

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK LİFLİ BETONLARDA GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ NANO KARBON SİYAHİ VE
KANDIRA TAŞI TOZUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan Şehrullah ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ

Ağustos 2020

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK LİFLİ BETONLARDA GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ NANO KARBON SİYAHİ VE
KANDIRA TAŞI TOZUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan Şehrullah ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 11/08/2020 tarihinde jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İrfan Şehrullah ÖZTÜRK

14/07/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim ve bu araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Kemalettin Yılmaz'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca zamanını hiç esirgemediği bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her konuda yardımlarıyla destek olan ve yol gösteren tüm hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Metin İpek'e ve deneysel çalışmalarım konusunda yardımlarını esirgemeyen laboratuvar çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım için malzeme ve konu ile ilgili bazı araştırma kaynakları göndererek yardımcı olan Bekaert Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. Teknik Müdürü Sayın Mehmet Yerlikaya'ya ve çalışmalarım sırasında manevi desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Doğduğum günden bugüne kadar hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini her daim hissettiren, bana varlıklarıyla güç veren ve her zaman yanımda olan, beni yetiştiren ve bu günlere gelmemi sağlayan haklarını hiçbir şekilde ödeyemeyeceğim çok değerli aileme sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KURAMSAL TEMELLER	6
2.1. Beton ve Bileşenleri	6
2.1.1. Agrega	6
2.1.2. Çimento	7
2.1.3. Su	8
2.1.4. Katkı maddeleri	8
2.2. Lifli Betonlar Hakkında Genel Bilgiler	9
2.3. Çelik Lifli Beton	14
2.3.1. Betonda kullanılan çelik liflerin özellikleri	14
2.3.2. Çelik liflerin beton içerisindeki davranışı	16
2.3.3. Çelik lifli betonların hazırlanmasında dikkat edilecek hususlar ...	18
2.3.4. Çelik lif takviyeli betonların kullanım alanları	20
2.3.5. Çelik lifli betonların özellikleri	20
2.3.5.1. Çelik lifli taze betonların özellikleri	20
2.3.5.2. Çelik lifli sertleşmiş betonların özellikleri	22

2.4. Ömrünü Tamamlamış Lastikler ve Nano Karbon Siyahı	27
2.5. Betonda Karbon Siyahının Kullanımı	33
2.6. Kandıra Taşı Tozu	33

BÖLÜM 3.

MALZEME VE METOT	37
3.1. Malzeme	38
3.1.1. Çimento	38
3.1.2. Agrega	38
3.1.3. Nano karbon siyahı	40
3.1.4. Kandıra Taşı tozu	41
3.1.5. Çelik lif	43
3.1.6. Karışım suyu	43
3.1.7. Kimyasal katkı	43
3.2. Metot	44
3.2.1. Beton karışım hesabı	44
3.2.2. Kodlama	45
3.2.3. Numunelerin üretimi, kalıplanması ve kürü	46
3.2.4. Taze beton deneyleri	48
3.2.4.1. Çökme (slump) tayini	48
3.2.4.1. Birim hacim ağırlık	49
3.2.5. Sertleşmiş beton deneyleri	50
3.2.5.1. Birim hacim ağırlık.....	50
3.2.5.2. Ultrases geçiş hızı	50
3.2.5.3. Basınç dayanımı	52
3.2.5.4. Yarmada çekme dayanımı	53
3.2.5.5. Su emme	54
3.2.5.6. Kapiler su emme	55
3.2.5.7. Görünen porozite	56
3.2.5.8. Eğilme dayanımı	57

BÖLÜM 4.

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	59
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi	59
4.1.1. Çökme (slump) deneyi	59
4.1.2. Birim hacim ağırlık	62
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi	65
4.2.1. Birim hacim ağırlık	65
4.2.2. Ultrases geçiş hızı	67
4.2.3. Basınç dayanımı.....	73
4.2.4. Yarmada çekme dayanımı	77
4.2.5. Su emme	80
4.2.6. Kapiler su emme	83
4.2.7. Görünen porozite	91
4.2.8. Eğilme dayanımı ve eğilme tokluğu	93

BÖLÜM 5.

DENEY SONUÇLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ	100
5.1. Birim Ağırlık – Basınç Dayanımı İlişkisi	100
5.2. Birim Ağırlık – Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi	101
5.3. Birim Ağırlık – Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi	101
5.4. Birim Ağırlık – Su Emme Oranı İlişkisi	102
5.5. Birim Ağırlık – Görünen Porozite İlişkisi	103
5.6. Birim Ağırlık – Eğilme Dayanımı İlişkisi	104
5.7. Birim Ağırlık – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi	104
5.8. Basınç Dayanımı – Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi	105
5.9. Basınç Dayanımı – Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi	106
5.10. Basınç Dayanımı – Su Emme Oranı İlişkisi	107
5.11. Basınç Dayanımı – Görünen Porozite İlişkisi	107
5.12. Basınç Dayanımı – Eğilme Dayanımı İlişkisi	108
5.13. Basınç Dayanımı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi	109
5.14. Ultrases Geçiş Hızı – Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi	110
5.15. Ultrases Geçiş Hızı – Su Emme Oranı İlişkisi	110

5.16. Ultrases Geçiş Hızı – Görünen Porozite İlişkisi	111
5.17. Ultrases Geçiş Hızı – Eğilme Dayanımı İlişkisi	112
5.18. Ultrases Geçiş Hızı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi	112
5.19. Yarmada Çekme Dayanımı – Su Emme Oranı İlişkisi	113
5.20. Yarmada Çekme Dayanımı – Görünen Porozite İlişkisi	114
5.21. Yarmada Çekme Dayanımı – Eğilme Dayanımı İlişkisi	115
5.22. Yarmada Çekme Dayanımı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi	115
5.23. Su Emme Oranı – Görünen Porozite İlişkisi	116
5.24. Su Emme Oranı – Eğilme Dayanımı İlişkisi	117
5.25. Su Emme Oranı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi	117
5.26. Görünen Porozite – Eğilme Dayanımı İlişkisi	118
5.27. Görünen Porozite – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi	119
5.28. Eğilme Dayanımı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi	120
 BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	121
6.1. Sonuçlar	121
6.1.1. Çökme (slump) deneyi ile ilgili sonuçlar	121
6.1.2. Birim hacim ağırlık ile ilgili sonuçlar	122
6.1.3. Ultrases geçiş hızı ile ilgili sonuçlar	123
6.1.4. Basınç dayanımı ile ilgili sonuçlar	124
6.1.5. Yarmada çekme dayanımı ile ilgili sonuçlar	125
6.1.6. Su emme ile ilgili sonuçlar	126
6.1.7. Kapiler su emme ile ilgili sonuçlar	126
6.1.8. Görünen porozite ile ilgili sonuçlar	128
6.1.9. Eğilme dayanımı ve eğilme tokluğu ile ilgili sonuçlar	128
6.2. Öneriler	130
 KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ	137

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Yüzey alanı
BHA	: Birim hacim ağırlık
d	: Numune en kesit boyu
f_{cts}	: Yarmada çekme dayanımı
k_c	: Kapiler su emme katsayısı
KTT	: Kandıra Taşı tozu
l	: Mesafe
M	: Moment
NKS	: Nano karbon siyahı
p	: Porozite
P	: Yük
Q	: Su miktarı
t	: Zaman
V	: Hacim
W	: Mukavemet momenti
W_{ek}	: Etüv kurusu ağırlık
W_{kyd}	: Kuru yüzey doygun ağırlık
W_{su}	: Su içerisindeki ağırlık
π	: Pi sayısı
σ	: Basınç dayanımı
ν	: Ultrases geçiş hızı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yapı endüstrisinde kullanılan bazı malzemelerin gömülü CO ₂ ve gömülü enerji değerleri	3
Şekil 2.1. Betonda 1,2 ve 3 boyutta donatı dağılımı	11
Şekil 2.2. Yalın betonların ve lifli betonların tipik gerilme-şekil değiştirme diyagramı	13
Şekil 2.3. Betonda kullanılan çelik liflerin sınıfları, tipleri ve şekilleri	15
Şekil 2.4. Çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı	17
Şekil 2.5. Farklı lif boyutlarının çatlak köprüleme etkisi	17
Şekil 2.6. Lif içeriğinin ve narinlik oranının çökme, Ve – Be süresi ve ters çevrilmiş koni süresine etkisi	21
Şekil 2.7. Basınç dayanımı – eksenel şekil değiştirme eğrisine çelik lif hacminin etkisi	22
Şekil 2.8. Çelik lifli betonların eğilmede tipik yük – deplasman eğrisi	24
Şekil 2.9. Yük – deplasman eğrisinde tokluk indekslerinin gösterilmesi	26
Şekil 2.10. Atık lastik çöplüğünde meydana gelen yangın	28
Şekil 2.11. Atık lastiklerin geri kazanım yöntemleri	29
Şekil 2.12. Piroliz işleminin akış diyagramı	31
Şekil 2.13. Karbon siyahının yapısı	32
Şekil 2.14. Doğal taşların kökenlerine göre sınıflandırılması	34
Şekil 2.15. Kandıra Taşının blok görünümü	35
Şekil 2.16. Kandıra Taşının kesilmesi sırasında ortaya çıkan sulu atık malzeme ...	36
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan kırma kum (solda) ve kırmataş (sağda)	39
Şekil 3.2. Karışım granülometri eğrisi	40
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan nano karbon siyahının SEM görüntüleri	40
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan nano karbon siyahının EDS analizi spektrumu	41
Şekil 3.5. Kandıra Taşı tozunun granülometri eğrisi	42

Şekil 3.6. Çelik lifin geometrik özellikleri	43
Şekil 3.7. Karışımda kullanılan bağlayıcı malzemeler (KTT, NKS ve Çimento) ...	45
Şekil 3.8. Numunelerin kür havuzuna yerleştirilmesi ve oda sıcaklığında kurutulması	48
Şekil 3.9. Taze betonda çökme deneyi	49
Şekil 3.10. Ultrases geçiş hızı deneyleri	51
Şekil 3.11. Basınç dayanımı deneyi	53
Şekil 3.12. Yarmada çekme dayanımı deneyi	54
Şekil 3.13. Kapiler su emme deneyi	56
Şekil 3.14. Eğilme dayanımı deneyi	58
Şekil 4.1. Çökme deneyi sonucunda elde edilen çökme (slump) değerleri	60
Şekil 4.2. Numunelerin taze birim hacim ağırlık değerleri	63
Şekil 4.3. Taze betonda birim hacim ağırlık-yer değiştirme oranı ilişkisi	64
Şekil 4.4. Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri	65
Şekil 4.5. Sertleşmiş betonda birim hacim ağırlık-yer değiştirme oranı ilişkisi	66
Şekil 4.6. Numunelerin 14. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri	68
Şekil 4.7. Numunelerin 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri	70
Şekil 4.8. 14. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Yarı direkt okuma)	71
Şekil 4.9. 14. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Direkt okuma)	71
Şekil 4.10. 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Yarı direkt okuma)	72
Şekil 4.11. 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Direkt okuma)	73
Şekil 4.12. Numunelerin basınç dayanımı değerleri	75
Şekil 4.13. 14. gündeki basınç dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi	76
Şekil 4.14. 28. gündeki basınç dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi	77
Şekil 4.15. Numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri	79
Şekil 4.16. Yarmada çekme dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi	79
Şekil 4.17. Numunelerin su emme oranları (%)	82
Şekil 4.18. Numunelerin su emme oranları (%) yer değiştirme oranı ilişkisi	82

Şekil 4.19. Çelik lifsiz numunelerin su emme değerleri	83
Şekil 4.20. Hacimce %0.5 çelik lifli numunelerin su emme değerleri	84
Şekil 4.21. Hacimce %1 çelik lifli numunelerin su emme değerleri	84
Şekil 4.22. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (15. dk)	87
Şekil 4.23. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (30. dk)	87
Şekil 4.24. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (60. dk)	88
Şekil 4.25. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (120. dk)	88
Şekil 4.26. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (180. dk).....	89
Şekil 4.27. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (360. dk)	89
Şekil 4.28. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (720. dk.)	90
Şekil 4.29. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (Ortalama)	90
Şekil 4.30. Numunelerin görünen porozite değerleri (%)	92
Şekil 4.31. Numunelerin görünen porozite yer değiştirme oranı ilişkisi	92
Şekil 4.32. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri	93
Şekil 4.33. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi ...	95
Şekil 4.34. Yük – sehim grafikleri (N-A, N-B, N-C)	96
Şekil 4.35. Yük – sehim grafikleri (KTT5-A, KTT5-B, KTT5-C)	96
Şekil 4.36. Yük – sehim grafikleri (NKS5-A, NKS5-B, NKS5-C)	97
Şekil 4.37. Yük – sehim grafikleri (NKS10-A, NKS10-B, NKS10-C)	97
Şekil 4.38. Yük – sehim grafikleri (KTT10-A, KTT10-B, KTT10-C)	97
Şekil 4.39. Yük – sehim grafikleri (NKS15-A, NKS15-B, NKS15-C)	98
Şekil 4.40. Yük – sehim grafikleri (KTT15-A, KTT15-B, KTT15-C)	98
Şekil 5.1. Birim hacim ağırlık – basınç dayanımı ilişkisi	100
Şekil 5.2. Birim hacim ağırlık – ultrases geçiş hızı ilişkisi	101
Şekil 5.3. Birim hacim ağırlık – yarmada çekme dayanımı ilişkisi	102
Şekil 5.4. Birim hacim ağırlık – su emme oranı ilişkisi	102
Şekil 5.5. Birim hacim ağırlık – görünen porozite ilişkisi	103
Şekil 5.6. Birim hacim ağırlık – eğilme dayanımı ilişkisi	104
Şekil 5.7. Birim hacim ağırlık – kapiler su emme katsayısı ilişkisi	105
Şekil 5.8. Basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi	105
Şekil 5.9. Basınç dayanımı – yarmada çekme dayanımı ilişkisi	106
Şekil 5.10. Basınç dayanımı – su emme oranı ilişkisi	107

Şekil 5.11. Basınç dayanımı – görünen porozite ilişkisi	108
Şekil 5.12. Basınç dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi	108
Şekil 5.13. Basınç dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi	109
Şekil 5.14. Ultrases geçiş hızı – yarmada çekme dayanımı ilişkisi	110
Şekil 5.15. Ultrases geçiş hızı – su emme oranı ilişkisi	111
Şekil 5.16. Ultrases geçiş hızı – görünen porozite ilişkisi	111
Şekil 5.17. Ultrases geçiş hızı – eğilme dayanımı ilişkisi	112
Şekil 5.18. Ultrases geçiş hızı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi	113
Şekil 5.19. Yarmada çekme dayanımı – su emme oranı ilişkisi	113
Şekil 5.20. Yarmada çekme dayanımı – görünen porozite ilişkisi	114
Şekil 5.21. Yarmada çekme dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi	115
Şekil 5.22. Yarmada çekme dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi	116
Şekil 5.23. Su emme oranı – görünen porozite ilişkisi	116
Şekil 5.24. Su emme oranı – eğilme dayanımı ilişkisi	117
Şekil 5.25. Su emme oranı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi	118
Şekil 5.26. Görünen porozite – eğilme dayanımı ilişkisi	118
Şekil 5.27. Görünen porozite – kapiler su emme katsayısı ilişkisi	119
Şekil 5.28. Eğilme dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi	120

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	10
Tablo 2.2. Lif kullanımıyla betonun mekanik özelliklerinde meydana gelen ortalama değişimler	12
Tablo 2.3. Çelik lifli betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı	19
Tablo 2.4. Betona ilave edilebilecek maksimum tel miktarı (kg/m ³)	19
Tablo 2.5. ÖTL’den geri kazanılabilecek ürünlerin yüzdesel değeri	30
Tablo 2.6. Piroliz işlemi sonrasında ortaya çıkan ortalama ürün miktarları	31
Tablo 3.1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri	38
Tablo 3.2. Agregaların özgül ağırlığı ve karışım oranları	39
Tablo 3.3. Deney numunelerinde kullanılan agregaların elek analizi	39
Tablo 3.4. Çalışmada kullanılan nano karbon siyahının EDS analizi sonuçları	41
Tablo 3.5. Kandıra Taşının fiziksel ve mekanik özellikleri	42
Tablo 3.6. Kandıra Taşının kimyasal analiz sonuçları	42
Tablo 3.7. Deneyde kullanılan lifin teknik özellikleri	43
Tablo 3.8. Kimyasal katkının teknik özellikleri	44
Tablo 3.9. Bir m ³ beton karışımı için malzeme miktarları	46
Tablo 3.10. Ultrases geçiş hızı beton kalitesi arasındaki ilişki	51
Tablo 4.1. TS EN 206:2013+A1’e göre çökme sınıfları	60
Tablo 4.2. Taze ve sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlık değerleri	62
Tablo 4.3. Numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri	68
Tablo 4.4. Numunelerin basınç dayanımı değerleri	74
Tablo 4.5. Numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri	78
Tablo 4.6. Numunelerin yarmada çekme dayanımı / basınç dayanımı oranı	80
Tablo 4.7. Numunelerin su emme oranları (%)	81
Tablo 4.8. Numunelerin kapiler su emme katsayıları (x10 ⁻⁷ cm ² /sn)	85

Tablo 4.9. Numunelerin görünen porozite değerleri (%)	91
Tablo 4.10. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri	94
Tablo 4.11. Numunelerin eğilme tokluğu değerleri (N.m)	96



ÖZET

Anahtar kelimeler: Beton, Sürdürülebilirlik, Geri Dönüşüm, Kandıra Taşı Tozu, Nano Karbon Siyahı, Çelik Fiber, Mekanik ve Fiziksel Özellikler

Beton atmosfere salınan CO₂ miktarı ve enerji tüketimi açısından diğer yapı malzemelerine kıyasla daha sürdürülebilir olmasına rağmen ana bileşeni olan portland çimentosunun üretimi sırasında atmosfere salınan CO₂ miktarı sebebiyle çevresel kirliliğe neden olarak doğal kaynaklara zarar vermektedir. Bu kapsamda beton üretiminde doğal kaynakları koruyan ve çevre kirliliğini minimize eden bir yaklaşım gerekmektedir. Bu amaçla depolama sorunlarına ve çevresel kirliliğe sebep olan katı atıkların beton içerisinde kullanılmasıyla hem ekonomik hem de çevresel kazanımlar sağlanmasına ve betonun daha sürdürülebilir olmasına yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da çevresel kirlilik ve ekonomik kayıp oluşturan atık lastiklerin ve Kandıra Taşı tozunun beton içerisinde kullanılarak hem atıkların geri kazanılması hem de beton üretimi için daha sürdürülebilir bir yaklaşım elde etmek amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında atık lastiklerin piroliz yöntemiyle geri dönüştürülmesinden elde edilen nano karbon siyahı ve Kandıra Taşının kesilmesi sırasında açığa çıkan atık çamurların kurutulmasıyla elde edilen Kandıra Taşı tozu çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 oranlarında çelik lif içeren beton üretiminde çimento yerine %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılmış ve daha sonra üretilen bu numuneler üzerinde taze halde çökme tayini ve birim hacim ağırlık deneyi; sertleşmiş halde ise birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, kapiler su emme, görünen porozite ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca eğilme dayanımı deneyindeki veriler yardımıyla üretilen tüm numunelerin eğilme toklukları hesaplanmıştır.

Deney sonuçlarına göre, çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı ile üretilen numunelerin tümünde hedef basınç dayanımına ulaşılmış ve bu iki numune ile taşıyıcı niteliğe sahip beton üretilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle çelik lifsiz ve hacimce %0.5 çelik lifli Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre eğilme tokluğu değerlerinin önemli derecede arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca çelik lif içeriğinin artmasıyla yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve eğilme tokluğu önemli derecede iyileşme göstermiştir. Kandıra Taşı tozunun ve nano karbon siyahının çimento yerine kullanılabileceği ve böylelikle hem atık malzemelerin hem de çimentonun sebep olduğu çevresel kirliliğinin önüne geçilerek doğal kaynakların korunmasına yönelik katkı sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

EVALUATION OF RECYCLED NANO CARBON BLACK AND KANDIRA STONE POWDER IN STEEL FIBER CONCRETE

SUMMARY

Keywords: Concrete, sustainability, recycling, Kandira Stone powder, nano carbon black, steel fiber, physical and mechanical properties

Although concrete is more sustainable compared to other building materials in terms of the amount of CO₂ released into the atmosphere and energy consumption, it damages natural resources by causing environmental pollution due to the amount of CO₂ released into the atmosphere during the production of portland cement, which is its main component. In this context, an approach that protects natural resources and minimizes environmental pollution is required in concrete production. For this purpose, many studies are carried out to ensure both economic and environmental gains and to make concrete sustainable by using solid wastes that cause storage problems and environmental pollution in concrete. Within the scope of this study, it was aimed to obtain a more sustainable approach for both waste recovery and concrete production by using waste tires and Kandira Stone powders that create environmental pollution and economic loss.

Within the scope of the study, the nano carbon black obtained from the recycling of waste tires by pyrolysis method, and the Kandira Stone powder obtained by drying the waste sludge produced during the cutting of the Kandira Stone was used in the production of concrete at rates of 5%, 10% and 15%. Besides combinations which are generated by means of replacing nano carbon black and Kandira Stone powder by cement, volume of 0%, 0.5% and 1% steel fibers were used for each mixture. Collapse slump and unit weight as fresh concrete experiments; unit weight, ultrasonic pulse velocity, compressive strength, splitting tensile strength, water absorption, capillary water absorption, porosity and flexural tensile strength experiments were carried out as hardened concrete experiments and fracture toughness were calculated.

According to the results of the experiment, the target compressive strength was achieved in all the samples produced with the Kandira Stone powder and nano carbon black used in different proportions instead of cement, and it was concluded that it is possible to produce concrete with these two materials. It has been concluded that especially samples containing without steel fiber and 0.5% by volume steel fiber Kandira Stone powder and nano carbon black increase the flexural toughness significantly. In addition, it was concluded that the splitting tensile strength, flexural strength, and flexural toughness showed a significant improvement with the increase of the steel fiber content. Kandira Stone powder and nano carbon black can be used instead of cement, thereby contributing to the prevention of environmental pollution caused by both waste materials and cement and the protection of natural resources.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda bir araya getirilmesiyle elde edilen ve geçmişten günümüze kadar kullanımı devam etmekte olan kompozit bir yapı malzemesidir (Erdoğan, 2003). Bileşimini oluşturan malzemelerin kolay ve ucuz temin edilebilmesi, istenilen şekil ve boyutlarda kolaylıkla üretilebilir olması, alternatif malzemelere göre daha ekonomik olması, dayanıklı olması ve zararlı ortam şartlarında performansının yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı beton geçmişten günümüze kadar süregelen bir malzeme olmuştur (Erdoğan ve Kurbetçi, 2003). Bu avantajlı özelliklerine rağmen beton, çatlaklara ve bozulmalara yol açan kuruma rötresi ve sünme gibi negatif özelliklere sahip olan ve ayrıca aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, çekme dayanımı, çatlak oluşuktan sonraki yük taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi açısından zayıf özellikler gösteren gevrek bir malzemedir (ACI 544.1R-96, 2002; Brandt, 2009).

