 derece eğilme yapabilmelidir.

TS 10513'e göre beton güçlendirmesinde kullanılan çelik liflerin tanımlamaları Şekil 2.1'de verilmiştir:



Şekil 2.1. Çelik lif şekilleri (TS 10513 1992)

2.2.2. Polipropilen Lif

Polipropilenden (PP) üretilen lifler oldukça yüksek dayanımları, alkali ortama çok iyi direnç göstermeleri ve düşük fiyatlarıyla önemli bir donatı malzemesi özeliğini taşımaktadır. En önemli kullanım alanı çimento bağlayıcılı kompozitlerin donatılmasıdır. 1960'lı yıllarda askeri araştırmalarda, polipropilen liflerin betonu sertleştirdiği, sınırlı çatlaklara izin vererek darbe ve aşınma direncini artırdığının belirlenmesiyle betona

katılmaya başlanmıştır. Günümüzde polipropilen lifler, çarpma, aşınma dayanımı ve geçirimsizliği artırmaları sebebiyle endüstriyel tesisler, havaalanları, konutlar ve yüzme havuzları gibi bir çok yapı uygulamalarında kullanılmaktadır.

Polipropilen lifler, genellikle kalınlığı 20 µm ile 400 µm arasında değişen elyaf tabaka halinde kullanılmaktadır. Malzemenin ergime sıcaklığı 165 °C olup, malzeme 100 °C 'ye kadar olan sıcaklıklarda özelliklerini korumaktadır. Kısa süreler için 140 °C 'ye kadar sıcaklıklarda da kullanılabilir.

Polipropilen lifin betonda kullanılması sayesinde, plastik büzülme nedeniyle sermeden hemen sonra oluşabilecek çatlakları kontrol altına alması sebebiyle çok önemli kazanım elde edilir.

Polipropilen liflerin başlıca kazanımları;

- Betondaki büzülme ve rötre çatlaklarını azaltır.
- Segregasyonu (ayrışmayı) azaltır.
- Betonun geçirimsizliğini artırır ve donatının korozyona uğramasını geciktirir.
- Betonun aşınma dayanımını artırır.
- Betonun basınç ve eğilme dayanımını artırır.
- Betonun dağılmasını ve parçalanmasını önleyerek, yapıların depremde daha az hasar görmesini sağlar ve çökme riski azaltır.
- Betonun yüzey kalitesini artırarak, tozuma, ufalanma ve parçalanmayı engeller.

Polipropilenin en büyük dezavantajı, güneş ışınlarından ve oksijenden olumsuz yönde etkilenmeleridir. Bu sebeple üreticiler malzemenin, mor ötesi ışınlardan ve oksidasyondan korunması için çeşitli önlemler almaktadırlar. Polipropilen liflerinin elastisite modülü, 3.5-10 GPa arasında değerler almaktadır. Bu değerler, matris malzemesi olan beton ve harçların 20-30 GPa mertebelerindeki elastisite modülü değerinin çok altında kalmaktadır. Buna rağmen, polipropilen liflerin katılmasıyla çimento bağlayıcı kompozitlerin özellikle çarpma dayanımı yükselmekte ve tokluğu artmaktadır (Ersoy, 2001).

Tablo 2.1. Polipropilen liflerin bazı özellikleri (Bentur ve Mindess, 2007)

Çap (µm)	Özgül Ağırlık	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Nihai Uzama (%)	Ergime Sıcaklığı (°C)
20-400	0.9-0.95	0.45-0.76	3.5-10	15-25	150-170



Şekil 2.2. Polipropilen lif

2.2.3. Cam Lifi

Liflerle donatılı betonların üretiminde en çok kullanılan donatı malzemelerinden biri de hiç kuşkusuz cam lifleridir. Cam lifleri, üstün özellikleri göstermesinin yanında, ekonomik bir donatı türü olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Cam lifi

Cam lifleri, sertlik, korozyona karşı direnç ve diğer malzemelerle tepkimeye girmeme gibi bazı özellikler gösterir. Yüksek dayanıma sahip olduklarından, lif yüzeyinde oluşan kusurlar hem sayıca az, hem de boyutça küçüktür. E tipi cam lifleri ekonomik olduklarından yüksek çekme dayanımı ve kimyasal direncin gerekli olmadığı yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. S tipi cam lifleri yüksek çekme dayanımlarına sahip olmakla beraber E tipi cam liflerinden 4–5 kat daha pahalıdır. Korozyona karşı dayanım istenen durumlarda ise C tipi cam lifleri kullanılmaktadır.

Tablo 2.2. Bazı cam liflerinin özellikleri

Cam lif tipi	Özgül Ağırlık	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2.54	1.7-3.5	69-72
S	2.48	2.0-4.5	85
C	2.48	1.7-2.8	70

2.3. Donma-Çözülme

Soğuk iklim koşullarında betonun kalıcılığını tehdit eden en önemli faktörlerden olan donma-çözülme hasarının oluşmasının temel unsuru sudur. Taze haldeyken donma-çözülme etkisine maruz kalan beton, içerisinde ki suyun donmasıyla yaklaşık %9 hacim artışı gösterir. Henüz plastik kıvamda olan beton, bu hacim artışı nedeniyle buzun boşluklara hareketine engel olamaz. Buz oluşumu sonucunda taze beton bünyesinde katı taneciklerin hareketi ile kütle transferi meydana gelir. Su beton bünyesinde yeniden dağılıp, buz kütesinin büyümesini sağlar. Islanarak doygun duruma gelen ve donma-çözülme devirlerine maruz kalan bütün betonlar kısa sürede hasar görmektedirler. Park alanlarında, hava alanlarında, kaldırımlarda, yollarda, istinat duvarlarında, köprü ayaklarında kullanılan betonlar, bu tür hasara maruz kalabilecek betonlardır. Tekrar tekrar yer alan donma-çözülme olayları karşısında, betondaki iç gerilmeler nedeniyle, beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar giderek daha büyük çatlaklar haline gelmektedirler. Şiddetli ortamda çok sayıda donma-çözülme olaylarına maruz kalan en iyi betonlar dahi en çok bir iki yıl içerisinde büyük hasar görebilmektedir.

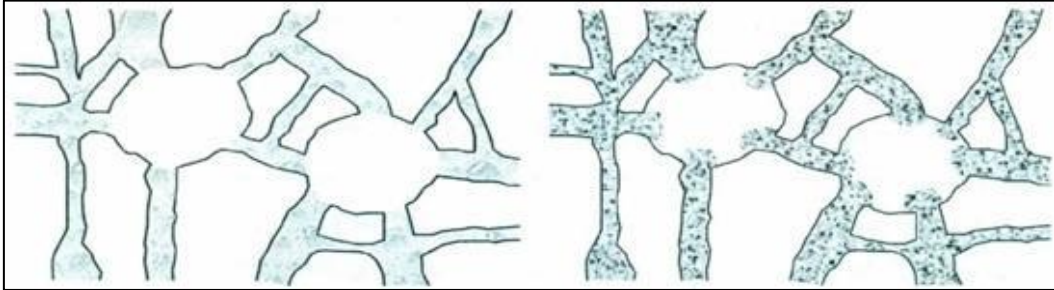
Sertleşmiş beton don etkisinde kalınca, çimento harcının içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve genişir. Çözülmeyi takip eden yeniden donma sonucunda bu

genleşme miktarı kümülatif olarak artar. Bu nedenle peş peşe devam eden donma-çözülme olaylarının etkisi, çözülmenin meydana gelmediği uzun süreli don etkisine kıyasla çok daha kuvvetlidir. Bu durum bir önceki donma periyodunda meydana gelmiş ince bir çatlığın yeniden donma sırasında genişip büyümesiyle açıklanabilir. Genleşme sonucu oluşan gerilmelerin betonun çekme dayanımını aşması halinde betonda; kabuk atma, çatlama, ufalanma şeklinde bozulmalar görülür.

Kapiler boşluklarda henüz tamamen donmamış durumdaki suyun gösterdiği hidrolik basıncın artmasına katkısı olan iki olay bulunmaktadır:

- Jel boşluklarındaki su ile buz arasındaki termodinamik dengesizlik, jel suyunun bir miktarının kapiler boşluklara yönelerek donmasına, böylece, hidrolik basıncın artmasına neden olmaktadır.
- Kapiler boşluklardaki saf suyun dışarı çıkması sonucunda, geriye kalan sudaki tuz ve benzeri maddelerin konsantrasyonu artmakta, osmotik basınç artmaktadır (Koç, 2012).

Betonun donması kademeli olarak gelişir. Donma büyük boşluklarda bulunan suda başlar ve giderek daha küçük boşluklarda bulunan suya yayılır. Yapay olarak oluşturulan hava boşlukları yan kapalı boşluklardır. Betonun suya doymun olması halinde bile su ile dolmazlar. Böylelikle, donmaya başlayan buzun genişmesinde; genişen su bu boşluklara geçiş yaparak betonda iç gerilme meydana getirmezler. Bu durum Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Betonda yapay olarak oluşturulmuş hava kabarcıkları a) Suyu doymun betonda boş hava b) Oluşan buzun genişleme alanı sağlaması kabarcıkları (Baradan, 2010)

TS EN 206-1 standardı, donma-çözülme tehlikesinin bulunduğu ortamda buz çözücü tuzlara ve deniz dalgalarına maruz betonarme yapılarda kullanılması gerekli en küçük beton dayanım sınıfını C30, en büyük S/Ç oranını 0.45, en az çimento dozajını 340 kg/m³ ve en

hava içeriğini %4 ile sınırlamaktadır. Ayrıca agreganın da donma-çözölmeye dayanımlı olması istenmektedir (Çullu, 2009). Kapiler boşlukları su ile dolu olan bir betonda, soğuk hava koşullarında kapiler boşluklardaki bu suyun donmasıyla meydana gelen içsel hacim genişlemesi, beraberinde içsel gerilmeyi de getirir ve çok küçük kılcal boşluklar, çatlaklar oluşur. Hava ısınca genişleme sona erer. Ancak oluşacak olan muhtemel bir donma sürecinde, meydana gelecek kılcal çatlaklar, etkisi artmış bir şekilde oluşmaya devam eder. Bu donma-çözölme devirleri devam ettikçe beton durabilitesini yitirir ve kırılmalar başlar (Coşkun, 2009).

İyi kalitede bir beton elde edebilmek için betonu oluşturan malzemelerin iyi kalitede olmaları, uygun malzeme oranlarının kullanılması, taze betonun yerleştirilme, sıkıştırılma ve kür işlemlerinin eksiksiz uygulanması muhakkak ki vazgeçilemeyecek unsurlardır. Buna rağmen, dışarıyla temasta olan ve boşluklarında su bulunduran beton, çok iyi kalitede bir beton olsa dahi, tekrar eden donma-çözölme olayları karşısında yeterli dayanıklılığı gösterememektedir (Erdoğan, 2007).

2.3.1. Donma-Çözölme Davranışı

Su donduğu zaman hacminde %9 artış olur. -22°C’de, buzun hacminde artışlar nedeniyle 207 MPa’ a kadar basınçlar oluşturabilir, daha fazlası kayaların dağılmasında yeterli olabilir. Su kılcal kanallar yolu ile zemin veya kaya içine sızması nedeniyle ve sıcaklık sıfırın altına düştüğü halde buz kristalleri oluşup ve genişlemeye neden olur, sıcaklık sıfırın üstüne ulaştığı zaman buz suya dönüşür, bu durumun tekrarlanmasına donma-çözölme işlemi denilir. Zemin-su içeriğinin değişmesiyle meydana gelen ıslanma-kuruma ve hava sıcaklığının değişmesiyle meydana gelen donma-çözölme olayları zeminin şekillenmesi ve/veya bozulmasında etkilidir. Zeminler mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklı sıcaklık ve nem rejimlerine maruz kalmaktadırlar. Bu değişimler zeminlerin fiziksel durumlarını ve birçok özelliğini etkilemektedir. Zeminin nem durumundaki değişimler; yağış, sulama, kapiler yükselme, güneşlenme rüzgâra bağlı olarak ıslanma ve kuruma ile sonuçlanmaktadır. Tüm bu süreçlerde sıcaklıkla beraber donma-çözölme olayları da etkili olmaktadır. Zemin için iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen ve zeminin dinamik yapısı üzerinde etkili olan en önemli olaylardan biri de donma çözölmedir. Yapılan araştırmalar donma-çözölme süreçlerinin zeminin fiziksel durumunu, özellikle zeminin ve agreganın yapısını etkilediğini göstermektedir (Matsuoka ve Murton, 2008).

İnce daneli bir zemin donduğunda, oluşan buz mercikleri ilk önce su potansiyeli ve donma noktasının en yüksek olduğu en büyük gözeneklerde meydana gelir. Daha sonra küçük gözeneklerdeki suyun donması şeklinde oluşur. Bu durum zemin içinde çatlakların oluşmasına neden olur. Bununla ilgili Chamberlain donmuş zemin numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada zeminden alınan ince kesitler üzerinde çatlakları açıkça görmüşler ve TEM (taramalı elektron mikroskobu) yaptıkları incelemede donmadan sonra zemin dokusunda önemli değişimlerin olduğunu ortaya koymuşlardır (Chamberlain., 1990).

2.3.2. Betonun Donma-Dözülme Dayanıklılığı

Sertleşmiş ve suya doymun haldeki bir beton, donma çözülme etkisinde kalınca, çimento harcının içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve genişir. Çözülmeyi takip eden yeniden donma sonunda bu genişme miktarı kümülatif olarak artar. Bu nedenle tekrarlı olarak donma çözülme olaylarının etkisi, çözülmenin meydana gelmediği uzun süreli don etkisine kıyasla çok daha kuvvetlidir. Bu durum bir önceki donma periyodunda meydana gelmiş ince bir çatlağın yeniden donma sırasında genişleyip büyümesiyle açıklanabilir. Genleşme sonucu oluşan gerilmelerin betonun çekme dayanımını aşması halinde betonda; kabuk atma, çatlama, ufalanma şeklinde bozulmalar görülür. İlginç bir çelişki ise, kalitesiz, yeterli sıkışmamış betondaki çok büyük boşlukların (ki bunlar çoğunlukla hava ile doludurlar) genellikle don etkisinden zarar görmemeleridir. (Baradan vd., 2002).

Tekrar eden donma çözülme döngülerinin zararlı etkisi, dünyanın birçok bölgesinde iyi bilinmektedir. Donma çözülme olayında su önemli rol almaktadır. Su başlangıçta karışımda veya sonradan betona girmiş olabilir. Fakat önemli olan, betona zarar veren sudur. Tekrar eden donma çözülme döngülerinin meydana getirdiği hasar, taze beton veya erken yaştaki beton üzerinde daha fazladır. Burada suyun buza dönüşerek genişmesi, betona genellikle onarılması imkânsız zararlar verir. Don etkisi ile donma çözülme etkisinin ikisi de su ile ilgilidir (Neville, 2001).

Beton içindeki kapiler boşluklardaki su donma esnasında genişler. Eğer oluşan buz için gerekli olan hacim, betondaki mevcut boşluk hacminden büyük ise genişleme basıncından dolayı fazla su dışarıya çıkmaya zorlanır. Hidrolik basıncın büyüklüğü birçok faktör (çimento hamurunun geçirgenliği, dolgunluk derecesine en yakın dolu olmayan boşluğun uzaklığı ve donma derecesi) tarafından etkilenir. Oluşan hidrolik basınç herhangi bir noktadaki betonun çekme dayanımından büyük olursa, lokal çatlaklar oluşacaktır. Islak

bir ortamda donma çözülme çevriminin tekrarlanmasında çatlaklara çözülme esnasında su girer tekrar donma meydana geldiğinde çatlak iyice genişler ve bu donma çözülme çevrimleri devam ettiğinde bozulma miktarı artacaktır. Yüksek performanslı betonların boşluk çaplarının ve kapiler boşluklarının birbirleriyle olan bağlantıları diğer betonlarınkine göre daha azdır. Bu durum, permeabilite ile ilgili olan fiziksel ve kimyasal proseslerde, yüksek performanslı betonlar ile geleneksel betonlar arasındaki davranış farklılıklarını belirler. Yüksek dayanımlı betonların yapı-agrega ilişkileri, geleneksel betonlarınkinden üstündür. Bunun nedeni agrega taneleri arasındaki yüzeyler nispeten küçük olması ve dolayısıyla donmaya karşı yüksek direnç için agreganın %10'dan daha fazla su emmemesi gerekir (Kucharska, 1994).

2.3.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etki Eden Faktörler

Betonun donma çözülme dayanıklılığına etki eden faktörler bu bölümde hep birlikte literatür ışığı altında ele alınmıştır. Bu etkiler agrega etkisi, çimento etkisi ve dış etkenler olarak incelenmiş ve açıklanmıştır. Donma çözülme dayanıklılığı, betonun çeşitli özelliklerine bağlıdır. Çimento hamurunun donma çözülme dayanımı, şekil değiştirebilme yeteneği, sünmesi, betonun doygunluk derecesi ve çimento hamurunun boşluk yapısı ile ilgilidir. Su içinde tutulan numunelerde, bütün boşluklar su ile dolu olmaz. Böyle olsaydı, suda tutulan bir numunenin ilk donmada parçalanması gerekirdi. Suya doygun betonun sıcaklığı düşerse, çimento hamuru içindeki kılcal boşluklarda bulunan su, kayaların içindeki kılcal boşluklardaki suya benzer olarak, donar ve betonda genleşme oluşur. Bu olay defalarca tekrarlanırsa, ard arda oluşan donma ve çözülmeler, betonda kalıcı hasar meydana getirir. Betonda, yetersiz genleştirmeden doğan daha büyük boşluklar ise, genellikle hava ile doludur. Bundan dolayı, oluşan hasarın meydana gelmesinde rol oynamazlar. Betonun donması kademeli olarak gelişir. Bunun nedenini ise, betondaki ısı transferinin hızı ve donma noktasındaki boşluğun boyutudur. Donma, büyük boşluklarda bulunan sudan başlayarak küçük boşluklara doğru yayılır. Betondaki suyun genleşmesinden doğan basınç, betonun çekme dayanıklılığını geçtiğinde betonda hasar oluşur. Hasarın derecesi, yüzeydeki dökülmelerden başlayarak tabakalar halinde parçalanma ile betonun içine doğru ilerler (Neville, 1995).

Betonun donmaya dayanıklılığını sağlamak için çimento hamuruna hava kabarcıkları sürüklenmesinin dışında bir önlem düşük su/çimento oranlı betonlar üretmektir. Böylece çimento hamurundaki kılcal boşluklar az olur ve böylece donabilecek su da azalır. Diğer

tarafından böyle betonların geçirimsizliği de düşük olacağından, emeceği su miktarı da az olur. Don hasarı tehlikesini önlemek için betonun iyi yerleşmesini sağlamak ve ayrışmasını önlemek esastır. Agreganın en büyük tane boyutunu yüksek tutmak veya yassı tane oranı fazla olan agrega kullanmak tavsiye edilmez. Zira her iki halde de, terleme sebebiyle agregaların alt yüzeylerinde geniş su cepleri birikecektir.

İri agregada bulunan suyun donarak hacminin artmasıyla meydana gelen ve beton kaplamalarda görülen donma çözülme çatlaması soğuk iklim etkisindeki ülkelerde önemli bir sorundur. Suyun donarak hacminin artması, agreganın içinde ya da sertleşmiş çimento hamurunda yeterli derecede basınç oluşturarak kaplamanın çatlamasına sebep olur. Genellikle bu çatlaklar önce kenarlarda başlar. Daha sonra kaplamada suyun kolayca erişebileceği yerlerde ve en sonunda da kaplamanın merkezinde görülür. Agreganın boşluk yapısı; suyun tutulmasını, yükselmesini ve hareket serbestisini belirleyerek hasar derecesini etkiler. Bu nedenle boşluk yapısından dolayı agreganın betonun donma çözülme dayanıklılığı ile ilişkili olduğu söylenebilir. Erken yaşlardaki betonun donma çözülmeden etkilenip etkilenmemesi ile ilgili kritik yaş ve kritik dayanım kavramları ortaya konulmuştur. Kritik yaş kavramı, en genel ifade ile beton başlangıçta donarsa hasara uğramaması için sahip olması gereken yaşı ifade eder. Genellikle 8–48 saat arasında değişen kritik yaş, bazen daha uzun sürebilir. Buna kütle betonlarının ısıtılacaklarından korunması için daha uzun süre korunması örnek olarak verilebilir (Detwiler vd., 1989).

Betondaki donma çözülme olayını taze betonda ve sertleşmiş betonda olmak üzere iki ayrı sınıf olarak incelemek gerekmektedir. Donmaya maruz kalan beton eğer prizini henüz almamışsa, karışım suyu betondaki hacim artışına bağlı olarak donar. Böylece su kimyasal reaksiyonlar için kullanılamayacağı için betonun prizi ve buna bağlı olarak sertleşmesi gecikir. Düşük sıcaklığın devam etmesi durumunda priz işlemi olamamaktadır. Daha sonra çözülmenin meydana gelmesi halinde betonun tekrar karılması, karıştırılması gerekir. Ancak o zaman dayanım kaybı olmaksızın priz ve sertleşme olur. Buna rağmen, donan karışım suyu genişleyeceği için tekrar yapılan karıştırmanın yeterli olmaması durumunda, betonda bulunan boşlukların hacminin daha da artmasına yol açacağından, dayanıklılığın düşmesine sebep olabilir.

2.3.4. Donma-Çözülme Mekanizmaları

Günümüzde don hasarına neden olan mekanizmaların anlaşılması için büyük çaba sarf edilmektedir. Özellikle Setzer ve Fagerlund (1996) tarafından hasara sebep olan temel mekanizmalar (hidrolik basınç, buz oluşumu ve büyümesi, hava-boşluk karakteristikleri ve kritik doygunluk derecesi) hakkında teorik formüller ifade edilmiştir.

Donma çözülme etkisindeki betonun hasarı oldukça kompleks bir olay olup hasara neden olan mekanizmaları açıklamak için çeşitli teoriler ileri sürülmüştür. Bu teoriler arasında en önemli olanları; kapiler boşluklarda donma nedeniyle hidrolik basıncın yayılması, donma başladıktan sonra jel suyunun kapiler boşluklara doğru hareketi, ısıl etki gibi lokal genişlemelerin neden olduğu farklı şekil değiştirmeler ve çözeltilerin kapiler boşluklardaki kısmi donmasından kaynaklanan osmotik basınçtır.

2.3.4.1. Hidrolik Basınç Teorisi

Bilindiği gibi, suyun buz haline dönüşmesiyle yaklaşık %9 mertebesinde hacim genişmesi olmaktadır. Çimento hamurundaki veya betondaki kapiler boşlukların içerisindeki suyun tamamı bir anda buz haline dönüşmediğinden, boşluk içerisindeki suyun bir miktarının donması ve hacim genişmesi yaratması nedeniyle, boşluk içerisinde henüz donmamış durumda olan suyu kapiler boşluk dışına çıkmaya zorlamaktadır. Kapiler boşluklar, suya doygun veya doygun hale yakın bir dolulukta olduklarında, kapiler boşluk dışına çıkmaya zorlanan henüz donmamış su, gidecek uygun bir yer bulamadığından, beton içerisinde çok büyük gerilmelere ve çatlamalara neden olabilmektedir. Çimento hamuru içerisine hava kabarcıkları sürüklendiği takdirde, kapiler boşluklardan dışarıya çıkmaya zorlanan su, düzenli aralıklardaki milyonlarca adetteki çok küçük hava boşluklarının içerisine girebilmekte, bir anlamda, bu boşluklar emniyet sübabı gibi görev yaparak, beton içerisindeki gerilmelerin yüksek mertebelere çıkmasını önlemektedir. Donma sonucunda oluşan hidrolik basınç etkisinin azaltılması, beton içerisindeki boşluk miktarından daha çok, boşlukların arasındaki mesafenin kısalığına bağlı olmaktadır. Bu hipotez halen birçok araştırmacı tarafından kabul gören bir hipotez olarak bilinmektedir (Erdoğan, 2003). Birçok farklı yöntem çimento hamurunun donma sırasındaki davranışını açıklamaya yardımcı olur. Bunlar buz oluşumu bakımından hidrolik basınç teoremi, bitişik boşluktaki suyun donması sırasında C-S-H'lerden suyun ayrışması ve buzun ayrışmasından kaynaklanan artan çözelti konsantrasyonundan dolayı osmotik basınç teoremidir. Su buza dönüştüğünde hacmince %9

miktarında bir artış meydana gelir, fakat bu değişimi beton ve çimento hamuru karşılayacak yeterlilikte değildir. İlk donma meydana geldiğinde genleşme bazı mikro çatlakların içindeki buzun genleşmesine sebep olabilir ve eğer donma çözülme çevrimleri devam ederse daha fazla mikro çatlaklar meydana gelecektir.

2.3.4.2. Osmotik Basınç Teorisi

Donma çözülme hakkındaki en önemli teorilerden biri osmotik basınç teorisidir. Osmotik basınç, çözültiden donmuş (saf) suyun ayrılması ile oluşan çözünen madde konsantrasyonundaki artışlardan dolayı meydana gelmektedir (Neville, 1995). İncelemeler suyun diğer boşluklardan daha çok donan boşluklara doğru hareket ettiğini göstermiştir. Bu duruma donmamış boşluktaki çözeltinin bitişiğindeki boşluktaki donmuş boşluktaki çözeltinin çözelti konsantrasyonunun giderek artması sebep olmuştur. Bu yüksek konsantrasyon osmosdan dolayı donmamış boşluktaki suyu kendiliğinden sürüklemiştir. Böylece osmotik basıncın oluşturduğu su hareketi ile su bir kez daha buz formunu almıştır, buda er geç hamurun çevresinde ki çatlakların oluşması ile sonuçlanmıştır (Penttala, 1998). Buz büyümesi olayı için zorlayıcı kuvvet donmamış su ile buz arasındaki serbest enerji gradiyentinin varlığına bağlanmıştır. Su, buzdan daha fazla serbest enerjiye sahip olduğu için hava boşlukları ve iri kapiler boşluklardaki buza doğru hareket eder. Bunun sonucunda, kapiler boşluğun içindeki buz büyür ve boşluk duvarlarına basınç uygular. Ancak bu konuda yapılan bazı çalışmalar dışarıdan nemin girmesiyle betonda çok yüksek gerilmelerin meydana geldiğini göstermiştir. Beton çözüldüğü zaman, eriyen suyun bir kısmı jel boşluklarına geri döner fakat bu sürecin tersinir olmadığı belirtilmiştir (Zuber ve Marchand, 2000).

2.3.5. Donma-Çözülme Testleri

Betonun donma çözülme dayanıklılığını tespit etmek ve bu etkileri laboratuvar ortamında ölçebilmek amacıyla laboratuvarlarda yapılabilecek çeşitli donma çözülme testleri incelenmiştir. Bu testlerden en çok geçerli olan ve kullanılan hızlı donma çözülme çevrimleri yaparak betonun donma çözülme dayanıklılığını bulmayı öngören ASTM C 666'dır. Betonun donma çözülme dayanıklılığını belirlemek için ASTM C 666'da iki deney yöntemi belirtilmiştir. Bu yöntemlerin ikisinde de hızlı donma-çözülme deneyi yapılmaktadır. Bu yöntemler yöntem A ve yöntem B diye adlandırılmaktadır.

Yöntem A da numuneler su içerisinde donmaya ve çözülmeye maruz bırakılmıştır. Numunelerin iç sıcaklık değişim değerleri minimum -18 ± 2 °C ve maksimum 4 ± 2 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca minimum sıcaklıktan maksimum sıcaklığa ve maksimum sıcaklıktan minimum sıcaklığa geçiş süresi 2 saatten az 5 saatten çok olmayacak şekilde belirtilmiştir. Çözdürme hızının kullanılan çevrim süresinin 1/4'ünden daha az olmaması da diğer gereken bir husustur.

Yöntem B de numuneler havada donmaya ve su içerisinde çözülmeye maruz bırakılmıştır. Numunelerin iç sıcaklık değişim değerleri minimum -18 ± 2 °C ve maksimum 4 ± 2 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca minimum sıcaklıktan maksimum sıcaklığa ve maksimum sıcaklıktan minimum sıcaklığa geçiş süresi 2 saatten az 5 saatten çok olmayacak şekilde belirtilmiştir. Çözdürme hızının kullanılan çevrim süresinin 1/5'inden daha az olmaması da diğer gereken bir husustur (ASTM C 666/C 666M-03, 2003).

Donma çözülme testlerinden bir diğeri de Rilem donma çözülme testidir. Bu testte numune dikdörtgen prizma şeklinde üretilmiş ve donma çözülme testine numunenin bir yüzeyi maruz bırakılmıştır. donma çözülmeye maruz kalmayacak diğer yüzeyler ise kauçuk bir elbise ile kaplanmıştır, kaplanan bu yüzeyler ısı izolasyonu sağlayan bir başka malzeme ile de kaplanmıştır. donma çözülme ye maruz bırakılacak yüzeyde buharlaşma olmaması için bu yüzeyi numuneden 20 ± 1 mm uzaklıkta buharlaşmaya karşı koruyucu malzeme ile örtülmüştür. Tüm bu işlemler gerçekleştirildikten sonra artık donma çözülme işlemine geçilebilmiştir. Bu test de numunelerin maruz kalacakları donma çözülme sıcaklıkları ve zaman aralıkları Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Sıcaklık değişiminin alt ve üst sınırları için aralık değerleri (Yetgin, 2009)

Üst Sınır		Alt Sınır		Ortalama Eğri	
Zaman (saat)	Sıcaklık (°C)	Zaman (saat)	Sıcaklık (°C)	Zaman (saat)	Sıcaklık (°C)
0	+24	0	+16	0	+20
5	-3	3	-5	4	-4
12	-15	12	-22	15	-20
16	-18	16	-22	16	-20
18	-1	20	-1	20	+20
22	+24	24	+16	24	+20

Bütün beton örnekleri hedeflenen 300 donma-çözülme evresini tamamlamadan deforme olmuştur. Bu deformasyonun yapısı, betonun boşluk miktarının azalması ile birlikte parçalanma şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 2.5. Donma-çözülme sonunda 0°C derecede üretilen referans beton örneklerdeki deformasyon (Çullu, 2009)

Şekil 2.5 incelendiğinde, beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü ile beton iç yapısında boşluk miktarı artmaktadır. Beton örneklerine donma çözülme uygulandığında boşluk miktarı düşük olan taze halde 0 ve -5°C'de bekletilen beton örnekler donma çözülme çevrimi sonunda parçalanmıştır. Boşluk miktarı fazla olan taze halde -10, -15 ve -20°C'de bekletilen beton örnekler donma çözülme çevrimi sonunda kırılma şeklinde deforme olmuştur (Çullu, 2009).

2.3.6. Donma-Çözülme Etkisinin Ölçülmesi

Betonun donma çözülme etkisinden dolayı oluşan hasarını ölçmek için farklı yöntemler bulunmaktadır. En çok kullanılan yöntem, dinamik elastisite modülünün değişimini ölçme yöntemidir. Bu yöntem betonun gözle görülemeyen iç hasarını belirleyerek betonun donma çözülmeden ne derecede etkilendiğini tespit eder. Dayanıklılık faktörü tayini için Türkiye'de TS 3449 adlı Türk standardı kullanılmaktadır bu standart ASTM standardına benzemektedir. Donma çözülme etkisi aynı zamanda basınç, eğilme dayanımlarının azalması, ağırlık kaybı, boy ölçümleri ile de belirlenir. Ancak ağırlık kaybının ölçümü, çoğunlukla yüzeydeki hasarı belirlediğinden, iç bünyedeki göçmeleri tespit etme açısından güvenilir değildir. Bu yöntemde sonuçlar aynı zamanda örnek

boyutuna da bağılıdır. Deneylerin doğru yorumlanabilmesi için deney koşullarının şantiye koşullarından çok farklı olmaması gerekir. Ancak deneylerin hızlı yapılma zorunluluğu vardır. Bu nedenle doygun küçük örnekler üzerinde yapılan hızlandırılmış abartılı deney sonuçlarının, şantiye koşullarından daha şiddetli etki yaptığı bilinmektedir. Ayrıca ASTM deneylerinde soğuma hızı saatte 14°C'ye kadar çıkar. Uygulamada bu değer saatte 3°C'yi nadir durumlarda aşar.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Beton

Yapılan çalışmada dayanım sınıfları C16/20, C25/30 ve C35/45 olan betonlar; normal ve vakumlu olmak üzere iki uygulama türünde üretilerek kullanılmıştır. Üretilen bu betonlar düşük, normal ve yüksek dayanımlı olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu betonlardan C20'nin altındakiler Çevre Şehircilik Bakanlığı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliğine (2007) göre "Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20'den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz" şartından dolayı "*düşük dayanımlı beton*" olarak değerlendirilebilir. C20 ve C30 arasındaki betonlar inşaat piyasasında en sık kullanılan ve üretiminde genellikle katkı maddesine ihtiyaç duyulmayan betonlar olup "*normal dayanımlı beton*" olarak adlandırılabilir. C30'un üzerindeki betonlar ise daha çok katkı maddeleri kullanılarak üretilen ve inşaat sektöründe normal dayanımlı betonlara göre daha az tüketildiği için "*yüksek dayanımlı beton*" olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada beton türleri ile ilgili metinlerde muhtelif yerlerde düşük (D), normal (N) ve yüksek (Y) dayanımlı beton ya da sırasıyla C16/20, C25/30 ve C35/45 sınıfı betonlar şeklinde ifadeler kullanılmıştır. Beton türlerinin tasarım parametreleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Normal üretim (3 farklı dayanım sınıfına sahip)
- Vakumlu üretim (3 farklı dayanım sınıfına sahip)
- Lif türü (Çelik lif, Polyester lif, Polipropilen lif, Polipropilen elyaf)
- Kısa (K) ve uzun (U) lifler (3 cm - kısa lifler ve 6 cm - uzun lifler)
- 3 farklı oranda lifler (A-B-C)

Beton dayanım sınıfı, uygulama türü, lif boyu ve lif oranı gibi farklı parametreler ile toplam 150 tür beton üretilmiştir. Lif hacmi ile artan toplam beton hacmi kum hacminden eksilti olarak dengelenmiştir. Betonların dayanım sınıfı yükseldikçe çökme değerleri düşmektedir. Bu nedenle normal ve yüksek dayanımlı betonlarda su yerine normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak çökme değerinin tüm referans betonlarda aynı olmasına çalışılmıştır. Betonların karışım oranları Tablo 3.1'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Beton karışım tasarımı

Beton bileşenleri	Beton türleri (1000 dm ³)		
	DR	NR	YR
Su	301	260	280
Çimento	94.3	115.7	153.3
Hava	14	14	14
Akışkanlaştırıcı	-	4.4	5.8
Agregalar	590.7	608.7	546.9
Uçucu kül	56.7	58.5	52.5
0-2 mm	-	-	120
0-4 mm	215	199	-
2-4 mm	-	-	110
4-8 mm	106	120	-
4-11.2 mm	-	-	140
8-16 mm	106	117	-
11.2-32 mm	-	-	124.4
16-32 mm	107	117	-
Toplam	1000	1000	1000

Beton türlerinin kodlanması aşağıdaki gibidir. Betonlar lifli ve lifsiz beton olarak 2 değişik şekilde kodlanmıştır.

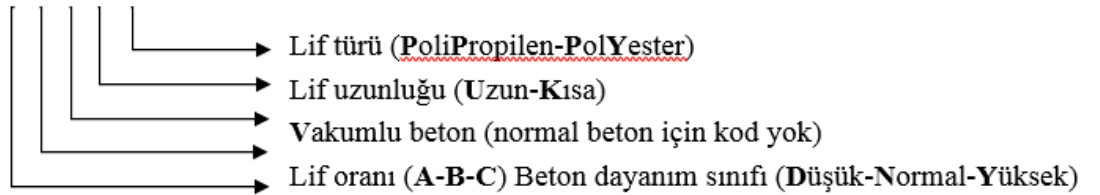
Lifsiz betonlar:

DR-NR-YR: Düşük-Normal-Yüksek dayanımlı referans betonlar

DVR-NVR-YVR: Düşük-Normal-Yüksek dayanımlı vakumlu referans betonlar

Lifli Betonlar:

D A V U PP (örnek)



Çalışmalarda üretilen beton örnekleri 150 çeşit kodla gösterilmiş ve Tablo 3.2’de tüm betonların sıra numarası ve kodlarının açıklamaları ifade edilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada üretilen beton türleri

Beton Sıra No	Beton kodu	Beton türü açıklaması	Beton Sıra No	Beton kodu	Beton türü açıklaması
1	DR	Düşük Dayanımlı Referans	76	YAVUPY	A Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu
2	DVR	Düşük Dayanımlı Vakumlu Referans	77	YBVUPY	B Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu
3	NR	Normal Dayanımlı Referans	78	YCVUPY	C Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu
4	NVR	Normal Dayanımlı Vakumlu Referans	79	DAKPP	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
5	YR	Yüksek Dayanımlı Referans	80	DBKPP	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
6	YVR	Yüksek Dayanımlı Vakumlu Referans	81	DCKPP	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
7	DAKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli	82	DAVKPP	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
8	DBKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli	83	DBVKPP	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
9	DKKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli	84	DCVKPP	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
10	DAVKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	85	DAUPP	A Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
11	DBVKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	86	DBUPP	B Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
12	DCVKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	87	DCUPP	C Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
13	DAUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli	88	DAVUPP	A Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
14	DBUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli	89	DBVUPP	B Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
15	DCUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli	90	DCVUPP	C Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
16	DAVUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	91	NAKPP	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
17	DBVUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	92	NBKPP	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
18	DCVUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	93	NCKPP	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
19	NAKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli	94	NAVKPP	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
20	NBKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli	95	NBVKPP	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
21	NCKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli	96	NCVKPP	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
22	NAVKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	97	NAUPP	A Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
23	NBVKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	98	NBUPP	B Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
24	NCVKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	99	NCUPP	C Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
25	NAUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli	100	NAVUPP	A Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
26	NBUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli	101	NBVUPP	B Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
27	NCUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli	102	NCVUPP	C Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
28	NAVUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	103	YAKPP	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
29	NBVUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	104	YBKPP	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
30	NCVUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	105	YCKPP	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli
31	YAKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli	106	YAVKPP	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
32	YBKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli	107	YBVKPP	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
33	YCKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli	108	YCVKPP	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
34	YAVKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	109	YAUPP	A Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
35	YBVKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	110	YBUPP	B Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
36	YCVKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu	111	YCUPP	C Oranlı 5 cm Polipropilen lifli
37	YAUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli	112	YAVUPP	A Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
38	YBUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli	113	YBVUPP	B Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
39	YCUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli	114	YCVUPP	C Oranlı 5 cm Polipropilen lifli Vakumlu
40	YAVUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	115	DAKPPE	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
41	YBVUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	116	DBKPPE	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
42	YCVUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu	117	DCKPPE	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
43	DAKPY	A Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	118	DAVKPPE	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
44	DBKPY	B Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	119	DBVKPPE	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
45	DCKPY	C Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	120	DCVKPPE	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
46	DAVKPY	A Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	121	DAUPPE	A Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
47	DBVKPY	B Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	122	DBUPPE	B Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
48	DCVKPY	C Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	123	DCUPPE	C Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
49	DAUPY	A Oranlı 5 cm Polyester lifli	124	DAVUPPE	A Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
50	DBUPY	B Oranlı 5 cm Polyester lifli	125	DBVUPPE	B Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
51	DCUPY	C Oranlı 5 cm Polyester lifli	126	DCVUPPE	C Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
52	DAVUPY	A Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu	127	NAKPPE	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
53	DBVUPY	B Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu	128	NBKPPE	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
54	DCVUPY	C Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu	129	NCKPPE	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
55	NAKPY	A Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	130	NAVKPPE	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
56	NBKPY	B Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	131	NBVKPPE	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
57	NCKPY	C Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	132	NCVKPPE	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
58	NAVKPY	A Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	133	NAUPPE	A Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
59	NBVKPY	B Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	134	NBUPPE	B Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
60	NCVKPY	C Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	135	NCUPPE	C Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
61	NAUPY	A Oranlı 5 cm Polyester lifli	136	NAVUPPE	A Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
62	NBUPY	B Oranlı 5 cm Polyester lifli	137	NBVUPPE	B Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
63	NCUPY	C Oranlı 5 cm Polyester lifli	138	NCVUPPE	C Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
64	NAVUPY	A Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu	139	YAKPPE	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
65	NBVUPY	B Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu	140	YBKPPE	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
66	NCVUPY	C Oranlı 5 cm Polyester lifli Vakumlu	141	YCKPPE	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli
67	YAKPY	A Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	142	YAVKPPE	A Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
68	YBKPY	B Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	143	YBVKPPE	B Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
69	YCKPY	C Oranlı 2.5 cm Polyester lifli	144	YCVKPPE	C Oranlı 2.5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
70	YAVKPY	A Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	145	YAUPPE	A Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
71	YBVKPY	B Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	146	YBUPPE	B Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
72	YCVKPY	C Oranlı 2.5 cm Polyester lifli Vakumlu	147	YCUPPE	C Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli
73	YAUPY	A Oranlı 5 cm Polyester lifli	148	YAVUPPE	A Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
74	YBUPY	B Oranlı 5 cm Polyester lifli	149	YBVUPPE	B Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu
75	YCUPY	C Oranlı 5 cm Polyester lifli	150	YCVUPPE	C Oranlı 5 cm Polipropilen elyaf lifli Vakumlu

Beton karışım tasarımları TS 802 (Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları), TS 10514 (Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları) TS 10515 (Beton-Çelik tel takviyeli-Eğilme mukavemeti deney metodu) standartları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu standartlarda betonların üretim aşaması ve testleri için önemli ayrıntılar belirtilmiştir. Bu ayrıntılar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Çimento miktarı en az 320 kg/m^3 olması gerekmektedir.
- 0-4 mm kum miktarı, toplam agrega kütleinin %40 - %45'i olması gerekmektedir ($750 \text{ kg/m}^3 - 850 \text{ kg/m}^3$).
- D_{max} 32 mm olan lif içeren karışımlarda 0-0.25 mm arasındaki agrega 400 kg/m^3 olması gerekmektedir.
- En büyük tane büyüklüğü, doğal agrega için 28 mm, kırma taş için 32 mm olması gerekmektedir. 14 mm'den büyük agrega oranı, % 15-20 arasında sınırlanması gerekmektedir.
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 N/mm^2 olmalıdır.
- S/Ç oranı en çok 0.55 olması önerilmektedir.
- Yüksekliği 75 mm veya daha az olan numuneler için tek tabakada, yüksekliği 75 mm'den fazla olan numuneler için 2 tabakada beton yerleştirilmesi gerekmektedir.

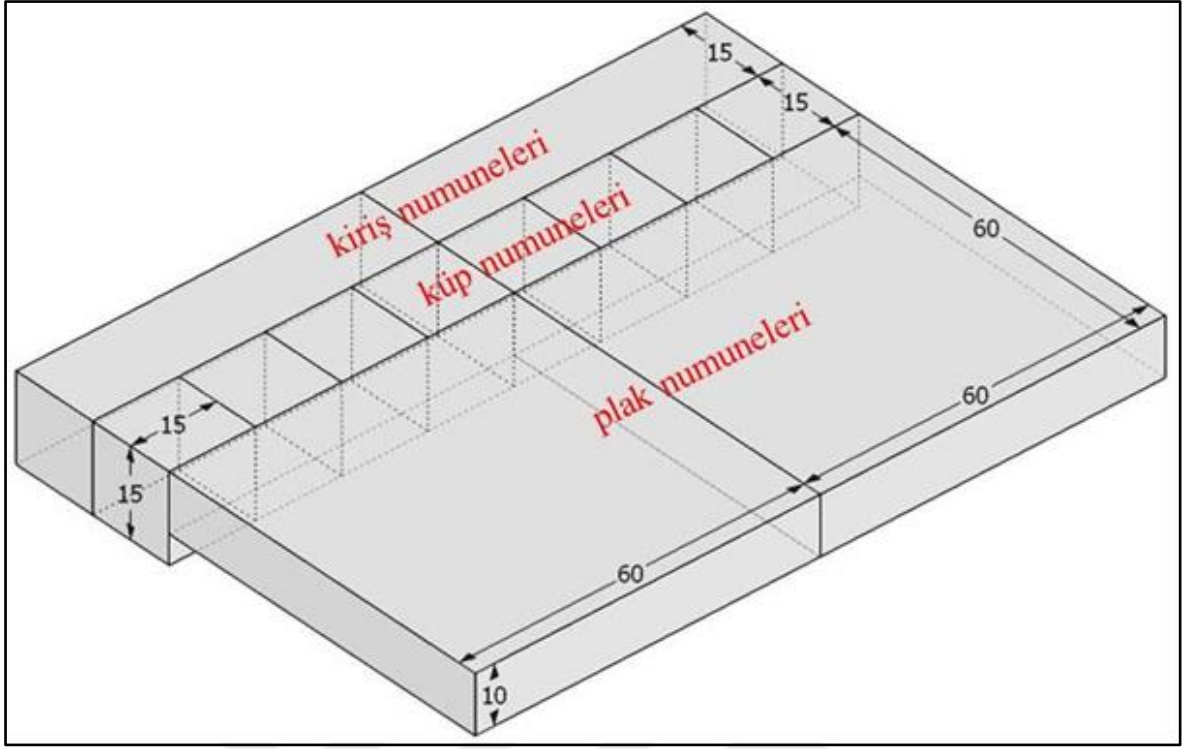
Deneysel çalışmalarda kullanılacak beton numuneleri iki şekilde üretilmiştir. Birinci şekilde üretilenler lifsiz referans betonlar ile kısa lifli normal üretim betonlar olup bu numuneler küp, kiriş ve plak şeklinde, biçimine uygun kalıplarda üretilmiştir (Şekil 3.1). Böyle bir üretim yapılmasındaki amaç;

- Agrega en büyük tane çapının belirtilen kalıp en dar boyutuna uygun olması (TS 802),
- Küp ve kiriş numunelerin en dar boyutunun kısa lif uzunluğunun 2 katından daha fazla olması (TS 10514),
- Laboratuvar şartlarında daha pratik üretim yapılmasıdır.



Şekil 3.1. Normal beton üretiminde kullanılan kalıplar

İkinci üretim şeklinde ise küp, plak ve kiriş şeklindeki beton numuneler 120x90 cm (Şekil 3.2) ebadındaki tek kalıpta üretilmiştir. Bu alan içinde 10 cm ve 15 cm olmak üzere iki farklı kalınlığı olan bölüm bulunmaktadır. Bu alanlardan 15 cm kalınlığında olan bölüm; 15x15x15 cm'lik küp ve 15x15x60 cm'lik kiriş numuneler, 10 cm kalınlığında olan bölüm ise 10x60x60 cm'lik plak numuneler elde edebilmek için oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kalıba beton karışımı dökülüp 1 gün bekletildikten sonra kalıp sökülmüş ve kesme makinası yardımıyla küp, plak ve kiriş numuneleri elde edilmiştir. Tüm küp ve kiriş beton numuneleri 28 gün boyunca kür havuzlarında bekletilmiş ancak plak beton numunelerinin ağır olması nedeniyle 28 gün boyunca kür havuzunda değil, laboratuvar ortamında günlük sulanarak ve üzeri tamamen naylon bir örtü ile kapatılarak kür edilmiştir. Beton üretimleri sırasıyla şu şekilde gerçekleşmiştir.

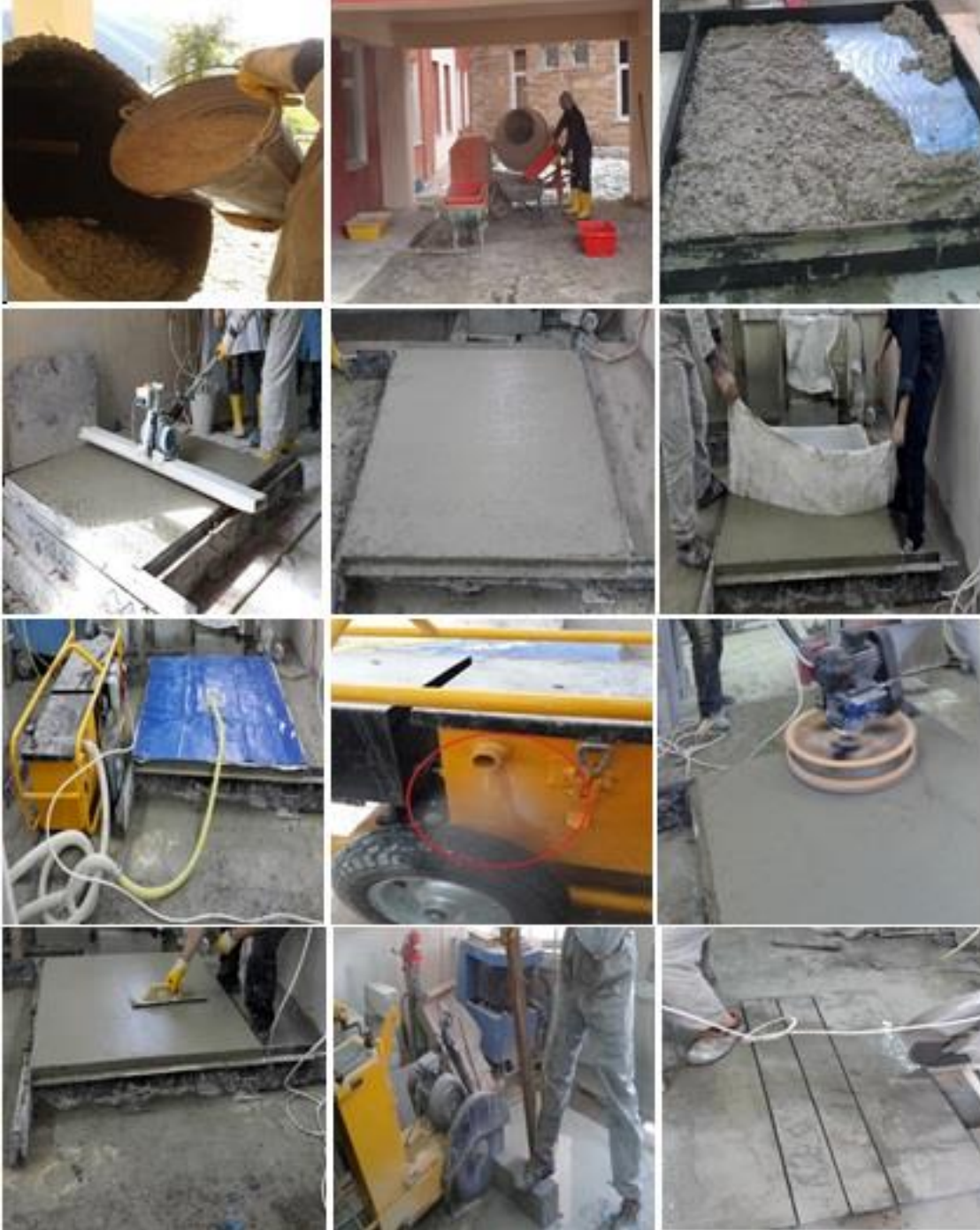


Şekil 3.2. Küp, kiriş ve plak numunelerinin elde edildiği temsili kalıp sistemi

- Beton karışım malzemeleri hazırlandı, beton mikserinde önce ~5 dk kuru karışım (agregalar, çimento, uçucu kül, lifler) yapıldı, sonra su ve suyla karışık akışkanlaştırıcı katkı katıldı. ~20 dk mikserde yaş karıştırma yapıldı.
- Mikserden el arabası ile boyutlara uygun olarak hazırlanan kalıba beton taşındı ve yerleştirildi. Kalıbın alt kısmına beton dökülmeden önce zemine yapışmaması için naylon serildi.
- Kalıba yerleştirilen beton titreşimli yüzey mastarı ile hem düzeltildi, hem de sıkıştırıldı. Normal üretim betonlar bu aşamadan sonra mala ile yüzeyi düzeltildi ve üzeri ertesi gün kalıptan çıkarılana kadar naylonla örtüldü.
- Vakum uygulaması için beton yüzeyine filtrasyon örtüsü serildi.
- Vakum örtüsü serildi ve hava boşluğu kalmayacak şekilde yüzeyi düzeltildi.
- ~30 dk vakum uygulaması yapıldı. Vakum süresi vakum pompasında su yerine buhar çıkana kadar sürdürüldü.
- Vakum örtüleri kaldırıldı ve helikopter tipi perdah makinesi ile yüzey perdah edildi.
- Yüzeye tekrar mala ile düzgünleştirme yapılarak son hali verildi.

➤ Beton dökümünden 1 gün sonra kesme makinesi ile 8 adet küp, 2 adet kiriş ve 2 adet plak deneylerde kullanılmak üzere çıkarıldı. Kesim yapılmadan önce beton alanda kesilecek çizgiler dikkatle çizildi ve kesme makinesinin hareket zemini oluşturuldu.