Betonun yüksek basınç dayanımına sahip olmasına karşın heterojen olması ve kompleks mikro yapısı nedeniyle çekme dayanımı ve eğilme dayanımı sırasıyla basınç dayanımının %10 ve %15'i kadardır (Mehta ve Monteiro, 2006). Betonun zayıf olan mekanik özelliklerinin artırılması ve betona daha sünek bir davranış kazandırılması amacıyla çalışmalar yapılmış ve lif katkılı betonlar üretilmiştir. Beton içerisinde gelişigüzel dağılmış olan lifler; betonun çekme dayanımı, tokluğu ve eğilme dayanımı gibi birçok özelliğini artırmasının yanında betonda iç ve dış etkiler sebebiyle oluşan çatlaklardaki gerilmeleri kendi üzerlerine ya da sağlam alanlara aktararak betonda göçmeye sebep olacak çatlakların oluşumunu veya daha önceden oluşmuş çatlakların ilerlemesini önemli derecede önlemektedir (Wafa, 1990; Çivici, 2006; Baradan ve ark., 2012; Çavdar, 2012; Çavdar, 2013).

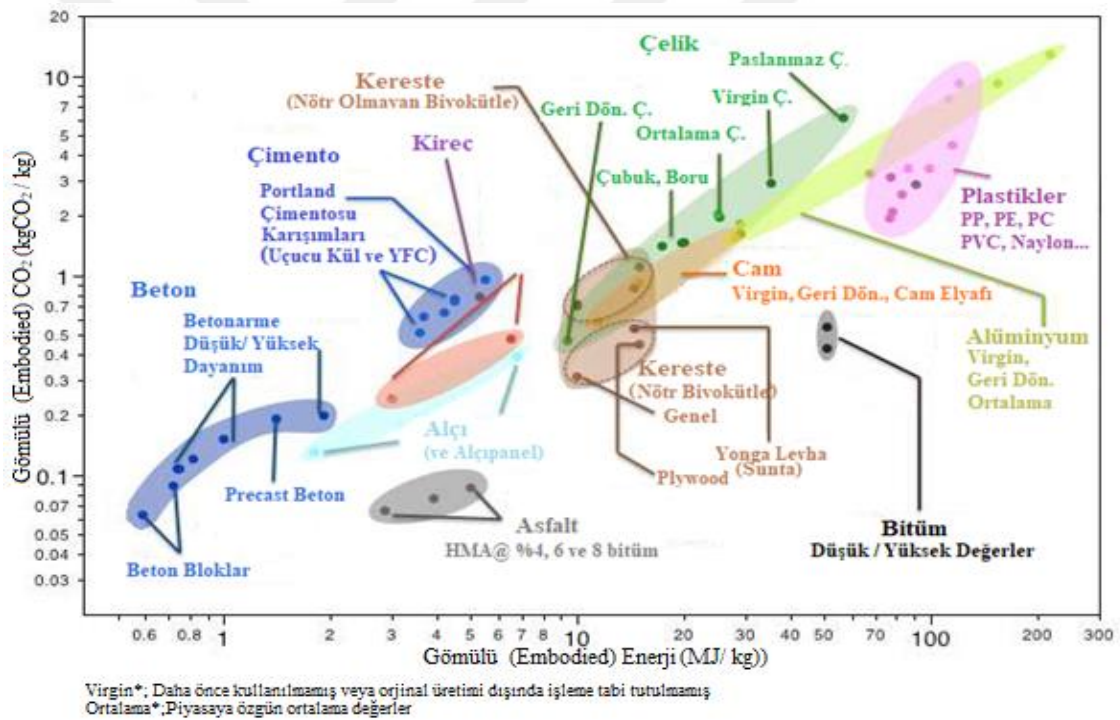
Betonda çelik, karbon, polipropilen, aramid ve cam gibi çeşitli lifler kullanılmaktadır. Beton karışımlarının içerisine katılan liflerin betonun özelliklerine yapacağı etki lifin mekanik özellikleri, kullanım oranı ve beton karışımı içindeki dağılımı ile doğrudan ilişkilidir (Brandt, 2009; ACI 544.1R-96, 2002).

Beton karışımlarının içine gelişigüzel ve süreksiz olarak dağılmış olan çelik lifler, betonda çatlak oluşumunu veya çatlakların ilerlemesini büyük oranda önlemektedir. Ayrıca çelik lifler, betonun şekil değiştirme kapasitesi, tokluğu, çekme dayanımı ve darbe dayanımı gibi özelliklerini arttırarak daha sünek bir davranış sergilemesini sağlamaktadır. Betonun daha sünek bir davranış sergilemesinin sonucunda ise durabilitesi artmaktadır (ACI 544.1R-96, 2002; Brandt, 2009; Faghih ve ark., 2017).

Çelik lifler, çatlaklardaki gerilmeleri kendi üzerlerine ya da sağlam alanlara aktararak betonun yük taşıma kapasitesinin artmasını sağlamaktadır. Beton, yük taşıma kapasitesinin artmasıyla daha sünek bir davranış göstermektedir. Sünekliliğin artmasıyla beraber betonun mekanik ve durabilite özellikleri gelişerek servis ömrü artmaktadır. Bu üstün özellikleri sebebiyle çelik lifli betonlara talep gün geçtikçe artmaktadır.

Beton; nüfus artışı, ekonomik gelişmeler ve kentleşmenin sonucu olarak gelişen günümüz yapı sektöründe de en çok kullanılan yapı malzemesidir. Dünyada her yıl yaklaşık olarak 25 milyar ton beton üretildiği ve bu rakamın yılda kişi başına düşen miktarının ise 3.8 tonun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (WBCSD, 2009). Ülkemizde 2018 yılında 100 milyon m³ beton üretilmiştir ve bu üretilen miktarın kişi başına düşen ortalaması ise 1.2 m³'tür (THBB, 2018). Şekil 1.1.'de yapı endüstrisinde kullanılan bazı malzemelerin üretimi sırasında atmosfere salınan CO₂ miktarları (gömülü CO₂) ve üretim süreçlerinde tüketilen enerji miktarları (gömülü enerji) verilmiştir. Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere yapı malzemeleri içerisinde beton, atmosfere salınan CO₂ miktarı ve enerji tüketimi açısından diğer yapı malzemelerine göre daha sürdürülebilir bir malzemedir. Ancak betonun diğer yapı malzemelerine kıyasla iki katı fazla kullanılmasıyla bu avantaj ortadan kalkmıştır (WBCSD, 2009; Sivakrishna ve ark., 2020). Betonun diğer yapı malzemelerine kıyasla iki katı fazla kullanılmasıyla

ana bağlayıcısı olan portland çimentosu üretimi, dünyadaki karbon salınımının yaklaşık %4.5 ila %8'ine neden olmakta ve dünyadaki toplam enerji miktarının %3'ünü tek başına kullanmaktadır (Van den Heede ve De Belie, 2012; Sivakrishna ve ark., 2020). Diğer bir yandan beton üretimi doğal agrega ve su kullanımında da en üst sırada yer almaktadır. Gelecek yıllarda üretiminin daha yüksek olacağı tahmin edilen beton, doğal kaynakların önemli ölçüde tükenmesine ve çevre kirliliğinin daha da artmasına sebep olacaktır (Sivakrishna ve ark., 2020). Betonun diğer yapı malzemelerine göre gömülü CO₂ ve gömülü enerji değerleri daha az olmasına rağmen diğer yapı malzemelerine göre iki katı fazla kullanılması sebebiyle doğal kaynakları koruyan ve çevre kirliliğini minimize eden beton üretimi, daha sürdürülebilir bir yaklaşım için gerekmektedir.



Şekil 1.1. Yapı endüstrisinde kullanılan bazı malzemelerin gömülü CO₂ ve gömülü enerji değerleri (Barcelo ve ark., 2014)

İnsan nüfusunun artması, endüstri ve teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmeye devam etmesiyle katı atık üretimi de hızla artmaktadır (Karimaei ve ark., 2020). Bu atıkların miktarının artması depolama sorunlarını ve çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda katı atıkların miktarının artmasıyla birlikte geri dönüşüm maliyetleri de artmaktadır. Bu nedenle doğal kaynakların her geçen gün hızla azaldığı

günümüzde, bu atık malzemelerin beton içerisinde kullanılmasıyla ekonomik ve çevresel kazanımlar sağlanmakla beraber beton için de daha sürdürülebilir bir yaklaşım elde edilmektedir (Baikerikar, 2014).

Sürdürülebilir bir çevre yaklaşımı, diğer tüm ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de günümüzün en dikkat çekici unsurlarından birini oluşturmaktadır. Tüm sektörlerin çevreye zararı azaltacak ürünleri teşvik etmesiyle bu konudaki araştırmalarda artış görülmektedir (Hossain ve ark., 2018). Bu kapsamda betonun daha çevre dostu olması adına da birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak atık ve geri dönüştürülmüş malzemelerin agrega olarak betonda kullanılması veya çimentonun bir kısmının atık ve geri dönüştürülmüş malzemeler ile yer değiştirilerek kullanılması gibi iki yaklaşım ön plana çıkmaktadır (Sivakrishna ve ark., 2020). Özellikle, çevre dostu ve sürdürülebilir beton üretmek amacıyla çimento ile atık malzemelerin kısmi olarak yer değiştirilmesine yönelik literatürde birçok çalışma yapılmıştır (Kırgız, 2016).

Nüfus artışı sonucunda ulaşım ihtiyacındaki artış ve otomobil endüstrisinde meydana gelen hızlı gelişim sonucu atık lastikler konusu çevresel bir kaygı haline gelmiştir. Dünya genelinde yıllık lastik üretiminin 1.5 milyar olduğu, atık lastik sayısının ise 1 milyar seviyesinde olduğu bilinmekte ve bu atık lastik sayısının 2030 yılına kadar 1.2 milyar seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Atık lastik miktarının yüksek olması sebebiyle atık lastiklerin büyük bir kısmı geri dönüştürülmeden doğaya atılmaktadır. Doğaya atılan lastikler ise büyük çevre ve sağlık problemleri oluşturmaktadır. Ayrıca atık lastiklerin piroliz yöntemiyle geri dönüştürülmesiyle büyük hacimlerde elde edilen karbon siyahı da doğayı çok kirletici bir malzemedir (Denghanpour, 2019). Bu kapsamda atık lastiklerin agrega veya piroliz yöntemiyle geri dönüştürülerek karbon siyahı olarak beton içinde kullanılmasıyla hem ekonomik hem de çevresel birçok kazanç elde edilmektedir (Li ve ark., 2019).

Kandıra Taşı, Kocaeli ili Kandıra ilçesinin batı sınırları içerisinde çıkarılan krem-bej ve açık gri-pembe renkli doğal taş çeşididir. Bileşiminde %90'ın üzerinde CaO bulunmaktadır (Moralı, 2019). Kandıra Taşının işlenmesi ya da kesilmesi sonucunda ortaya çıkan atık çamurların stoklanmayıp doğaya atılmasıyla hem çevre kirliliği hem

de ekonomik bir kayıp söz konusu olmaktadır. Bu atıkların beton içinde kullanılmasıyla çevresel ve ekonomik kazanımlar elde edilecektir.

Bu çalışmanın temel amacı, atık lastiklerin piroliz yöntemiyle geri dönüştürülmesinden elde edilen nano karbon siyahının ve Kandıra Taşının kesilmesi ya da işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık çamurların kurutulmasıyla elde edilen Kandıra Taşı tozunun çimento yerine belirli oranlarda mineral katkı olarak kullanılabilirliğini araştırmak ve bu iki malzemenin, çelik lifsiz ve çelik lifli beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemektir. Bu kapsamda çalışmada; nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozu çimento ile %0, %5, %10 ve %15 oranlarında ağırlıkça yer değiştirilerek çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 oranlarında çelik lif içeren karışımlarda kullanılmıştır. Nano karbon siyahının ve Kandıra Taşı tozunun çimento yerine farklı oranlarda kullanılması ile üretilen çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş ve referans numuneler ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Ayrıca bu çalışmayla;

1. Her geçen yıl artan sayıları nedeniyle ciddi anlamda hem depolama sorunlarına hem de çevre kirliliğine sebep olan atık lastiklerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen nano karbon siyahının betonda kullanılmasıyla atık lastik depolama alanlarının azaltılmasına ve atık lastiklerin sebep olduğu çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunmak,
2. Kandıra Taşının kesilmesi sırasında ortaya çıkan atık çamurların sebep olduğu çevre kirliliği ve ekonomik kaybın önüne geçmek amacıyla atık çamurların kurutulup toz haline getirilmesiyle tekrar kullanmasını sağlamak,
3. Betonun ana bağlayıcısı olan çimentonun üretimi sırasında atmosfere saldığı CO₂ miktarının yüksek olması nedeniyle çimentonun yerine atık malzemelerin kullanılmasıyla çevre kirliliğini önlemek, enerji tasarrufu sağlamak ve doğal kaynakların korunmasını sağlamak,
4. Nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozunun mineral katkı olarak kullanılmasıyla üretilen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Beton ve Bileşenleri

Çimento, agrega, su ve gerektiğinde mineral ve/veya kimyasal katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olan ve zamanla çimentonun hidratasyonu ile sertleşerek dayanım kazanan kompozit malzemeye beton denir (Baradan vd., 2012).

Beton, istenilen şekil ve boyutlarda kolaylıkla üretilebilmesi, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi ve bileşenlerinin kolay ve ucuz bir şekilde temin edilebilmesi gibi özellikleri sebebiyle geçmişten günümüze en çok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini sürdürmektedir (Erdoğan ve Kurbetci, 2003).

Beton, taze halde iken kolay karıştırılabilmeli, taşınabilmeli, kalıplara kolay ve boşluksuz bir şekilde yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmeli ve üzeri düzeltilebilmelidir. Yani beton taze halde iken işlenebilir olmalı, zaman ve enerji kaybına neden olmamalıdır. Sertleşmiş halde ise betonun, istenilen dayanımdan daha az bir dayanım göstermemesi ve dış etkilere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca sertleşmiş beton, taze betonun katılaşmasından sonraki safha olduğundan büyük ölçüde taze betonun özelliklerine ve taze betonda meydana gelen etkilere bağlıdır. Betonun hem taze hem de sertleşmiş özellikleri, beton karışımında kullanılan malzemelerin özellikleri ve kullanım oranları ile doğrudan ilişkilidir (Erdoğan, 2003).

2.1.1. Agrega

Beton hacminin yaklaşık %70-%75'lik kısmını oluşturan ve kum, çakıl gibi doğal kaynaklı malzemelerden veya genişletilmiş kil, genişletilmiş perlit gibi yapay kaynaklı malzemelerden oluşan agregalar, beton üretiminde ekonomik ve teknik

olarak çok önemli bir konumda yer almaktadır. Betonda istenilen dayanımı sağlamada yardımcı olmak, betonun çevre şartlarına karşı dayanıklılığını arttırmak ve betonda meydana gelebilecek hacim değişikliklerini önlemek gibi teknik özellikleri agregalar sağlamaktadır. Ayrıca agregaların tane büyüklüğü dağılımı, tane şekli, yüzey pürüzlülüğü, su emme kapasitesi, mineral yapısı ve dayanıklılığı gibi özellikleri betonun dayanım ve durabilite başta olmak üzere birçok özelliğini etkilemektedir (Topgül, 2016).

Kaliteli ve istenilen niteliklere uygun bir beton üretimi için agregaların;

- a) Sağlam olması, kolaylıkla aşınmaması ve dış etkilere karşı dayanıklı olması gerekmektedir.
- b) Çimento bileşenleriyle uyumlu olması ve çimento bileşenleriyle zararlı reaksiyonlara girmemesi gerekmektedir.
- c) Tane dağılımları, tane şekilleri ve dokuları iyi olmalıdır.
- d) Zararlı maddeler (deniz kabuğu ve odun gibi) içermemesi gerekmektedir. (Şimşek, 2012).

2.1.2. Çimento

Çimento, havada ve suda priz yapma özelliğine sahip bir bağlayıcı madde olmakla birlikte hem kendi başına hem de kum, çakıl ve kırma taş gibi malzemelerle birlikte suyla karıştırılarak zamanla sertleşen ve taş haline dönüşen ince öğütülmüş bir malzemedir.

Betonda kullanılan çimento; irili ufaklı agrega tanelerinin yüzeylerini kaplayarak taneler arasındaki boşlukları doldurmakta ve agregaları bir arada tutarak bağlayıcılık görevi yapmaktadır (Topgül, 2016).

Çimentonun başlangıçta plastik durumda olması sebebiyle beton da plastik özellik göstermekte ve böylece beton kolayca karıştırılabilir, istenilen kalıba koyulabilir ve istenilen şekil verilebilir nitelikte olmaktadır. Çimento hamurunun zamanla sertleşmesiyle beton da sertleşmekte ve böylece beton istenilen dayanım ve

dayanıklılık gibi nitelikleri kazanmaktadır. Bu yüzden betonda kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik tüm özellikleri betonun tüm özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Tüm bu etkilerinden dolayı beton içerisinde hacimce en küçük yeri işgal eden bileşen olan çimento aynı zamanda en önemli bileşendir (Topgül, 2016).

2.1.3. Su

Betonla alakalı işlerde kullanılan su;

1. Çimento ve agregayla birlikte karılmasıyla beton üretimini sağlamak amacıyla “karışım suyu” olarak
2. Yerleştirilme işlemi tamamlanmış betonun yüzeyinin ıslak tutularak içerisindeki suyun buharlaşmasını önlemek ve böylece betonun içerisinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonların devamını sağlamak amacıyla “kür suyu” olarak
3. Beton karışımına girecek iri ve ince taneli agregaların yıkanmasını sağlamak amacıyla “yıkama suyu” olarak kullanılmaktadır (Erdoğan, 2003).

Betonda kullanılan karışım suyu; çimento ve agregası arasında aderansı sağlayarak çimento ve agregası karışımını işlenebilir bir kütleyle dönüştürmek ve çimento ile kimyasal reaksiyona girerek betonun dayanım kazanmasını sağlamak gibi iki önemli işlevi yerine getirmektedir.

Su, beton içerisindeki bileşenlerden en az maliyetlisi olmasına rağmen önemi büyüktür. Karışımında kullanılacak su miktarı optimum düzeyde olmalıdır. Beton karışımına optimum düzeyden daha az ya da daha çok su katılması betonun nihai mukavemetini ve geçirgenliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Şimşek, 2012).

2.1.4. Katkı maddeleri

Kimyasal katkıları, taze ve/veya sertleşmiş betonun özelliklerini değiştirmek amacıyla beton bileşenleri karıştırılmadan önce veya karıştırılma esnasında toplam bağlayıcının %5’ini aşmayacak oranlarda katılan organik ya da inorganik esaslı maddelerdir.

Mineral katkıları ise, çimentoya ikame edilerek ya da üretim esnasında betona belirli oranlarda ilave edilerek kullanılan ince öğütülmüş bağlayıcı nitelikteki maddelerdir. Mineral katkı maddelerin beton üretiminde kullanılmasıyla hem ekonomik hem de çevresel kazanımlar sağlanmaktadır. Ayrıca katkı maddeleri sayesinde betonun özellikleri üzerinde önemli iyileştirmeler sağlamak mümkün olmaktadır (Topgöl, 2016).

2.2. Lifli Betonlar Hakkında Genel Bilgiler

Aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, çekme dayanımı, çatlak oluşuktan sonraki yük taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi açısından zayıf özellikler gösteren betonun içerisine değişik oranlarda ve tekniklerde çelik, plastik, cam gibi liflerin katılmasıyla elde edilen malzemeye lifli beton adı verilmektedir (Uğurlu, 1999).

Antik zamanlardan beri gevrek yapı malzemelerini güçlendirmek için lifler kullanılmıştır. Günümüzden yaklaşık 3500 yıl önce, Bağdat yakınlarda inşa edilmiş 57 metre yüksekliğindeki “Aqar Ouf” kulesinin yapımında güneşte pişirilmiş tuğlaları güçlendirmek için saman kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca eski zamanlarda kagır harcını ve sıvayı güçlendirmek için at kılları kullanılmıştır (ACI 544.1R-96, 2002; Bentur ve Midness, 2007). Daha yakın zamanda ise Mimar Sinan’ın yapılarında kullandığı horosan harcının içerisinde saman ve keçi kılı kullanılmıştır (Baradan ve ark., 2012).

Lif kullanımı, 1898 yılında Hatschek prosesinin bulunmasından sonra asbest liflerinin çimento matrisinde kullanılmasıyla yaygınlaşmıştır. Asbest liflerinin insan sağlığına zararlı olduğunun anlaşılmasından sonra 1960’lı yıllardan itibaren alternatif lif çeşitleri piyasaya sürülmüştür. 1960’ların başlarında Amerika’da çelik liflerin betonda donatı malzemesi olarak kullanımına başlanmış ve o zamandan günümüze kadar çelik liflerle alakalı önemli miktarda çalışmalar, araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar yapılmıştır. 1960’ların başında cam lifi betonda kullanılmaya başlanmıştır. Sentetik fiberlerin (naylon, polipropilen) kullanımına yönelik ilk denemeler cam ve çelik lif kadar başarılı olamamıştır. Bununla birlikte ileriki yıllarda yeni üretim tekniklerinin ve yeni lif çeşitlerinin ortaya çıkmasıyla yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda hem

sentetik hem de doğal liflerin betonda iyileştirmeler sağlayabileceği ve her bir lifin değişik işlev ve üstünlüklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Dünya genelinde liflerle alakalı birçok önemli araştırma, geliştirme ve uygulama yapılmaktadır (ACI 544.1R-96, 2002).

ACI 544.1R-96'ya göre beton özelliklerini iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine katılan lifler, lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu orana “narinlik oranı” ya da “görünüm oranı” da denilmektedir. Betonda kullanılan bazı liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

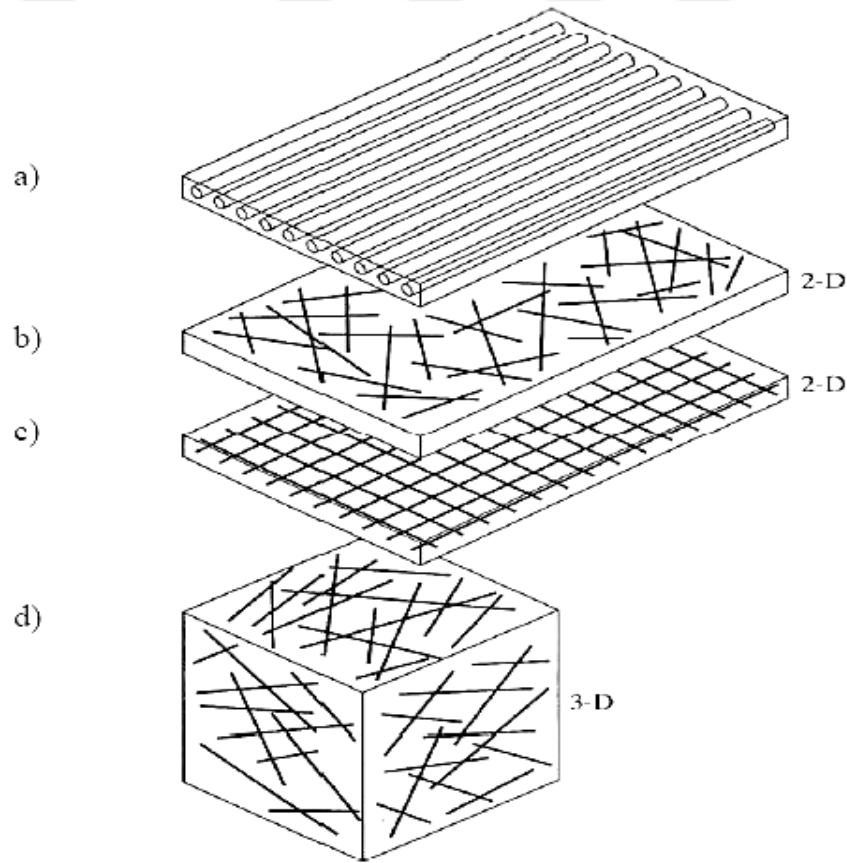
Tablo 2.1. Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Topçu, 2006)

Lifin Cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10^3 MPa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr / cm ³)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbest	552-966	83-138	~0.6	3.2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1.5
Cam	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
Naylon	759-828	4.1	16-20	1.1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1.4
Polietilen	~690	0.14-0.4	~10	0.95
Polipropilen	552-759	3.5	~25	0.9
Çelik	276-2760	200	0.5-3.5	7.8

Betonun içerisine liflerin katılmasıyla elde edilen lifli beton görünüm olarak geleneksel betona benzemesine rağmen yük altında göstermiş olduğu davranış ve performans açısından oldukça farklıdır. Betona katılan lifler, çatlak sonlarına bitişik olmalarından dolayı çatlağın yayılmasına yol açan gerilmeleri kendi üzerlerine çekerek matrisin sağlam bölgesine aktarmakta ve betonun yük taşıma kapasitesinin artmasını sağlamaktadır (Yerlikaya, 1998).