➤ Elde edilen beton örneklerden 10x20cm karotlar alınmıştır. Beton üretim aşamaları Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Beton üretimi aşamaları

3.1.2. Beton Bileşenleri

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak da Gümüşhane Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R (TS EN 197-1) sınıfı çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve basınç özellikleri Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

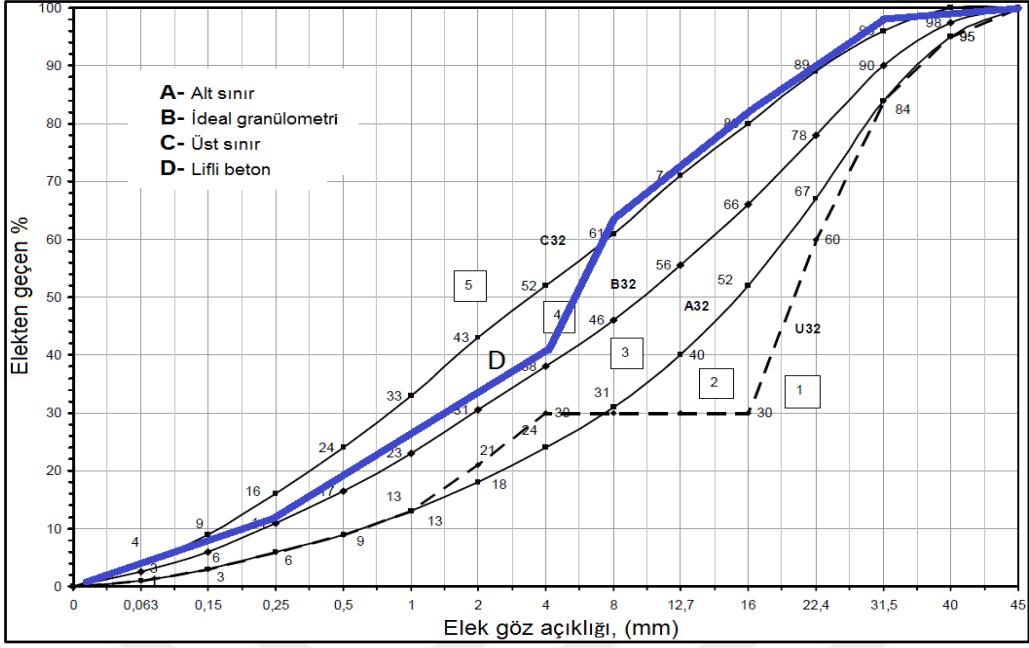
Tablo 3.3. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.59	İncelik (45 µ elek üstü %)	8.58
Al ₂ O ₃	4.69	Özgül Kütle (g/cm ³)	3.05
Fe ₂ O ₃	3.04	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4145
CaO	60.34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2sa-33dk
MgO	1.92	Priz Sonu (saat-dk)	3sa-18dk
SO ₃	2.89	Hacim Genleşmesi (mm)	0.7
Kızdırma Kaybı	7.19	Su İhtiyacı %	29.9
Na ₂ O	0.11		
K ₂ O	0.64		
Cl	0.0189		
Ölçülemeyen	0.57		
Toplam	100		
s.CaO	0.38		
Katkı %	17.87		

Betonlarda kullanılan agregalar Gümüşhane yöresine ait Gümüş Hazır Beton tesislerinden temin edilen kireçtaşı menşeli agregalardır. Agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.4'de, granülometri dağılımları da Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Agregaların granülometrisinin belirlenmesinde TS 802 esas alınmış, ancak TS 10514 Çelik lif standardının önerileri de dikkate alınmaya çalışılmıştır.

Tablo 3.4. Betonlarda kullanılan agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler		Fiziksel özellikler	0-4 mm (İnce)	4-32 mm (İri)
SiO ₂	2.95	Kuru tane yoğunluğu (g/cm ³)	2.52	2.54
Al ₂ O ₃	0.43	DKY yoğunluk (g/cm ³)	2.63	2.59
Fe ₂ O	0.46	Su emme oranı (%)	4.21	1.93
CaO	73.93	Porozite (%)	10.62	4.89
MgCO ₃	22.24			
Toplam	100.01			



Şekil 3.4. Betonda kullanılan agregaların granülometrisi

TS 10514 standardına göre 0-0.25 mm aralığındaki agregaların 400 kg/m^3 olması gerekmektedir. Bu aralıktaki agrega uçucu kül ile sağlanmıştır. Uçucu kül Afşin Elbistan Termik Santralinden temin edilmiştir. Uçucu küllerin genel özellikleri Tablo 3.5’de ki gibidir.

Tablo 3.5. Uçucu kül özellikleri

Kimyasal Analizler (%)	
SiO ₂	23.08
Al ₂ O ₃	6.25
Fe ₂ O ₃	2.58
CaO	47.03
MgO	1.60
SO ₃	14.61
K ₂ O	0.47
Na ₂ O	0.32
Kızdırma Kaybı	3.95
Cl	0.0334
Fiziksel Analizler	
45 µ elek üzeri (%)	4.0
Özgül Kütle (g/cm ³)	2.44
Blaine (cm ² /g)	2496
Puzolanik Aktivite	15.8

Normal ve yüksek dayanım sınıfına sahip betonlarda Aydos Yapı Kimyasalları kuruluşundan temin edilen TS EN 934–2 standardına uygun Aydos MR-NS 2 tipi “Su azaltıcı normal akışkanlaştırıcı beton katkısı” kullanılmıştır. Normal üretim ve vakumlu üretim referans betonlarda (DR-DVR-NR-NVR-YR-YVR) çökme değeri 15-19 cm arasında tutulmaya çalışılmıştır. Düşük dayanımlı betonlarda bu çökme miktarı su ile sağlanabilmiştir. Ancak normal ve yüksek dayanımlı betonlarda belirlenen çökme miktarı akışkanlaştırıcı katkı maddesi ile sağlanabilmiştir. Tablo 3.6’da belirtilen beton karışım tasarımıdaki akışkanlaştırıcı miktarı ön denemeler sonucu belirlenmiştir.

Tablo 3.6. Normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi teknik özellikleri

Kimyasal içeriği	Modifiye lignin sülfonat esaslı sıvı
Dozaj	Çimento ağırlığının % 0.5 ile % 1.4
Yoğunluk	1.13 ± 0.02 kg/l.
pH değeri	8.0 ± 1
Klor içeriği %	< % 0.1
Alkali içeriği %	< % 7
Görünüm/Renk	Koyu kahverengi
Donma noktası	-3 °C

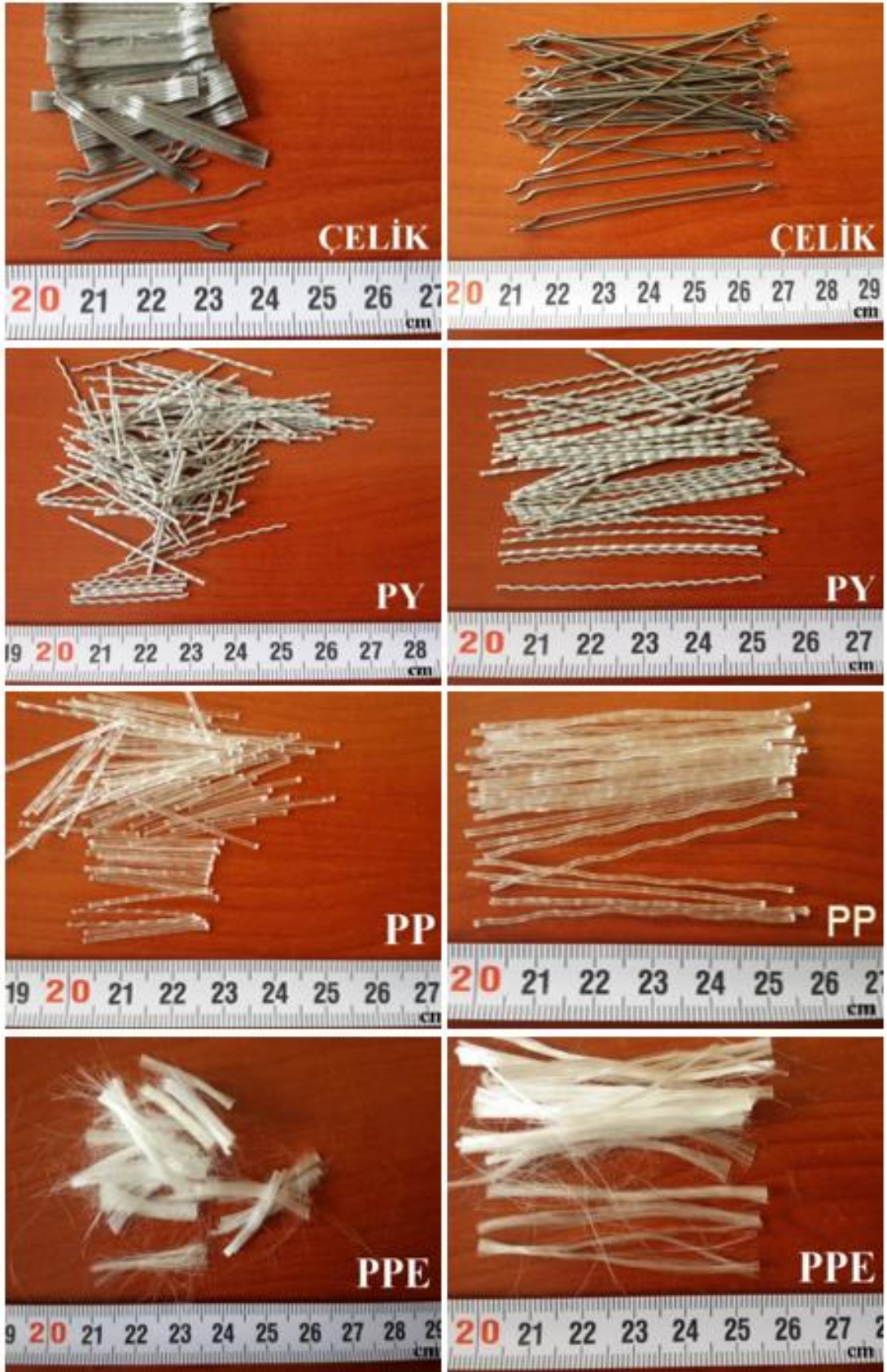
3.1.3. Lifler

Bu çalışmada çelik lif (Ç), polyester lif (PY), polipropilen lif (PP) ve polipropilen elyaflar (PPE) uzun ve kısa olarak kullanılmıştır. Lif özellikleri Tablo 3.5’de gösterilmiştir. TS 10514 betonda kullanılacak çelik liflerin 1 metreküpde 50 kilogramı aşmamasını tavsiye etmektedir. Çalışmada, sentetik liflerle ilgili standart almayı nedeni ile çelik lif standardının maksimum belirlediği lif oranı dikkate alınarak 15-30-45 kg/m³ (A-B-C) şeklinde 3 oran belirlenmiştir. Bu çalışmada A-B-C lif oranı ifadeleri bazı bölümlerde aynı, bazı bölümlerde ise “az, normal, çok” lif olarak da ifade edilecektir. Kilogram esasına göre hazırlanan çelik lif miktarı, yoğunluk ve boyutları dikkate alınarak hacimce belirlenmiş ve aynı hacimde polyester lif, polipropilen lif ve polipropilen elyafların miktarı belirlenmiştir. Burada lif hacimleri beton türlerinde aynı tutulmasına karşın, boy, çap ya da kalınlık faktörlerinden dolayı adet olarak farklılık göstermektedir. En büyük fark polipropilen elyaflarda vardır ve diğer liflerden sayıca yaklaşık 40 kat daha fazla adete sahiptir. Liflerin uzun ve kısa kullanılması çalışmanın parametrelerinden biridir. Sentetik liflerde 2,5 cm kısa lifler ve 5 cm uzun lifleri temin noktasında bir sıkıntı yaşanmazken, çelik lifleri 3 cm kısa ve 6 cm uzun lifler şeklinde temin edilme zorunluluğu olmuştur. Polipropilen lif ve

polipropilen elyaflar Polyfibers adlı bir kuruluştan, Polyester lifler Atlas Bir Yapı adlı bir kuruluştan ve Çelik lifler ise Kemerli Metal Sanayi adlı bir kuruluştan temin edilmiştir.

Tablo 3.1. Lif özellikleri

Fiber properties	Ç	PY	PP	PPE
Lif oranı (dm ³ A-B-C)	1.91-3.81-5.72	1.91-3.81-5.72	1.91-3.81-5.72	1.91-3.81-5.72
Lif uzunluğu (mm)	30-60	25-50	25-50	25-50
Lif genişliği (mm)	-	0.9	0.5	-
Lif kalınlığı (mm)	-	0.5	0.25	-
Lif çapı (mm)	0.9	-	-	0.018
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	7.87	1.36	0.91	0.91
Çekme Dayanımı (MPa)	~1100	400-800	600-750	600-700
Elastik modül (MPa)	200000	17237	3800	3000-3500
En son uzama (%)	< 2	> 8	10	< 80
Alevlenme sıcaklığı (°C)	-	537	537	590
Erime, oksidasyon ve bozulma sıcaklığı (°C)	800	253	180	150
ASTM D 570'e göre Su emme (% - ağırlık esas)	0	0,4	0.01	0.01



Şekil 3.5. Betonda kullanılan kısa ve uzun lif ve elyaflar

3.2. Metot

3.2.1. Donma Çözülme Dayanımı Tayini

Donma çözülme dayanımı ASTM C666 Prosedür A'da belirtilen esaslara uygun olarak, 100x200 mm boyutlarında hazırlanan silindirik beton örnekleri, ısıyı iyi iletebilen ve suda korozyona uğramayan bir malzemeden yapılmış olan iç çapı 10.6 mm olan numune hücrelerine yerleştirilmiştir. Beton örnekleri her 50 donma çözülme döngüsünde temel enine frekans değişimi kaydedilmiştir. Kaydedilen frekans değişimleri bağıl dinamik elastisite modülü hesaplanmasında kullanılmıştır (ASTM C 666, 2004).

Bağıl dinamik elastisite modülü hesaplanmasında:

$$P_c = \frac{n_c^2}{n_0^2} \times 100 \quad (3.1)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.1'de:

P_c = Herhangi bir "c" devirlik, donma - çözülme sonunda numunenin yüzde olarak bağıl dinamik elastisite modülü,

n_0 = Donma – çözülme uygulanmış numunenin başlangıç temel enine frekansı,

n_c = "c" adet donma çözülme döngüsü sonunda numunenin temel enine frekansını ifade etmektedir (ASTM C 666, 2004).

Eş. 3.1 ile bulunan bağıl dinamik elastisite modülü, deney örneklerinin "Dayanıklılık faktörü" hesaplanmasında kullanılmıştır (ASTM C 666, 2004).

Dayanıklılık faktörü hesaplanmasında:

$$DF = \frac{PN}{M} \quad (3.2)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.2’de:

DF = Deney örneğinin dayanıklılık faktör,

P = “N” adet devir sayısı bulunan bağıl dinamik elastisite modülü (yüzde olarak),

N = Bağıl dinamik elastisite modülü deneyini bitirmek için P ’nin en az değere düşmesi için gereken devir sayısı veya deneyin bitirileceği devir sayısı (hangisi az ise),

M = Deneyin bitirileceği belirtilen devir sayısını,

ifade etmektedir (ASTM C 666, 2004).

Donma çözülmeye maruz bırakılan beton örnekleri Şekil 3.1’de görülmektedir.



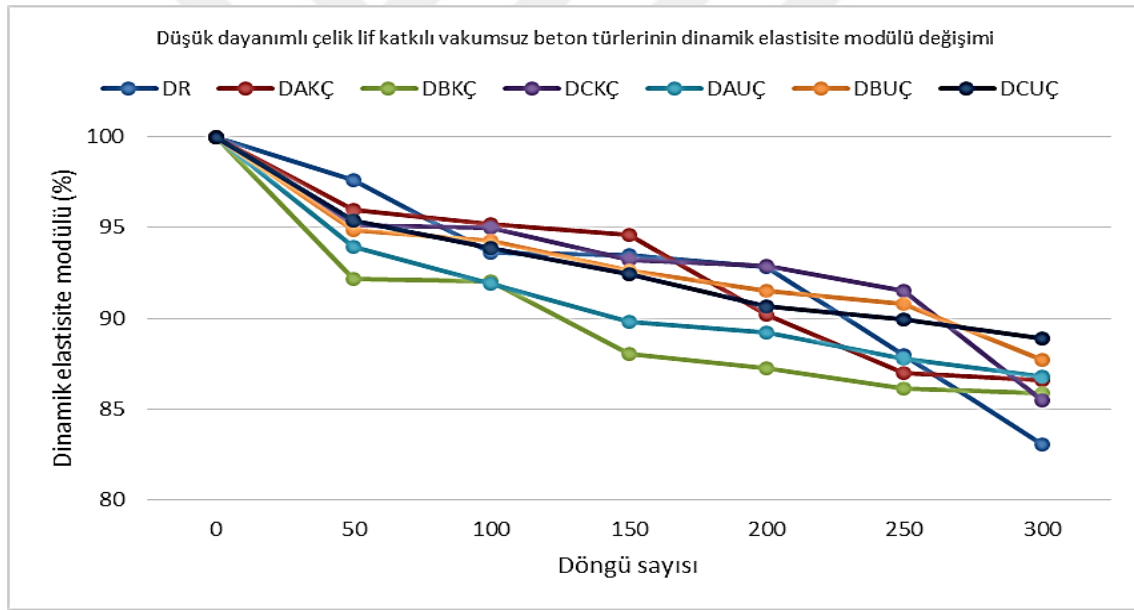
Şekil 3.1. Donma çözülmeye maruz beton örnekleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çelik Lif Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı

Her 50 döngüden sonra elde edilen dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede çelik lifli beton türlerinin dayanım sınıfı ve lif özelliklerine göre dinamik elastisite modülündeki değişimleri ve dayanıklılık faktörü değerleri Şekil 4.1-Şekil 4.12'de görülmektedir.

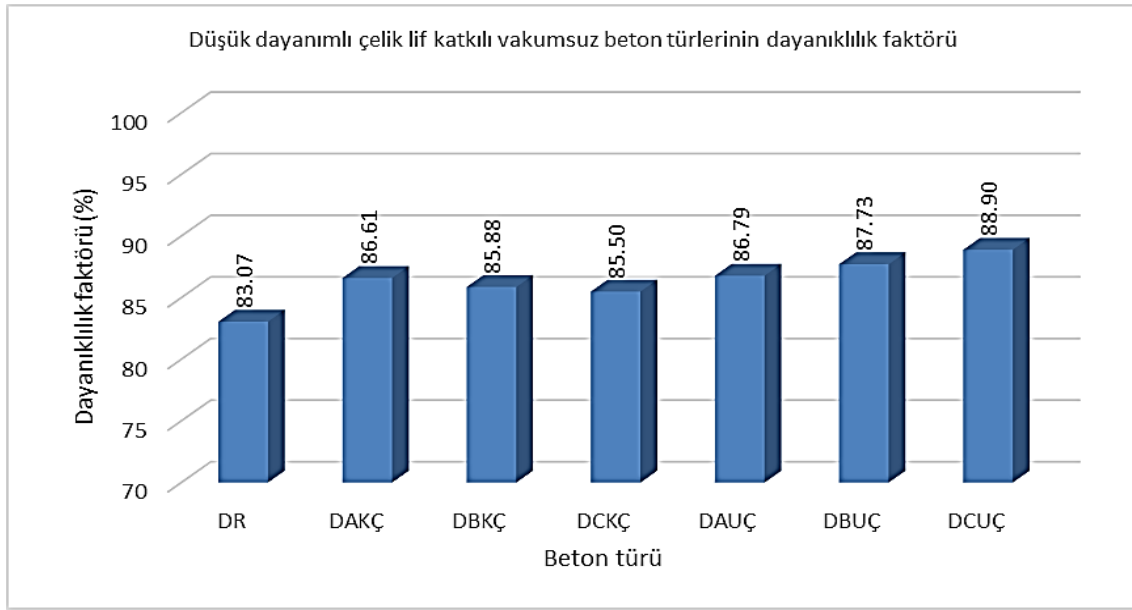
Düşük dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Düşük dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

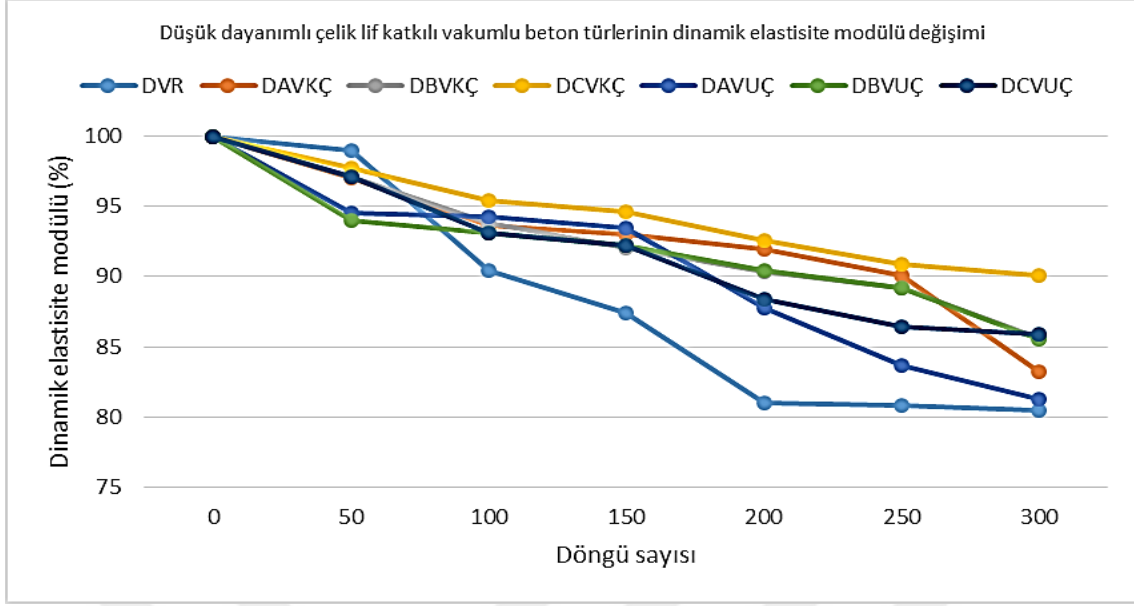
Çelik lif katkılı vakumsuz düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DCUÇ beton türünde %11.10 olduğu, en büyük DR beton türünde %16.93 olduğu görülmüştür. DR beton türüne göre DAKÇ, DBKÇ, DCKÇ, DAUÇ, DBUÇ ve DCUÇ beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %21, %17, %14, %22, %28 ve %34 daha küçük olduğu görülmüştür.

Düşük dayanımlı çelik lif katkıli vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.2’de görülmektedir. Düşük dayanımlı çelik lif katkıli vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DR beton türüne göre DAKÇ, DBKÇ, DCKÇ, DAUÇ, DBUÇ ve DCUÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörünü sırasıyla %4.27, %3.39, %2.93, %4.49, %5.61 ve %7.02 daha büyük olduğu görülmüştür.



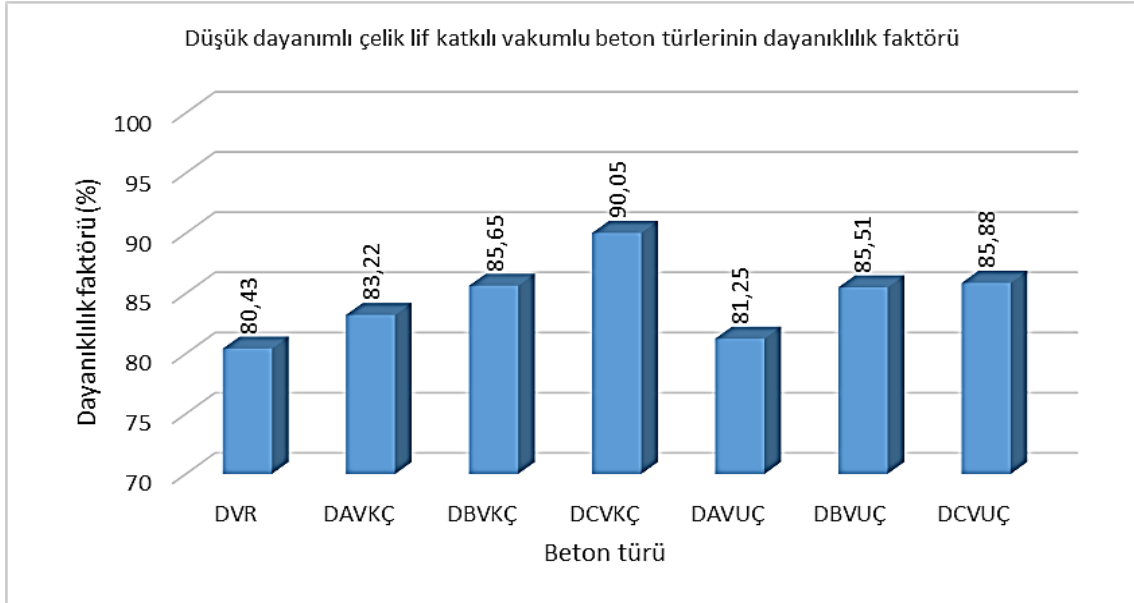
Şekil 4.2. Düşük dayanımlı çelik lif katkıli vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

Düşük dayanımlı çelik lif katkıli vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.3’de görülmektedir. Çelik lif katkıli vakumlu düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DCVKÇ beton türünde %9.95 olduğu, en büyük DVR beton türünde %19.57 olduğu görülmüştür. DVR beton türüne göre DAVKÇ, DBVKÇ, DCVKÇ, DAVUÇ, DBVUÇ ve DCVUÇ beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %14, %27, %49, %4, %26 ve %28 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Düşük dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

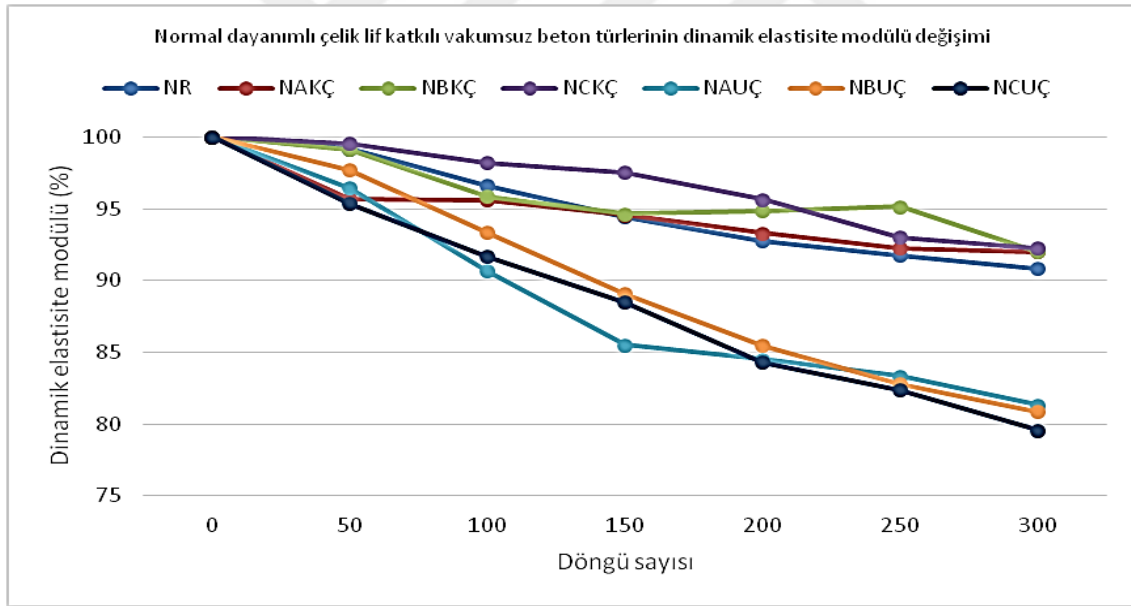
Düşük dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Düşük dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

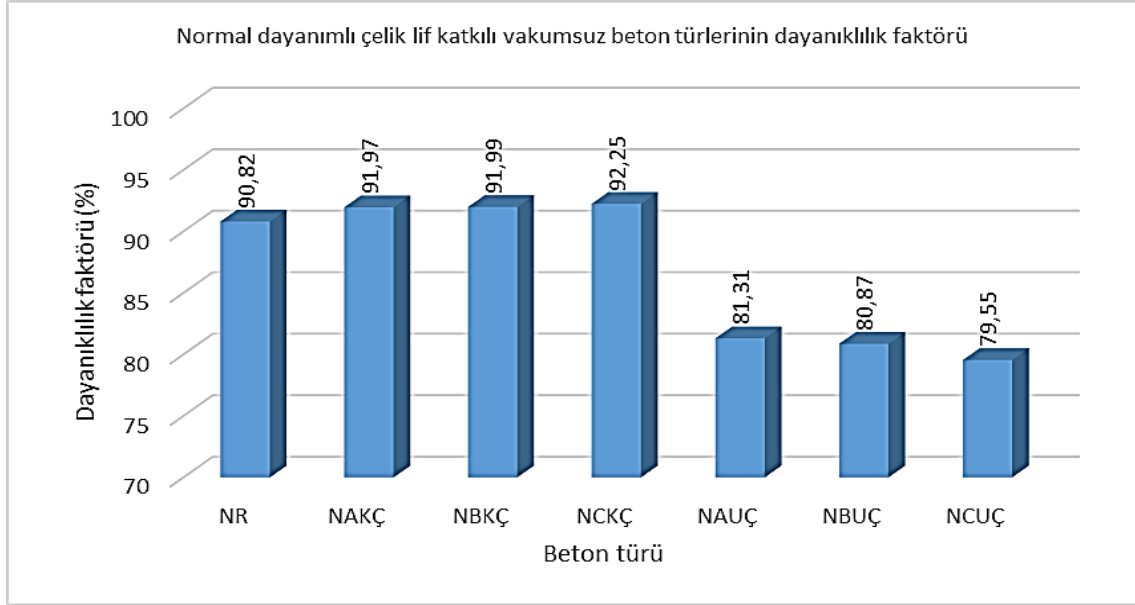
Düşük dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DVR beton türüne göre DAVKÇ, DBVKÇ, DCVKÇ, DAVUÇ, DBVUÇ ve DCVUÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörünü sırasıyla %3.47, %6.50, %11.96, %1.03, %6.32 ve %6.78 daha büyük olduğu görülmüştür.

Normal dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.5’ de görülmektedir. Çelik lif katkılı vakumsuz normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NCKÇ beton türünde %7.75 olduğu, en büyük NCUÇ beton türünde %20.45 olduğu görülmüştür. NR beton türüne göre NAKÇ, NBKÇ ve NCKÇ beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %13, %13 ve %16 daha küçük olduğu görülmüştür. NR beton türüne göre NAUÇ, NBUÇ ve NCUÇ beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %103, %10 ve %123 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5. Normal dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

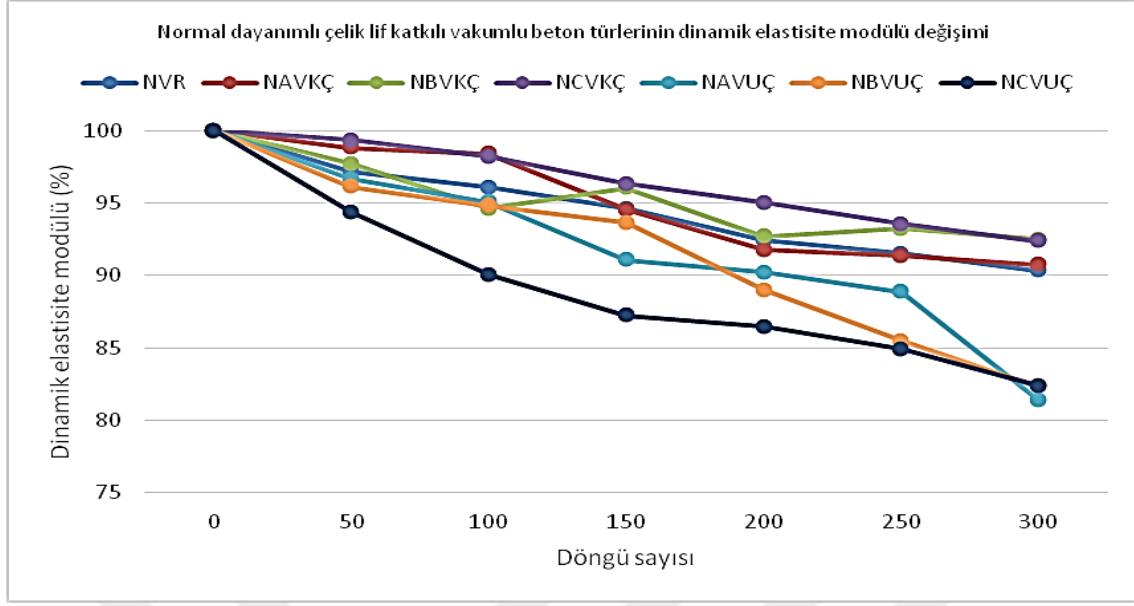
Normal dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.6’ da görülmektedir.



Şekil 4.6. Normal dayanımlı çelik lif katkıli vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

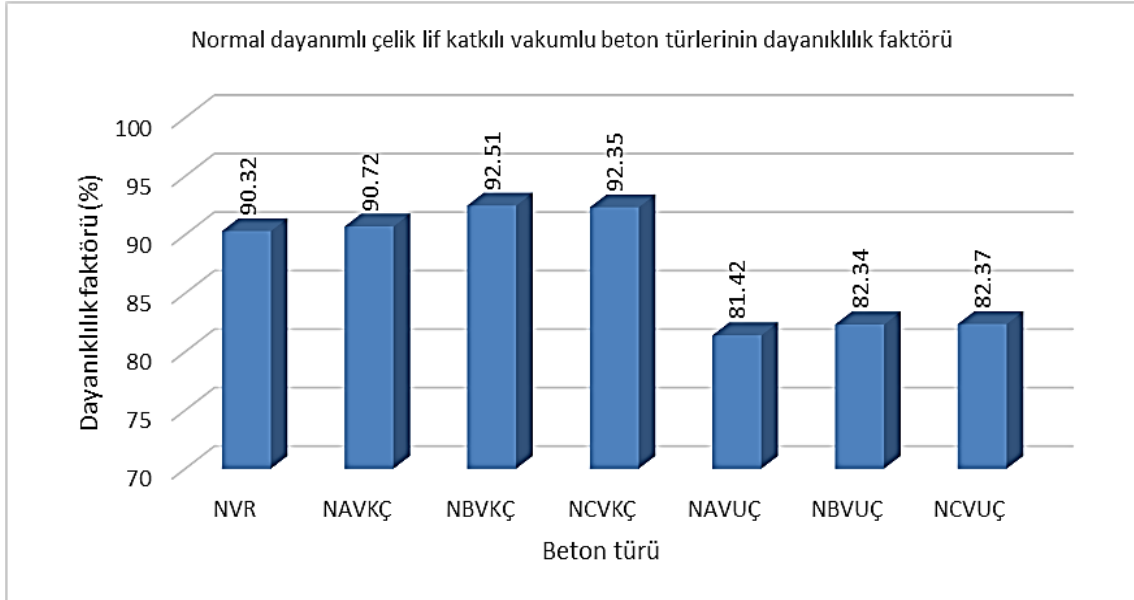
Normal dayanımlı çelik lif katkıli vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NR beton türüne göre NAKÇ, NBKÇ ve NCKÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla % 1.27, % 1.30 ve % 1.58 daha büyük olduğu görülmüştür. NR beton türüne göre NAUÇ, NBUÇ ve NCUÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörünü sırasıyla % 10.46, % 10.96 ve % 12.41 daha küçük olduğu görülmüştür.

Normal dayanımlı çelik lif katkıli vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.7’de görülmektedir. Çelik lif katkıli vakumlu normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NBVKÇ beton türünde %7.49 olduğu, en büyük NAVUÇ beton türünde %18.58 olduğu görülmüştür. NVR beton türüne göre NAVKÇ, NBVKÇ ve NCVKÇ, beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla % 4, % 23 ve % 21 daha küçük olduğu görülmüştür. NVR beton türüne göre NAVUÇ, NBVUÇ ve NCVUÇ beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla % 92, % 83 ve % 82 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Normal dayanımlı çelik lif katkı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

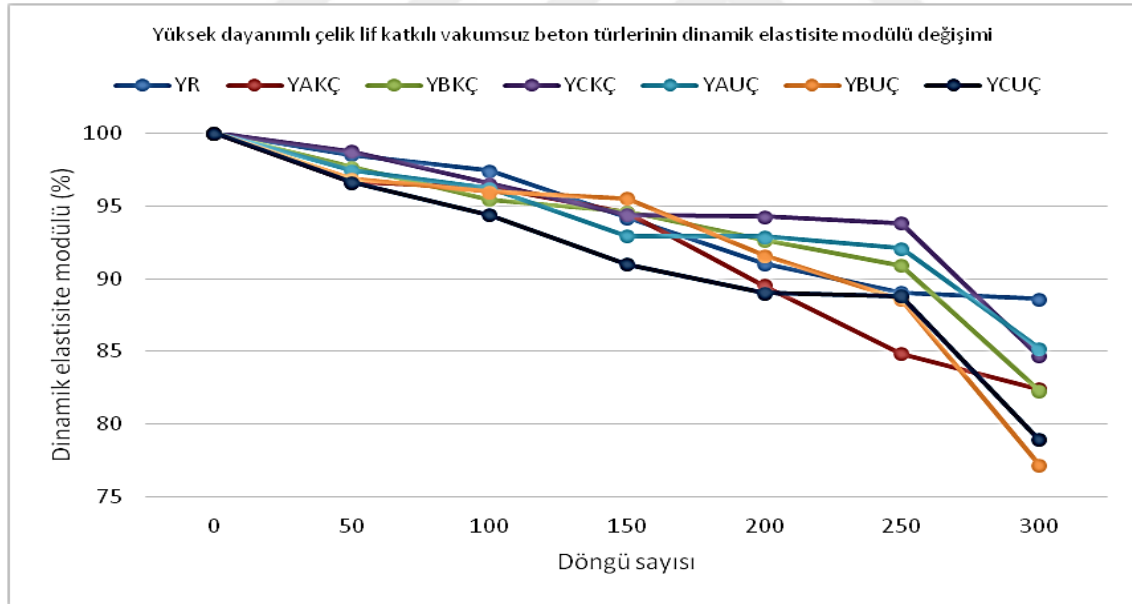
Normal dayanımlı çelik lif katkı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8. Normal dayanımlı çelik lif katkı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

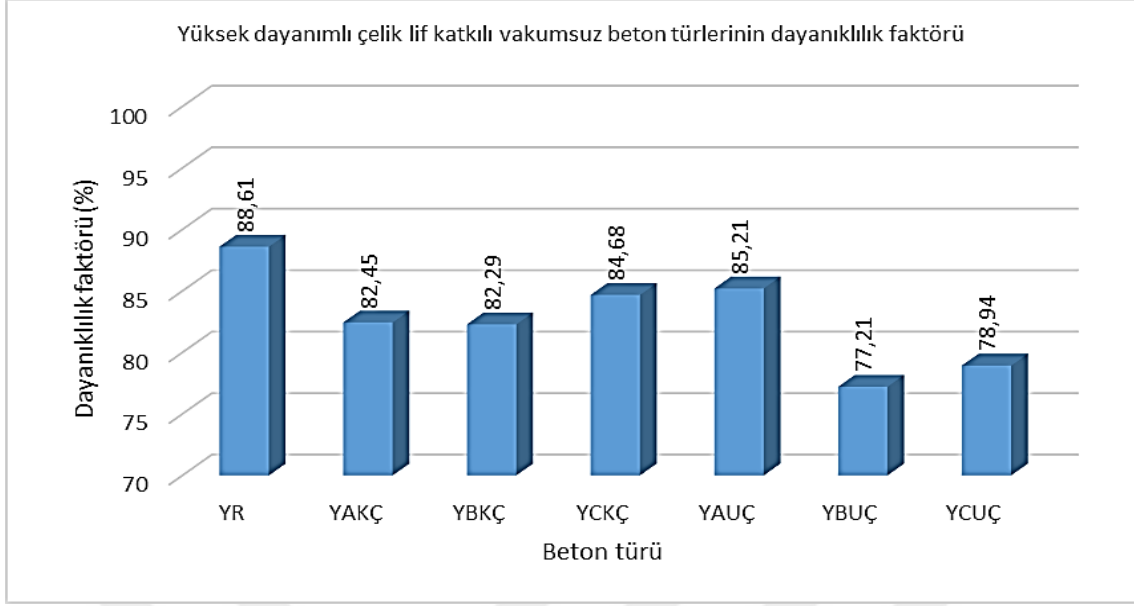
Normal dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NVR beton türüne göre NAVKÇ, NBVKÇ ve NCVKÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %0.44, %2.42 ve %2.25 daha büyük olduğu görülmüştür. NVR beton türüne göre NAVUÇ, NBVUÇ ve NCVUÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörünü sırasıyla %9.86, %8.84 ve %8.80 daha küçük olduğu görülmüştür.

Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.9'da görülmektedir. Çelik lif katkılı vakumsuz yüksek dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YR beton türünde %11.39 olduğu, en büyük YBUÇ beton türünde %22.79 olduğu görülmüştür. YR beton türüne göre YAKÇ, YBKÇ, YCKÇ, YAUÇ, YBUÇ ve YCUÇ beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %54, %56, %35, %30, %100 ve %85 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.9. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

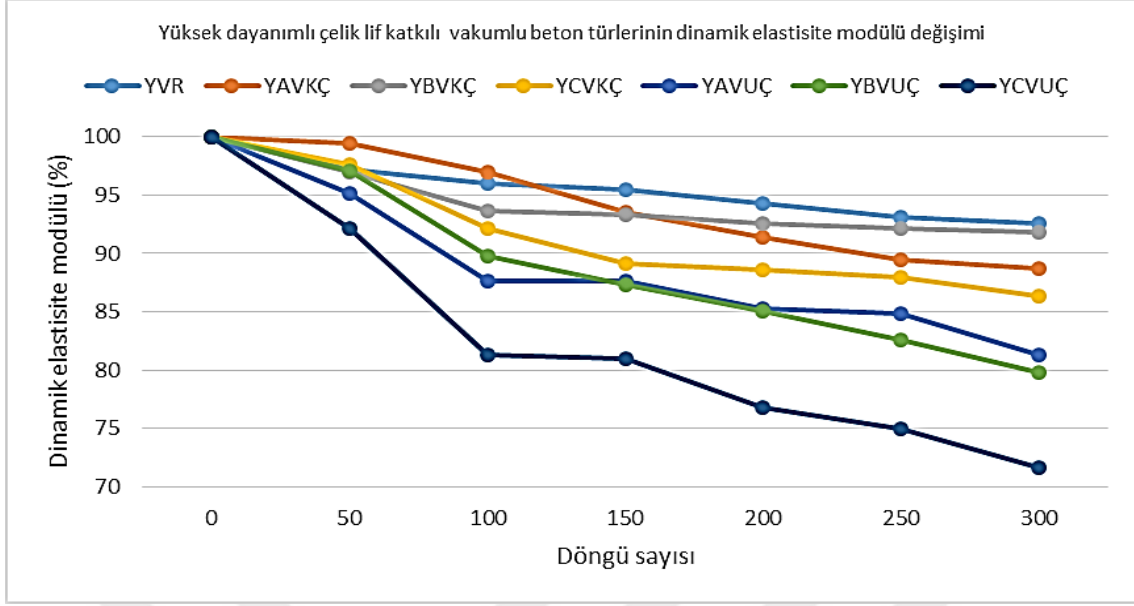
Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

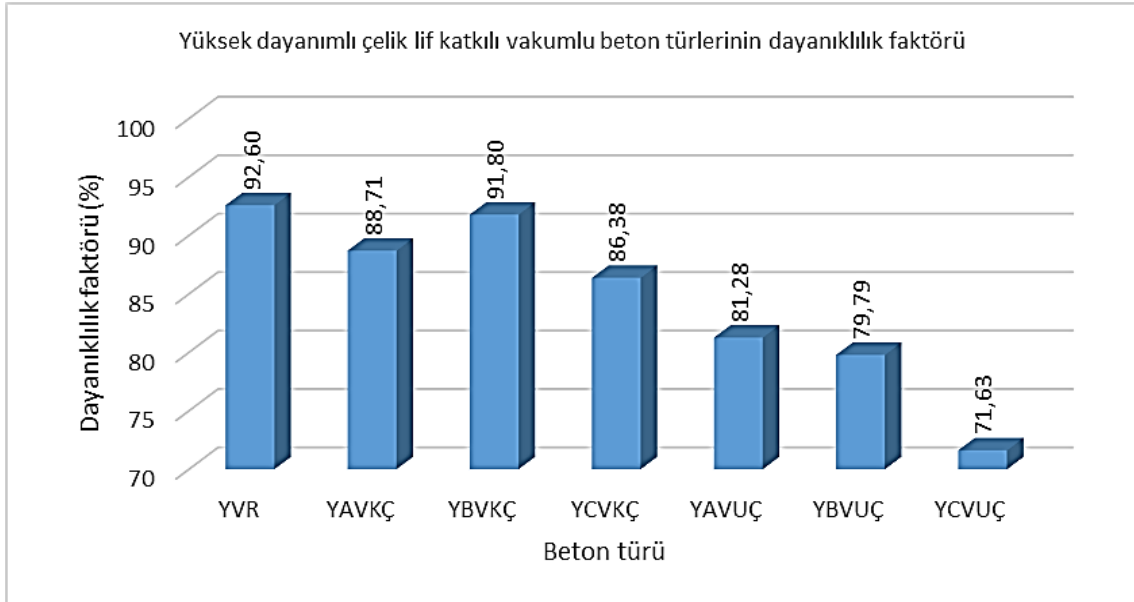
Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YR beton türüne göre YAKÇ, YBKÇ, YCKÇ, YAUÇ, YBUÇ ve YCUÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %6.96, %7.13, %4.43, %3.84, %12.86 ve %10.91 daha küçük olduğu görülmüştür.

Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.11’de görülmektedir. Çelik lif katkılı vakumlu yüksek dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YVR beton türünde %7.40 olduğu, en büyük YCVUÇ beton türünde %28.37 olduğu görülmüştür. YVR beton türüne göre YAVKÇ, YBVKÇ, YCVKÇ, YAVUÇ, YBVUÇ ve YCVUÇ beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalması sırasıyla %53, %11.84, %153, %173 ve %283 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.12’de görülmektedir.

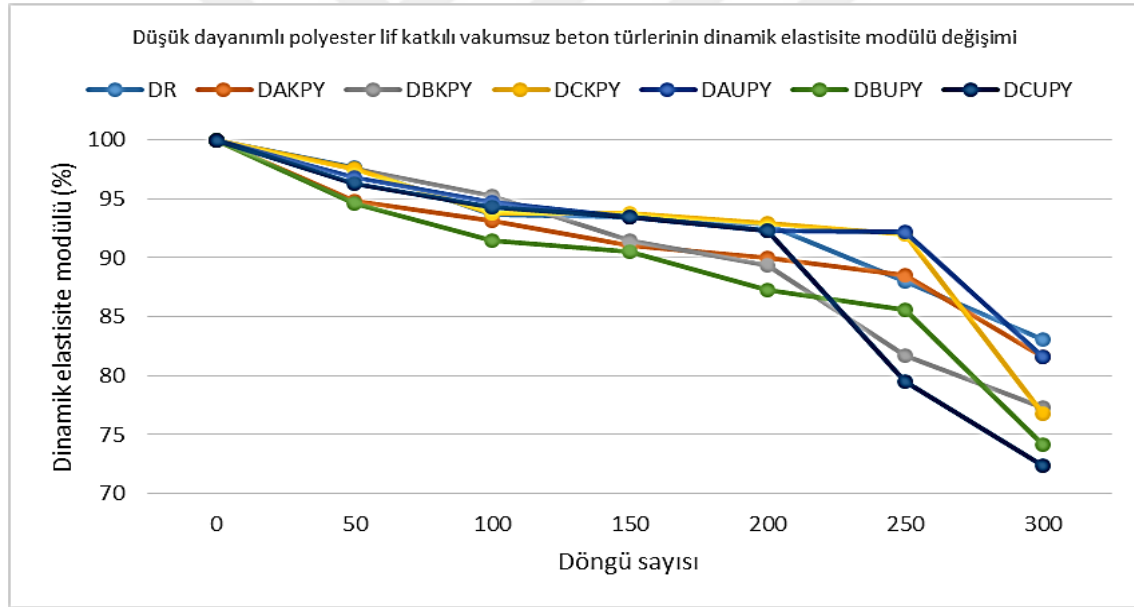


Şekil 4.12. Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

Yüksek dayanımlı çelik lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YVR beton türüne göre YAVKÇ, YBVKÇ, YCVKÇ, YAVUÇ, YBVUÇ ve YCVUÇ beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %4.20, %0.86, %6.71, %12.23, %13.83 ve %22.65 daha küçük olduğu görülmüştür.

4.2. Polyester Lif Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı

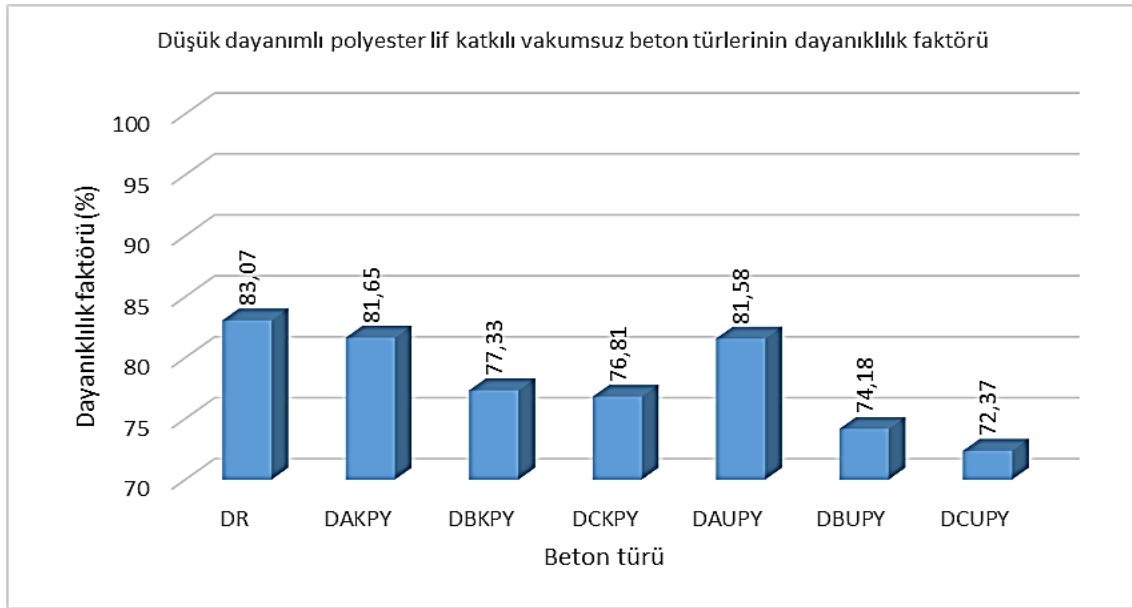
Her 50 döngüden sonra elde edilen dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede polyester lifli beton türlerinin dayanım sınıfı ve lif özelliklerine göre dinamik elastisite modülündeki değişimler ve dayanıklılık faktörü değerleri Şekil 4.13-Şekil 4.24'da görülmektedir. Düşük dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.13'de görülmektedir.



Şekil 4.13. Düşük dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

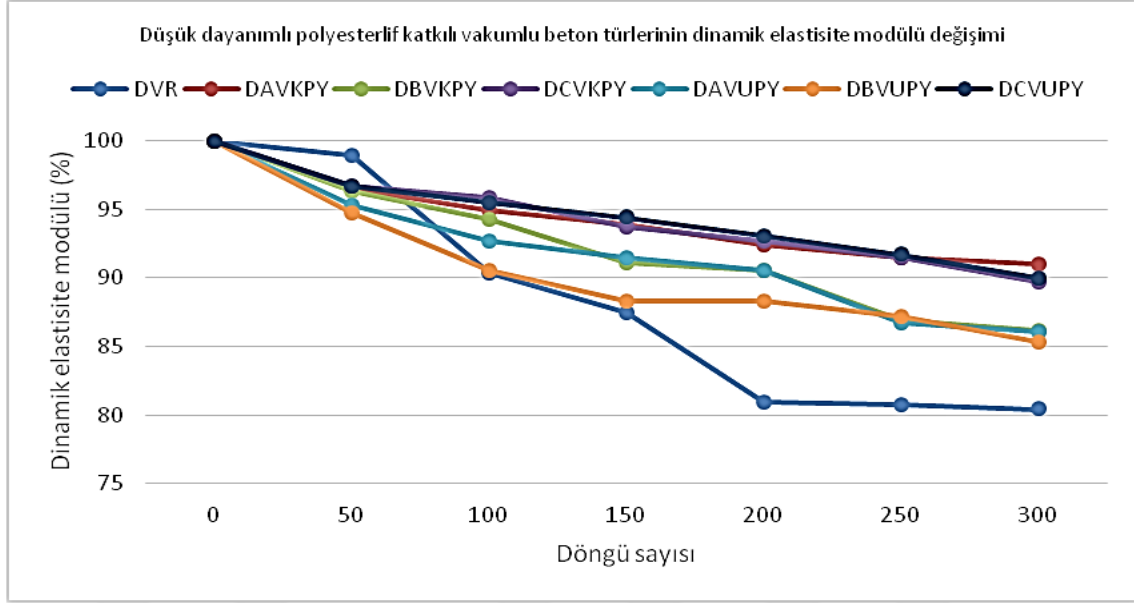
Polyester lif katkılı vakumsuz düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DR beton türünde %16.93 olduğu, en büyük DCUPY beton türünde %27.63 olduğu görülmüştür. DR beton türüne göre DAKPY, DBKPY, DCKPY, DAUPY, DBUPY ve DCUPY beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %8, %34, %37, %9, %53 ve %63 daha büyük olduğu görülmüştür.

Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.14’de görülmektedir. Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DR beton türüne göre DAKPY, DBKPY, DCKPY, DAUPY, DBUPY ve DCUPY beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %1.71, %6.91, %7.54, %1.79, %10.70 ve %12.88 daha küçük olduğu görülmüştür.