Şekil 2.1.'de sırasıyla bir boyutta düzenli dağılmış ve sürekli donatı, iki boyutta rastgele dağılmış ve süreksiz donatı, iki boyutta düzenli dağılmış ve sürekli donatı ve üç boyutta rastgele dağılmış ve süreksiz donatı yapıları verilmiştir.

Donatıların sürekli ve düzenli bir şekilde dağılmış olan betonlarda, betonun çekme ve kesme dayanımını aşan yükleri donatıların bulunduğu bölgelerde donatılar tarafından karşılanırken donatıların bulunmadığı bölgelerde ise gerilme yığılmalarına ve sonrasında ise birtakım hasarlara sebep olmaktadır. Matris içerisinde üç boyutlu, rastgele ve süresiz bir şekilde dağılmış olan lifler ise betonun herhangi bir bölgesinde oluşabilecek gerilmeleri karşılayabilmektedir. Böylece betonda meydana gelebilecek olan olası çatlakların kontrol altına alınabilmesi mümkün olabilmektedir. Betonun yük altında gösterdiği maksimum deformasyon lif ilavesiyle önemli ölçüde artmaktadır. Dolayısıyla, betonun enerji yutma kapasitesi de artmakta ve beton yük altında daha sünek bir davranış göstermektedir (Sekban, 2007).



Şekil 2.1. Betonda 1,2 ve 3 boyutta donatı dağılımı (Sekban, 2007)

Betonda kullanılan donatıların görevi, betonun yük taşıma kapasitesini arttırmak iken liflerin görevi ise betonda oluşabilecek olası çatlakların oluşmasını ve gelişmesini engellemek veya geciktirmek, çatlağın ilerleyişini kontrollü ve yavaş bir hale getirmektir. Lifli betonun özellikleri, lifin narinlik oranına, lifin boyuna ve şekline,

beton içerisindeki lif oranına ve lif dağılımına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir (Sekban, 2007). Lif kullanımıyla betonun mekanik özelliklerinde meydana gelen ortalama değişimler Tablo 2.2.'de verilmiştir.

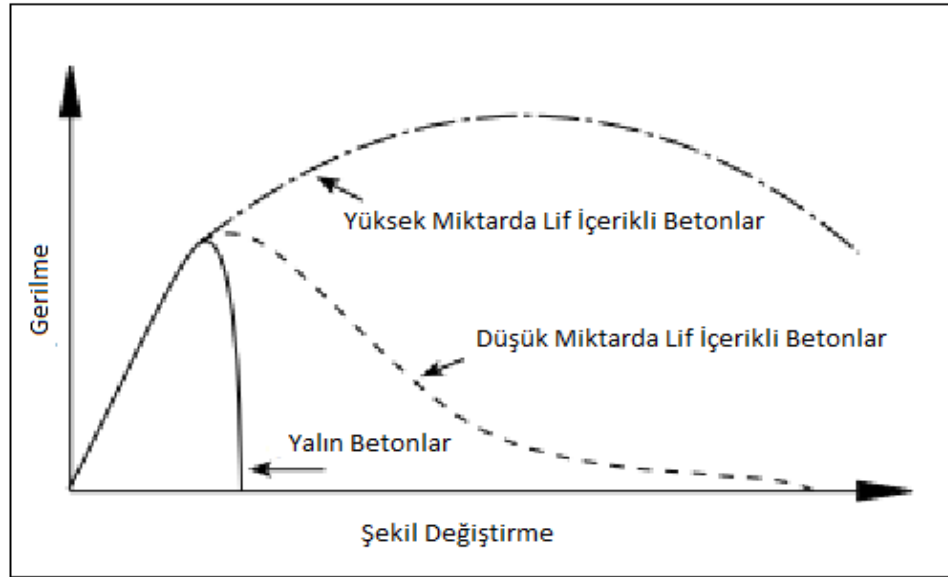
Tablo 2.2. Lif kullanımıyla betonun mekanik özelliklerinde meydana gelen ortalama değişimler (Ağaoğlu, 2018)

Mekanik Özellikler	Değişim (%)
Tokluk	+ 100–1200
Çarpma Dayanımı	+ 100–1200
İlk Çatlak Dayanımı	+ 25–100
Eğilmede Çekme Dayanımı	+ 25–200
Çekme Dayanımı	+ 25–150
Yorulma dayanımı	+ 50–100
Şekil Değiştirme Oranı	+ 50–300
Basınç Dayanımı	± 25
Kavitasyon/Erozyon Direnci	+ 200–300
Elastisite Modülü	± 25
Sehim	+ 20–500

Liflerin beton üzerindeki etkileri kısaca şu şekilde sıralanabilir (Ağaoğlu, 2018);

- Taze betonda meydana gelebilecek olan olası çatlakların önüne geçmek
- Çekme ve eğilme dayanımlarını arttırmak
- Darbe dayanımını ve yük altında sönmölen enerji miktarını arttırmak
- Betonun daha sünek davranmasını sağlayarak gevrek kırılmasını engellemek
- Betonun durabilitesini arttırmak

Betona; taze beton çatlaklarını önlemek amacıyla cam ve sentetik lifler, eğilme ve çekme dayanımını arttırmak amacıyla çelik ve karbon lifler, enerji yutma kapasitesini arttırmak amacıyla çelik ve polipropilen lifler ve aşınma dayanımını arttırmak amacıyla ise çelik lifler eklenmektedir. Şekil 2.2.'de yalın ve lifli betonların tipik gerilme-şekil değiştirme diyagramları verilmiştir (Ağaoğlu, 2018).



Şekil 2.2. Yalın betonların ve lifli betonların tipik gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Ağaoğlu, 2018)

Lifli betonlar;

- Dinamik yüklemeler ve kavitasyon hasarları için – Su yapılarında
- Dik şevlerin veya toprak setlerin stabilitesini sağlamak için – Şev stabilitesi ve tünel kaplamalarında
- Patlamaya karşı dayanıklı olması için – Güç santralleri ve askeri tesislerde
- Darbe rijitliği ve termal etkilere karşı dayanım için – Endüstriyel yapılarda
- Çatlak oluşumunu engellemek için – Önyapımlı betonarme elemanlarda
- Termal ve mekanik şok etkileri için – Ateşe dayanıklı yapılarda
- Tekrarlı yükler ve yorulma için – Havalimanı ve karayolu döşemelerinde kullanılmaktadır (Baradan ve ark., 2012).

Lifli betonların maliyetleri yalın betonlara göre daha fazladır. Ancak lifli betonların içindeki lifler sayesinde mekanik özelliklerinin artması ve daha sünek bir davranış göstermesi yalın betonun karşılaşılabileceği birçok durabilite probleminin önlenmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla, betona lif ilavesi yapıların servis ömrüne olumlu şekilde katkı sağlayarak hem can hem de mal güvenliği açısından kazanç sağlamaktadır (Alparslan, 2015). Ayrıca son zamanlarda liflerin artan maliyetlerini düşürmek amacıyla endüstriyel atıkların geri dönüştürülerek lifli betonlarda kullanılmasına yönelik çalışmalar teşvik edilmekte ve böylece hem ekonomik olarak hem de çevrenin korunmasına yönelik ciddi katkıda bulunmaktadır (Hamzaçebi, 2015).

2.3. Çelik Lifli Beton

Çelik lifli beton, içerisinde süreksiz dağılı çelik lifler bulunan ve hidrolik çimento, ince agrega veya ince ve iri agrega kullanılarak üretilmiş olan bir kompozit malzemedir.

Çelik lifli betonlar, 1960'lı yılların başından itibaren betonda lif olarak kullanılmaya başlanmış ve o tarihten günümüze kadar çelik liflerin üzerinde birçok araştırma ve uygulama gerçekleştirilmiştir. Betona veya harca hacimce %0.25 ile %2 arasındaki miktarlarda çelik lif eklenmesi betonun ve harçların darbe dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma dayanımı gibi mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır (ACI 544.1R-96, 2002).

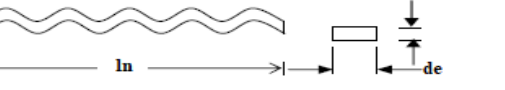
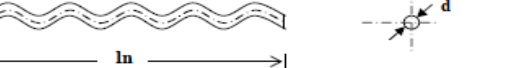
Betona belirli oranlarda katılan çelik lifler, betonun mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Çelik lif ilavesi basınç ve çekme kuvvetlerinin etkisiyle liflerin çekme mukavemeti tam olarak kullanılmadan önce betonda meydana gelebilecek olası çatlakların oluşmasını engellemekte ve daha önceden oluşmuş çatlakların matris içerisinde ilerlemesini yavaşlatmaktadır.

Çelik lifli beton, taşıma gücüne ulaştıktan sonra bir miktar daha yük taşıyabilmektedir. Maksimum yüke ulaştıktan sonra deformasyonun artması sonucunda yükün azalma hızı çelik lifli betonlarda yalın betonlara göre çok daha yavaş gerçekleşmektedir. Çelik lifli betonların yük altında çatlaması, dökülmesi ve parçalanması daha zordur. Ayrıca çelik liflerin yalın betonlara göre çekme, eğilme, kesme ve yorulma dayanımları daha yüksektir (Arslan ve Aydın, 1999).

2.3.1. Betonda kullanılan çelik liflerin özellikleri

Betonun aşınma dayanımı, çekme dayanımı, enerji yutma kapasitesi gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla taze haldeki betonun içerisine eklenen çelik lifler değişik şekillerde ve boyutlarda üretilmektedir (Sekban, 2007). Çeliğin çekme dayanımının yüksek olması ve betonla iyi bir performans göstermesi sebebiyle çelik lifler beton içerisinde en çok kullanılan lif türüdür. ASTM A 820'de üretim

şekillerine göre çelik lifler; soğuk çekilmiş lifler, levhadan kesilmiş lifler, haddelenip çekilmiş lifler ve diğer lifler olmak üzere 4 farklı şekilde sınıflandırılmıştır (ACI 544.1R-96, 2002). TS 10153'e göre ise çelik lifler geometrik yapılarına göre üç sınıfa ayrılmıştır ve Şekil 2.3.'de TS 10153'e göre çelik lif sınıfları, tipleri ve şekilleri verilmiştir.

Çelik Lif Sınıfı	Çelik Lif Tipi	Çelik Lif Şekli
A sınıfı	Düz, pürüzsüz yüzeyli teller	
B sınıfı	Tip 1: Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller	
	Tip 2: Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller	
	Tip 3: Ay biçimi dalgalı teller	
C sınıfı	Tip 1: İki ucu kancalı teller	
	Tip 2: Tek ucu kancalı teller	

Şekil 2.3. Betonda kullanılan çelik liflerin sınıfları, tipleri ve şekilleri (Hamzaçebi, 2015)

TS 10153'te ayrıca betonda kullanılacak çelik liflerin yüzeylerinde kir, pas ve yağ bulunmaması, her bir çelik lifin en az 310 N/mm^2 çekme dayanımına sahip olması ve çelik liflerin $16 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'lik ortamda, 3.18 mm 'lik bir iç çap çevresinde yapılan eğilme deneyinde 90° 'ının kırılma olmaksızın 90° eğilme yapabilmesi gerekmektedir.

1970'li yıllarda sadece düz çelik lifler kullanılırken daha sonraları betonun mekanik özelliklerini yükseltmek ve farklı özellikleri karşılamak amacıyla uçları çengelli, uçları kıvrımlı ve değişik geometrik forma sahip olan birçok çelik lif üretilmiştir. Fakat araştırmalar sonucunda beton üzerinde en büyük iyileştirmeleri düz çelik liflerin ve ucu çengelli liflerin sağladığı görülmüştür. Çelik lifli betonların daha ekonomik olması için birçok farklı metot denenmiş ve sonucunda yarım daire, dikdörtgen ve düzensiz en kesitli gibi dairesel kesitli olmayan çeşitli lif şekilleri de üretilmiştir (Sekban, 2007).

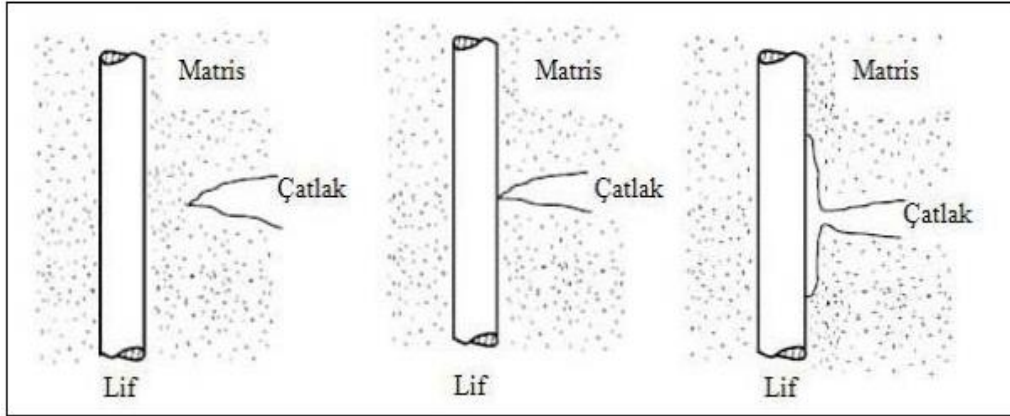
Beton bileşiminde kullanılan çelik lifler, soğukta çekilmiş düşük karbonlu C 1008 çeliğinden üretilmektedir. Üniform ve yüksek çekme gerilmesine karşılık düşük uzama değerlerine sahip olması en önemli özelliğidir. Çelik lifler, ortalama 1200 MPa çekme gerilmesine sahiptirler ve elastik limitleri %0.2'nin altındadır (Sekban, 2007). Çelik liflerin çapları 0.25 – 1 mm arasında, narinlik oranları 20 – 100 arasında ve boyları 6.4 – 76 mm arasında değişmektedir (ACI 544.1R-96, 2002).

2.3.2. Çelik liflerin beton içerisindeki davranışı

Çelik lifler betondaki donatıları destekleyici bir rol üstlenmekle birlikte betonda oluşan çatlakların matris içerisinde ilerlemesini yavaşlatmakta, darbe, yorulma ve rötre gibi etkenlere karşı betonun direncini arttırmaktadır. Çelik lifler ve betonda kullanılan donatıların işlevi belli bir noktaya kadar aynı olmasına rağmen birbirinden farklıdır. Betondaki donatılar, betonun yük taşıma kapasitesini artırırken lifler ise betonda oluşabilecek çatlakların oluşumunu engelleyerek ve mevcut çatlakların ilerlemesini yavaşlatarak betonun elastikiyet ve enerji yutma kapasitesini arttırmaktır.

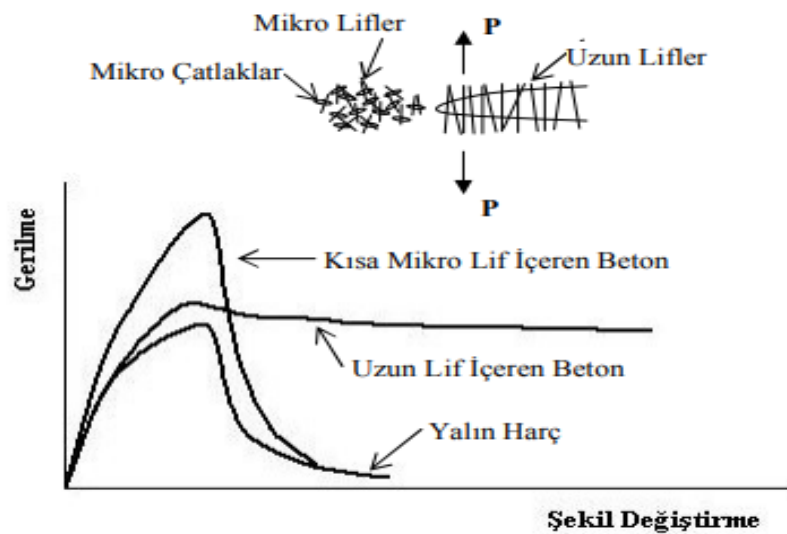
Çelik lifli betonlarda maksimum yükten sonra artan deformasyon neticesinde yükün azalma hızı yalın betonlara göre çok daha yavaş gerçekleşmektedir. Dolayısıyla liflerin betondan ayrılması ve betonun göçmesi için gereken enerji de oldukça yüksektir. Başka bir ifadeyle çelik lifli betonların deformasyon kabiliyeti yalın betonlara göre çok daha fazla olmaktadır.

Yalın betonlarda gerilmelerin neticesinde oluşan mikro çatlaklar, gerilmenin artmaya devam etmesiyle çeşitli yönlerde yayılarak belli bir gerilme değerinin üzerinde betonun parçalanmasına sebep olmaktadır. Çelik lifli betonlarda ise ilk çatlaktan sonra çimento hamurundan liflere doğru bir gerilme aktarımı meydana gelmektedir. Lifler bu gerilmelerin bir kısmını miktar ve şekline bağlı olarak kendi taşıırken bir kısmını ise matrisin sağlam olan bölgelerine aktarmaktadır. Şekil 2.4.'de çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı verilmiştir (Sekban, 2007).



Şekil 2.4. Çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı (Sekban, 2007)

Şekil 2.5.'te farklı lif boyutlarının çatlakları köprüleme etkileri ve gerilme – şekil değiştirme davranışının ne şekilde etkilendiği gösterilmektedir. Mikro lif içeren betonlarda lifler, mikro çatlaklar arasında köprü vazifesi görerek çatlakların gelişimini engellemekte ve bölgesel çatlakların oluşumunu geciktirmektedirler. Ayrıca mikro lifler betonun elastik bölgedeki davranışını geliştirmektedir. Liflerin arasındaki mesafeler fazla olduğu için ve matristeki çatlaklar mikro boyutta başladığından makro lifler mikro çatlaklarda etkili olamamaktadır. Makro boyuttaki lifler, ancak betondaki çatlaklar makro boyuta geldiği zaman etkili bir davranış göstermekte ve çekme, eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri geliştirmekte ve maksimum yük sonrasındaki davranışı iyileştirmektedir (Taşdemir ve ark, 2003).



Şekil 2.5. Farklı lif boyutlarının çatlak köprüleme etkisi (Taşdemir ve ark, 2003)

Betona çelik lif ilavesiyle betonun özellikle çekme, eğilme, yorulma ve darbe dayanımı, enerji yutabilme kapasitesi ve dış etkilere karşı dayanıklılığı gibi özelliklerini arttırmak mümkün olmaktadır. Fakat tüm bu özelliklerdeki artış betonun karışım oranlarına, karışım içerisindeki dağılımlara, liflerin narinlik oranlarına, liflerin geometrik şekillerine ve lif miktarına bağlı olarak değişmektedir (Sekban, 2007).

2.3.3. Çelik lifli betonların hazırlanmasında dikkat edilecek hususlar

Betonun gerekli dayanıklılığı sağlaması için kaliteli malzeme, düşük su/çimento oranı, optimum çimento dozajı, iyi sıkıştırma ve iyi işçilik gibi geleneksel betonun üretilmesinde dikkat edilen hususlara çelik lifli betonlarda da dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle karışım esnasında çelik liflerin bir araya gelerek topaklanmasıyla betonun işlenebilirliği zorlaşmaktadır. Ayrıca çelik lifler karışım esnasında eğilerek deforme olmaktadır. Çelik lifli betonlarda da iyi karışım, iyi yerleştirme ve yeterli sıkıştırma sonrasında ortaya çıkabilecek olan dayanıklılık problemlerinin önüne geçilebilmektedir (Uğurlu, 1999).

TS 10514'te beton içerisindeki liflerin davranışını etkileyen parametrelerden biri olan matrisin özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik birtakım sınırlar getirilmiştir. Bu sınırlandırmalar;

- a) Çimento miktarı en az 320 kg/m^3 olmalı ve ince agreganın miktarı (0-4 mm), toplam agreganın kütlesinin %40 - %45'i kadar olmalıdır.
- b) En büyük agreganın tane büyüklüğü, doğal agreganın için 28 mm, kırma taş agregaları için ise 32 mm olmalıdır ve 14 mm'den büyük agreganın oranı %15 - %20 ile sınırlandırılmalıdır.
- c) Su/çimento oranı maksimum 0.55 olmalıdır.
- d) Gerekli işlenebilirlik için akışkanlaştırıcı katkı kullanılabilir.
- e) Betonun karakteristik mukavemeti en az 20 N/mm^2 olmalıdır.
- f) Betonda 0.25 mm'den küçük bulunması gereken ince malzeme miktarı Tablo 2.3.'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Çelik lifli betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı

En Büyük Agregat Tane Boyutu	İnce Malzeme Miktarı (<0,25 mm)	
	kg/m ³	l/m ³
8 mm	525	180-185
16 mm	450	150-155
32 mm	400	130-135

g) Beton karışımına katılabilecek maksimum tel miktarı, agreganın en büyük tane çapına ve uzunluk/çap oranına bağlı olarak Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Betona ilave edilebilecek maksimum tel miktarı (kg/m³)

En Büyük Agregat Tane Boyutu	Uzunluk/ Çap					
	60		75		100	
	Normal	Pompa	Normal	Pompa	Normal	Pompa
4 mm	160	120	125	95	95	70
8 mm	125	95	100	75	75	55
16 mm	85	65	70	55	55	40
32 mm	50	40	40	30	30	25

Tablo 2.4.'te görüldüğü üzere çelik lifin narinlik oranı arttıkça lif miktarı azalmaktadır. Aynı şekilde pompa betonlarında yaşanabilecek muhtemel sorunlar sebebiyle lif miktarı normal betonlara göre daha azdır. Beton karışımında çelik lifler iki şekilde ilave edilebilmektedir. Bunlardan bir tanesi ilk olarak agregat üzerine liflerin eklenmesi ve daha sonra su, çimento ve gerekli katkıların eklenerek beton karışımının karıştırılması iken bir diğer yöntem ise liflerin karışıma en son eklenmesi ve daha sonra karıştırılmasıdır. Karışım işleminin tamamlanmasına tüm liflerin homojen dağıldığı ve birbirine yapışık lif kalmadığı gözle kontrol edilerek karar verilmektedir. Karışım işlemi tamamlanan çelik lifli betonların yerleştirme, sıkıştırma ve mastarlama işlemleri geleneksel betonda da uygulanan tüm hususlara uyarak yapılmalıdır (TS 10514, 92).

2.3.4. Çelik lif takviyeli betonların kullanım alanları

Çelik lifli betonlar, yapı uygulamalarında kırılmayı önlemesinin dışında dinamik yüklemelere karşı çarpma mukavemetini arttırmak ve betonun dökülme, parçalanma ve dağılmasını önlemek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Çelik lifli betonlar;

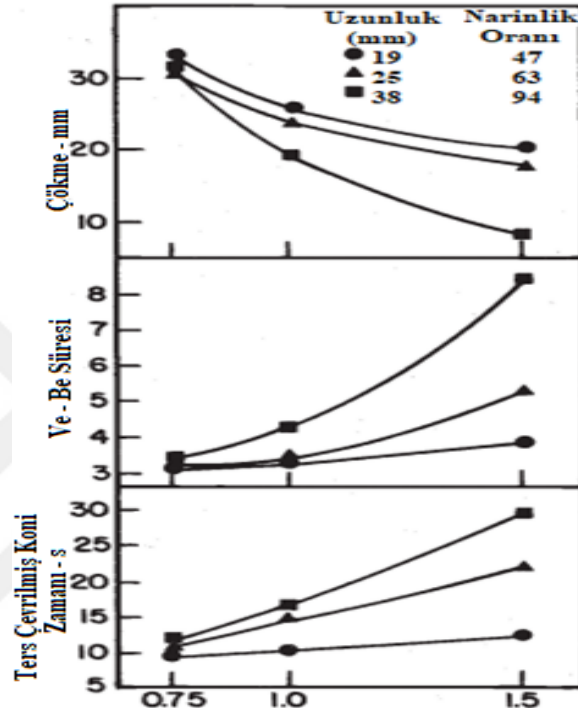
- a) Çarpma rijitliğini ve termal etkilere karşı dayanıklılığı arttırmak amacıyla beton endüstri yapılarında,
- b) Barajlar, su kanalları ve dolu savaklarda plak yerine veya kavitasyon hasarlarına karşı koymak amacıyla kaplama olarak,
- c) Yüksek eğilme ve yorulma mukavemetine sahip olması sebebiyle yol uygulamalarında kaplama kalınlığının daha ince olmasının istendiği durumlarda,
- d) Şev stabilitesinin sağlanması amacıyla dik şevlerde ya da toprak setlerde,
- e) Üstün özellikleri sahip olduğundan kesit kalınlıklarını azaltmayı daha uygun hale getirmesiyle ince kabuk yapılarda ve kubbelerde,
- f) Mekanik ve termal şok tehlikesine sahip olan ve yük taşıyacak olan yapılarda,
- g) Deprem kuvvetlerinin etki etmesi muhtemel olan yerlerde depreme dayanıklı yapılarda,
- h) Beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitesinin yüksek olması sebebiyle beton borularda ve betonarme çerçevelerde kullanılmaktadır (Sekban, 2007).

2.3.5. Çelik lifli betonların özellikleri

2.3.5.1. Çelik lifli taze betonların özellikleri

Çelik lifler betonun taşıma, yerleştirme, sıkıştırma olarak tanımlanan işlenebilirliğini önemli derecede etkilemektedir. Yapılan tüm çalışmalarda lif kullanımıyla betonun işlenebilirliğinin ters orantılı olduğu ve lif kullanımının artmasıyla işlenebilirliğin azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca lif ilavesinin artmasıyla betondaki boşluk oranının arttığı tespit edilmiştir. Betonlarda kullanılan lifin geometrik şekli, lif içeriği ve narinlik oranı betonun işlenebilirliğini etkileyen önemli faktörlerdendir. Şekil

2.6.'da yapılan çökme, Ve – Be ve ters çevrilmiş koni deneyleri sonucunda lif içeriğinin ve narinlik oranının artmasıyla betonun işlenebilirliğinin azaldığı görülmektedir. Lifli betonlarda istenilen işlenebilirliği sağlamak amacıyla akışkanlaştırıcı katkıların kullanılması ve liflerin karışım içinde homojen dağılımının sağlanması gerekmektedir (Sekban, 2007).



Şekil 2.6. Lif içeriğinin ve narinlik oranının çökme, Ve – Be süresi ve ters çevrilmiş koni süresine etkisi (Tatnall, 2006)

Çelik lifli betonların yerleştirilme işlemlerinde çelik liflerin beton içerisinde düzgün bir dağılım göstermesine dikkat edilmelidir. Bu nedenle karıştırma süresi yeterli olacak şekilde gerçekleştirilmeli, vibrasyon işlemi gereğinden fazla uygulanmamalı ve betonun kalitesini bozacak şekilde fazladan su ilave edilmemelidir. Ayrıca dar kesitli elemanlardaki yerleştirme işleminin daha kolay olması amacıyla agrega tane boyutu ve lif uzunlukları dikkatli bir şekilde seçilmelidir (Arslan ve Aydın, 1999).

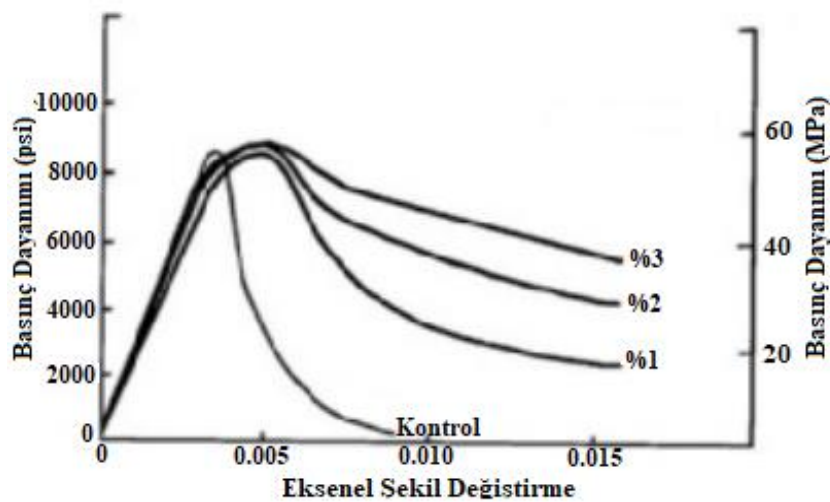
Çelik lifli betonların perdahlanması işlemi geleneksel ekipmanlarla yapılabilir. Fakat çelik liflerin betonun içine daha iyi girmesi ve daha düzgün bir yüzey elde etmek amacıyla magnezyum kanatlı perdah aletleri tavsiye edilmektedir.

Çelik lifli betonların kür ve bakım işlemlerinde, geleneksel betona uygulanan yöntemler kullanılmaktadır. Çelik lifli betonlar genellikle daha yüksek çimento içeriğine sahip olduğundan plastik rötre çatlaklarına karşı daha hassas bir davranış göstermektedir. Buharlaşma hızının fazla olmasından kaynaklanan bu durumun engellenmesi amacıyla çelik lifli betonlar, kür süresi boyunca sıcak ve rüzgârlı havalarda sürekli nemli tutularak iyi bir şekilde korunmalıdır. Ayrıca çelik lifli betonlar hidratasyon süresi boyunca soğuk ve sıcak hava koşullarına karşı korunmalıdır (ACI 544.3R-93, 1998).

2.3.5.2. Çelik lifli sertleşmiş betonların özellikleri

a) Basınç dayanımı

Basınç yükü altında çelik lifli betonların davranışları incelendiğinde çelik liflerin basınç dayanımı üzerinde bazen olumlu bir etki oluştururken bazen de olumsuz bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir. Çelik liflerin beton içerisindeki yönelimleri basınç dayanımında son derece önemli bir etkiye sahiptir. Yükleme düzlemine dik olan çelik liflerin basınç dayanımı üzerinde herhangi bir etkisi yok iken yükleme düzlemine paralel olan çelik lifler basınç dayanımını arttırmaktadır.



Şekil 2.7. Basınç dayanımı – eksenel şekil değiştirme eğrisine çelik lif hacminin etkisi (Bentur ve Mindess, 2007)

Şekil 2.7.'de görüldüğü üzere kontrol betonuyla farklı çelik lif hacmine sahip betonlarda basınç dayanımları arasında çok büyük bir fark olmamasına rağmen şekil değiştirme davranışları açısından oldukça büyük farklılıklar oluşmaktadır. Ayrıca çelik lifli betonların basınç altındaki enerji yutma kapasiteleri (tokluğu) lif oranı arttıkça artmaktadır (Bentur ve Mindess, 2007).

b) Çekme dayanımı

Çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin sebep olduğu yer değiştirmelere ve kırılmalara karşı betonların gösterdiği dirence çekme dayanımı adı verilmektedir. Çekme gerilmeleri çatlakların yayılmasına sebep olarak betonda göçmeye sebep olmaktadır. Betonun çatlak gelişimine karşı direncini ve düktilitesini arttırmak için lif ilavesi etkili bir yöntemdir.

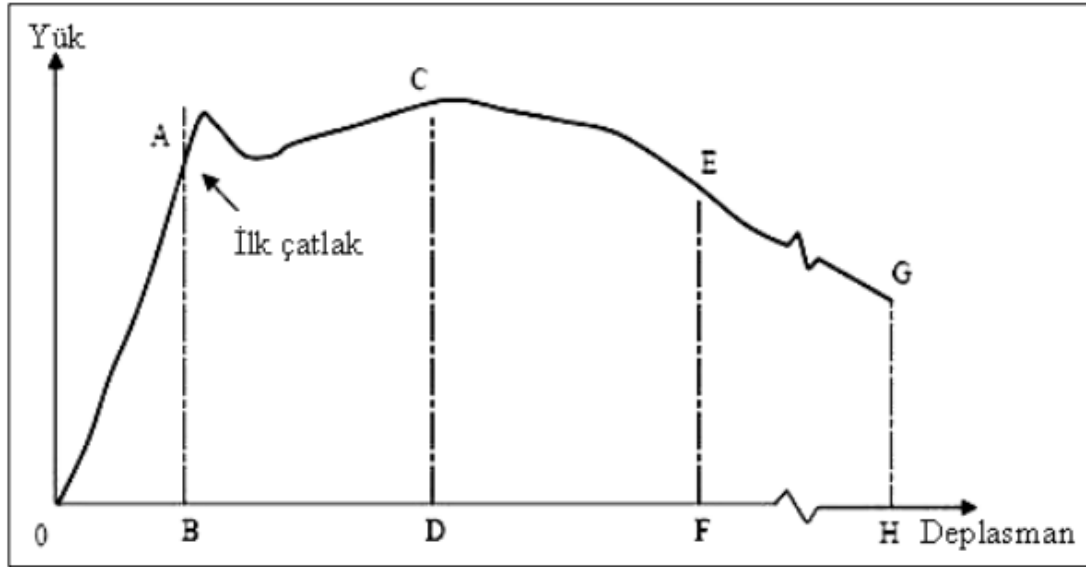
Yalın betonlara göre çelik lifli betonların çekme dayanımları çok daha yüksektir. Çelik lif şekline, lif miktarına, narinlik oranına, liflerin karışım içerisindeki dağılımına ve liflerle matris arasındaki aderansa bağlı olarak çelik liflerin çekme dayanımı geleneksel betona oranla %25-100 arasında artış göstermektedir.

Dinamik yüklere maruz kalan beton elemanlarda çekme gerilmeleri ve bu gerilmelerin sonucunda oluşan çatlaklar beton elemanlarının çökmesine sebep olmaktadır. Bu gibi çekme gerilmelerine maruz kalan elemanlarda, gerilmenin homojen yayılımını sağlamak ve dinamik etkiler sonucunda oluşan mikro ve makro boyuttaki çatlaklara karşı dayanımı arttırmak amacıyla çelik liflerin kullanımının oldukça faydalı olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Sekban, 2007).

c) Eğilme dayanımı

Çelik liflerin eğilme dayanımı üzerindeki etkileri basınç ve çekme dayanımına göre çok daha fazla olmaktadır. Çelik liflerin yüksek çekme dayanımına sahip olmasıyla çelik lifli betonların eğilme dayanımı lifin şekline, liflerin karışım içerisindeki dağılımına, narinlik oranına ve lifin kullanılan miktarına bağlı olarak yalın betonlara

göre %50-100 arasında artmaktadır. Çelik liflerin çatlaklardaki gerilmeleri sağlam alanlara aktarmasıyla yük bir miktar daha arttığından dolayı çelik lifli betonların eğilme yükü yalın betonlara göre daha fazla olmaktadır (Uğurlu, 1999).



Şekil 2.8. Çelik lifli betonların eğilmede tipik yük – deplasman eğrisi (Sekban, 2007)

Şekil 2.8.'de çelik lifli betonların eğilmede tipik yük – deplasman eğrisi grafiği verilmektedir. Grafikte A noktası olarak gösterilen ve yük – sehim eğrisinin lineerlikten çıktığı değere ilk çatlak oluşumu gerçekleştiği için ilk çatlak eğilme dayanımı, C noktası ile gösterilen ve dayanımın maksimuma ulaştığı değere ise nihai eğilme dayanımı adı verilmektedir. İlk çatlak eğilme dayanımı betonun çekme dayanımına bağlı iken nihai çekme dayanımı liflerin narinlik oranına ve liflerin karışım içerisindeki oranlarına bağlıdır. Narinlik oranı 50 değerinden az ve hacim yüzdesi %0.5'ten az olan liflerin betonun statik dayanımları üzerindeki etkileri çok fazla olmamaktadır. Betonla iyi aderans oluşturan ucu kancalı veya kıvrımlı çelik liflerin eğilme dayanımlarını %100 oranında arttırdığı görülmüştür. Ayrıca ucu kancalı veya kıvrımlı olan çelik liflerin sağladığı dayanım artışları düz çelik liflere göre çok daha fazla olmaktadır (Sekban, 2007).

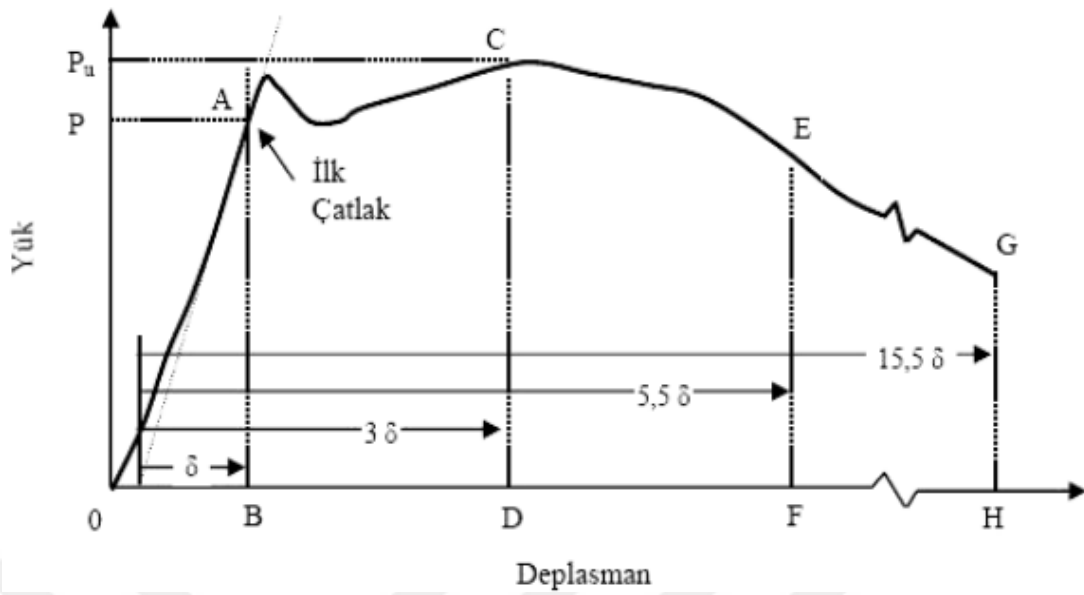
d) Enerji yutma kapasitesi (Tokluk)

Eğilme, çekme ve bazı durumlarda basınç dayanımlarına katkı sağladığı bilinse de çelik liflerin betonlar üzerindeki en önemli etkisi enerji yutma kapasitesi (Tokluk) üzerinde olmaktadır.

Çelik liflerin dinamik veya statik yüklemelerde betonun eğilme kuvvetleri altındaki deformasyonu sırasında yapılan işi arttırmasıyla beton sabit gerilmeye çok daha fazla deformasyon yapabilme yeteneği kazanmaktadır. Eğilme deneyindeki yük – sehim eğrisinin altındaki alanın hesaplanmasıyla elde edilen tokluk, lifli betonların işlevselliği için önemli bir parametredir ve lif miktarına, narinlik oranına, lif şekline, deneyde kullanılan numune boyutlarına ve yükleme hızına bağlı olarak değişmektedir. Yalın betonlara göre çelik lifli betonlar enerji yutma kapasitesine %100-1200 arasında pozitif bir katkı sağlamaktadır (Uğurlu, 1999).

Yalın ve çelik lifli betonlarda maksimum gerilmeye ulaşmadan oluşan ilk çatlakların deformasyonları hemen hemen aynı olmaktadır. İlk çatlak oluşumundan maksimum gerilmeye kadar artan gerilmeler çatlakların birleşmesine sebep olarak betonun rijitliğini azaltmaktadır. Ancak yük eksenine dik olan çelik lifler çekme dayanımlarının yüksek olması ve matris ile aralarında göstermiş oldukları aderans nedeniyle yanal deformasyonları azaltmakta ve betonun tokluğunu arttırmaktadır (Tokyay ve ark., 1991).

Yük – deplasman eğrisinden elde edilen tokluk deney numunelerinin şekline, deney düzeneğine, yükleme tipine ve hızına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenlerle ASTM C 1018’de tokluğun açıklanması amacıyla tanımlanmış olan I_5 , I_{10} ve I_{30} *Tokluk İndeksleri* elastik ve plastik davranışı açıklamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu indeksler numune özelliklerinden bağımsızdır ve bu indeksler ne kadar yüksek ise malzemelerde o kadar sünektir (Sekban, 2007).



Şekil 2.9. Yük – deplasman eğrisinde tokluk indekslerinin gösterilmesi (Sekban, 2007)

İlk çatlağın oluştuğu A noktasına kadar olan yük – deplasman eğrisinin altındaki OAB üçgeninin alanı belirlenir. Yük – sehim eğrisinin altındaki, ilk çatlağın oluştuğu deplasmanın 3 katına kadar olan alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesiyle I_5 indeksi hesaplanır. I_{10} ve I_{30} indeksleri ise sırasıyla ilk çatlağın oluştuğu deplasmanın 5.5 ve 15.5 katına kadar olan alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesiyle bulunmaktadır (Sekban, 2007).

e) Dayanıklılık

Birbirlerine yapıştırılmış halde bulunan çelik liflerin karışım içerisinde ayrılmamış olarak bulunması sebebiyle betonda boşluklu bir yapı oluşmakta ve betona zarar verecek malzemelerin beton içerisine nüfuz etmesi kolaylaşmaktadır. Betona zarar verecek malzemelerin beton içerisine nüfuz etmesiyle çelik liflerin korozyona uğraması ya da kimyasal olaylarla bozulması kolaylaşmaktadır (Uğurlu, 1999).

Bu gibi durumların önlenmesi için çelik lifli betonlar iyi bir şekilde karıştırılmalı, yerleştirilmeli ve gerekli kür koşulları sağlanmalıdır. Ayrıca korozyon riski bulunan yerlerde paslanmayan lifler kullanılmalıdır (Sekban, 2007).

Çelik lifler çatlak oluşumunu veya ilerleyişini önemli ölçüde engellediğinden dolayı donma – çözülme esnasında betonun hasar görmesini yavaşlatmaktadır. Fakat çelik liflerin betonun doygunluk derecesine ve boşluk oranına bir etkisi olmadığından çözülme esnasında betonun yüzeyinde oluşan pullanmaya bir etkisi yoktur. Dolayısıyla kütle kaybı yalın betonlardakine benzer olmaktadır.

Çelik lifler betonun genel olarak aşınma, kavitasyon ve erozyon dirençlerini arttırmaktadır. Ayrıca betondaki büzülme çatlak genişliklerini azaltmakta ve büzülme hareketini sınırlandırmaktadır (Ünal ve ark., 2003).

2.4. Ömrünü Tamamlamış Lastikler ve Nano Karbon Siyahı

a) Ömrünü tamamlamış lastikler

Nüfus artışı sonucunda artan ulaşım ihtiyacı ve otomobil endüstrisindeki hızlı gelişim sonucu ortaya çıkan ve sayıları giderek artan atık lastikler çevresel bir sorun haline gelmiştir. Dünyada yılda yaklaşık olarak 1.5 milyar lastik üretildiği ve bir yıldaki atık lastik sayısının ise yaklaşık olarak 1 milyar seviyesinde olduğu bilinmektedir. Ayrıca atık lastik sayısının 2030 yılına kadar 1.2 milyar seviyelerine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Li ve ark, 2019). Atık yönetiminin en zor bileşenlerinden biri haline gelmiş olan atık lastikler, ABD’de yıllık yaklaşık olarak 273 milyon seviyelerindedir ve ayrıca ABD’de yaklaşık olarak 3 milyar atık lastik olduğu tahmin edilmektedir. Çin’de ise 2012 yılında nakliyeden kaynaklanan atık lastik miktarı 280 milyon seviyelerindedir ve atık lastik miktarı her yıl yaklaşık %9 oranında sürekli olarak artmaktadır (Sarkaz, 2020). Ülkemizdeki atık lastik miktarı ise yılda yaklaşık olarak 300 bin tonun üzerindedir ve bu miktarın yaklaşık olarak 50 bin tonu lastik yenileme piyasasında kullanılmakta iken 250 bin tonu ise ömrünü tamamlamış lastik olarak tanımlanmaktadır (Yozcu, 2019).

Dünya genelindeki atık lastik miktarının her geçen yıl artması sebebiyle atık lastikler geri dönüştürülemeden doğaya atılmakta ve doğaya atılan atık lastikler ise hem çevresel hem de sağlık açısından büyük problemler oluşturmaktadır. Ayrıca atık lastik

miktarının hacim olarak çok ciddi boyutlara ulaşmasıyla depolama şansı kalmamıştır (Eren, 2019).

Petrol türevli bir malzeme olduğundan atık lastikler yüksek enerji içermektedirler. Dolayısıyla atık lastiklerin yığın olarak depolandığı sahalarda yangın çıkması durumunda yangının söndürülmesi oldukça güç olmaktadır. Ayrıca atık lastiklerin yanması sonucunda çevreye zararlı toksik gazların salınması çevredeki havanın, toprağın ve suyun kirlenmesine neden olmakta ve tüm canlıların yaşamını olumsuz etkilemektedir. Şekil 2.10.'da 100 bin tondan fazla atık lastiğin depolandığı atık lastik çöplüğünde meydana gelen yangın gösterilmektedir (Yozcu,2019).



Şekil 2.10. Atık lastik çöplüğünde meydana gelen yangın (Yozcu, 2019)

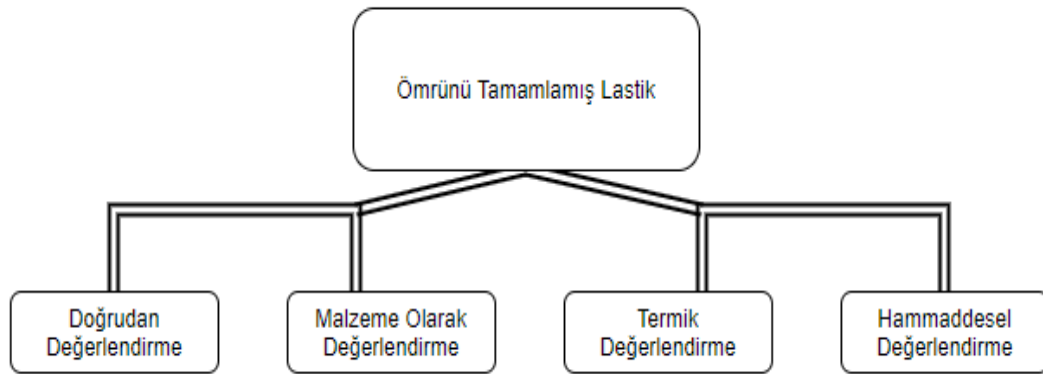
Kompozitlere göre lastiklerin dayanımı son derece iyidir ve lastikler doğada biyolojik olarak parçalanamamaktadır (Eren, 2019). Atık lastiklerin çevreye gelişigüzel bir şekilde bırakılması farelerin, sivrisineklerin ve zararlı böcek larvalarının çoğalmasına olanak sağlayarak salgın hastalıklara sebep olabilmektedir.