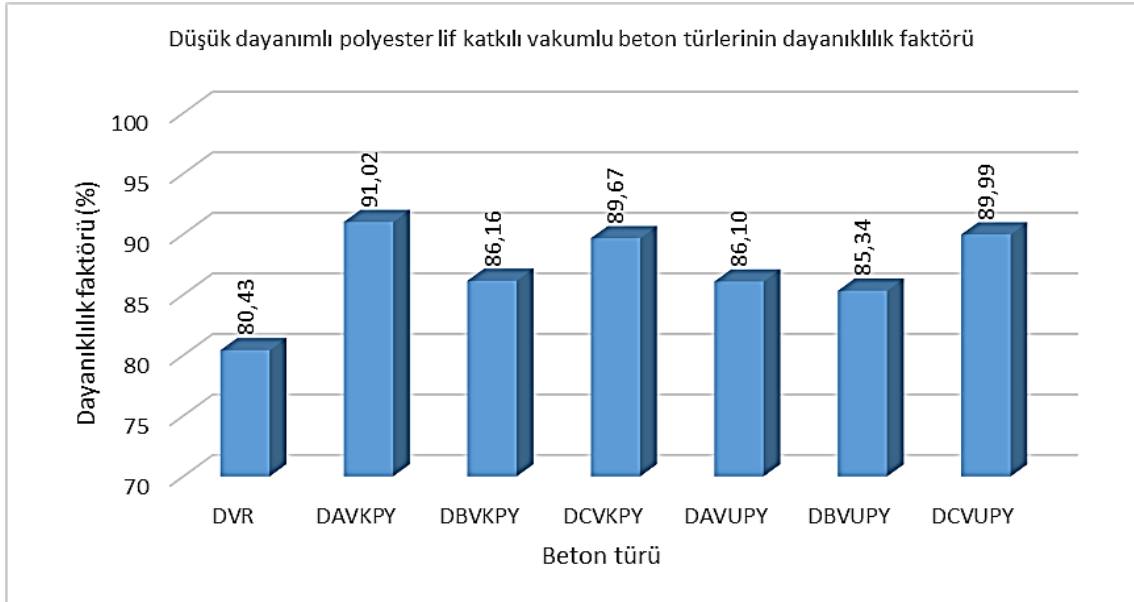
Şekil 4.14. Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.15’de görülmektedir. Polyester lif katkıli vakumlu düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DAVKPY beton türünde %8.98 olduğu, en büyük DVR beton türünde %19.57 olduğu görülmüştür. DVR beton türüne göre DAVKPY, DBVKPY, DCVKPY, DAVUPY, DBVUPY ve DCVUPY beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %54, %29 %47, %29, %25 ve %49 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.15. Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

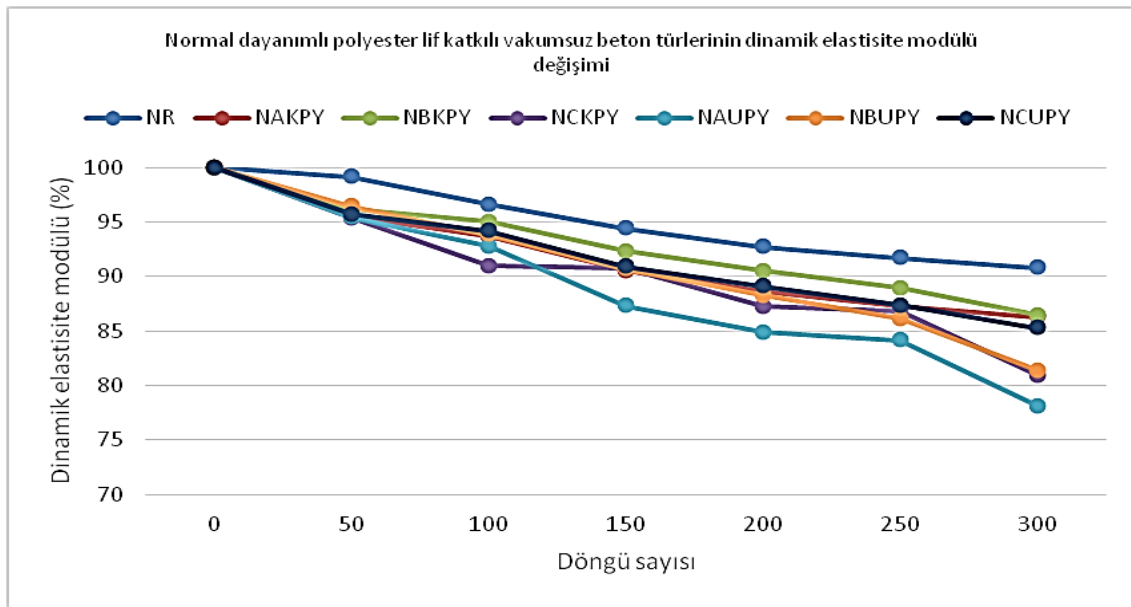
Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.16’da görülmektedir.



Şekil 4.16. Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

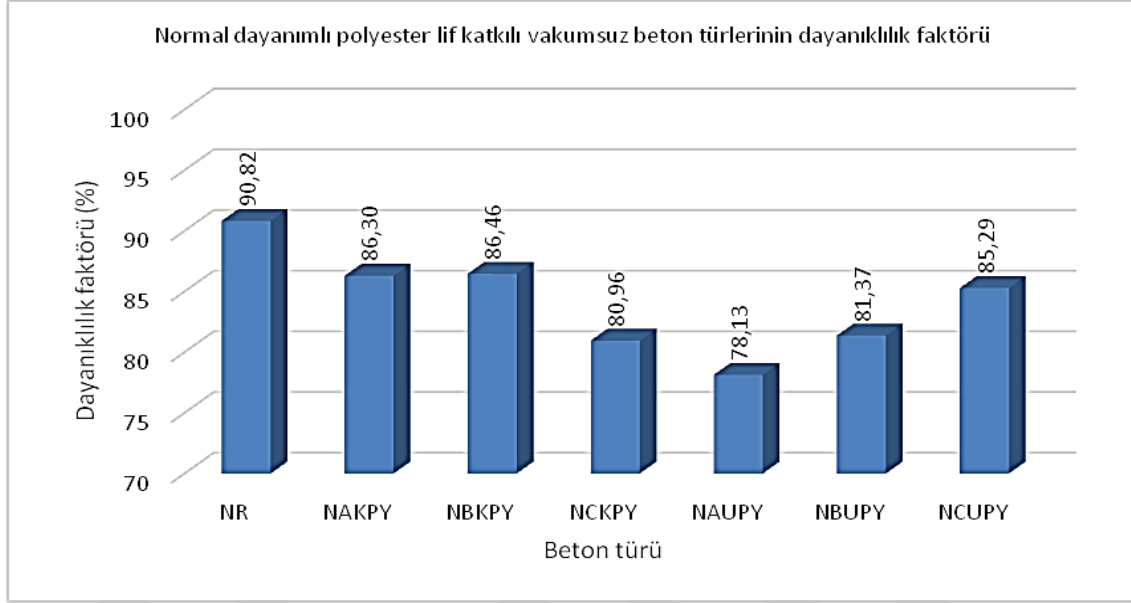
Düşük dayanımlı polyester lif katkıli vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DVR beton türüne göre DAVKPY, DBVKPY, DCVKPY, DAVUPY, DBVUPY ve DCVUPY beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %13.17, %7.13, %11.50, %7.05, %6.11 ve %11.89 daha küçük olduğu görülmüştür.

Normal dayanımlı polyester lif katkıli vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.17’de görülmektedir.



Şekil 4.17. Normal dayanımlı polyester lif katkıli vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

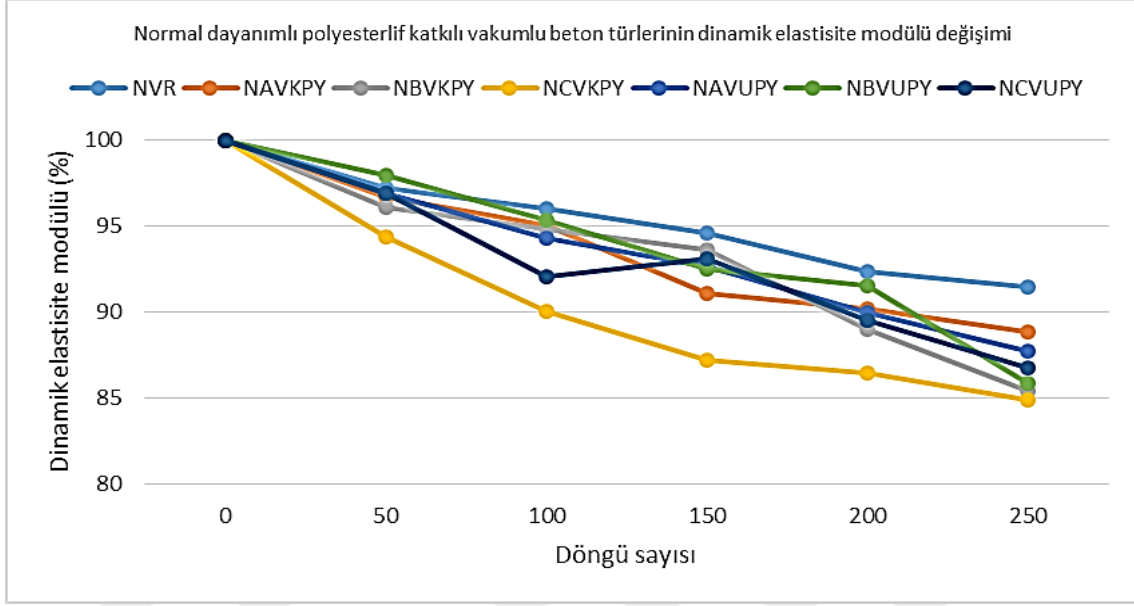
Polyester lif katkıli vakumsuz normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NR beton türünde %9.18 olduğu, en büyük NAUPY beton türünde %21.87 olduğu görülmüştür. NR beton türüne göre NAKPY, NBKPY, NCKPY, NAUPY, NBUPY ve NCUPY beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %49, %47, %107, %138, %103 ve %60 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.18. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

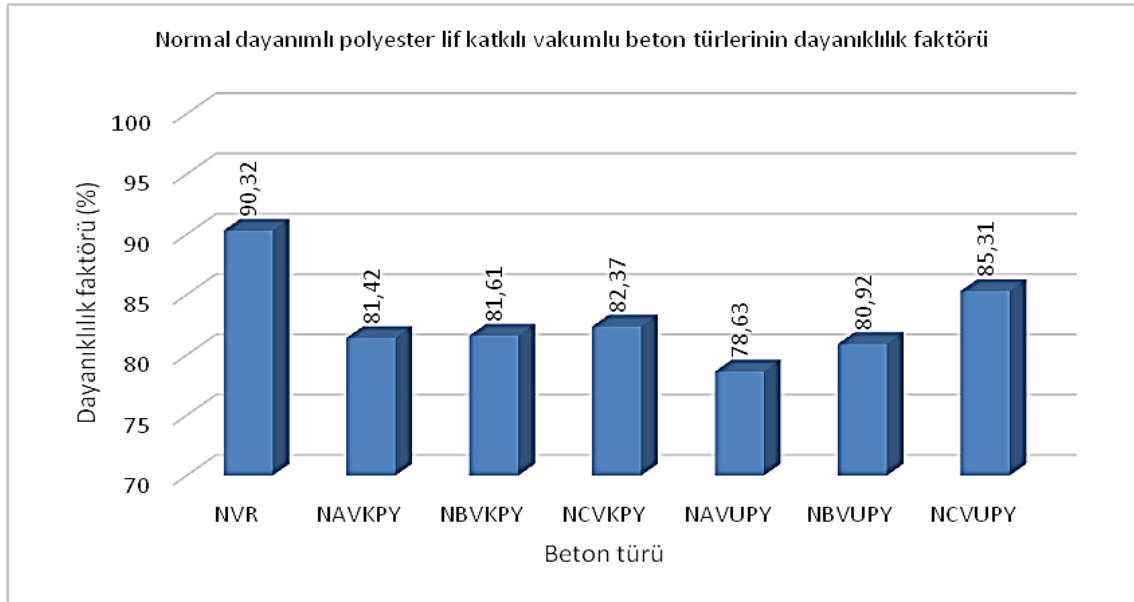
Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.18’de görülmektedir. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NR beton türüne göre NAKPY, NBKPY, NCKPY, NAUPY, NBUPY ve NCUPY beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %4.98, %4.80, %10.86, %13.97, %10.40 ve %6.09 daha küçük olduğu görülmüştür.

Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.19’da görülmektedir. Polyester lif katkılı vakumlu normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NVR beton türünde %9.68 olduğu, en büyük NAVUPY beton türünde %21.37 olduğu görülmüştür. NVR beton türüne göre NAVKPY, NBVKPY, NCVKPY, NAVUPY, NBVUPY ve NCVUPY beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %92, %90, %82, %121, %97 ve %52 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

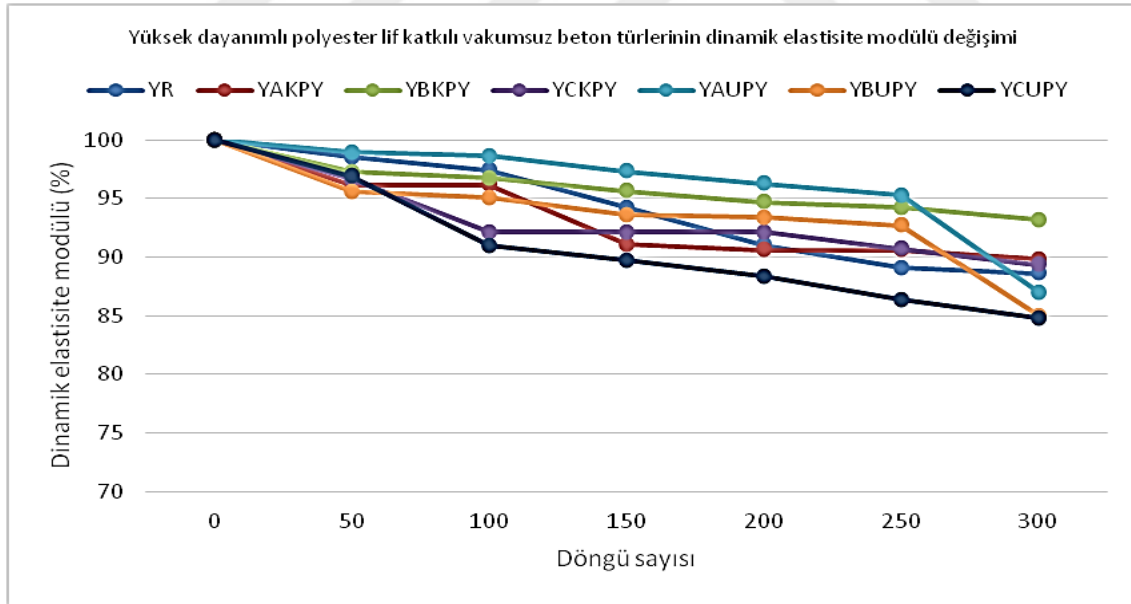
Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin modülündeki azalmaya bağlı dinamik elastisite dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.20’de görülmektedir.



Şekil 4.20. Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

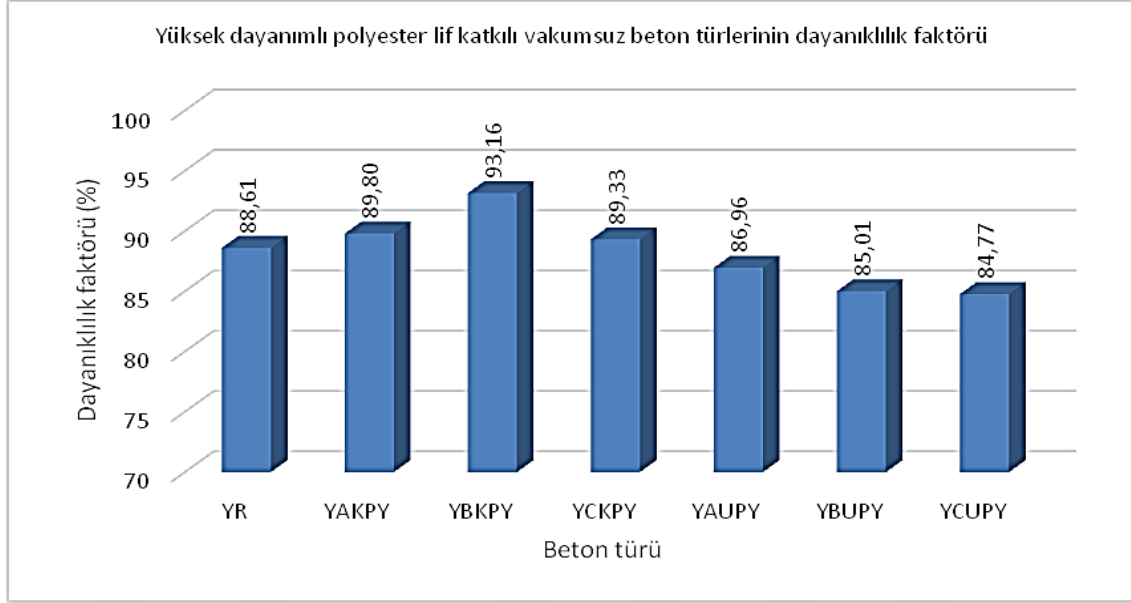
Normal dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NVR beton türüne göre NAVKPY, NBVKPY, NCVKPY, NAVUPY, NBVUPY ve NCVUPY beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %9.86, %9.65, %8.80, %12.95, %10.42 ve %5.55 daha küçük olduğu görülmüştür.

Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.21’de görülmektedir. Polyester lif katkılı vakumsuz yüksek dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YBKPY beton türünde %6.84 olduğu, en büyük YCUPY beton türünde %15.23 olduğu görülmüştür. YR beton türüne göre YAKPY, YBKPY ve YCKPY beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %10, %40 ve %6 daha küçük olduğu görülmüştür. YR beton türüne göre YAUPY, YBUPY ve YCUPY beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %14, %32 ve %34 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

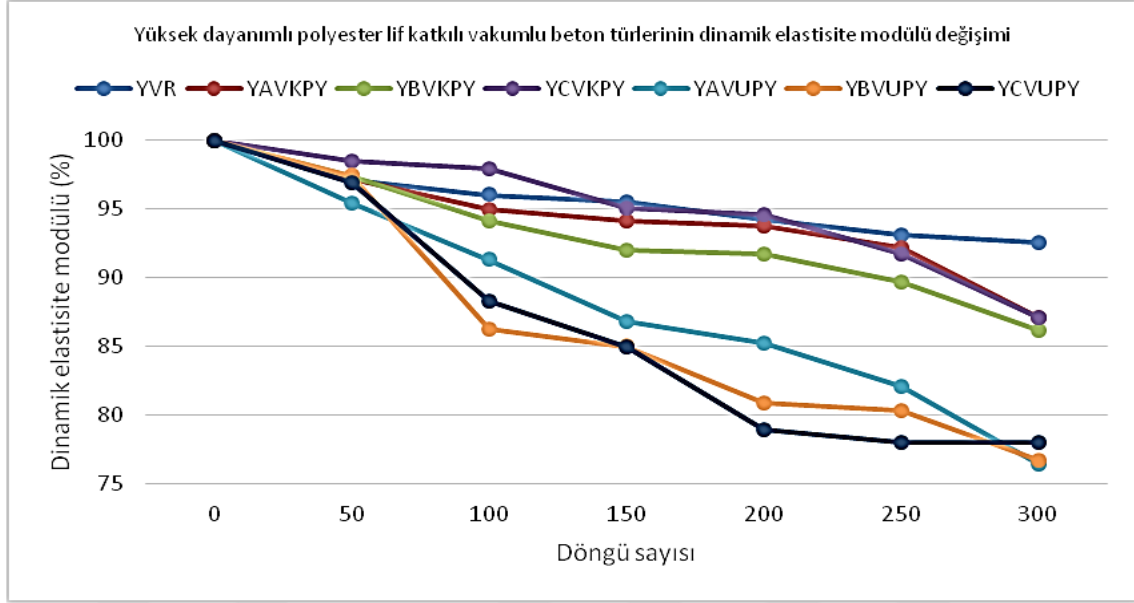
Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.22’de görülmektedir.



Şekil 4.22. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

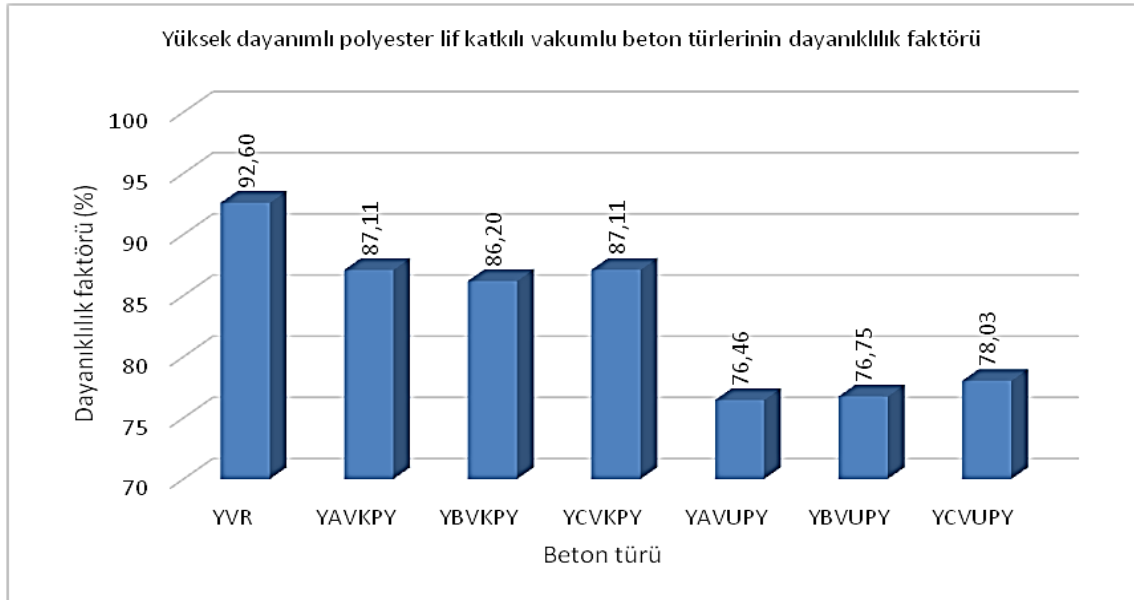
Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YR beton türüne göre YAKPY, YBKPY ve YCKPY beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %1.34, %5.13 ve %0.80 daha büyük olduğu görülmüştür. YR beton türüne göre YAUPY, YBUPY ve YCUPY beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %1.86, %4.06 ve %4.33 daha küçük olduğu görülmüştür.

Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.23'de görülmektedir. Polyester lif katkılı vakumlu yüksek dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YVR beton türünde %7.40 olduğu, en büyük YAVUPY beton türünde %23.25 olduğu görülmüştür. YVR beton türüne göre YAVKPY, YBVKPY, YCVKPY, YAVUPY, YBVUPY ve YCVUPY beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %74, %86, %74, %218, %214 ve %197 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.23. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.24’de görülmektedir.

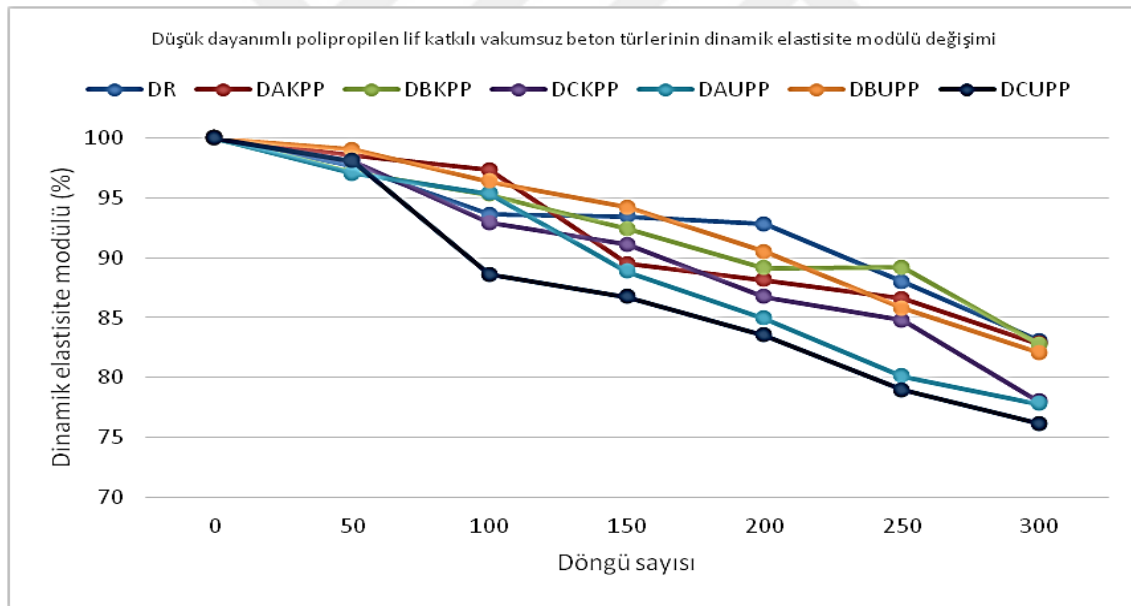


Şekil 4.24. Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

Yüksek dayanımlı polyester lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YVR beton türüne göre YAVKPY, YBVKPY, YCVKPY, YAVUPY, YBVUPY ve YCVUPY beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %5.93, %6.91, %5.93, %17.43, %17.11 ve %15.73 daha küçük olduğu görülmüştür.

4.3. Polipropilen Lif Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı

Her 50 döngüden sonra elde edilen dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede polipropilen lifli beton türlerinin dayanım sınıfı ve lif özelliklerine göre dinamik elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.25- Şekil 4.36'da görülmektedir. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.25'de görülmektedir.