Küresel ısınma ve iklimsel değişiklikler sebebiyle atıkların yönetimi konusunda çeşitli politikalar ve yöntemler izlenmektedir. Kendiliğinden parçalanması uzun zamanlar aldığından atık lastiklerin zararlı çevresel etkilerinin önüne geçmek amacıyla önlemler almaya ihtiyaç duyulmaktadır. Atık lastiklerle alakalı bu olumsuz durumun önüne

geçmek amacıyla yapılacak en önemli seçeneğin geri kazanım yapmak olduğu sonucuna varılmıştır (Yozcu, 2019).

b) Ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanım yöntemleri

Atık lastiklerin giderek sayılarının artması sebebiyle hem çevresel hem de sağlık açısından meydana gelen veya gelebilecek olan problemler tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda atık lastiklerin sebep olduğu çevresel problemleri önlemek ve atık lastikleri potansiyel bir hammadde kaynağı olarak kullanılabilmek amacıyla geri dönüşüm yöntemleriyle değerlendirilmesi gerekmektedir. Atık lastiklerin geri kazanım yöntemleri Şekil 2.11.'de verilmiştir (Çetişli, 2013).



Şekil 2.11. Atık lastiklerin geri kazanım yöntemleri

Doğrudan değerlendirme, ömrünü tamamlamış lastiklerin fiziksel veya kimyasal bir prosese tabi tutulmadan yeniden kullanılmasıdır. Bu yöntemle atık lastikler, taşıt park alanlarında, liman güvertelerinde, oyun parklarında, yol stabilizasyonunda ve erozyonla mücadelede kullanılmaktadır (Çetişli,2013; Yozcu, 2019).

Malzeme olarak değerlendirme, ömrünü tamamlamış lastiklere kimyasal bir işlem uygulanmadan fiziksel işlemler uygulayarak yeniden kullanılmasıdır. Ömrünü tamamlamış lastiklerin gövde yapılarında ve taban kısımlarında herhangi bir aşınma ve zedelenme olmaması durumunda tekrar kaplanarak kullanılabilir. Malzeme olarak değerlendirmede bir başka alternatif ise, ömrünü tamamlamış lastiklerin

parçalanarak kauçuk granül haline getirilmesidir. Kauçuk granül ise, otomobil endüstrisinde, inşaat malzemesi üretiminde, zemin ve asfalt gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle kauçuk granülün asfalt yapımında kullanılmasıyla asfaltın kalitesi ve ömrü artmaktadır. Ayrıca kauçuk granül düşük sıcaklıkta oluşan çatlakları ve trafikteki ses kirliliğini azaltmıştır. Kauçuk granülün betonda kullanılması ısı ve ses yalıtımına fayda sağlamıştır. Ömrünü tamamlamış lastiklerdeki temel ürünlerin geri kazanılabilecek yüzdesel değerleri Tablo 2.5.'de verilmiştir.

Tablo 2.5. ÖTL'den geri kazanılabilecek ürünlerin yüzdesel değeri

Ürün	Kamyon Lastiği	Endüstriyel Araç Lastiği	Otomobil Lastiği
Kırıntı Kauçuk	70	28	70
Çelik	27	15	15
Elyaf ve Diğer Katkılar	3	7	15

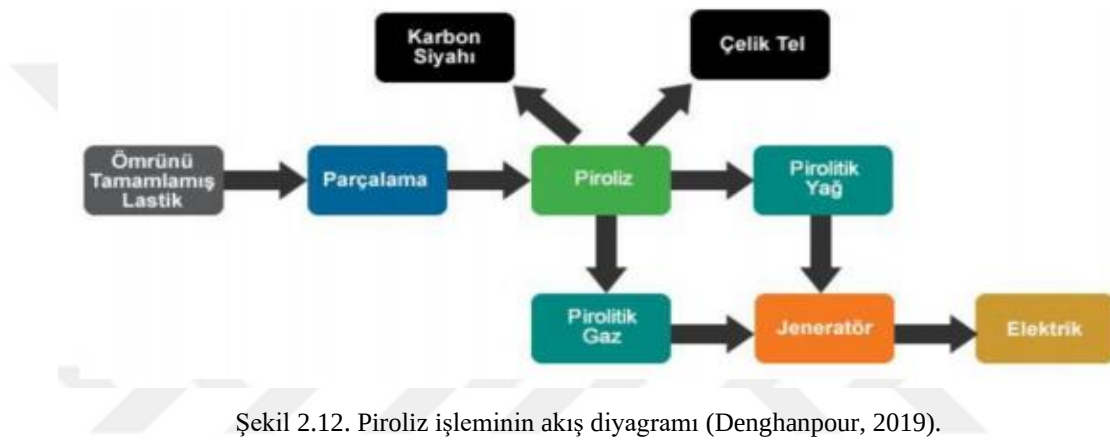
Termik değerlendirme yönteminde ise ömrünü tamamlamış lastikler, çimento fabrikalarında veya elektrik üretim tesislerinde yakıt olarak, kâğıt vb. endüstriyel sektörlerde ise ısı ve buhar ihtiyacı için yakılmaktadır. Ancak termik değerlendirme işlemi hava kirliliğine sebep olabileceğinden gerekli tedbirler alınmalıdır (Çetişli, 2013).

Hammaddesel değerlendirme yönteminde ömrünü tamamlamış lastiklere piroliz yöntemi uygulanmaktadır. Piroliz işlemi; oksijen bulunmayan bir ortamda organik malzemelerin yüksek sıcaklık değerlerinde ısıtılması olayıdır. Ortamda oksijen bulunmadığından yanma olayı gerçekleşmemektedir. Bunun yerine malzemeyi oluşturan kimyasal bileşikler yanıcı gazlar ve kömür şeklinde ayrışmaktadır. Yani piroliz, büyük yapıdaki moleküllerin termal bir ayrışma işlemiyle daha küçük moleküllere parçalanması işlemidir. Piroliz yöntemiyle atık lastikler, karbon siyahına, piroliz yağına ve hidrokarbon gazına dönüşmektedir (Yozcu, 2019). Atık lastiklerin piroliz işlemi sonrasında ortaya çıkan ortalama ürün miktarları Tablo 2.6.'da verilmiştir (Denghanpour, 2019).

Tablo 2.6. Piroliz işlemi sonrasında ortaya çıkan ortalama ürün miktarları

Ürün Tipi	Verim	Özellik
Karbon Siyahı	%20-28	N200-N330 Kalitesinde (ASTM)
Pirolitik Yağ	%40-48	10.000 kcal/m ³ kcal ısı değerinde, düşük kükürt içeriğine sahip
Pirolitik Gaz	%9-14	10.000 kcal/m ³ ısı değerinde
Çelik Tel	%9-14	Satışa Hazır Preslenmiş

Şekil 2.12.'de piroliz işleminin akış diyagramı ve piroliz yöntemiyle elde edilen ürünler verilmiştir (Denghanpour, 2019).

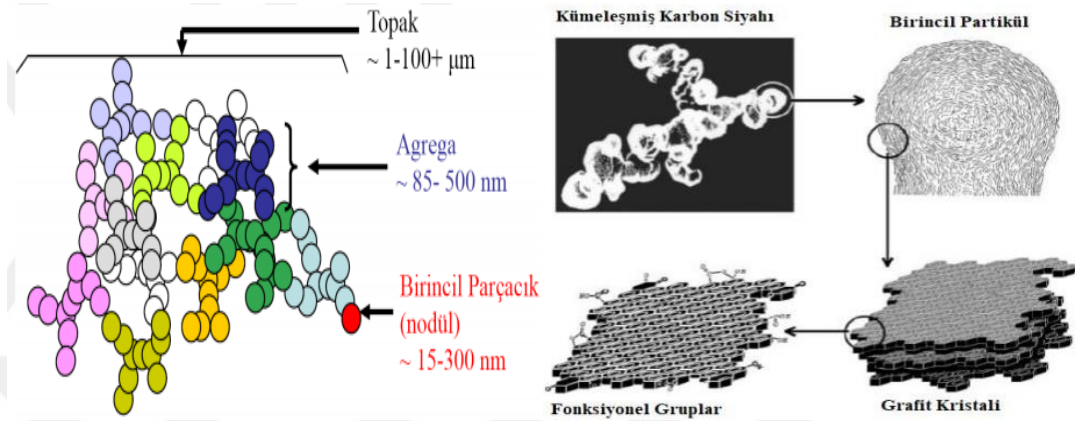


c) Karbon siyahı

Katı veya sıvı haldeki karbonlu hidrojenlerin kısmi yanması veya termik parçalanması ile elde edilen ince dağılmış yapıdaki karbon partiküllerine 'karbon siyahı' denilmektedir (Yozcu, 2019). Karbon siyahı üretim şekillerine göre termal, asetilen, fırın ve kanal siyahı olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır. Karbon siyahı koloidal boyutlarda ve yaklaşık olarak küresel parçacıkların bir araya gelmesiyle topaklanarak agrega şekline gelen elementel karbondan oluşmaktadır (Donnet ve ark., 1993). Şekil 2.13.'de karbon siyahının yapısı verilmiştir.

Karbon siyahı, birbirine yapışmış küresel taneciklerden ve karbon kristallerinden oluşmaktadır. Ayrıca karbon siyahı yapısal özellik bakımından grafit benzemektedir. Karbon siyahı spesifik olarak, birbirine paralel olarak istiflenmiş grafit benzer yapıdaki karbon taneciklerden oluşmaktadır. Grafitin yapısında olduğu gibi karbon

siyahının yapısında da atomlar tabakalar içerisinde belirli mesafelerle aromatik halka sistemini oluşturmaktadır. Atomlar arası mesafeler grafitin yapısında 0.335 nm iken bu mesafe karbon siyahında 0.335 nm'den büyüktür (Yozcu, 2019).



Şekil 2.13. Karbon siyahının yapısı (Long ve ark., 2013; Yozcu, 2019)

Karbon siyahının kullanımı milattan önce üçüncü yüzyıla dek uzanmaktadır. Bu tarihlerde karbon siyahı Hintliler ve Çinliler tarafından siyah mürekkep renklendiricisi olarak kullanılmıştır (Donnet ve ark., 1993). Karbon siyahının ticari olarak üretimi ise yaklaşık olarak yüz sene önce gerçekleşmiştir. Karbon siyahı genellikle mürekkeplerde, boyalarda, plastikte, araç lastiklerinde, kauçukta, kaplamalarda ve otomotiv ürünlerinde katkı veya takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır (Denghanpour, 2019).

Karbon siyahı içinde dağıldığı malzemenin mekanik, elektriksel ve optik özelliklerini modifiye ettiğinden plastiklerde, boyalarda ve mürekkeplerde kullanılmaktadır. Karbon siyahı plastik ile birleştirilerek kullanıldığında UV dayanımı ve elektriksel iletkenlik sağlamakta iken kauçukta kullanıldığında ise kauçuğun kırılma davranışını değiştirmekte ve aşınma özelliklerini iyileştirmektedir. Karbon siyahının %90'ı araba lastiğinin modülünü ve aşınma özelliklerini iyileştirmesi sebebiyle lastik sektöründe kullanılmaktadır. Ayrıca karbon siyahı lastiğin yırtılma dayanımına yardımcı olmaktadır (Donnet ve ark., 1993).

2.5. Betonda Karbon Siyahının Kullanımı

Taşdemir (1993), çimento yerine ağırlıkça %10 oranında kalker unu, karbon siyahı, silis unu, silis dumanı ve uçucu kül gibi beş ayrı mikrofiller malzeme kullanarak bu malzemelerin basınç dayanımına etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda silis dumanı katkılı betonlarda basınç dayanımının normal betona göre belirgin bir artış gösterdiğini, diğer malzemelerin ise basınç dayanımında belirgin bir etki oluşturmadığını bildirmiştir.

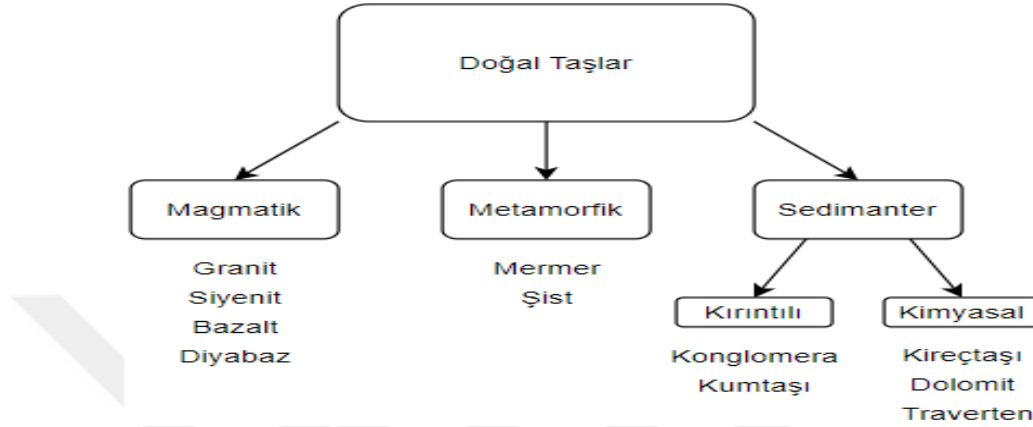
Ding ve ark. (2013), elektrik iletken malzemeler olarak nano karbon siyahını ve karbon fiberi betona eklemişler ve bu iki malzemenin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini ve betonun dirençteki fraksiyonel değişime etkisini incelenmiştir. Çalışma sonucunda nano karbon siyahı ve karbon fiber içeriğinin artmasıyla betonun basınç dayanımının arttığı, eğilme dayanımının ise karbon fiber içeriğinin artmasıyla arttığı fakat nano karbon siyahı içeriğinin artmasının eğilme dayanımı üzerinde çok az bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dirençteki fraksiyonel değişimin yükleme büyüklüğünün ve süresinin artmasıyla arttığı sonucuna varılmış ve elektrik iletken malzemelerin olası hasarlarının kendi kendine teşhis yeteneği üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir örnek doğrulanmıştır.

Uygunoğlu vd. (2018), karbon siyahını beton içerisine %0, 1, 2 ve 3 oranında ikame ederek betonun mekanik, fiziksel ve elektriksel iletkenlik özelliklerini araştırmışlardır. Karbon siyahının artan oranı ile su emme oranı ve porozitenin arttığı, birim hacim ağırlık, dayanım ve elektriksel iletkenliğin azaldığı gözlemlenmiştir.

2.6. Kandıra Taşı Tozu

İnsanların var oluşundan bugüne kadar doğal taşlar birçok alanda kullanılmıştır. Konaklama için taş barınaklar, ateşin kontrolü için çakmak taşı, savaş ve av için taş baltalar bu kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Ayrıca estetik görünümü ve dayanıklılığı nedeniyle doğal taşlar birçok sanatsal çalışmada, iç ve dış yapı kaplamalarında ve çeşitli yapılarda kullanılmıştır ve halen de kullanılmaya devam

edilmektedir. Günümüzde genellikle doğal taşlar %36 oranında zemin döşemelerinde, %24 oranında kaplama malzemesi olarak inşaat sektöründe ve %8 oranında da süs eşyası yapımında kullanılmaktadır. Doğal taşların kökenlerine göre sınıflandırılması Şekil 2.14.'de verilmiştir (Moralı, 2019).



Şekil 2.14. Doğal taşların kökenlerine göre sınıflandırılması

Kandıra Taşı, Kocaeli ili Kandıra ilçesinin Akçaova – Çerçili bölgeleri arasından çıkartılan krem – bej ve açık gri – pembe renkli bir doğal taş çeşididir. Kandıra Taşının makroskobik olarak incelenmesi sonucunda kökeninin sedimanter olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Kandıra Taşı, bileşiminde %90'ın üzerinde kalsit bulunduğu kireçtaşı grubuna girmektedir. Kandıra Taşı ekonomik uygunluğu ve kullanım alanının genişliğinden kaynaklı olarak tercih oranı yüksek doğal taşlardan bir tanesidir. Kandıra Taşı Beylerbeyi Sarayının restorasyonunda blok olarak, Topkapı Sarayının restorasyonunda, Kılıç Ali Paşa hamamının tadilatında, Teşvikiye ve Fatih camilerinin de restorasyonunda kullanılmıştır. Ayrıca Kandıra Taşı New York ve Türkiye'deki alışveriş merkezlerinin yapımında, konut yapımında, barbekü ve şömine yapımında da kullanılmıştır (Moralı, 2019).

Kandıra Taşı ile alakalı olarak Moralı (2019) tarafından yapılan bir çalışmada incelenen alana ait Kandıra Taşının net rezervi 40.8×10^6 ton olarak hesaplanmıştır. Fakat bu çalışma kapsamında incelenen alan dışında da Kandıra Taşı yayılımının devam ettiği belirtildiğinden net rezerv miktarının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Kandıra Taşı için bir yıldaki üretim miktarı 1000 m^3 tür. Üretim için kayıp %30'lara ulaşmaktadır. Üretimdeki kaybın bu kadar yüksek olmasının sebebi

işletmelerin yeterli bilgiye sahip olmaması, nitelikli eleman yetersizliği, gelişen teknolojiyi izleyememe ve bunların sonucunda tař ocaklarında ilkel metotların kullanımı olarak sıralanabilir. Bu kayıp oranını dūřürmek için yapılması gereken nitelikli eleman yetiştirmek ve ileri teknoloji ürünleri kullanmaktır (Yıldız, 2012). Ancak bugün için önemli olan Kandıra Taşının işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık malzemelerin hem çevrede sebep olduğu kirliliğin önüne geçmek hem de atık malzemelerin ekonomiye yeniden kazandırılmasını sağlamaktır.



şekil 2.15. Kandıra Taşının blok görünümü

Kandıra Taşının atölyelerde farklı ebat ve kalınlıkta bloklar halinde kesilmektedir. Bu kesim esnasında su kullanılarak kesim aletinin aşırı ısınması ve toz oluşması önlenmektedir. Bu işlem Kandıra Taşının kesiminde ortaya çıkan tozun suyla karışmasına neden olmaktadır. Ortaya çıkan sulu atık malzeme çöktürme kanallarından geçerek çöktürme havuzlarına taşınmaktadır ve daha sonra da boş arazilerde gelişigüzel bir şekilde depolanmaktadır. Gelişigüzel bir şekilde depolanan bu atık malzeme ise çevresel olarak birçok probleme sebep olabilmektedir.

Etrafa gelişigüzel bir şekilde bırakılan bu gibi atıkların çevrenin güzel görüntüsünü bozması, kuruyan malzemelerin havada uçuşarak hava kirliliğine sebep olması ve insan sağlığını etkilemesi, toprağın su emme kapasitesini azalttığı için toprak verimini

düşürmesi ve bitkisel yaşamı etkilemesi bu problemlere örnek olarak verilebilir (Yıldız, 2012). Bu atık malzemenin kurutularak toz haline getirilmesiyle ve bu toz halinin de bir kaynak olarak kullanılmasıyla hem bu atık malzemenin çevresel olarak sebep olduğu kirliliklerin azaltılması sağlanacak hem de atık olan bir malzemenin tekrar kullanılmasıyla ekonomik olarak bir kazanç elde edilecektir.



Şekil 2.16. Kandıra Taşının kesilmesi sırasında ortaya çıkan sulu atık malzeme

BÖLÜM 3. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, dünyadaki karbon salınımının yaklaşık %8'ine sebep olan ve dünyadaki toplam enerji miktarının yaklaşık %3'ünü kullanan çimentonun yerine çevre kirliliği, çevre sağlığı ve ekonomik kayıp oluşturan atık malzemelerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada, Kandıra Taşının kesilmesi ya da işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık çamurların kurutulmasıyla elde edilen Kandıra Taşı tozu ve atık lastiklerden piroliz yöntemiyle elde edilen nano karbon siyahı kullanılarak hem lifsiz betonlar hem de lifli betonlar üretilmiş ve bu üretilen betonlardaki atık malzemelerin betonun fiziksel ve mekanik performansı üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Geri dönüştürülmüş nano karbon siyahı ve atık Kandıra Taşı tozu, tüm serilerde beton karışımındaki çimento ile %5, %10 ve %15 oranlarında ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmış ve üretilen beton numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Lifli beton serileri için hacimce %0.5 ve %1 çelik lif kullanılmıştır. Tüm beton serilerinin su/çimento oranı 0.45 olmakla birlikte, beton üretiminde kimyasal katkı olarak %1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Karışım hesabı yapılırken belirlenen hedef basınç dayanımı C30/37'dir.

Deneyssel çalışma kapsamında 126 adet 10x10x10 cm boyutlu küp, 63 adet 10x10x3 cm boyutlu prizma, 63 adet 10x20 cm boyutlu silindir, 63 adet 10x10x40 cm boyutlu kiriş olmak üzere toplam 315 adet beton numune ve yaklaşık 496 lt beton üretilmiştir. Deneyssel çalışma, beton numune üretimi, numunelerin kürü ve kontrol deneyleri olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinde taze halde çökme tayini ve birim hacim ağırlık deneyi; sertleşmiş halde ise birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, kapiler su emme, görünen porozite ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca eğilme

dayanımı deneyindeki veriler yardımıyla üretilen tüm numunelerin eğilme toklukları hesaplanmıştır.

3.1. Malzeme

Beton numune üretiminde, özellikleri aşağıda verilen; çimento, agrega, nano karbon siyahı, Kandıra Taşı tozu, çelik lif, karışım suyu ve kimyasal katkı kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Deney numunelerinin üretiminde, Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasının Eskişehir fabrikasında üretilmiş olan Cem I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşim	Analiz Sonuçları (%)	Fiziksel Deneyler	Deney Sonuçları
SiO ₂	19,25	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,15
Al ₂ O ₃	4,27	Priz Başlangıç	2 saat 40 dk.
Fe ₂ O ₃	3,15	Priz Bitiş	-
CaO	63,15	% Su İhtiyacı	27
MgO	1,39	Hacim Genleşmesi	1 mm
SO ₃	3,61	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3790
Na ₂ O	0,44	Mekanik Özellikler	
K ₂ O	0,56		
Klorür Cl ⁻	0,041	Basınç Dayanımı (MPa)	
Kızdırma Kaybı	2,70	2.gün	28
Çözünmeyen Kalıntı	0,40	14.gün	-
Eşdeğer Alkali	0,81	28.gün	53,8

3.1.2. Agrega

Deney numunelerinin üretiminde, maksimum dane çapı 16 mm olan kırmataş ve maksimum dane çapı 4 mm olan kırma kum kullanılmıştır. Agregaların elek analizi deneyleri TS EN 933-1'e uygun olarak, yoğunluk tayini deneyleri ise TS EN 1097-6'ya uygun olarak yapılmıştır. Agregaların özgül ağırlık deney sonuçları ve deney numunelerinin üretiminde kullanılan karışım oranları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Agregaların özgül ağırlığı ve karışım oranları

Agrega	Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)	Karışım Oranları
Kırmataş (4-16 mm)	2,625	%55
Kırma kum (0-4 mm)	2,25	%45



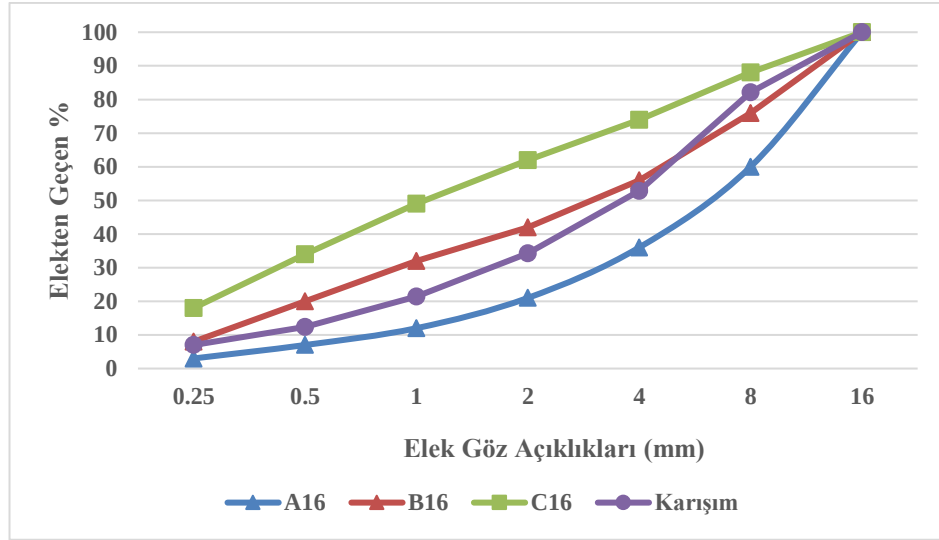
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan kırma kum (solda) ve kırmataş (sağda)

Agreganın beton üretimine uygun koşulları sağlaması amacıyla ideal granülometri için belirlenmiş olan maksimum ve minimum sınır eğrileri arasındaki bölgelere düşmesi gerekmektedir. Bu kapsamda maksimum ve minimum sınır eğrileri arasında A, B ve C olmak üzere üç sınır eğrisi tanımlanmıştır. Tablo 3.3.'de karışımın elek analiz deney sonuçları ve sınır eğrilerine ait değerler verilmiştir.

Tablo 3.3. Deney numunelerinde kullanılan agregaların elek analizi

Elek Göz Açıklıkları (mm)	Standart Granülometri Eğrileri			Deneyde Kullanılan Agregalar		Deneyde Kullanılan Karışım Agregası
	A16	B16	C16	Kırma kum	Kırmataş	
16	100	100	100	100	100	100
8	60	76	88	100	67,5	82,1
4	36	56	74	96,3	17,2	52,8
2	21	42	62	69	5,8	34,3
1	12	32	49	43,3	3,5	21,4
0.5	7	20	34	24,6	2,3	12,4
0.25	3	8	18	14,3	1,77	7

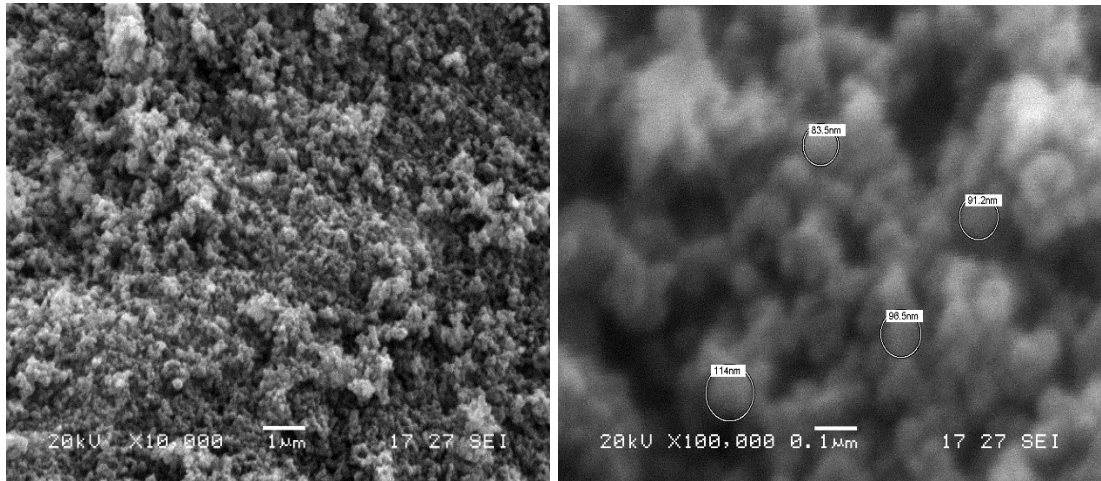
Elek analizi deneyi sonucu elde ettiğimiz karışım granülometri eğrisinin grafiği ve üç sınır eğrisinin grafiği Şekil 3.1.'de verilmiştir. Çalışmada kullanılacak karışım granülometrisi ideal (kullanılabilir) bölgede yer almaktadır.



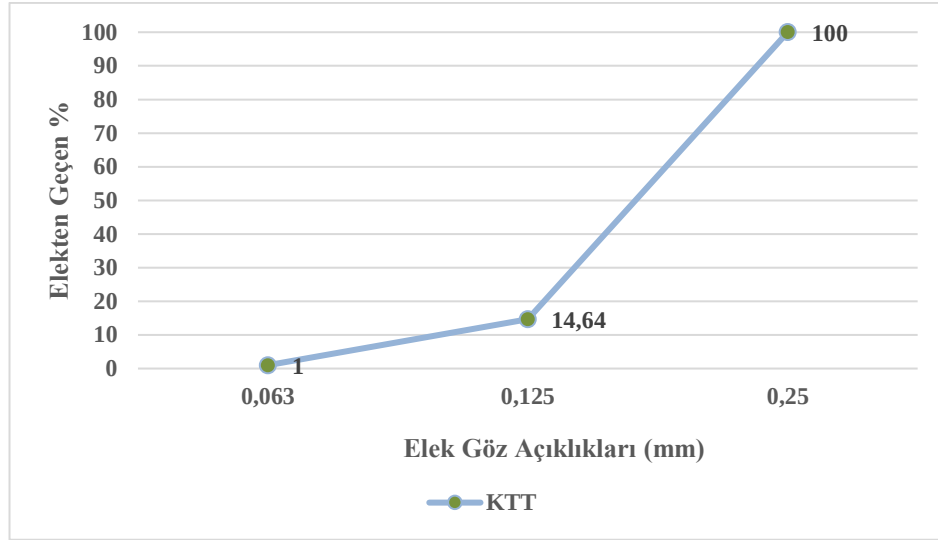
Şekil 3.2. Karışım granülometri eğrisi

3.1.3. Nano karbon siyahı

Deneysel çalışmada kullanılan nano karbon siyahı Kartepe Endüstriyel Geri Dönüşüm Sanayi ve Ticaret A.Ş. temin edilmiştir. Beton karışımlarında çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda yer değiştirilerek ikame edilen nano karbon siyahının, SEM görüntüleri Şekil 3.2.'de, EDS Analizi spektrumu Şekil 3.3.'de ve EDS analizi sonuçları Tablo 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan nano karbon siyahının SEM görüntüleri



Şekil 3.5. Kandıra Taşı tozunun granülometri eğrisi

Kandıra Taşı tozu olarak kullanılacak ürünün elde edildiği Kandıra Taşının fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.5.'de, kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.5. Kandıra Taşının fiziksel ve mekanik özellikleri (Moralı, 2019)

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	
Gerçek Yoğunluk (gr/cm ³)	2.776	Aşınma Dayanımı (mm)	23.5
Görünür Yoğunluk (gr/cm ³)	2.242	Basınç Dayanımı (MPa)	48
Toplam Gözeneklilik (%)	19.21	Kopma Enerjisi (J)	3.96
Açık Gözeneklilik (%)	12.17	Knoop Sertliği	78
Ağırlıkça Su Emme (%)	5.8	Mohs Sertliği	2.5-3
Kılcal Su Emme (gr/m ² .s ^{0.5})	20.53	Eğilme Dayanımı (MPa)	7.5
Pürüzlülük (mm)	2.732	Bükülme Dayanımı (MPa)	11.4

Tablo 3.6. Kandıra Taşının kimyasal analiz sonuçları (Moralı, 2019)

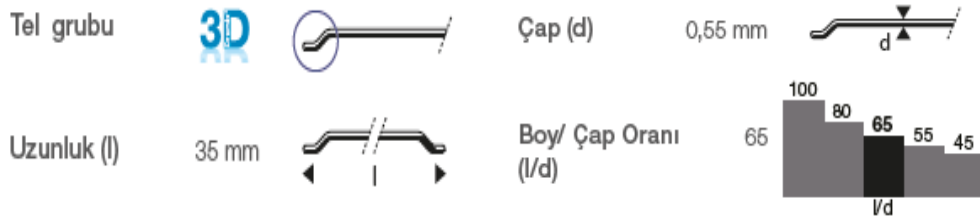
İçerik	Dağılım Yüzdeleri (%)
SiO ₂	4,87
Al ₂ O ₃	1,12
Fe ₂ O ₃	1,92
CaO	90,27
MgO	1,13

3.1.5. Çelik lif

Deneyssel çalışmada kullanılan çelik lif, Bekaert firmasından temin edilmiştir. Çelik lif, DRAMİX 3D 65/35BG ticari adı ile piyasada bulunmaktadır. Bu lif, çelik lif donatılı betonlarda yüksek performans, dayanıklılık ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Birbirlerine beton içerisinde homojen dağılımı sağlayan ve suda kolayca çözünebilen özel tutkalla yapıştırılmış demetler şeklinde bulunan çelik lifin ilgili teknik özellikleri Tablo 3.7.'de ve geometrik özellikleri ise Şekil 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.7. Deneyde kullanılan lifin teknik özellikleri

Lif Tipi	Çelik
Uzunluk (l)	35 mm
Çap (d)	0.55 mm
Narinlik (l/d)	65
Yoğunluk (gr/cm³)	7.85
Nominal Çekme Dayanımı (MPa)	1345
Elastisite Modülü (MPa)	200000



Şekil 3.6. Çelik lifin geometrik özellikleri

3.1.6. Karışım suyu

Deney numunelerinin üretiminde, karışım suyu olarak TS EN 1008'de belirtildiği gibi içilebilir nitelikteki şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.7. Kimyasal katkı

Betondan istenilen işlenebilmeyi elde etmek amacıyla kullanılan kimyasal akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olarak CHRYSO firmasının üretimi olan CHRYSO

RD 40 süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır ve katkı malzemesinin teknik özellikleri Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Kimyasal katkının teknik özellikleri

Görünüm	Sıvı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.075 ± 0.02
pH	7.0 ± 1
Klorür İçeriği (%)	<%0.1

3.2. Metot

Bu bölümde beton karışım hesabı, numunelerin üretimi, kalıplanması ve kürü ile taze ve sertleşmiş beton üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar hakkında bilgiler yer almaktadır.

3.2.1. Beton karışım hesabı

Karışım hesabı yapılırken TS EN 206, TS 10514 ve TS 802'de önerilen sınır değerler kullanılmıştır. Üretimi yapılacak betonun TS EN 206'ya göre XF3 çevresel etki sınıfına göre tasarımı yapılmıştır. Bu etki sınıfının minimum çimento dozajı 320 kg/m³, minimum dayanım sınıfı C30/37, minimum hava içeriği %4 ve maksimum su/çimento oranı 0.5'tir. TS 10514'e göre ise minimum çimento dozajı 320 kg/m³, maksimum su/çimento oranı 0.55 ve minimum karakteristik basınç dayanım 20 MPa olmalıdır. Ayrıca TS 10514'e göre ince agrega miktarı, toplam agrega kütlelerinin %40 - %45'i olacak şekilde seçilmelidir.

Beton karışım hesabı TS EN 206 ve TS 10514'te verilen sınır değerler de dikkate alınarak TS 802'ye göre yapılmıştır. Deneysel çalışma için C30/37 dayanım sınıfı seçilmiştir. C30/37 dayanım sınıfı için sırasıyla silindir numunede hedef basınç dayanım 36 MPa, hedef dayanıma göre standartın tavsiye ettiği su/bağlayıcı oranı ise 0.45'tir. Deneysel çalışmada hazırlanan tüm beton karışımları için bağlayıcı (çimento, çimento + KTT, çimento + NKS) miktarı 475 kg olup, su/bağlayıcı oranı 0.45'te sabit tutulmuştur. Bütün karışımlardaki agrega oranları %55 iri agrega ve %45 ince agrega

olarak belirlenmiştir. Karışımın hava içeriği %4 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca karışımlarda bağlayıcı malzeme miktarının %1.5’u oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak çimentonun dışında çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozu kullanılmıştır. Lifli beton serileri için hacimce %0.5 ve %1 çelik lif kullanılmıştır.

Karışım hesabı TS 802’de verilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Belirlenen bağlayıcı, su ve hava hacimleri toplamının 1 m^3 ’ten çıkarılmasıyla gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış ve daha sonra karışımda kullanılan tüm malzemelerin ağırlıkları bulunmuştur. Bir m^3 beton üretimi için gerekli malzeme miktarları Tablo 3.9.’da verilmiştir.



Şekil 3.7. Karışımda kullanılan bağlayıcı malzemeler (KTT, NKS ve Çimento)

3.2.2. Kodlama

Deneydeki tüm parametreler dikkate alınarak üretilen 21 farklı beton serisinin hem deneysel çalışma hem de elde edilen sonuçları açıklama ve yorumlama sırasında daha kolay ve anlaşılır olması amacıyla kodlama kullanılmıştır. Kodlamada “N”- Referans Numuneyi, “NKS”- Nano Karbon Siyahını, “KTT”- Kandıra Taşı Tozunu, “5”, “10”, “15” rakamları da sırasıyla çimento yerine ağırlıkça yer değiştirme oranını ve son olarak “A”, “B”, “C” harfleri de sırasıyla %0, %0.5, %1 çelik lif oranını ifade etmektedir.

Bu kodlamalara örnek olarak; KTT5-B kodlu numunede, KTT5 ifadesi, çimentonun yerine ağırlıkça %5 Kandıra Taşı tozu ilave edildiğini, B harfi de %0.5 çelik lif içerdiğini ifade etmektedir. N-C kodlu numunede ise, N ifadesi, referans numuneyi, C harfi de %1 çelik lif içerdiğini ifade etmektedir.

Tablo 3.9. Bir m³ beton karışımı için malzeme miktarları

Numune Kodu	Kırma kum (0-4 mm) (kg)	Kırma taş (4-16 mm) (kg)	Çimento (kg)	NKS (kg)	KTT (kg)	Su (kg)	Çelik Lif (kg)	SA (kg)
N-A	698.24	882.83	475	0	0	213.75	0	7.125
KTT5	698.24	882.83	451.25	0	23.75	213.75	0	7.125
KTT10	698.24	882.83	427.5	0	47.5	213.75	0	7.125
KTT15	698.24	882.83	403.75	0	71.25	213.75	0	7.125
NKS5	698.24	882.83	451.25	23.75	0	213.75	0	7.125
NKS10	698.24	882.83	427.5	47.5	0	213.75	0	7.125
NKS15	698.24	882.83	403.75	71.25	0	213.75	0	7.125
N-B	692.36	875.40	475	0	0	213.75	39	7.125
KTT5-B	692.36	875.40	451.25	0	23.75	213.75	39	7.125
KTT10-B	692.36	875.40	427.5	0	47.5	213.75	39	7.125
KTT15-B	692.36	875.40	403.75	0	71.25	213.75	39	7.125
NKS5-B	692.36	875.40	451.25	23.75	0	213.75	39	7.125
NKS10-B	692.36	875.40	427.5	47.5	0	213.75	39	7.125
NKS15-B	692.36	875.40	403.75	71.25	0	213.75	39	7.125
N-C	686.49	867.97	475	0	0	213.75	78	7.125
KTT5-C	686.49	867.97	451.25	0	23.75	213.75	78	7.125
KTT10-C	686.49	867.97	427.5	0	47.5	213.75	78	7.125
KTT15-C	686.49	867.97	403.75	0	71.25	213.75	78	7.125
NKS5-C	686.49	867.97	451.25	23.75	0	213.75	78	7.125
NKS10-C	686.49	867.97	427.5	47.5	0	213.75	78	7.125
NKS15-C	686.49	867.97	403.75	71.25	0	213.75	78	7.125

3.2.3. Numunelerin üretimi, kalıplanması ve kürü

Numunelerin üretiminde, 56 lt kapasiteye sahip pan tipi mikser kullanılmıştır. Lifsiz beton üretim işlemi dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak iriden inceye doğru olmak üzere agregalar miksere dökülmüş ve 30 sn karıştırılmıştır. Ardından bağlayıcı (çimento, çimento + NKS, çimento + KTT) miksere dökülmüş ve 30 sn karıştırılmıştır. Üçüncü aşamada karma suyunun ½'si miksere eklenmiş ve karıştırılmıştır. Son

aşamada ise karma suyunun $\frac{1}{2}$ 'sine akışkanlaştırıcı katkı da ilave edilerek miksere eklenmiş ve bileşenlerin gözlemsel bakımdan düzgün olarak dağılımı gerçekleşene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Lifli beton üretim işlemi de dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak iriden inceye doğru olmak üzere agregalar miksere dökülmüş ve 30 sn karıştırılmıştır. Ardından bağlayıcı (çimento, çimento + NKS, çimento + KTT) miksere dökülmüş ve 30 sn karıştırılmıştır. Üçüncü aşamada karma suyunun $\frac{1}{2}$ 'si karışıma eklenip karıştırma işlemine devam edilirken çelik lifler karışıma eklenmiştir. Son aşamada ise karma suyunun $\frac{1}{2}$ 'sine akışkanlaştırıcı katkı da ilave edilerek miksere eklenmiş ve bileşenlerin gözlemsel bakımdan düzgün olarak dağılımı gerçekleşene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Hazırlanan taze beton karışımları daha önceden temizlenmiş ve kalıp yağı ile yağlanmış kalıplara iki aşamada doldurulmuştur. Kalıpların ilk yarısı doldurulduktan sonra şişleme çubuğu yardımıyla şişlenerek sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıbın ikinci yarısında da aynı işlem yapıldıktan sonra çelik mala yardımıyla tesviye işlemi gerçekleştirilmiştir. Her karışımdan 10x10x10 cm boyutlarında toplam altı tane küp numune, 10x20 cm boyutlarında 3 tane silindir numune, 10x10x40 cm boyutlarında 3 tane prizmatik numune ve 10x10x3 cm boyutlarında 3 tane prizmatik numune üretilmiştir.

Bütün numuneler üzerlerine gerekli bilgiler etiketlenerek, laboratuvar ortamında yeterli sertliğe ulaşmaya kadar kalıplarda bekletilmiştir. Yeterli sertliğe ulaştıktan sonra kenar ve köşeleri kırılmayacak şekilde kalıplardan çıkartılmış, içilebilir nitelikteki şehir şebeke suyu ile doldurulmuş havuzda küre tabi tutulmuştur. 14.günde deney yapılacak numuneler 7 gün kür edildikten sonra, 28. günde deney yapılacak numuneler ise 21 gün kür edildikten sonra kür havuzundan çıkartılmış ve kuruması için laboratuvar ortamında bekletilmiştir.



Şekil 3.8. Numunelerin kür havuzuna yerleştirilmesi ve oda sıcaklığında kurutulması

3.2.4. Taze beton deneyleri

Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilerek kullanılan nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozunun lifsiz ve lifli betonların çökme tayinine ve birim ağırlık değerlerine olan etkilerini araştırmak amacıyla üretilen numunelere taze haldeyken çökme ve birim ağırlık deneyleri uygulanmıştır.

3.2.4.1. Çökme (slump) tayini

Deneyisel çalışma kapsamında, su miktarları ve süper akışkanlaştırıcı katkı miktarları sabit tutularak üretilen numunelerin taze haldeki çökme miktarları TS EN 12350-2'ye uygun olarak belirlenmiştir. Taze haldeki karışım, kesik huni şekilli abrams konisine eşit kalınlıkta üç tabaka halinde doldurulmuş ve her doldurulan tabaka 25 defa şişleme çubuğu yardımıyla şişlenerek sıkıştırılmıştır. Doldurma işleminde sonra huninin üst yüzeyi mala yardımıyla tesviye edilmiştir. Bu işlemten sonra abrams konisi düşey şekilde yukarı doğru çekilip beton karışımının yanına dik bir şekilde yerleştirilmiş ve kalıbın üst seviyesi ile taze betonun yayılmış haldeki en yüksek mesafesi arasında mesafe ölçülerek betonun çökme değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Taze betonda çökme deneyi

3.2.4.1. Birim hacim ağırlık

Numunelerin taze haldeki birim ağırlık deneyleri TS EN 12350-6'ya uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Birim ağırlık deneyine başlamadan önce deneylerde kullanılacak kalıplar tartılmış ve kalıpların kütlesinin ortalaması belirlenmiştir. Deneyde kullanılan 10x20 cm kalıplara taze betonlar iki tabaka halinde şişleme çubuğu yardımıyla sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi yapıldıktan sonra çelik mala yardımıyla kalıbın üst kısmında tesviye işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak içi beton dolu olan kalıplar tartılarak, taze betonların birim hacim ağırlıkları Denklem 3.1 yardımıyla belirlenmiştir. Taze birim hacim ağırlık deneyinde her bir seri için 3 adet 10x20 cm boyutlarında silindir numune kullanılmış ve her bir numune için ayrı ayrı birim hacim ağırlık hesabı yapıldıktan sonra bu üç değer aritmetik ortalaması alınarak o serinin taze birim hacim ağırlığı belirlenmiştir.

$$B.H.A = \frac{P}{V} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de, $B.H.A$; taze betonun birim hacim ağırlığını (kg/m^3), P ; taze betonun ağırlığını (kg) ve V ; kalıp hacmini (m^3) ifade etmektedir.

3.2.5. Sertleşmiş beton deneyleri

Tüm beton serilerinde, fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde; birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, kapiler su emme, görünen porozite ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.1. Birim hacim ağırlık

10x20 cm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde 28. günde TS EN 12390-7'ye uygun olarak birim hacim ağırlık deneyi gerçekleştirilmiştir. Kür havuzundan 21. günde çıkartılan numuneler hava ortamında kurutulduktan sonra 28. günde hassas terazi yardımıyla tartılarak ağırlıkları tespit edilmiş ve numunenin düzgün yüzeyli olduğu kabul edilerek terazi yardımıyla tartılan ağırlığın numunenin hacmine bölünmesiyle birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Birim hacim ağırlık her bir seride üretilen 10x20 cm boyutlarındaki 3 silindir numune üzerine uygulanmıştır. 3 numunenin birim hacim ağırlıkları ayrı ayrı tespit edildikten sonra bu üç değer aritmetik ortalaması alınarak o serinin birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Birim hacim ağırlık hesabında Denklem 3.2'den yararlanılmıştır.

$$B.H.A = \frac{P}{V} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de, $B.H.A$; taze betonun birim hacim ağırlığını (kg/m^3), P ; numune ağırlığını (kg) ve V ; numune hacmini (m^3) ifade etmektedir.