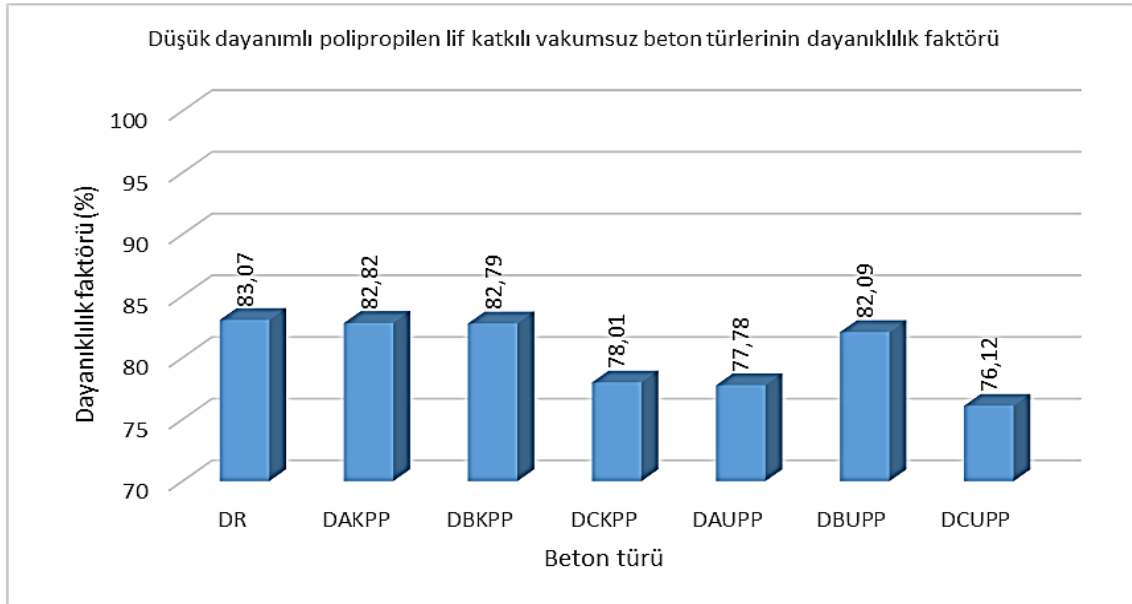


Şekil 4.25. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Polipropilen lif katkılı vakumsuz düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DR beton türünde %16.93 olduğu, en büyük DCUPP beton türünde %23.88 olduğu görülmüştür. DR beton türüne göre DAKPP, DBKPP, DCKPP, DAUPP, DBUPP ve DCUPP beton

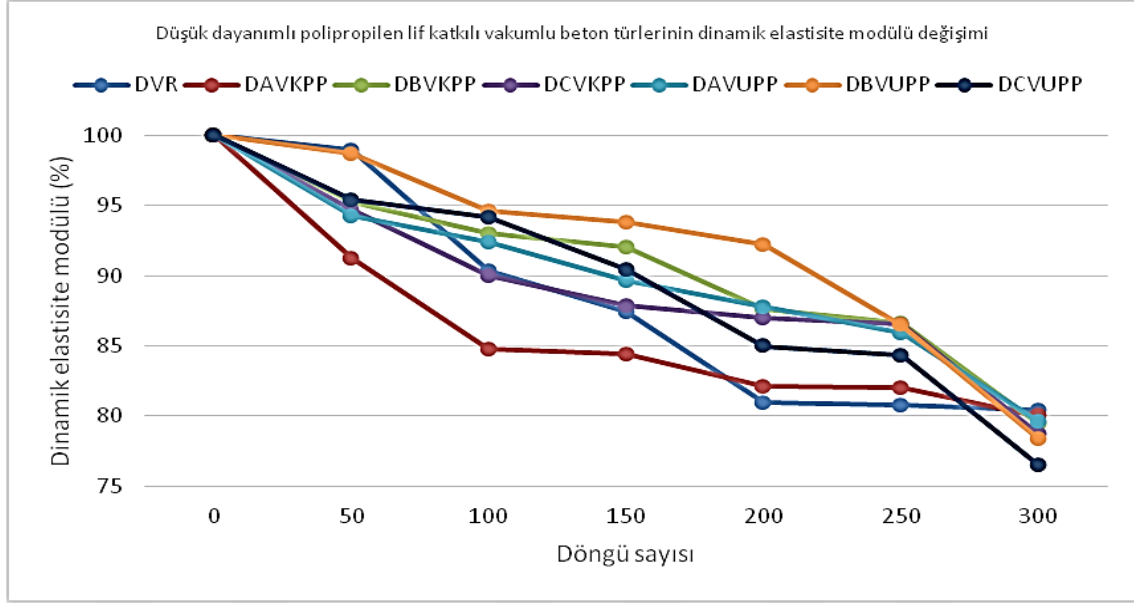
türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %1, %2, %30, %31, %6 ve %41 daha büyük olduğu görülmüştür.

Düşük dayanımlı polipropilen lif katkıli vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.26'da görülmektedir. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkıli vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DR beton türüne göre DAKPP, DBKPP, DCKPP, DAUPP, DBUPP ve DCUPP beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %0.30, %0.34, %6.09, %6.37, %1.18 ve %8.36 daha küçük olduğu görülmüştür.



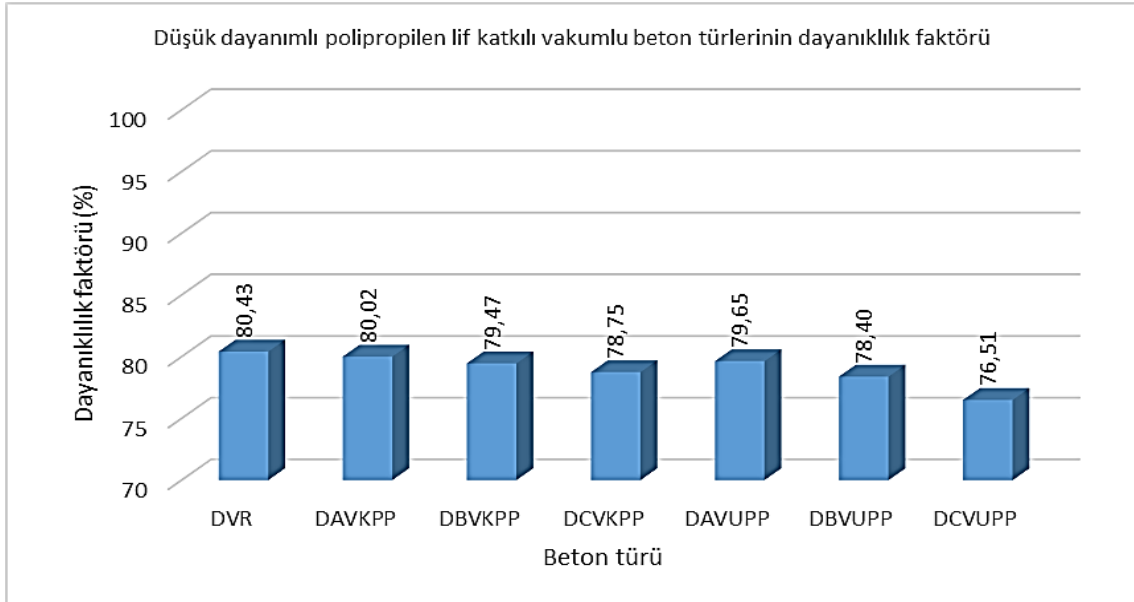
Şekil 4.26. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkıli vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

Düşük dayanımlı polipropilen lif katkıli vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.27'de görülmektedir. Polipropilen lif katkıli vakumlu düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DVR beton türünde %19.57 olduğu, en büyük DCVUPP beton türünde %23.49 olduğu görülmüştür. DVR beton türüne göre DAVKPP, DBVKPP, DCVKPP, DAVUPP, DBVUPP ve DCVUPP beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %2, %5, %9, %4, %10 ve %20 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.27. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

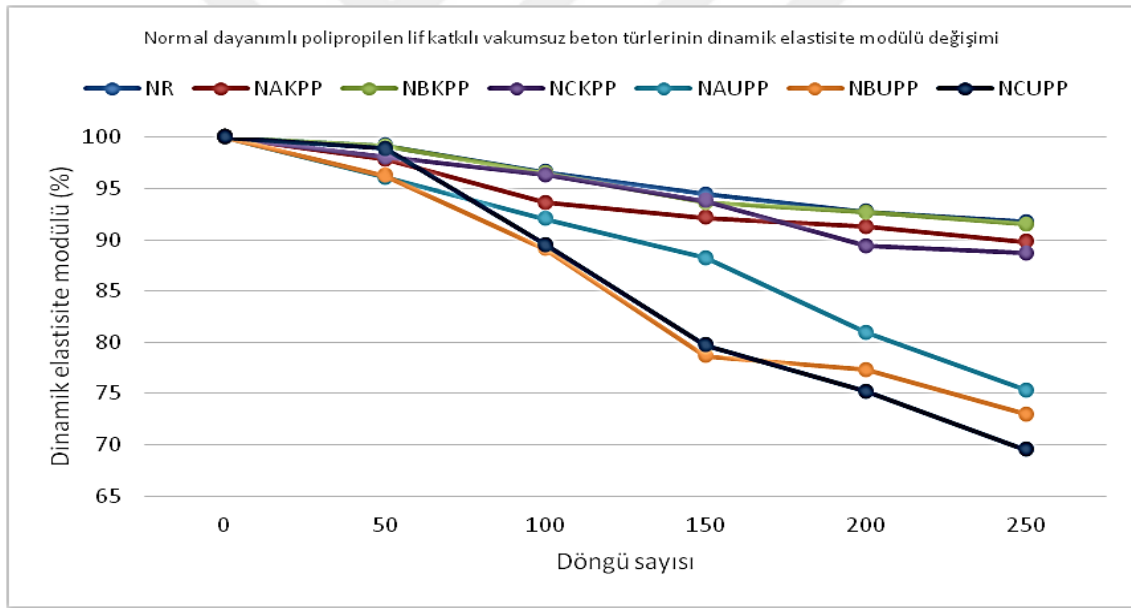
Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.28'de görülmektedir.



Şekil 4.28. Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

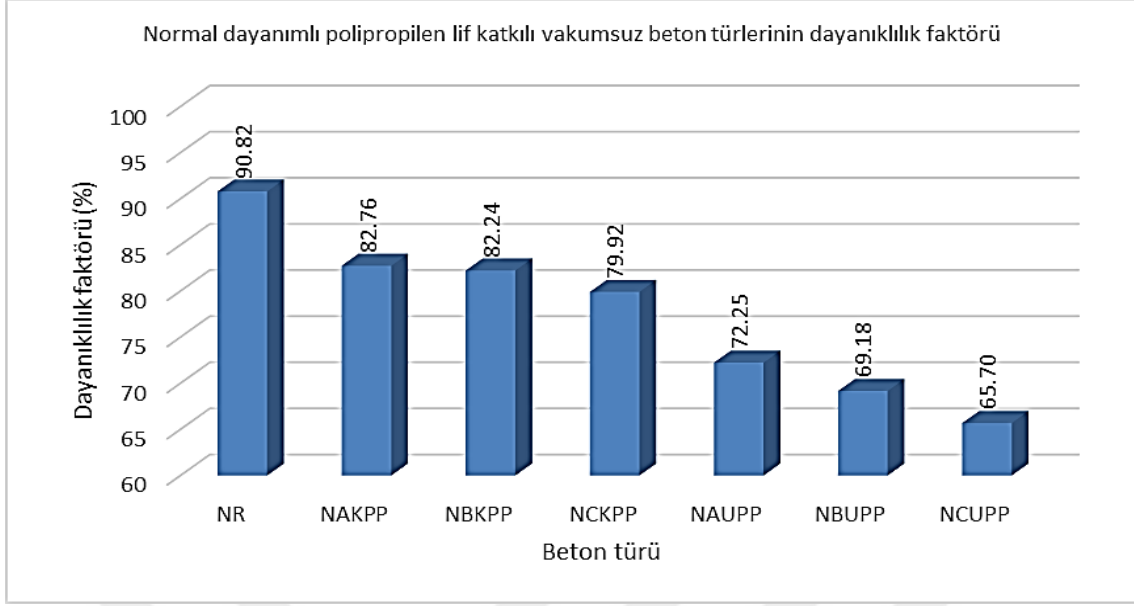
Düşük dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DVR beton türüne göre DAVKPP, DBVKPP, DCVKPP, DAVUPP, DBVUPP ve DCVUPP beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %0.51, %1.19, %2.08, %0.97, %2.52 ve %4.87 daha küçük olduğu görülmüştür.

Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.29'da görülmektedir. Polipropilen lif katkılı vakumsuz normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NR beton türünde %9.18 olduğu, en büyük NCUPP beton türünde %34.30 olduğu görülmüştür. NR beton türüne göre NAKPP, NBKPP, NCKPP, NAUPP, NBUPP ve NCUPP beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %88, %93, %119, %202, %236 ve %273 daha büyük olduğu görülmüştür.



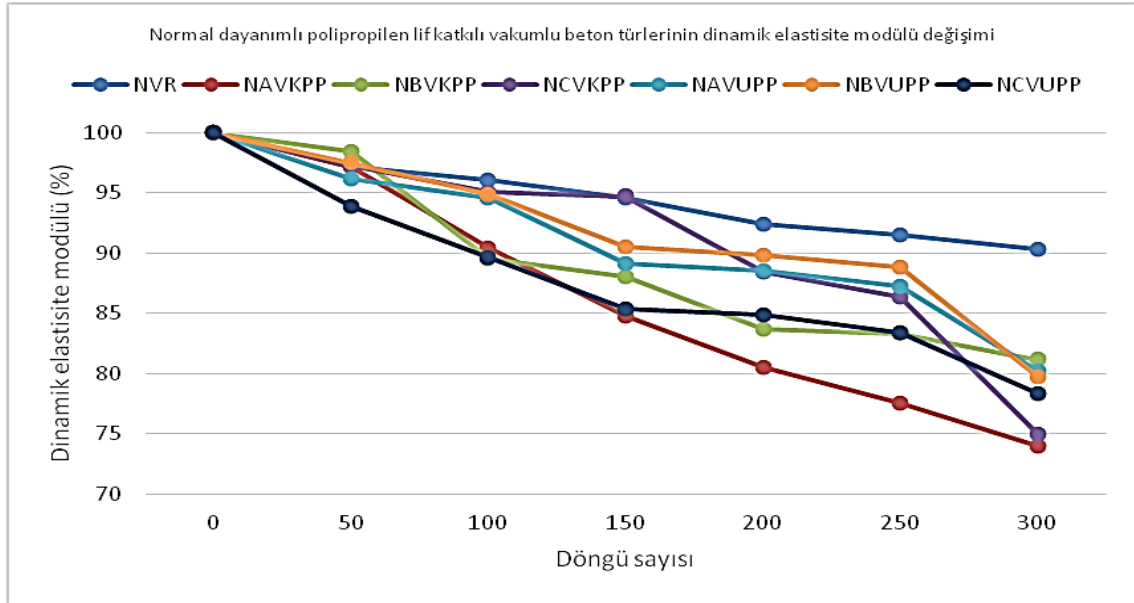
Şekil 4.29. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.30'da görülmektedir. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NR beton türüne göre NAKPP, NBKPP, NCKPP, NAUPP, NBUPP ve NCUPP beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %8.88, %9.44, %12.00, %20.44, %23.82 ve %27.65 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.30. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.31’de görülmektedir.

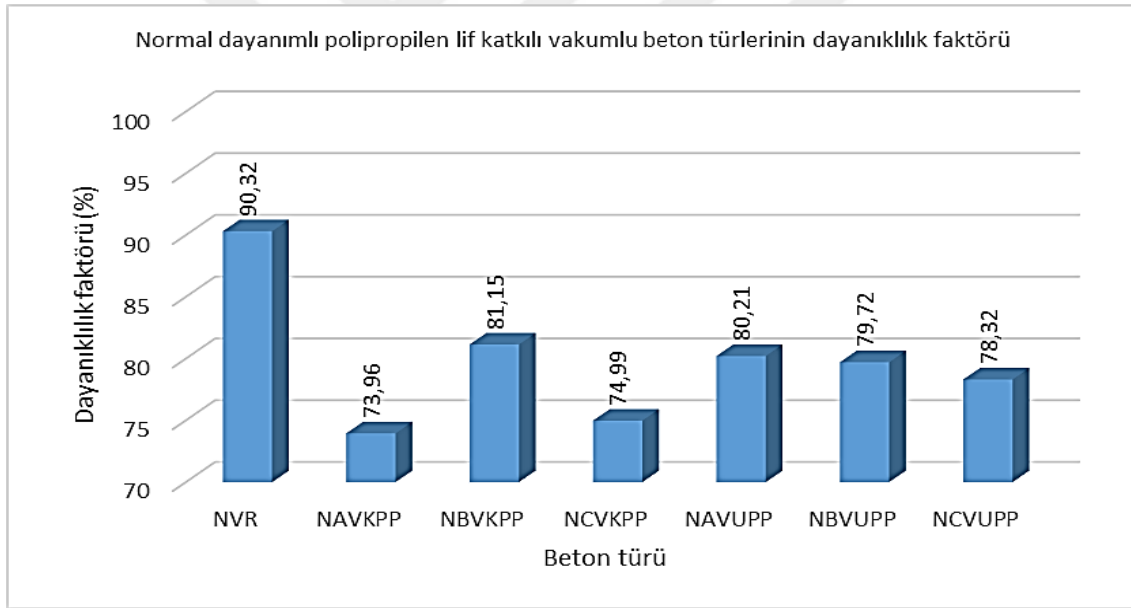


Şekil 4.31. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Polipropilen lif katkılı vakumlu normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NVR

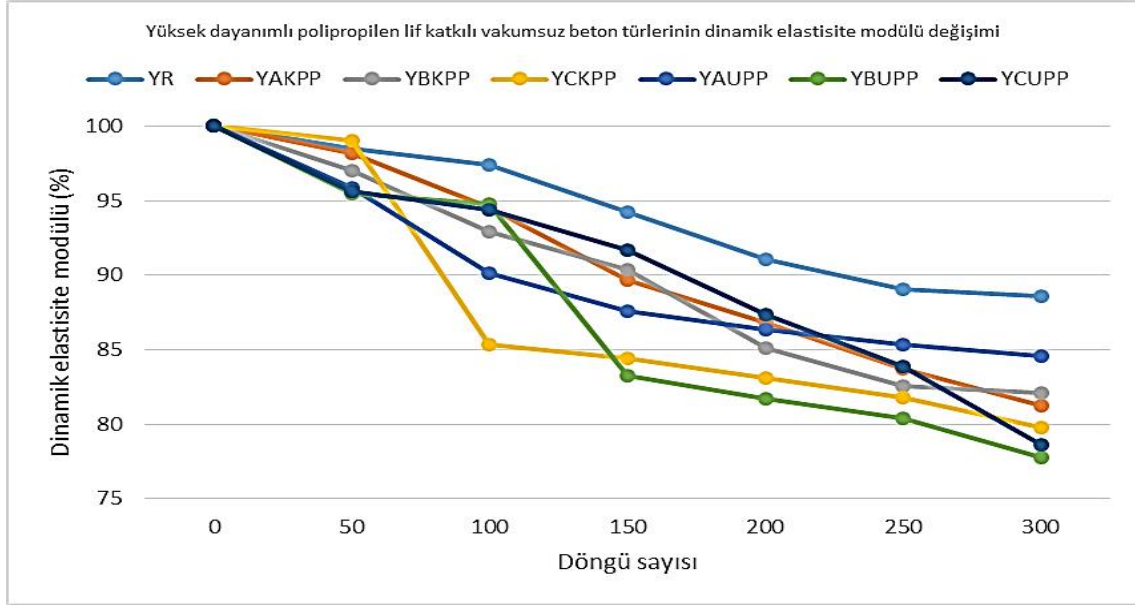
beton türünde %9.68 olduğu, en büyük NAVKPP beton türünde %26.04 olduğu görülmüştür. NVR beton türüne göre NAVKPP, NBVKPP, NCVKPP, NAVUPP, NBVUPP ve NCVUPP beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %169, %95, %159, %104, %110 ve %124 daha büyük olduğu görülmüştür.

Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.32’de görülmektedir. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NVR beton türüne göre NAVKPP, NBVKPP, NCVKPP, NAVUPP, NBVUPP ve NCVUPP beton türlerine göre dayanıklılık faktörünü sırasıyla %18.11, %10.15, %16.98, %11.19, %11.74 ve %13.29 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.32. Normal dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

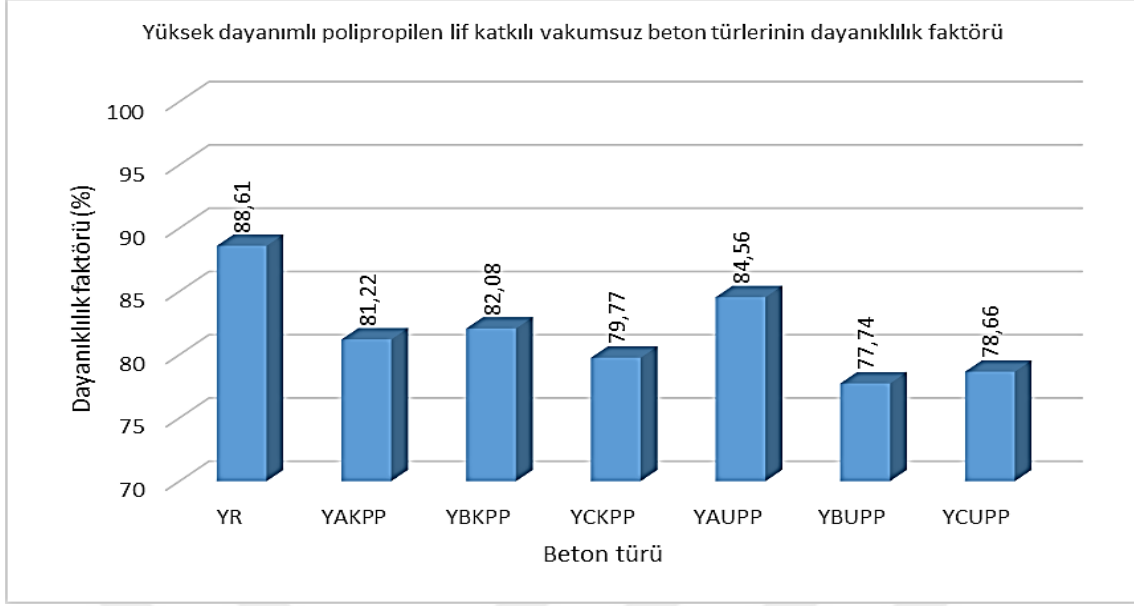
Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.33’de görülmektedir.



Şekil 4.33. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

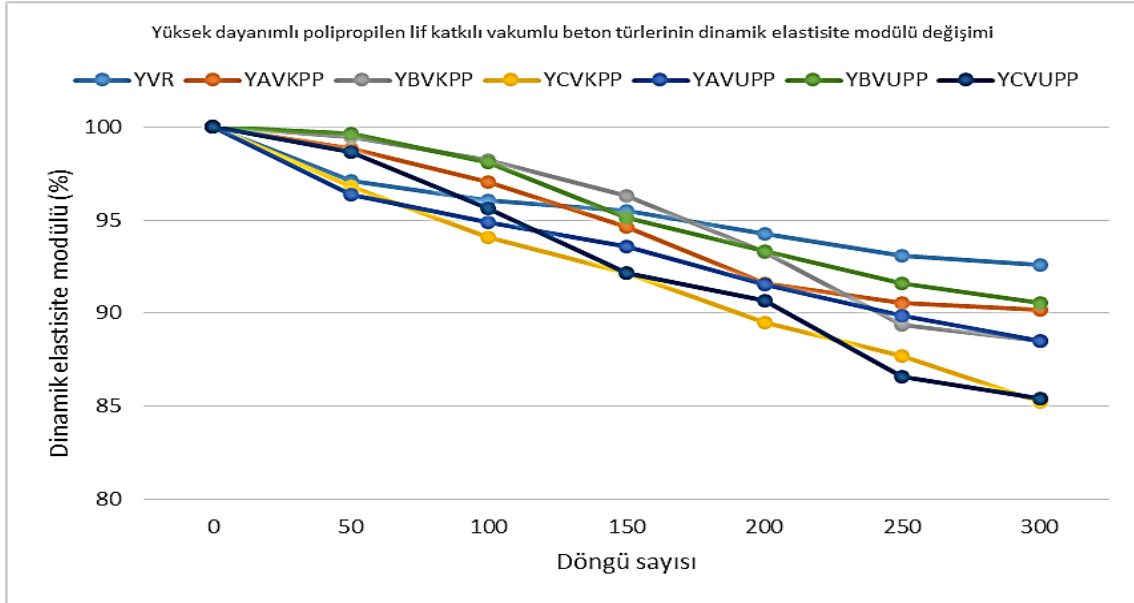
Polipropilen lif katkılı vakumsuz yüksek dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YR beton türünde %11.39 olduğu, en büyük YBUPP beton türünde %22.26 olduğu görülmüştür. NR beton türüne göre YAKPP, YBKPP, YCKPP, YAUPP, YBUPP ve YCUPP beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %65, %57, %78, %36, %95 ve %87 daha büyük olduğu görülmüştür.

Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.34'de görülmektedir. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YR beton türüne göre YAKPP, YBKPP, YCKPP, YAUPP, YBUPP ve YCUPP beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %8.34, %7.37, %9.98, %4.58, %12.27 ve %11.23 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.34. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

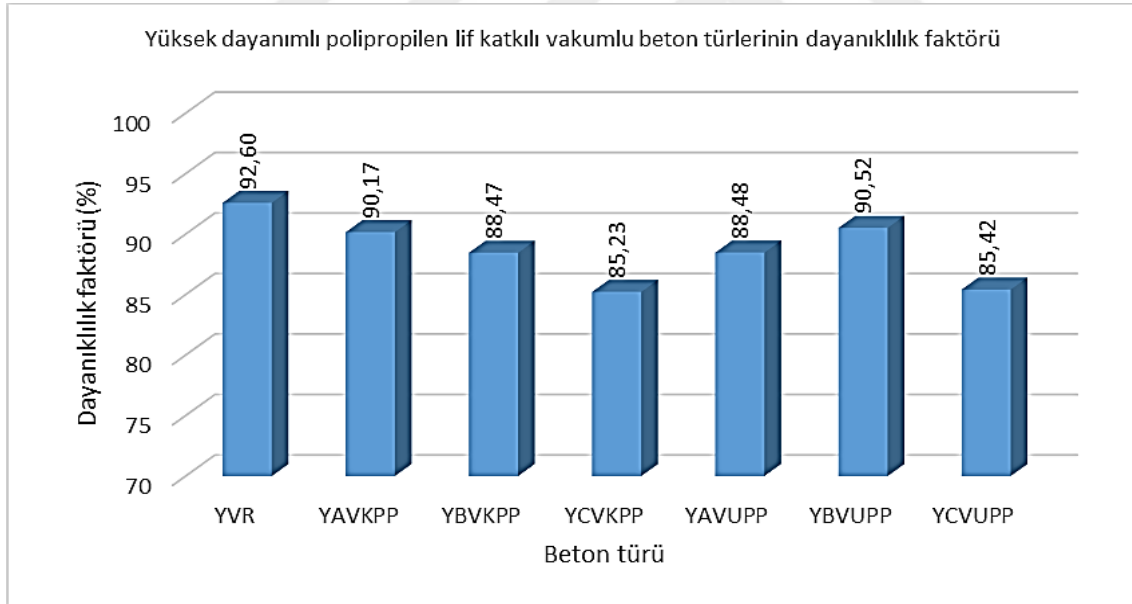
Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.35’de görülmektedir.