3.2.5.2. Ultrases geçiş hızı

Ultrases geçiş hızı deneyi, alıcı ve verici probalar arasında ultrases dalgalarının numuneler içerisinden geçiş süresinin ve hızının tespit edilmesi amacıyla TS EN 12504-4'e ve ASTM C 597-16'ya uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ultrases geçiş hızı

değerleri ile betonun basınç dayanımı değerleri arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak ultrases geçiş hızı betonun boşluğu ve yoğunluğu ile ilişkilidir. Boşluksuz ve yoğun üretilmiş betondan ultrases dalgaların geçiş süresi daha kısadır. Ultrases dalgalarının geçiş süresinin daha kısa olması da betonun dayanım ve dayanıklılığının daha yüksek olduğu hakkında bilgi vermektedir. Böylece dolaylı olarak beton basınç dayanımı ultrases geçiş hızı yöntemiyle belirlenebilir. Ultrases geçiş hızıyla beton kalitesi arasındaki ilişki Tablo 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Ultrases geçiş hızı deneyleri

Tablo 3.10. Ultrases geçiş hızı beton kalitesi arasındaki ilişki (Güner, 1999)

Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Beton Kalitesi
<2	Çok Zayıf
2-3	Zayıf
3-3.5	Şüpheli
3.5-4.5	İyi
>4.5	Çok İyi

Çalışmada, ilk olarak numunenin ölçüm yapılacak yüzeyleri temizlenmiştir. Ultrases geçiş sürelerinin ölçülmesinde numune yüzeylerindeki pürüzlerin oluşturduğu boşluklardan dolayı oluşacak ses kaybını önlemek amacıyla alıcı ve verici problemlerin yüzeylerine gres yağı sürülmüştür. Daha sonra alıcı ve verici problemler numunenin düzgün yüzeylerine yerleştirilerek, ses geçiş süresi direkt okuma ve yarı direkt okuma metodu uygulanarak cihaz ekranından okunmuştur. Ultrases geçiş hızı Denklem 3.3

yardımıyla hesaplanmıştır. Ultrases geçiş hızı deneyi, her bir seride üretilen 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde 14. ve 28. günde gerçekleştirilmiştir. Deneyde 14.günde üç numune ve 28. günde üç numune olmak üzere her bir numunenin ultrases geçiş süresi ayrı ayrı cihaz ekranından okunmuş ve 14. ve 28. gündeki bu üç değer toplanıp ortalaması alınarak o serinin 14. ve 28. günündeki ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir.

$$v = \frac{l}{t} \times 10^6 \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te, v ; ultrases geçiş hızını (km/sn), l ; alıcı prob ve verici prob arasındaki mesafeyi (mm) ve t ; alıcı prob ve verici prob arasında sesin geçiş süresini (μs) ifade etmektedir.

3.2.5.3. Basınç dayanımı

Basınç deneyi, 300 tonluk basınç presinde 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numunelerine 14. ve 28. günlerde TS EN 12390-3'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler test cihazına yükleme yönü numunelerin kalıp içinde kalan yüzeylerine gelecek şekilde yerleştirilmiş ve numune boyutları cihaz ekranından seçilmiştir. Cihaz tarafından yükleme hızı otomatik olarak 3 kN/sn seçilerek numuneler üzerinde basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney tamamlandığında numuneye ait kırılma yükü değeri ve kırılma yükünün, numunenin basınca maruz kalan yüzey alanına oranlanmasıyla elde edilen basınç dayanımı değeri cihaz ekranından okunmuştur.

Basınç dayanımı deneyi her bir seri için 14.günde 3'er numune ve 28. günde 3'er numune üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve bu üç değer aritmetik ortalaması alınarak o serinin 14. ve 28. gündeki basınç dayanımı elde edilmiştir. Basınç dayanımı hesabında Denklem 3.4'ten yararlanılmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te, σ ; basınç dayanımını (N/mm^2), P ; numunenin kırılma anındaki yükünü (N) ve A ; numunenin basınca maruz kalan yüzey alanını (mm^2) ifade etmektedir.



Şekil 3.11. Basınç dayanımı deneyi

3.2.5.4. Yarmada çekme dayanımı

Çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanmasıyla çekme dayanımının tespit edildiği bu yöntem, yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilen silindir numunelerin alt ve üst kısmına yerleştirilen çelik plakalara dik yönde basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yük arttıkça oluşan çekme gerilmeleri sebebiyle numune çelik plakalar eksenî boyunca yarılarak göçmektedir. Uygulanan gerilme iki yönlü olduğundan asıl çekme dayanımından daha büyük değerler elde edilmektedir.

Numunelerin yarmada çekme dayanımı deneyi, 300 tonluk basınç presinde 10x20 cm boyutlarındaki silindir numunelere 28. günde TS EN 12390-6'ya uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler deneyde 3 kN/sn sabit yükleme hızıyla yüklenmiştir.

Deneyde her bir karışım serisi için üç numune kullanılmış ve bu üç numunenin yarmada çekme dayanımları Denklem 3.5 yardımıyla ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrı ayrı hesaplanan yarmada çekme dayanımlarının aritmetik ortalaması alınarak o seriye ait yarmada çekme dayanımı elde edilmiştir.

$$f_{cts} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot l \cdot d} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te, f_{cts} ; yarmada çekme dayanımını (N/mm^2), P ; maksimum yük değerini (N), l ; numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğunu (mm) ve d ; numunenin seçilen enkesit boyutunu (mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.12. Yarmada çekme dayanımı deneyi

3.2.5.5. Su emme

Beton numunelerin su emme deneyi, 10x10x3 cm boyutlarındaki prizmatik numuneler üzerinde TS EN 480-11'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numuneler 24 saat boyunca etüvde 105 °C'de kurutulmuştur. Etüvden çıkartıldıktan sonra numuneler hassas terazi yardımıyla tartılarak etüv kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler 24 saat boyunca su içinde bekletildikten sonra su içinden çıkartılıp yüzeyleri bir bez yardımıyla kurutulduktan sonra hassas terazi ile tartılmış ve kuru yüzey doygun ağırlıkları kaydedilmiştir. Her

karışım serisinden iki numune üzerinde su emme deneyi gerçekleştirilmiş ve bu iki numunenin deney sonuçlarının aritmetik ortalaması alınarak o seriye ait ağırlıkça su emme oranı hesaplanmıştır. Numunelerin ağırlıkça su emme oranları Denklem 3.6 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S_A = \frac{W_{kyd} - W_{ek}}{W_{ek}} \times 100 \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da S_A ; ağırlıkça su emme oranı (%), A_{kyd} ; kuru yüzey doygun ağırlık(gr) ve A_{ek} ; etüv kurusu ağırlık (gr) olarak ifade edilmektedir.

3.2.5.6. Kapiler su emme

Kapiler su emme, su ile temas eden beton yüzeylerde suyun kılcallık etkisiyle betonun kapiler boşluklarından ilerlemesi olayıdır ve betonun geçirimliliği hakkında bilgi almak amacıyla yapılmaktadır. Kapiler su emme deneyi ASTM C1585-13'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri laboratuvar ortamında belirli bir süre kurutulduktan sonra numunelerin alt yüzeyleri hariç diğer 5 yüzeyi havadaki nemden korunmak amacıyla alüminyum folyoyle kaplanmıştır. Plastik bir kap içerisine su doldurularak bir havuz oluşturulmuştur. Daha sonra plastik havuzun içine destekler konularak numuneler alt yüzeyi suyla 2 ± 1 mm temas edecek şekilde desteklerin üzerine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen numunelerin birbiri ile temas etmeden kapiler su emmesi sağlanmıştır. Her numune 15., 30., 60., 120, 180., 360. ve 720. dakikada sudan çıkarılmış ve suyla temas eden yüzeyleri bir bez yardımıyla silinerek hassas terazide tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Kapiler su emme deneyi, her bir seri için üç numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve üç numunenin deney sonuçlarının aritmetik ortalaması alınarak o seriye ait kapiler su emme değeri hesaplanmıştır. Numunelerin kapiler su emme katsayısı ise Denklem 3.7 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$k_c = (Q/A)^2 \times (1/t) \quad (3.7)$$

Denklem 3.7’de, k_c ; kapiler su emme katsayısı (cm^2/sn), Q ; t zaman aralığında ölçülen su miktarı (cm^3), A ; kapiler yüzey alanı (cm^2) ve t ; ölçüm aralığı süresi olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.13. Kapiler su emme deneyi

3.2.5.7. Görünen porozite

Numunelerin porozite deneyi, 10x10x3 cm boyutlarındaki prizmatik numuneler üzerinde TS EN 772-4’e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak numuneler su içinde 24 saat bekletildikten sonra su içinden çıkartılıp yüzeyleri bir bez yardımıyla kurutularak tartılmış ve böylece kuru yüzey doymun ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra kuru yüzey doymun haldeki numunelerin Arşimet terazisi yardımıyla su içindeki ağırlıkları belirlenmiştir. Son olarak numuneler etüvde 105 °C’de 24 saat kurutulmuştur. Her karışım serisinden iki numune üzerinde porozite deneyi gerçekleştirilerek deney sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmış ve böylece o seriye ait porozite değeri elde edilmiştir. Denklem 3.8 yardımıyla numunelerin görünen porozite oranları hesaplanmıştır.

$$p = \frac{W_{kyd} - W_{ek}}{W_{kyd} - W_{su}} \times 100 \quad (3.8)$$

Denklem 3.8’de, p ; porozite (%), W_{kyd} ; kuru yüzey doygun ağırlık (gr), W_{ek} ; etüv kurusu ağırlık (gr) ve W_{su} ; su içindeki ağırlık (gr) olarak ifade edilmektedir.

3.2.5.8. Eğilme dayanımı

Numunelerin eğilme dayanımı deneyi, 10x10x40 cm boyutlarındaki prizmatik numuneler üzerinde 28. günde TS EN 12390-5’e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyi bilgisayar donanımlı, yük – sehim grafiğini otomatik olarak çizebilen ve kayıt alma imkânı sunan, 50 kN kapasiteli deney cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyde iki mesnet arası açıklık tüm numuneler için 36 cm olarak ayarlanmıştır. Daha sonra deney numuneleri mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve numuneye kirişin tam orta noktasından yük uygulanarak numuneler eğilmeye tabi tutulmuştur. Eğilme dayanımı deneyi her bir seriden üç numune üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve deney sonuçlarının aritmetik ortalaması alınarak o seriye ait eğilme dayanımı elde edilmiştir. Deney tamamlanınca maksimum kırılma yükü değeri cihazdan okunmuş ve tüm serilerde eğilme dayanımı Denklem 3.9 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{eğilme} = \frac{M}{W} = \frac{(P/l)/4}{(b/h)^2/6} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’da $\sigma_{eğilme}$; eğilme dayanımı (N/mm²), M ; maksimum eğilme momenti (mm) ve W ; mukavemet momenti (mm) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.14. Eğilme dayanımı deneyi

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Nano karbon siyahının ve Kandıra Taşı tozunun çimento ile %5,%10 ve %15 oranlarında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle betonların taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerinin gösterdiği değişimin incelendiği bu çalışmada, kodlaması ve içerikleri 3. bölümde verilen tüm seriler için %0, %0.5 ve %1 oranlarında çelik lif kullanılmıştır. Betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerinin gösterdiği değişim için numuneler üzerinde, çökme (slump) tayini, birim hacim ağırlık, su emme, görünen porozite, ultrases geçiş hızı, kılcal su emme, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı gibi kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca eğilme dayanımı deneyindeki veriler yardımıyla üretilen tüm numunelerin eğilme toklukları hesaplanmıştır. Bu bölümde, deneysel çalışmaların sonuçları grafikler ve tablolar halinde sunularak referans numuneler ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

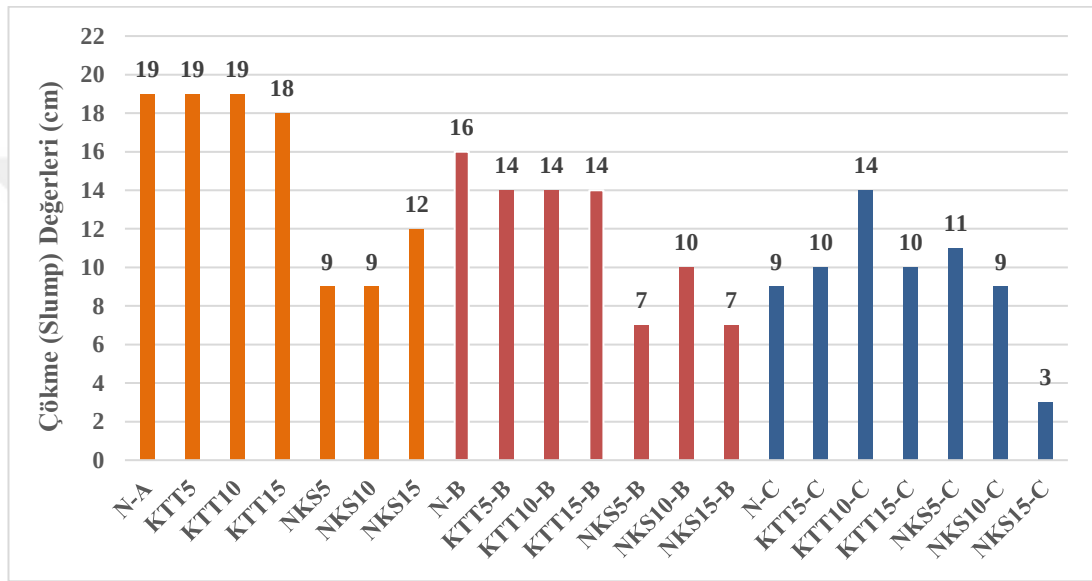
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

4.1.1. Çökme (Slump) deneyi

Nano karbon siyahının ve Kandıra Taşı tozunun çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmesiyle üretilen çelik lifsiz ve çelik lifli beton numuneleri üzerinde çökme değerlerini belirlemek üzere tüm numunelerin su miktarları ve süper akışkanlaştırıcı katkı miktarları sabit tutularak TS EN 12350-2'ye uygun olarak çökme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çökme değerlerine göre sınıflandırma metodu mevcut yürürlükteki standart olan TS EN 206:2013+A1'e göre Tablo 4.1.'de verilmiştir. Şekil 4.1.'de ise çökme deneyi sonucunda elde edilen çökme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. TS EN 206:2013+A1'e göre çökme sınıfları

Sınıf	Çökme (cm)
S1	1 - 4
S2	5 - 9
S3	10 - 15
S4	16 - 21
S5	≥22



Şekil 4.1. Çökme deneyi sonucunda elde edilen çökme (slump) değerleri

Şekil 4.1.'de verilen değerler incelendiğinde, çelik lifsiz numunelerde çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen Kandıra Taşı tozunun çökme değerleri %5 ve %10'da şahit numunenin çökme değerleri ile aynı iken %15'de ise şahit numunenin çökme değerinden %5.3 daha azdır. Tablo 4.1.'de verilen çökme sınıfları incelendiğinde şahit numune ve çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen Kandıra Taşı tozunun S4 çökme sınıfında yer aldığı gözükmemektedir. Yani çelik lif içermeyen numunelerde Kandıra Taşı tozunun işlenebilirlik üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır.

Çelik lifsiz numunelerde çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen nano karbon siyahının çökme değerleri ise şahit numunenin çökme değerlerine göre %5 ve %10'da %52.6, %15'de ise %36,8 azalmıştır. Tablo 4.1.'de

verilen çökme sınıfları incelendiğinde ise ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında nano karbon siyahı içeren numunelerin %5 ve %10'da S2 ve %15'de ise S3 çökme sınıfında yer aldığı gözükmemektedir. Yani çelik lif içermeyen numunelerde nano karbon siyahı işlenebilirliği azaltmaktadır.

Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde, çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin çökme değerleri hacimce %0.5 çelik lif içeren referans numunenin çökme değerlerine göre %12.5 azalmıştır. Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 nano karbon siyahı içeren numunelerin çökme değerleri ise hacimce %0.5 çelik lif içeren referans numunenin çökme değerine göre %5 ve %15'de %56.3, %10'da ise %37.5 azalmıştır. Ayrıca Tablo 4.1.'de verilen çökme sınıfları incelendiğinde Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının hacimce %0.5 çelik lif içeren numunenin işlenebilirliğini azalttığı sonucuna varılmıştır.

Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde ise çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin çökme değerleri hacimce %1 çelik lif içeren şahit numunenin çökme değerlerine göre %5 ve %15'de %11.1, %10'da ise %55.6 artmıştır. Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 nano karbon siyahı içeren numunelerin çökme değerleri ise hacimce %1 çelik lif içeren numunenin çökme değerlerine göre %5'de %22.2 artarken, %10'da herhangi bir değişim göstermemiş ve %15'de ise %66.7 azalmıştır. Tablo 4.1.'de verilen çökme sınıfları incelendiğinde Kandıra Taşı tozunun hacimce %1 çelik lif içeren numunenin işlenebilirliğini arttırdığı, nano karbon siyahında ise çimento yerine ağırlıkça %5 nano karbon siyahı eklendiğinde işlenebilirliğin arttığı, %10'da işlenebilirlikte herhangi bir değişim meydana gelmediği ve %15'de ise işlenebilirliğin azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca hacimce %1 çelik lifli serideki %15 nano karbon siyahı içeren serinin işlenebilirliğinin diğer tüm numune serilerinin işlenebilirliğine göre çok daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; çelik lifsiz numunelerde Kandıra Taşı tozunun işlenebilirlik üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmamakla birlikte hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde işlenebilirliği azalttığı ve %1 çelik lif içeren numunelerde ise işlenebilirliği arttırdığı

sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı ise çelik lifsiz numunelerde ve hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde işlenebilirliği azaltırken hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde %5'te işlenebilirliği arttırmış, %15'te işlenebilirliği azaltmış ve %10'da ise işlenebilirlik üzerinde belirgin bir etki oluşturmamıştır. Ayrıca çelik lif hacmi arttıkça işlenebilirliğin azaldığı görülmüştür.

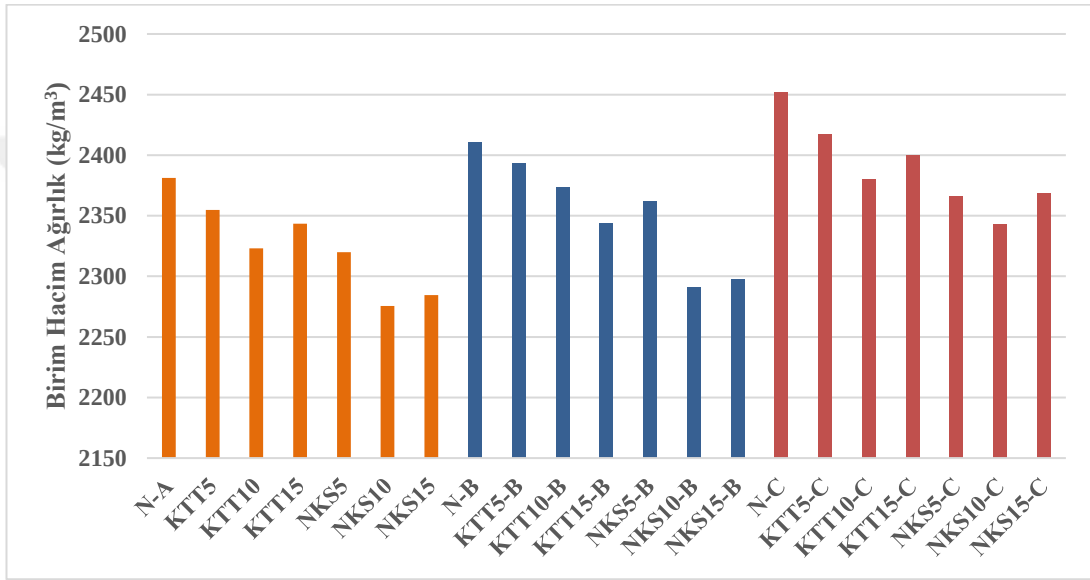
4.1.2. Birim hacim ağırlık

Nano karbon siyahının ve Kandıra Taşı tozunun çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilmesiyle üretilen çelik lifsiz ve çelik lifli beton numunelerinin taze birim hacim ağırlıkları TS EN 12350-6'ya uygun olarak belirlenmiştir. Çelik lifsiz ve çelik lifli beton numunelerinden elde edilen taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri Tablo 4.2.'de verilmiştir. Ayrıca çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık değerlerinin yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Taze ve sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlık değerleri

Numune Kodu	Taze Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Değişim (%)	Sertleşmiş Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Değişim (%)
N-A	2381,1	100,0	2354,6	100,0
KTT5-A	2354,7	98,9	2316,1	98,4
KTT10-A	2323,0	97,6	2300,5	97,7
KTT15-A	2343,5	98,4	2299,2	97,6
NKS5-A	2319,8	97,4	2313,2	98,2
NKS10-A	2275,6	95,6	2265,4	96,2
NKS15-A	2284,4	95,9	2270,0	96,4
N-B	2410,4	101,2	2384,1	101,3
KTT5-B	2393,6	100,5	2333,7	99,1
KTT10-B	2373,8	99,7	2352,8	99,9
KTT15-B	2343,8	98,4	2327,0	98,8
NKS5-B	2361,8	99,2	2336,5	99,2
NKS10-B	2290,7	96,2	2281,7	96,9
NKS15-B	2297,5	96,5	2284,2	97,0
N-C	2451,7	103,0	2420,0	102,8
KTT5-C	2417,5	101,5	2379,3	101,0
KTT10-C	2380,4	100,0	2347,9	99,7
KTT15-C	2399,4	100,8	2375,0	100,9
NKS5-C	2366,3	99,4	2338,6	99,3
NKS10-C	2342,5	98,4	2333,7	99,1
NKS15-C	2368,3	99,5	2353,4	99,9

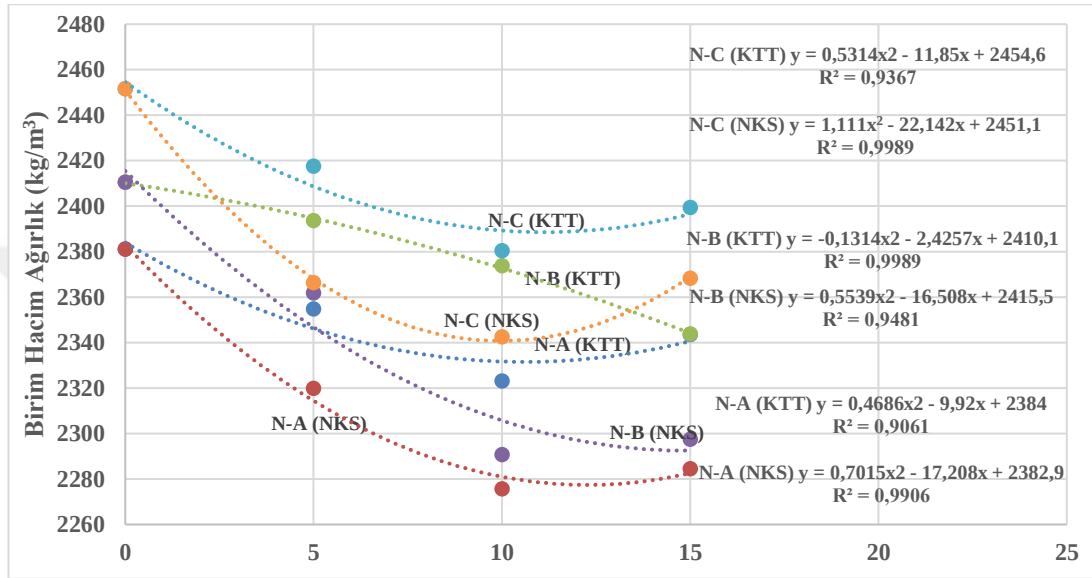
Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozu eklenen çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerin birim ağırlık değerleri Tablo 4.2.'de görüldüğü üzere yaklaşık olarak 2275 kg/m^3 ile 2450 kg/m^3 arasında değişmektedir. Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere taze birim ağırlık deney sonuçlarına göre, en yüksek değer 2451.7 kg/m^3 ile hacimce %1 lif içeriğine sahip referans numuneye (N-C), en düşük değer ise 2275.6 kg/m^3 ile çelik lifsiz ve çimento yerine ağırlıkça %10 nano karbon siyahı eklenen numuneye (NKS10) aittir.