Şekil 4.35. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Polipropilen lif katkılı vakumlu yüksek dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YVR beton türünde %7.40 olduğu, en büyük YCVKPP beton türünde %14.77 olduğu görülmüştür. YVR beton türüne göre YAVKPP, YBVKPP, YCVKPP, YAVUPP, YBVUPP ve YCVUPP beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %33, %56, %100, %56, %28 ve %97 daha büyük olduğu görülmüştür.

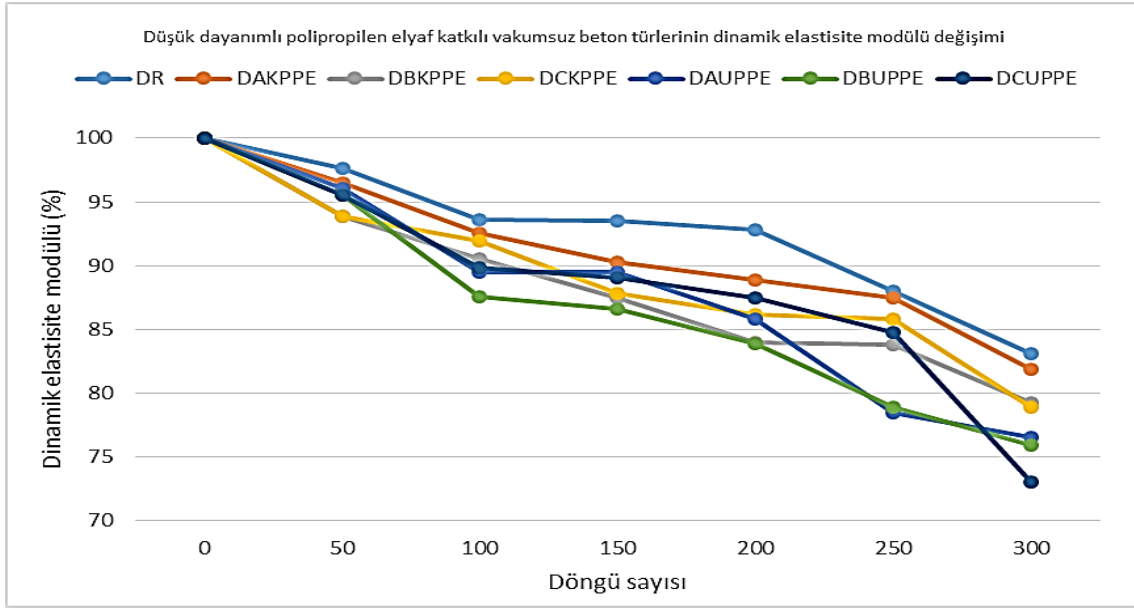
Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.36'da görülmektedir. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YVR beton türüne göre YAVKPP, YBVKPP, YCVKPP, YAVUPP, YBVUPP ve YCVUPP beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %2.62, %4.46, %7.95, %4.45, %2.24 ve %7.75 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.36. Yüksek dayanımlı polipropilen lif katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

4.4. Polipropilen Elyaf Katkılı Betonların Donma Çözülme Dayanımı

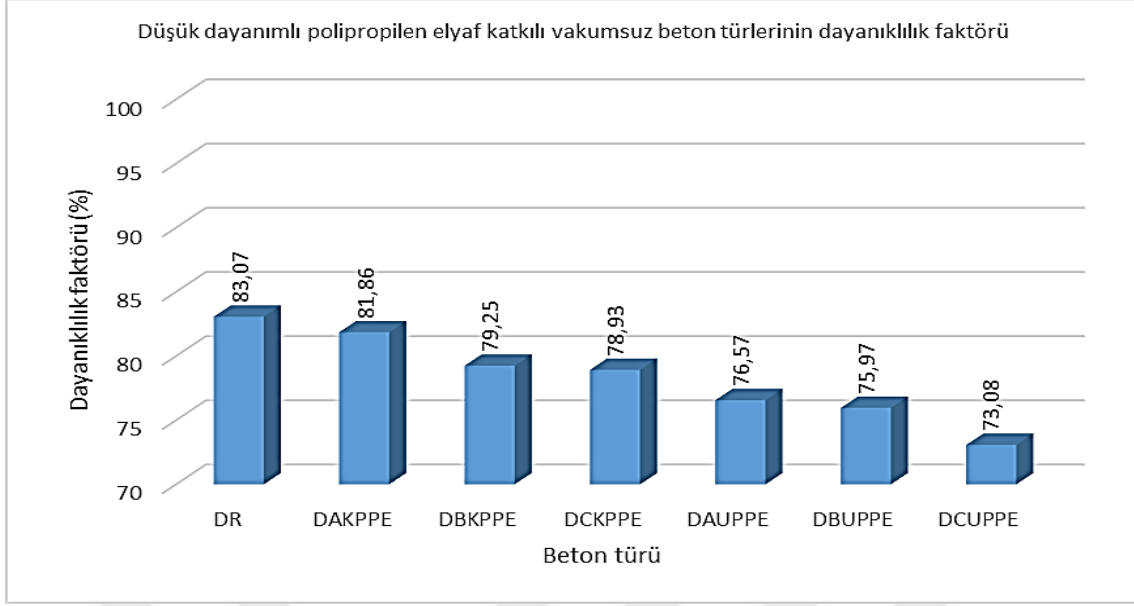
Her 50 döngüden sonra elde edilen dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede polipropilen elyaf beton türlerinin dayanım sınıfı ve lif özelliklerine göre dinamik elastisite modülündeki değişimler ve dayanıklılık faktörü değerleri Şekil 4.37-Şekil 4.48’de görülmektedir. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.37’de görülmektedir.



Şekil 4.37. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

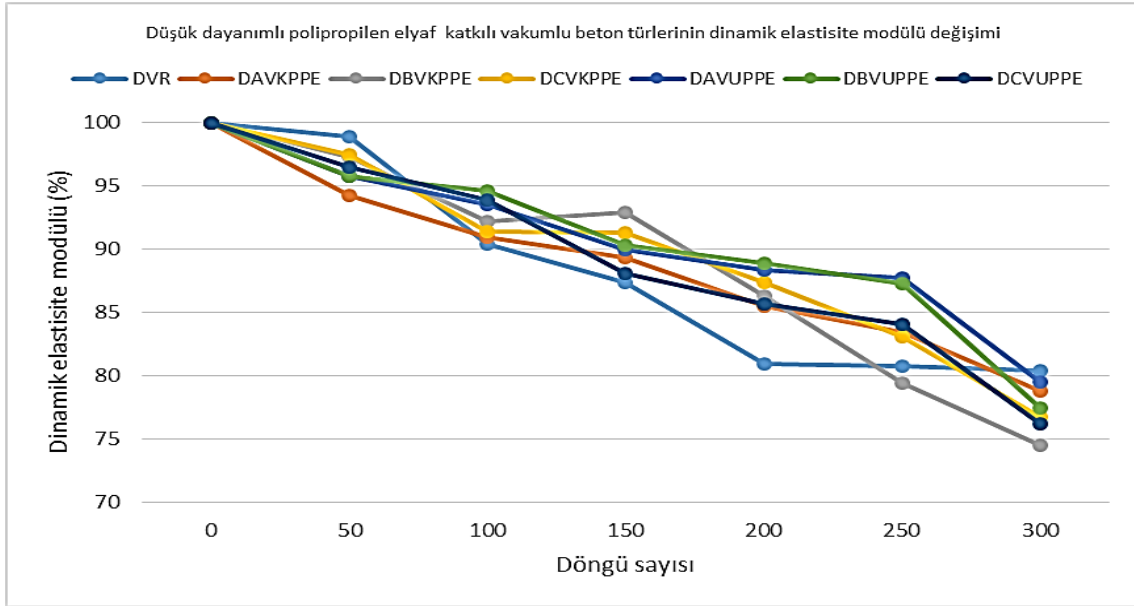
Polipropilen elyaf katkılı vakumsuz düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DR beton türünde %16.93 olduğu, en büyük DCUPPE beton türünde %26.92 olduğu görülmüştür. DR beton türüne göre DAKPPE, DBKPPE, DCKPPE, DAUPPE, DBUPPE ve DCUPPE beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %7, %23, %24, %38, %42 ve %59 daha büyük olduğu görülmüştür.

Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.38’de görülmektedir.



Şekil 4.38. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

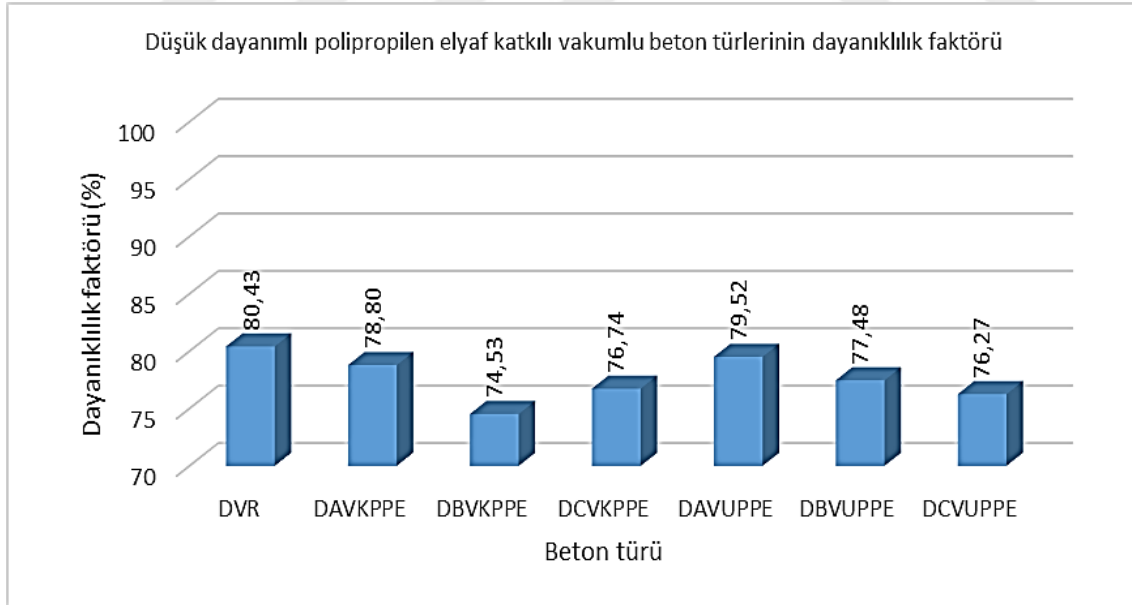
Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DR beton türüne göre DAKPPE, DBKPPE, DCKPPE, DAUPPE, DBUPPE ve DCUPPE beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %1.45, %4.60, %4.98, %7.83, %8.55 ve %12.02 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.39. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

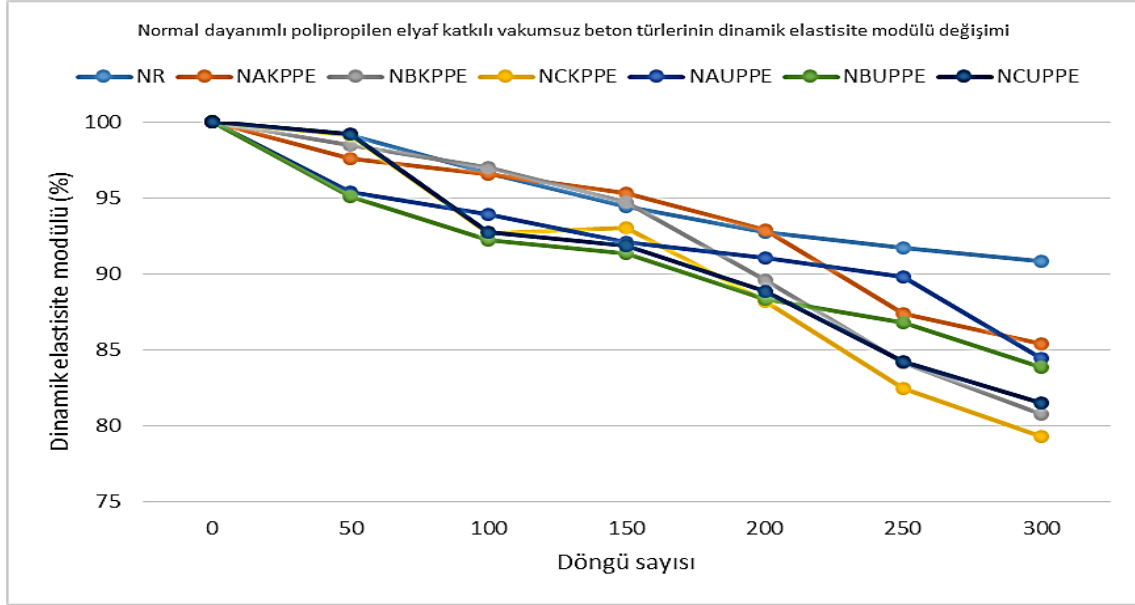
Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.40'da görülmektedir. Polipropilen elyaf katkılı vakumlu düşük dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük DVR beton türünde %19.57 olduğu, en büyük DBVKPPE beton türünde %25.47 olduğu görülmüştür. DVR beton türüne göre DAVKPPE, DBVKPPE, DCVKPPE, DAVUPPE, DBVUPPE ve DCVUPPE beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %8, %30, %19, %5, %15 ve %21 daha büyük olduğu görülmüştür.

Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.40'da görülmektedir. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; DVR beton türüne göre DAVKPPE, DBVKPPE, DCVKPPE, DAVUPPE, DBVUPPE ve DCVUPPE beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %2.02, %7.33, %4.58, %1.13, %3.66 ve %5.17 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.40. Düşük dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

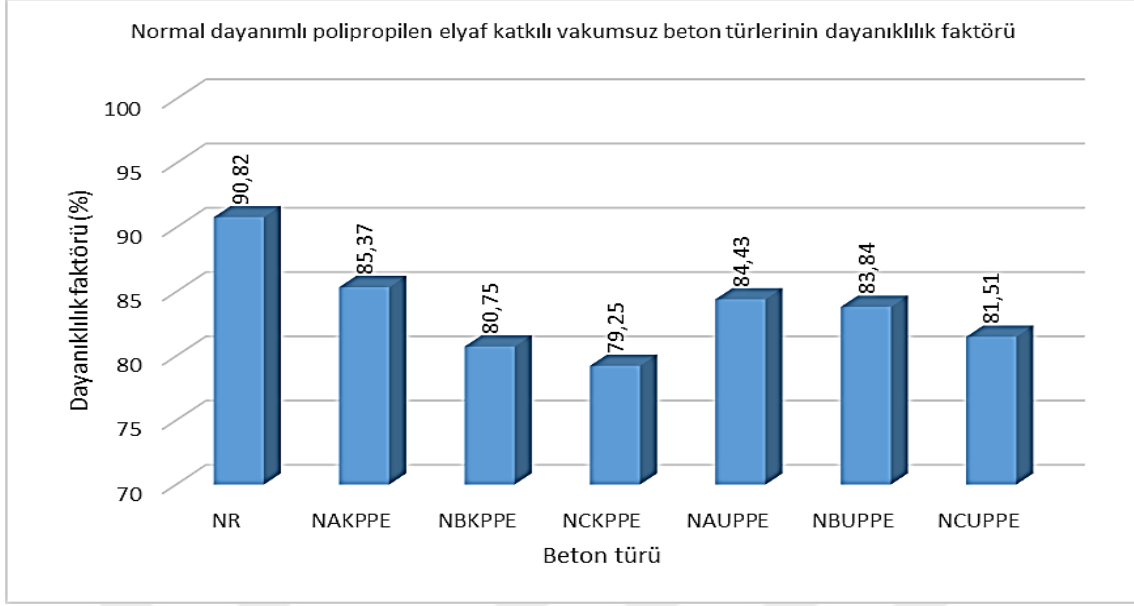
Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.41'de görülmektedir.



Şekil 4.41. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

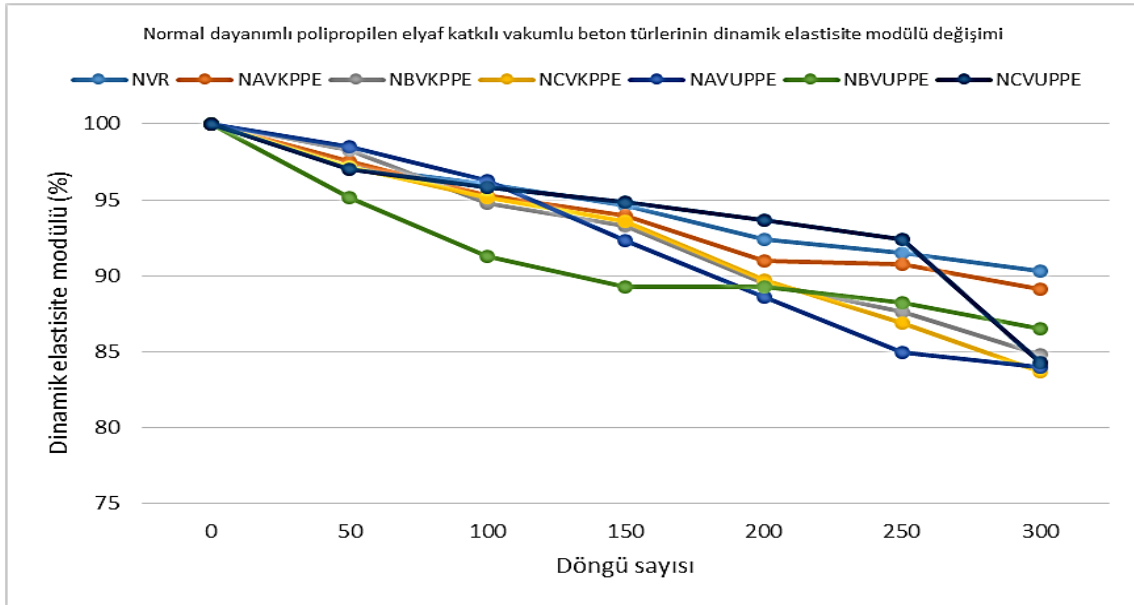
Polipropilen elyaf katkılı vakumsuz normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NR beton türünde %9.18 olduğu, en büyük NCKPPE beton türünde %20.75 olduğu görülmüştür. NR beton türüne göre NAKPPE, NBKPPE, NCKPPE, NAUPPE, NBUPPE ve NCUPPE beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %59, %110, %126, %70, %76 ve %101 daha büyük olduğu görülmüştür.

Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.42'de görülmektedir. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NR beton türüne göre NAKPPE, NBKPPE, NCKPPE, NAUPPE, NBUPPE ve NCUPPE beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %6.00, %11.08, %12.73, %7.03, %7.69 ve %10.24 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.42. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

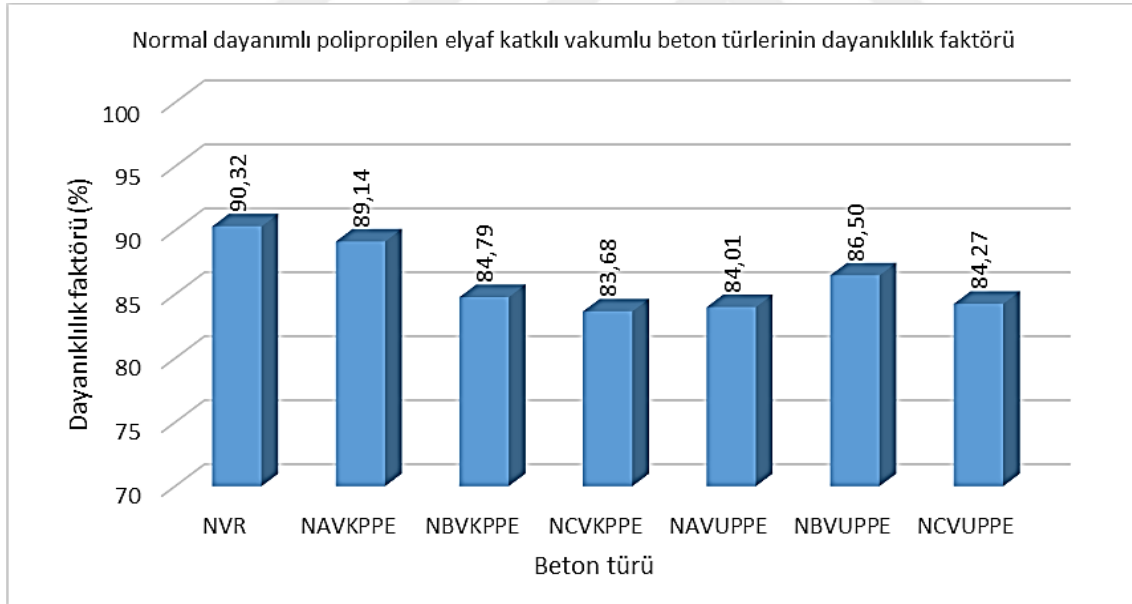
Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.43’de görülmektedir.



Şekil 4.43. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Polipropilen elyaf katkılı vakumsuz normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük NR beton türünde %9.18 olduğu, en büyük NCKPPE beton türünde %20.75 olduğu görülmüştür. NVR beton türüne göre NAVKPPE, NBVKPPE, NCVKPPE, NAVUPPE, NBVUPPE ve NCVUPPE beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %12, %57, %69, %65, %40 ve %63 daha büyük olduğu görülmüştür.

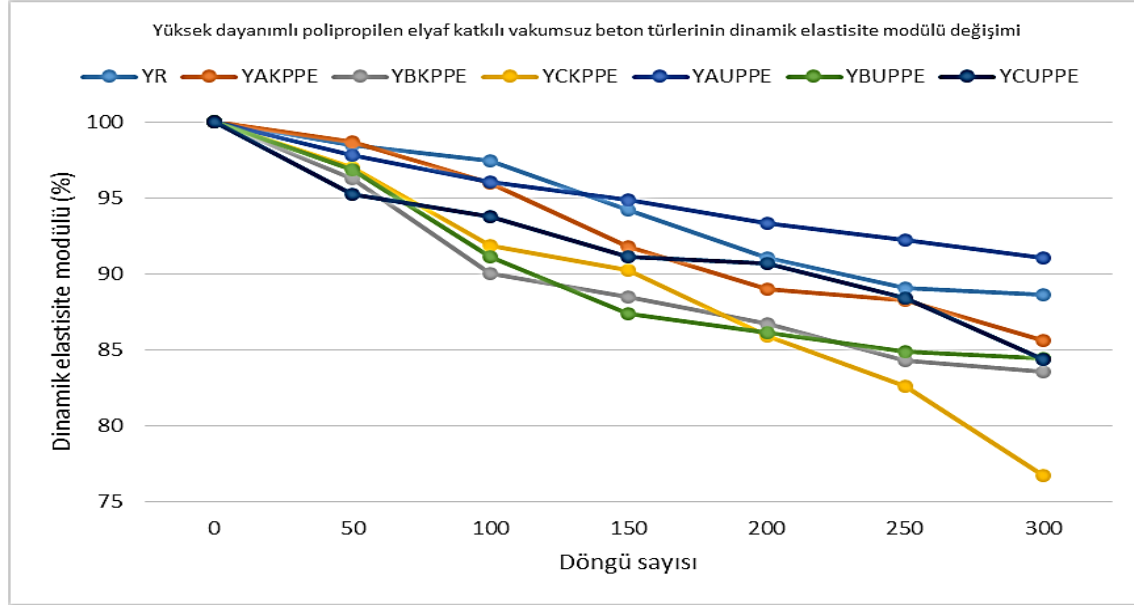
Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.44'de görülmektedir. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; NVR beton türüne göre NAVKPPE, NBVKPPE, NCVKPPE, NAVUPPE, NBVUPPE ve NCVUPPE beton türlerine göre dayanıklılık faktörünü sırasıyla %1.31, %6.12, %7.36, %6.99, %4.24 ve %6.70 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.44. Normal dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

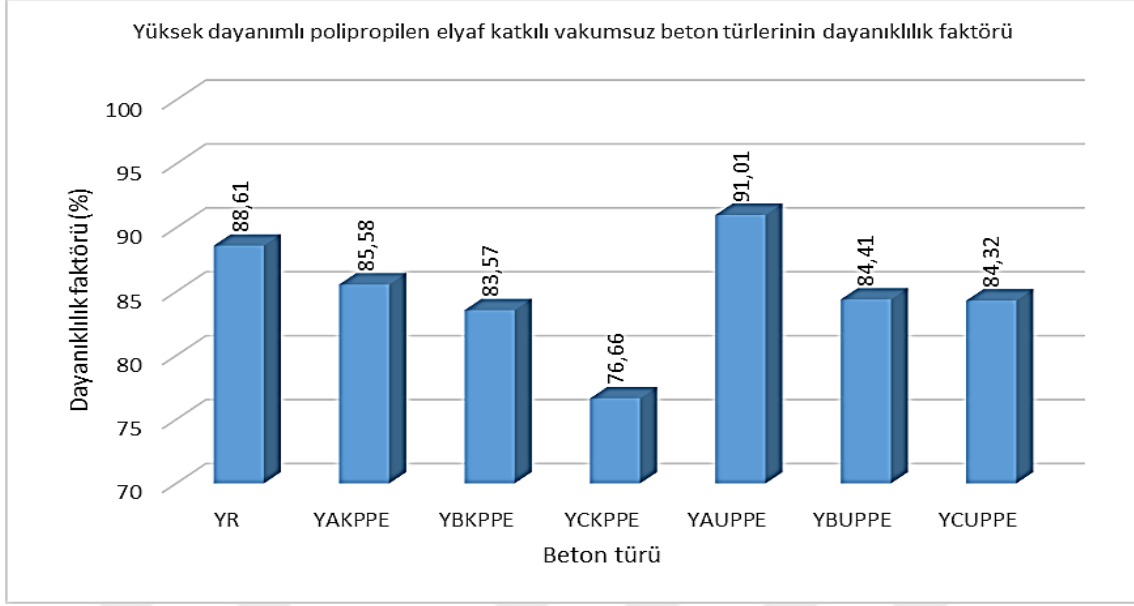
Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.45'de görülmektedir. Polipropilen elyaf katkılı vakumsuz yüksek dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YAUPPE beton türünde %8.99

olduğu, en büyük YCKPPE beton türünde %23.34 olduğu görülmüştür. YR beton türüne göre YAKPPE, YBKPPE, YCKPPE, YBUPPE ve YCUPPE beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %27, %44, %105, %37 ve %38 daha büyük olduğu görülmüştür. YR beton türüne göre YAUPPE beton türünün dinamik elastisite modülü azalma %21 daha küçük olduğu görülmüştür.



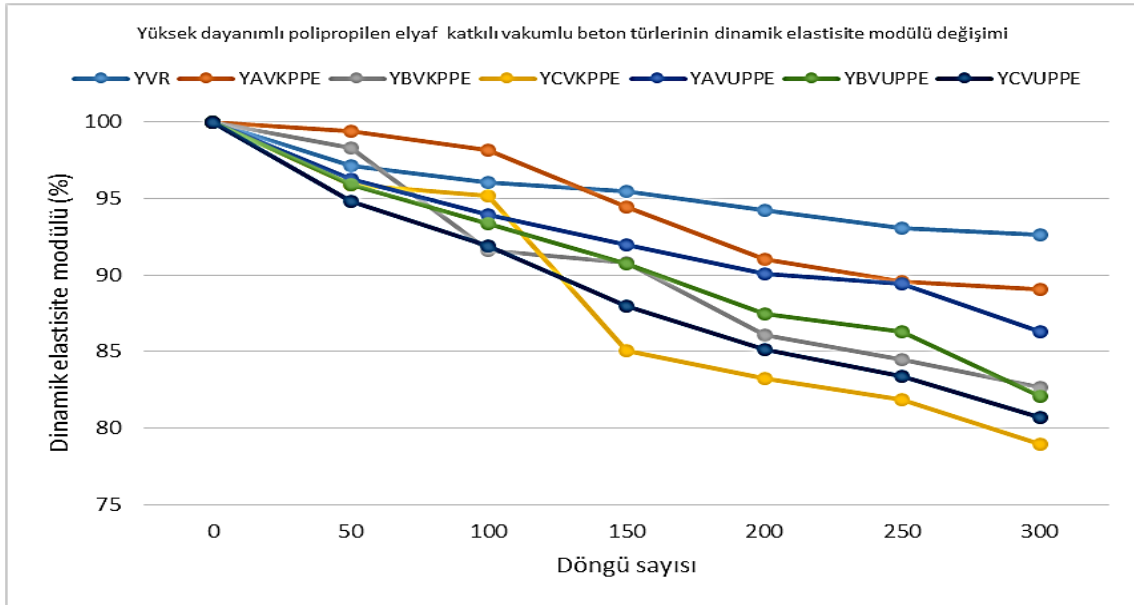
Şekil 4.45. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.46'da görülmektedir. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YR beton türüne göre YAKPPE, YBKPPE, YCKPPE, YBUPPE ve YCUPPE beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %3.43, %5.70, %13.48, %4.74 ve %4.84 daha küçük olduğu görülmüştür. YR beton türüne göre YAUPPE beton türüne göre dayanıklılık faktörü %2.71 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.46. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

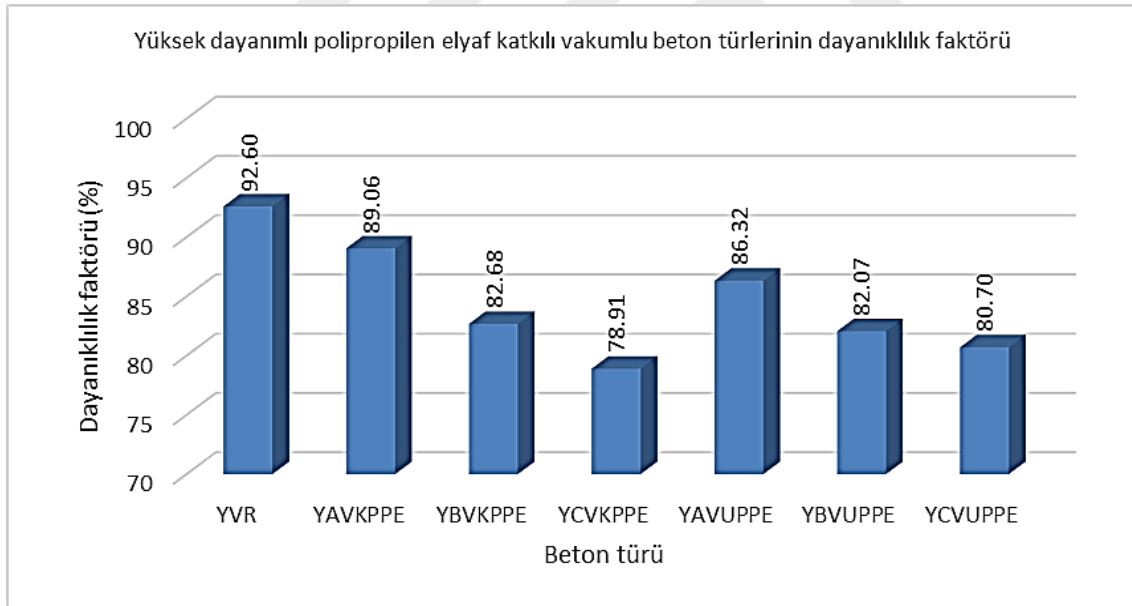
Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki değişim Şekil 4.47’de görülmektedir.



Şekil 4.47. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülü değişim değerleri

Polipropilen elyaf katkılı vakumlu normal dayanım sınıfındaki beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda; Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük YVR beton türünde %7.40 olduğu, en büyük YCVKPPE beton türünde %21.09 olduğu görülmüştür. YVR beton türüne göre YAVKPPE, YBVKPPE, YCVKPPE, YAVUPPE, YBVUPPE ve YCVUPPE beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %48, %134, %185, %85, %142 ve %161 daha büyük olduğu görülmüştür.

Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalmaya bağlı dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 4.48'de görülmektedir. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu olarak hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde; YVR beton türüne göre YAVKPPE, YBVKPPE, YCVKPPE, YAVUPPE, YBVUPPE ve YCVUPPE beton türlerine göre dayanıklılık faktörü sırasıyla %3.83, %10.71, %14.79, %6.78, %11.37 ve %12.85 daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.48. Yüksek dayanımlı polipropilen elyaf katkılı vakumlu beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Taze betona çelik lif takviyesi ve/veya vakum uygulaması yapılarak üretilen 150 çeşit beton üzerinde donma çözülme testleri deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Çelik lif katkılı vakumlu ve vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri;

Düşük dayanımlı beton türünde kısa ve uzun lif katkısında referans beton türüne göre artmaktadır. Fakat vakumsuz beton türünde kısa lif oranındaki artış ile dayanıklılık faktörü değerlerindeki artış azalırken uzun liflerde ise lif oranı arttıkça dayanıklılık faktörü değeri artmaktadır. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %13.39 ile %14.5 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %11.10 ile %13.21 arasında belirlenmiştir. Vakumlu beton türlerinde ise kısa ve uzun lif türlerinde lif oranı artışı ile dayanıklılık faktörü artmaktadır. Kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %9.95 ile %16.78 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %14.12 ile %18.75 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü DCVKÇ beton türünde belirlenmiştir. Düşük dayanımlı betonların su/çimento oranının yüksek olmasından dolayı lif katkılı taze betonu kalıba yerleştirmek kolay olmaktadır. Kalıba yerleştirilen betona vakum uygulamasında ise verim alınabilmektedir. Donma çözülme sonucunda düşük dayanımlı betonlarda lif katkısı ve vakum uygulamasının olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir.

Normal dayanımlı vakumlu ve vakumsuz beton türünde kısa çelik liflerde referans betona göre dayanıklılık faktöründe artış olmuştur. Uzun liflerde ise referans beton türüne göre dayanıklılık faktöründe düşüş belirlenmiştir. Uzun liflerde vakum uygulaması ile lif oranı artışı ile dayanıklılık faktöründe de artış olmuştur. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %7.75 ile %8.03 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %18.69 ile %20.45 arasında belirlenmiştir.

Vakumlu betonlarda ise, Kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %7.49 ile %9.28 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %17.63 ile %18.58 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü NBVKÇ beton türünde belirlenmiştir. Normal dayanımlı betonlarda uzun liflerde ki dayanıklılık faktöründe ki bu azalış su/çimento oranındaki azalışa kalıba yerleştirmedeki zorluklar neden olmaktadır. Liflerde topaklanma ve donma çözülmeye karşı dayanıklılık düşüşüne neden olmaktadır.

Yüksek dayanımlı betonlarda ise referans betona göre vakumlu ve vakumsuz beton türlerinde dayanıklılık faktöründe azalma belirlenmiştir. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %15.32 ile %17.55 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %14.79 ile %21.06 arasında belirlenmiştir. Vakumlu betonlarda ise, Kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %11.29 ile %13.62 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %18.72 ile %28.37 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü YVR beton türünde belirlenmiştir. Vakumsuz beton türünde kısa çelik lif oranı artışı ile dayanıklılık faktöründe artış olurken, uzun lif katkılı betonlarda lif oranının artışı ile dayanıklılık faktöründe azalma olmuştur. Bu duruma su/çimento oranı ve kıvamı düşük betonda lif katkısı ile oluşan kalıba yerleştirme problemi neden olmaktadır. Vakum uygulamasında ise, karışıma giren su miktarının az olmasından dolayı vakum ile karışımdan az miktarda su çekilebilmiştir. Yüksek dayanımlı betonda vakum uygulaması ve lif katkısı betona olumsuz etki yaparak dayanıklılık faktöründe azalmaya neden olmuştur.

Çelik lif katkılı betonlarda vakum uygulaması düşük dayanımlı betonlarda etkin olurken, normal dayanımlı betonlarda daha az bir etki göstermektedir. Fakat yüksek dayanımlı betonlarda olumsuz bir etki göstermiştir.

Polyester lif katkılı vakumlu ve vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri;

Vakumsuz olarak düşük dayanımlı olarak üretilen beton türünde kısa ve uzun lif katkısında referans beton türüne göre dayanıklılık faktörü azalmaktadır. Lif oranındaki artış ile dayanıklılık faktöründeki azalmada artmaktadır. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %28.35 ile %32.67 oranında dinamik

elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %18.62 ile %37.63 arasında belirlenmiştir. Vakumlu beton türlerinde ise kısa ve uzun lif türlerinde referans beton türüne göre, lif oranı artışı ile dayanıklılık faktörü artmaktadır. Kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %8.98 ile %9.33 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %10.01 ile %13.90 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü DAVKPY beton türünde belirlenmiştir. Donma çözülme sonucunda düşük dayanımlı vakumsuz betonlarda lif katkısı olumsuz etki yapmıştır. Vakumlu uygulamasıyla üretilen beton örneklerde lif katkısı donma çözülmeye karşı olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir.

Normal dayanımlı vakumlu ve vakumsuz beton türünde kısa ve uzun polyester liflerde referans betona göre dayanıklılık faktöründe azalma olmuştur. Vakumsuz olarak üretilen beton örneklerde, kısa polyester liflerde lif oranının artışı dayanıklılık faktörü değeri düşmektedir. Uzun liflerde ise artış belirlenmiştir. Vakum uygulaması ile kısa ve uzun liflerde lif oranı artışı ile dayanıklılık faktöründe de artış olmuştur. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %13.7 ile %19.04 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %17.71 ile %21.87 arasında belirlenmiştir. Vakumlu betonlarda ise, Kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %18.58 ile %18.63 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %14.69 ile %21.37 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü NR beton türünde belirlenmiştir. Normal dayanımlı betonlarda polyester lif kullanımı donma çözülme açısından olumsuz etkiye neden olmuştur. Beton karışımındaki su miktarının az olması ve betonun kalıba yerleştirilmesinde meydana gelen topaklanmadan dolayı donma çözülme dayanımında düşmelere neden olmuştur. Vakum uygulaması ile lif oranının artışı ile dayanıklılık faktöründe artış olmuştur.

Yüksek dayanımlı betonlarda ise vakumsuz beton türlerinde referans betona göre kısa polyester liflerde dayanıklılık faktöründe artış olurken uzun liflerde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde lif oranının artışı ile dayanıklılık faktöründeki azalma artmaktadır. Vakumlu beton türlerinde ise referans betona göre dayanıklılık faktöründe azalma olmuştur. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %10.20 ile %10.67 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun

liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %13.04 ile %15.23 arasında belirlenmiştir. Vakumlu betonlarda ise, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %12.89 ile %12.89 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %21.97 ile %23.54 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü YBKPY beton türünde belirlenmiştir. Yüksek dayanımlı betonda vakum uygulaması ve lif katkısı betona olumsuz etki yaparak dayanıklılık faktöründe azalmaya neden olmuştur.

Polipropilen lif katkılı vakumlu ve vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri;

Vakumsuz olarak düşük dayanımlı olarak üretilen beton türünde kısa ve uzun lif katkısında referans beton türüne göre dayanıklılık faktörü azalmaktadır. Polipropilen lif oranındaki artış ile dayanıklılık faktöründeki azalmada artmaktadır. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %17.18 ile %21.99 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %12.22 ile %23.78 arasında belirlenmiştir. Vakumlu beton türlerinde ise kısa ve uzun lif türlerinde referans beton türüne göre, lif oranı artışı ile dayanıklılık faktörü artmaktadır. Kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %19.98 ile %21.25 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %20.35 ile %23.49 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü DR beton türünde belirlenmiştir. Donma çözülme sonucunda düşük dayanımlı vakumlu ve vakumsuz betonlarda polipropilen lif katkısı olumsuz etki yapmıştır.

Normal dayanımlı vakumlu ve vakumsuz beton türünde kısa ve uzun polipropilen liflerde referans betona göre dayanıklılık faktöründe azalma olmuştur. Vakumsuz olarak üretilen beton örneklerde, kısa ve uzun polipropilen liflerde lif oranının artışı dayanıklılık faktörü değeri düşmektedir. Uzun liflerde dayanıklılık faktöründe azalma daha fazla olmuştur. Vakum uygulaması ile kısa liflerde lif oranı artışı ile dayanıklılık faktöründe düzensizlik vardır. Bu durum vakum uygulamasından kaynaklanmaktadır. Vakum uygulaması ile lifler betonun üst kısmında toplanmış ve donma çözülmede olumsuzluğa neden olmuştur. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %17.24 ile %29.08 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %17.75

ile %34.30 arasında belirlenmiştir. Vakumlu betonlarda ise, Kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %17.24 ile %29.08 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %19.79 ile %31.68 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü NR beton türünde belirlenmiştir.

Yüksek dayanımlı betonlarda ise vakumlu ve vakumsuz beton türlerinde referans betona göre dayanıklılık faktöründe azalma belirlenmiştir. Vakumsuz betonlarda, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %18.78 ile %20.23 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %15.46 ile %31.34 arasında belirlenmiştir. Vakumlu betonlarda ise, kısa lif katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %9.83 ile %14.77 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun liflerde ise lif katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %11.52 ile %14.58 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü YVR beton türünde belirlenmiştir. Yüksek dayanımlı betonda vakum uygulaması ve lif katkısı betona olumsuz etki yaparak dayanıklılık faktöründe azalmaya neden olmuştur.

Polipropilen elyaf katkılı vakumlu ve vakumsuz beton türlerinin 300 donma çözülme döngüsünde sonra dayanıklılık faktörü değerleri;

Düşük dayanımlı olarak üretilen beton türünde kısa ve uzun elyaf katkısında referans beton türüne göre dayanıklılık faktörü azalmaktadır. Polipropilen elyaf oranındaki artış ile dayanıklılık faktöründeki azalmada artmaktadır. Vakumsuz betonlarda, kısa elyaf katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %18.14 ile %21.07 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun elyaflarda ise elyaf katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %23.43 ile %26.92 arasında belirlenmiştir. Vakumlu beton türlerinde ise kısa ve uzun elyaf türlerinde referans beton türüne göre, elyaf oranı artışı ile dayanıklılık faktörü azalmaktadır. Kısa elyaf katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %13.26 ile %21.20 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun elyaflarda ise elyaf katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %13.73 ile %20.48 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü DR beton türünde belirlenmiştir. Donma çözülme sonucunda düşük dayanımlı vakumlu ve vakumsuz betonlarda polipropilen elyaf katkısı olumsuz etki yapmıştır.

Normal dayanımlı vakumlu ve vakumsuz beton türünde kısa ve uzun polipropilen elyaflarda referans betona göre dayanıklılık faktöründe azalma olmuştur. Vakumsuz olarak üretilen beton örneklerde, kısa ve uzun polipropilen elyaflarda elyaf oranının artışı dayanıklılık faktörü değeri düşmektedir. Uzun elyaf katkılı beton örneklerde dayanıklılık faktöründe azalma daha az olmuştur. Vakumsuz betonlarda, kısa elyaf katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %14.63 ile %20.75 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun elyaflarda ise elyaf katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %15.57 ile %18.49 arasında belirlenmiştir. Vakumlu betonlarda ise, kısa elyaf katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %10.86 ile %16.32 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun elyaflarda ise elyaf katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %15.73 ile %15.99 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü NR beton türünde belirlenmiştir.

Yüksek dayanımlı betonlarda vakumsuz beton türünde YAUPPE betonu dışında vakumlu ve vakumsuz beton türlerinde referans betona göre dayanıklılık faktöründe azalma belirlenmiştir. Vakumsuz betonlarda, kısa elyaf katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %14.42 ile %23.34 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun elyaflarda ise elyaf katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %8.99 ile %15.68 arasında belirlenmiştir. Vakumlu betonlarda ise, kısa elyaf katkısının farklı oranlarda betona ilavesinde yaklaşık olarak %10.94 ile %21.09 oranında dinamik elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Uzun elyaflarda ise elyaf katkısı ile dinamik elastisite modülündeki azalma %13.68 ile %19.30 arasında belirlenmiştir. En büyük dayanıklılık faktörü YAUPPE beton türünde belirlenmiştir.

Sonuç olarak, uygun lif kullanımı ile donma çözülmeye maruz betonların dayanıklılığını arttırmak mümkün olmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuca göre, çelik lifler en uygun sonucu vermektedir. Çelik lif katkısı düşük dayanımlı betonlarda kısa veya uzun olması büyük farklılık olmazken, normal ve yüksek dayanımlı betonlarda kısa lif katkısı olumlu sonuç vermektedir. Vakum uygulaması ise, düşük dayanımlı, karışım suyu miktarı fazla olan betonlarda daha etkin olmaktadır. Fakat karışım suyu miktarı düşük olan normal ve yüksek dayanımlı beton türlerinde vakum uygulaması zor olmaktadır. Betona lif ve elyaf katkısı ile beton örneklerin üretiminde zorluklar yaşanmaktadır. Özellikle elyaf katkısı yapılan beton örneklerde vakumlu ve vakumsuz beton üretiminde zorluklar yaşanmaktadır. Betonda lif kullanımı konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Lif katkılı

betonların diğer korozif ortamlardaki 6zelliklerini belirlemeye y6nelik 7alışmaların yapılması 6nerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- ACI Committee 201, 1992. Guide to Durable Concret, ACI 201.2R-92, pp.39.
- Alyamaç, K.E., ve İnce, R., 2008. Çelik lif katkılı karo mozaik döşeme kaplama plaklarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Cilt:10, Sayı:1, s. 31-45, Türkiye.
- American Concrete Institute, 1982. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI Committee 544-1R, s. 22, ABD.
- American Concrete Institute, 1984. Guide for specifying, mixing, placing and finishing steel fiber reinforced concrete, ACI Committee 544 – 3R, ACI Structural Journal, s. 9, ABD.
- American Concrete Institute, 1988. Design considerations for steel fiber reinforced concrete. ACI Committee 544-4R, ACI Structural Journal, s. 18, ABD.
- Aslan, A., ve Aydın, A.C., 1999. Lifli betonların genel özellikleri, Hazır Beton Dergisi, Sayı 36, s. 67-75, Türkiye.
- ASTM C 666-97, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Concrete and Mineral Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA, 4 (2): 1-6 (2004).
- Balaguru, P. ve Dipsia, M.G., 1993. Properties of fiber reinforced high-strength semi light weight concrete. ACI Materials Journal, v. 90, 5, s. 399-405, ABD.
- Balaguru, P. ve Foden, A., 1996. Properties of fiber reinforced structural lightweight concrete, ACI Structural Journal, v. 93, 1, s. 62-78, ABD.
- Balaguru, P. ve Shah, S.P., 1992. Fibre-Reinforced Cement Composites, Mc Graw-Hill, s. 523-530, ABD.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği, s. 318, İstanbul.
- Bentur, A., Mindess, S., 2007. Fibre Reinforced Cementitious Composites, Modern Concrete Technology Series, Second edition, s.625.
- Bolat, H., Çullu, M. ve Tekin, İ., 2008. Bir Saha Beton Uygulaması: Vakumlu Beton, Türkiye.

- Bolat, H., Şimşek, O. ve Çullu, M., 2006. Beton yol kaplamalarında su-çimento oranının durabiliteye etkisi, 3.Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Türkiye.
- Chamberlain, E.J., Iskander, I., Hunsiker, S.E., 1990. Effect of freeze-thaw on the permeability and macrostructure of soils. Proc., Int. Symp. on Frozen Soil Impacts of Agric., Range, and Forest Lands, Spokane, Wash.,Page. 145-155.
- Çullu, M., 2009. Antifriz Katkısının Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s.219, Ankara.
- Detwiler, R.J. and Mehta, P.K., 1989. Chemical and Physical Effects of Silica Fume on the Mechanical Behavior of Concrete, Materials Journal, 86(6), 609-614.
- EN 14488-5:2006. Testing sprayed concrete - Part 5: Determination of energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens”, s. 2-8.
- Erdoğan, T., Y., 2003. Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2007. Beton, ODTÜ Yayıncılık, s. 66-67, Türkiye.
- Ersoy, H.Y., 2001, Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San.ve Tic.Ltd.Şti., İstanbul, s. 227.
- Ersoy, U., 1987. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Doğan Ofset, Türkiye.
- Granju, J.L. ve Balouch, S.U., 2005. Corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks. Cement and Concrete Research, vol. 35, s. 572-577.
- Güngör, E., 2013. Karma lifli betonların özelliklerinin deneysel irdelenmesi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.106.
- Jean Francois C., Vincent, G., Gilles, C., 2003, Concrete Damage Evaluation Analysis by backscattered Ultrasonic waves”, NDT E Int; 36 (7):461–9.
- Jean-Louis, G. and Sana, U.B., 2005. Corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks, Cement and Concrete Research, 35(3), s. 572-577.
- Kaya, Y., 2014. Polimerle iyileştirilmiş harçların farklı kür koşulları ve yüksek sıcaklık etkisi altında mekanik davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Koç, M.E., 2012. Hava Sürüklenmiş Betonların Donma-Çölümle Dayanımları ve Görüntü İşleme Tekniği ile Boşluk Yapılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, s. 121, Niğde.
- Küçük, B., 1997. Denizli İli Agregaları ve Çeşitli Norm Çimentolarla Üretilen Betonlara Çevredeki Sülfatlı Suların Etkilerinin İncelenmesi, PAÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s. 127, Denizli.

- Küçük, B., 2000. Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:6, s. 79-85, Türkiye.
- Matsuoka, N. and Murton, J., 2008. Frost Weathering: Recent Advances and Future Directions, Permafrost and Periglacial Process, 19(2), page: 195-210.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., 2006. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Professional Publishing third edition, USA, 684p. Morgan, D. R., 1992. Steel fiber reinforced shotcrete for support of underground openings in Canada. ACI Compilation 27, American Concrete Institute, s. 20-28, ABD.
- Neville, A.M., 1993. Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, New York, ABD.
- Neville, A.M., 1995. Properties of Concrete, 4. Baskı, Longman Group Ltd., s. 844.
- Neville, A.M., 2001. Su ve Beton: “Bir Sevgi Nefret İlişkisi” (Çeviren: Yeğınboğalı, A., “Concrete International” makalesinden Vol 22 , No:12 , 2000)., Çimento ve Beton Dünyası dergisi, sayı 29, Ankara.
- Penttala, V., 1998. Freezing-Induced Strains and Pressures in Wet Porous Materials and Especially in Concrete Mortars, Advanced Cement Based Materials, 7(1), Pages: 8-19.
- Pigeon M. and Pleau, R., 1995. Durability of Concrete In Cold Climates, E&FN Spon, 244 pp, 1995, ISBN 0-419-19260-3.
- Pigeon, M. ve Cantin, R., 1998. Flexural properties of steel fiber reinforced concretes at low temperatures. Cement and Concrete Composites, 20, s. 365-375.
- Powders, T. C., Anel Helmuth R. A., 1953. Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Pastes During Freezing Proc. Highway Research Board.
- Powers, T. C., 1949. Proceedings, Highway Research Board Annual Meeting, National Academy of Sciences, 29: 184–211.
- Setzer, M.J., Fagerlund, G, Janssen, D.J., 1996. CDF test — Test method for the freeze-thaw resistance of concrete-tests with sodium chloride solution (CDF) Materials and Structures, 29(9), pp 523–528.
- Sevin, S., 2014. Polimerle iyileştirilmiş harçların en uygun kür koşullarının belirlenmesi ve donma-çözülme etkisi altında mekanik davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.

- Shang, H. S., Song, Y.P., 2008. Behavior of air-entrained concrete under the compression with constant confined stress after freeze–thaw cycles, *Cement & Concrete Composites*, 854-860.
- Sommerville G., 2000. A Holistic Approach To Structural Durability Design, *Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century*, Eve FN Spon, 41-56, ISBN 0-419-25060-3.
- Taşdemir M.A., Bayramov F., 2003.Yerlikaya M., Geleneksel Ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, s.426,476.
- TS 10514:1992. Beton - çelik tel takviyeli - çelik telleri betona karıştırma ve kontrol kuralları, TSE, s. 2-5, Ankara.
- TS 10515:1992. Beton- çelik tel takviyeli-eğilme mukavemeti deney metodu, TSE, s. 3-8, Ankara.
- TS 802/T2:2009. Beton karışım hesabı, TSE, s. 3-18, Ankara.
- TS EN 12350-2:2010. Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3:2010. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 197-1:2012. Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar- bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.
- TS EN 934-2:2011. Kimyasal katkıları-Beton, harç ve şerbet için-Bölüm 2: Beton katkıları-Tarifler ve özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, TSE, Ankara.
- URL-1, <http://www.tremix.com>, Sweden, February, 2008.
- Vondran, G.L., 1992. Applications of steel fiber reinforced concrete. *ACI Compilation 27*, American Concrete Institute, s. 14-19, ABD.
- Yalçınkaya, Ç., ve Baradan, B., 2012. Influence Of Strenen Acrylate and Styrene Butadiene Rubber on Fresh And Mechanical Properties of Cement Paste and Mortars, ASPIC, İstanbul.
- Yılmaz, K., ve Cavga, Ş., 1999. Agregra granülometrisindeki değişimin çelik tel takviyeli betonların performansı üzerine etkileri, *Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu*, İstanbul.
- Zuber, B.and Marchand, J., 2000. Modeling the deterioration of hydrated cement systems exposed to frost action: Part 1: Description of the mathematical model, *Cement and Concrete Research*, 30(12), Pages: 1929-1939.

7. ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Gümüşhane’de doğdu. Sırasıyla Yusufçiftçiođlu ilkokulu, Atatürk Ortaokulu Gümüşhane Lisesi’nden mezun oldu. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girdi, 2008 yılında mezun oldu. 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans eğitime başladı. 2008 yılından bu yana Şantiye Şefliği Projecilik Müteahhitlik ve Yapı Denetim hizmeti alanlarında görev yapmaktadır.