Şekil 4.2. Numunelerin taze birim hacim ağırlık değerleri

Çelik lifsiz numunelerde ve hacimce %0.5 ve %1 oranlarında çelik lif içeren numunelerde çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozunun birim ağırlık değerleri referans numunelerin birim ağırlık değerine göre azalmıştır. Ayrıca çelik lif hacmi arttıkça numunelerin birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, çelik lifin özgül ağırlığının diğer karışım malzemelerinin özgül ağırlıklarından daha yüksek olmasıdır. Çelik lifsiz numunelerdeki referans numuneye göre çimentoyla ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen Kandıra Taşı tozunun birim ağırlık değerleri sırasıyla %1.1, %2.4 ve %1.6 oranında düşüş göstermiş iken nano karbon siyahının birim ağırlık değerleri ise sırasıyla %2.6, %4.4 ve %4.1 oranında düşüş göstermiştir. Düşüş miktarı, B serisi (%0.5 çelik lif içerikli) beton numunelerinde, referans numuneye (N-B) göre KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B serileri için sırasıyla

%0.7, %1.5 ve %2.8 oranında ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için ise sırasıyla %2, %5 ve %4.7 oranındadır. C serisindeki (%1 çelik lif içerikli) düşüş miktarı ise, referans numuneye (N-C) göre KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C serileri için sırasıyla %1.4, %2.9 ve %2.1 oranında; NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için ise sırasıyla %3.5, %4.5 ve %3.5 oranındadır.



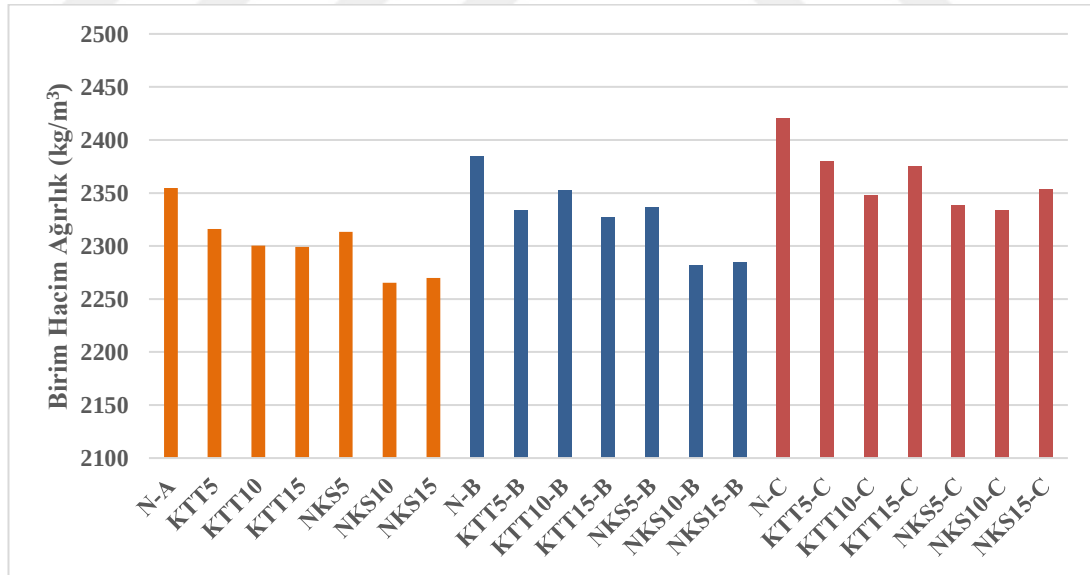
Şekil 4.3. Taze betonda birim hacim ağırlık-yer değiştirme oranı ilişkisi

Şekil 4.3.'te çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerdeki taze birim hacim ağırlık - yer değiştirme oranı ilişkisi gösterilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin korelasyon katsayılarına bakarsak Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en iyi ilişkiyi hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerin, nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en iyi korelasyon ilişkisini hacimce %1 çelik lif içeren numunelerin gösterdiği sonucuna varılmıştır. En düşük korelasyon katsayısını ise Kandıra Taşı tozunda çelik lifsiz numuneler ve nano karbon siyahında ise hacimce %0.5 çelik lif içeren numuneler göstermiştir.

4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

4.2.1. Birim hacim ağırlık

Çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerde çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen 10x20 cm boyutlarındaki silindir numunelerinin sertleşmiş birim hacim ağırlıkları TS EN 12390-7'ye uygun olarak belirlenmiştir. Tablo 4.2.'de çelik lifli ve çelik lifsiz beton numunelerinin sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir. Tablo 4.2.'de görüldüğü üzere çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında eklenen Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının birim ağırlık değerleri yaklaşık olarak 2265 kg/m³ ile 2420 kg/m³ arasında değişmektedir. Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere sertleşmiş birim hacim ağırlık deney sonuçlarına göre, en yüksek değer 2420 kg/m³ ile hacimce %1 lif içeriğine sahip referans numuneye (N-C), en düşük değer ise 2265.4 kg/m³ ile çelik lifsiz ve çimento yerine ağırlıkça %10 nano karbon siyahı eklenen numuneye (NKS10) aittir.

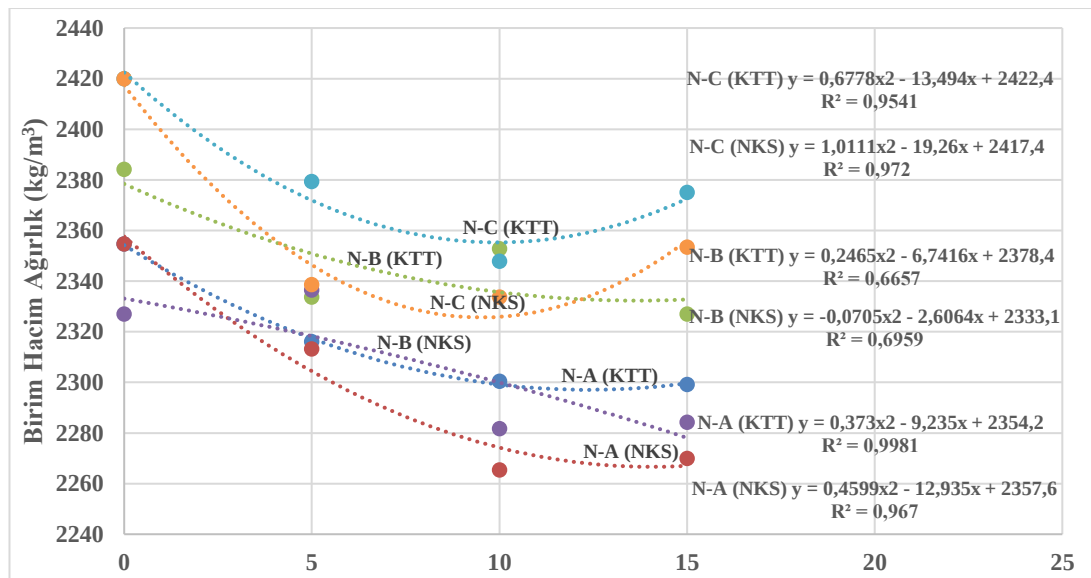


Şekil 4.4. Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri

Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 oranlarında çelik lif içeren referans numunelerin

sertleşmiş birim ağırlık değerlerine göre düşüş göstermiştir. Düşüş miktarları, A serisi (çelik lifsiz) beton numunelerinde, referans numuneye (N-A) göre KTT5-A, KTT10-A ve KTT15-A serileri için sırasıyla %1.6, %2.3 ve %2.4 oranında ve NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serileri için ise sırasıyla %1.8, %3.8 ve %3.6 oranında iken B serisi (%0.5 çelik lif içerikli) beton numunelerinde, referans numuneye (N-B) göre KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B serileri için sırasıyla %2.1, %1.3 ve %2.4 oranında ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için ise sırasıyla %2, %4.3 ve %4.2 oranındadır. C serisindeki (%1 çelik lif içerikli) düşüş miktarı ise, referans numuneye (N-C) göre KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C serileri için sırasıyla %1.7, %3 ve %1.9 oranında ve NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için ise sırasıyla %3.4, %3.6 ve %2.8 oranındadır. Çelik lifin özgül ağırlığının karışımdaki diğer malzemelerden daha yüksek olması sebebiyle numunelerdeki lif hacmi arttıkça numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri de artmaktadır.

Sertleşmiş birim hacim ağırlık ile taze birim hacim ağırlık değerleri karşılaştırıldığında; taze halde boşluklarda mevcut bulunan suyun buharlaşmasından dolayı sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri taze birim hacim ağırlık değerlerine göre daha düşüktür.



Şekil 4.5. Sertleşmiş betonda birim hacim ağırlık-yer değiştirme oranı ilişkisi

Şekil 4.5.'te çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerdeki sertleşmiş birim hacim ağırlık - yer değiştirme oranı ilişkisi gösterilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin korelasyon katsayılarına bakarsak en iyi ilişkiyi Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde çelik lifsiz numuneler gösterirken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en iyi ilişkiyi hacimce %1 çelik lif içeren numunelerin gösterdiği sonucuna varılmıştır. En düşük korelasyon katsayılarını hem Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde hacimce %0.5 çelik lif içeren numuneler göstermiştir.

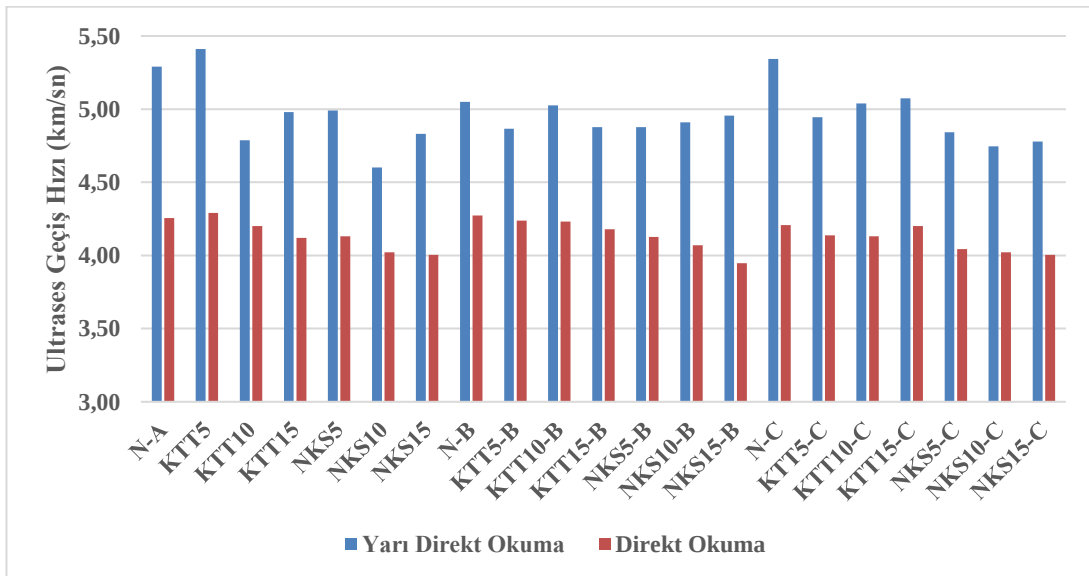
4.2.2. Ultrases geçiş hızı

Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 oranlarında çelik lif içeren numuneler üzerinde TS EN 12504-4 ve ASTM C597-16'ya uygun olarak ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır. Deney esnasında hem yarı direkt okuma hem de direkt okuma metodu uygulanmış ve bu iki metot sonucunda elde edilen ultrases geçiş hızı sonuçları Tablo 4.3.'de verilmiştir. Ayrıca çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin 14. ve 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerlerinin yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Ultrases geçiş hızıyla beton kalitesi arasındaki ilişkiyi veren Tablo 3.10.'daki veriler dikkate alınarak, çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 oranında çelik lif içeren tüm numunelerin direkt okuma metoduna göre 14. ve 28. gündeki tüm ultrases geçiş hızı sonuçları 3.5 km/sn ile 4.5 km/sn arasında değiştiğinden dolayı beton kalitesinin “iyi” olduğu sonucuna varılabilir. Yarı direkt okuma metoduna göre ise 14. ve 28. gündeki tüm ultrases geçiş hızı sonuçlarının 4.5 km/sn'den büyük sonuçlar vermesi neticesinde beton kalitesinin “mükemmel” olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 4.3. Numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri

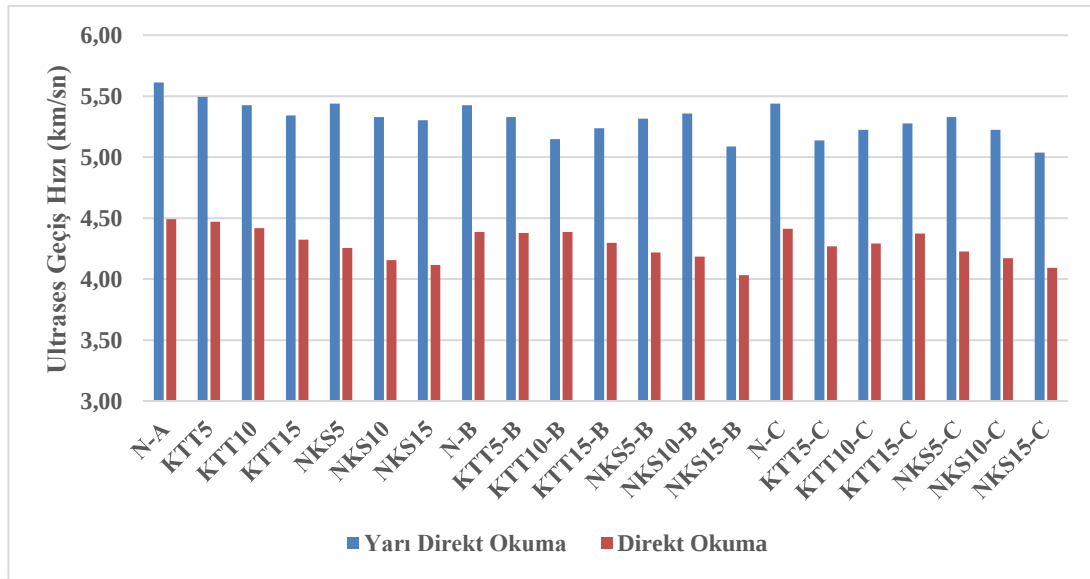
Numune Kodu	14. Gündeki Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)				28. Gündeki Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)			
	Yarı Direkt Okuma	Değişim (%)	Direkt Okuma	Değişim (%)	Yarı Direkt Okuma	Değişim (%)	Direkt Okuma	Değişim (%)
N-A	5,29	100,0	4,26	100,0	5,61	100,0	4,49	100,0
KTT5-A	5,41	102,3	4,29	100,9	5,50	97,9	4,47	99,6
KTT10-A	4,79	90,5	4,20	98,7	5,43	97,9	4,42	99,5
KTT15-A	4,98	94,1	4,12	96,8	5,34	95,2	4,32	96,3
NKS5-A	4,99	94,4	4,13	97,1	5,44	96,9	4,26	94,8
NKS10-A	4,60	87,0	4,02	94,5	5,33	95,0	4,16	92,5
NKS15-A	4,83	91,3	4,01	94,1	5,30	94,5	4,12	91,6
N-B	5,05	95,5	4,27	100,4	5,43	96,7	4,39	97,7
KTT5-B	4,87	92,0	4,24	99,6	5,33	95,0	4,38	97,5
KTT10-B	5,03	95,0	4,23	99,4	5,15	91,7	4,39	97,7
KTT15-B	4,88	92,2	4,18	98,2	5,24	93,3	4,30	95,7
NKS5-B	4,88	92,2	4,13	97,0	5,32	94,7	4,22	94,0
NKS10-B	4,91	92,8	4,07	95,7	5,36	95,5	4,18	93,2
NKS15-B	4,96	93,7	3,95	92,8	5,09	90,6	4,03	89,8
N-C	5,34	101,0	4,21	98,9	5,44	96,9	4,41	98,2
KTT5-C	4,94	93,5	4,14	97,2	5,14	91,5	4,27	95,0
KTT10-C	5,04	95,3	4,13	97,1	5,22	93,1	4,29	95,6
KTT15-C	5,07	95,9	4,20	98,7	5,28	94,0	4,37	97,4
NKS5-C	4,84	91,6	4,04	95,0	5,33	95,0	4,23	94,1
NKS10-C	4,75	89,7	4,02	94,5	5,22	93,1	4,17	92,9
NKS15-C	4,78	90,3	4,01	94,1	5,04	89,8	4,09	91,1



şekil 4.6. Numunelerin 14. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri

Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilen Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin yarı direkt okuma metoduna göre 14. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde; A serisindeki (çelik lifsiz) beton numunelerde referans numuneye (N-A) göre KTT5-A'da %2.3 artış, KTT10-A ve KTT15-A serilerinde ise sırasıyla %9.5 ve %5.9 oranında düşüş gerçekleşmiş iken NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serilerinde ise sırasıyla referans numuneye göre %5.6, %13 ve %8.7 oranında düşüş gerçekleşmiştir. B serisindeki beton numunelerdeki düşüş miktarı referans numuneye göre KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B serileri için sırasıyla %3.7, %0.5 ve %3.4 oranında ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için ise sırasıyla %3.4, %2.8 ve %1.9 oranındadır. C serisindeki beton numunelerdeki ultrases geçiş hızındaki düşüş miktarları ise referans numuneye göre KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C serileri için sırasıyla %7.5, %5.7 ve %5 oranında ve NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için ise sırasıyla %9.4, %11.2 ve %10.6 oranındadır.

Direkt okuma metoduna göre ise 14. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri A serisinde referans numuneye göre KTT5-A, KTT10-A ve KTT15-A serileri için sırasıyla %0.9 oranında artış, %1.3 ve %3.2 oranında düşüş gerçekleşmiş iken NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serileri için ise sırasıyla %2.9, %5.5 ve %5.9 oranında düşüş gerçekleşmiştir. B serisindeki ultrases geçiş hızı değerlerinde referans numuneye göre KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B serileri için sırasıyla %0.8, %1 ve %2.2 oranında ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için ise sırasıyla %3.4, %4.7 ve %7.6 oranında düşüş gerçekleşmiştir. C serisinde ise referans numuneye göre KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C serileri için sırasıyla %1.7, %1.8 ve %0.1 oranında ve NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için ise sırasıyla %3.9, %4.4 ve %4.8 oranında düşüş gerçekleşmiştir.

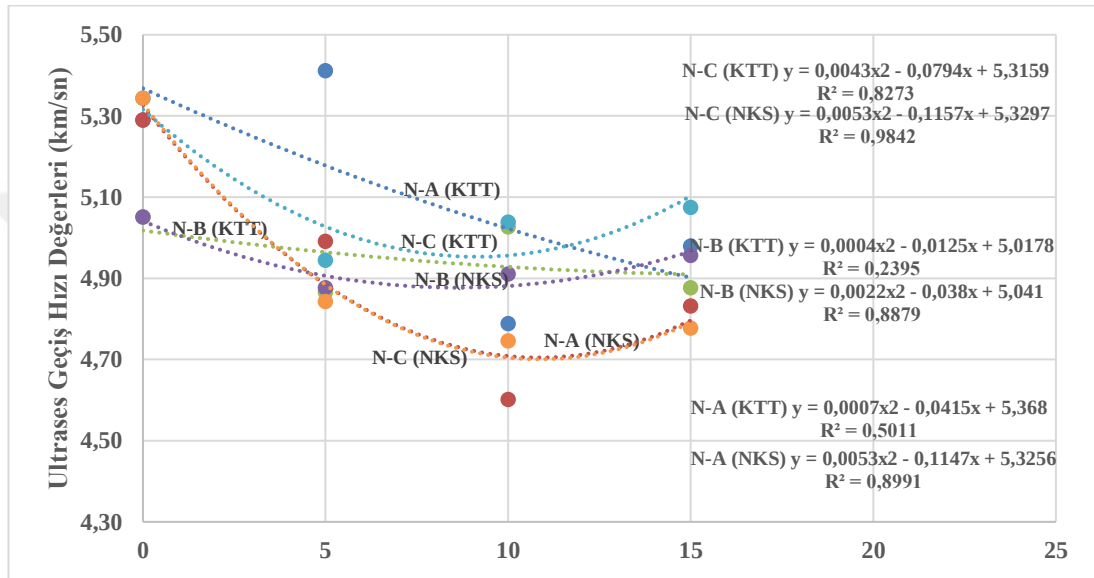


Şekil 4.7. Numunelerin 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri

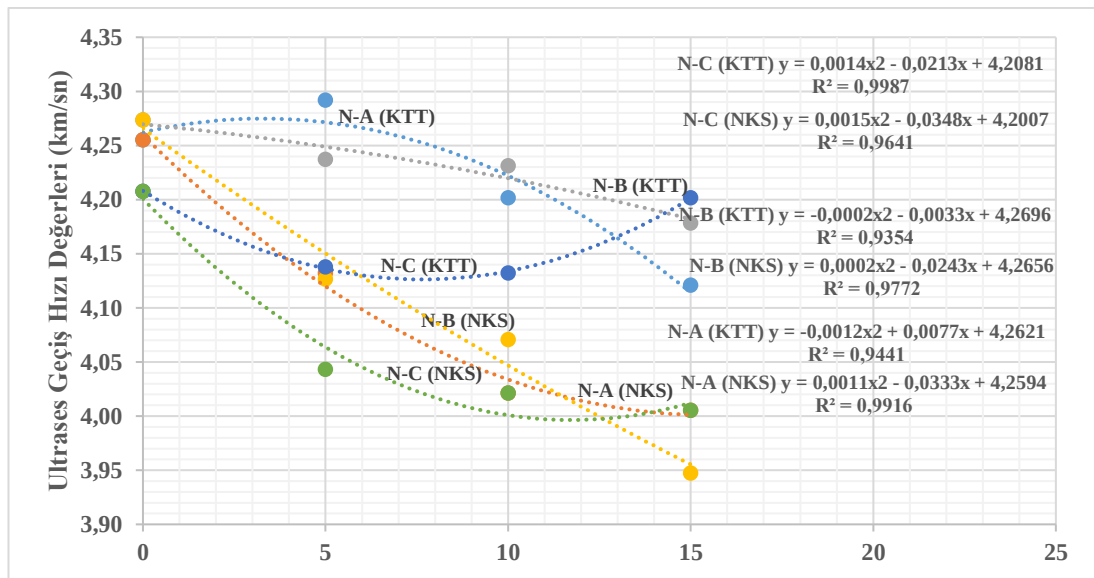
Çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda yer değiştirilerek kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin yarı direkt okuma metoduna göre 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde, A serisindeki (çelik lifsiz) beton numunelerin referans numuneye (N-A) göre ultrases geçiş hızı değerleri KTT5-A, KTT10-A ve KTT15-A serilerinde sırasıyla %2.1, %2.1 ve %4.8 oranında ve NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serilerinde ise sırasıyla %3.1, %5 ve %5.5 oranında düşüş göstermiştir. B serisindeki beton numunelerdeki ultrases geçiş hızı değerlerindeki düşüş miktarı referans numuneye göre KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B serileri için sırasıyla %1.8, %5.1 ve %3.5 oranında ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için ise sırasıyla %2, %1.3 ve %6.2 oranında iken C serisindeki beton numunelerdeki ultrases geçiş hızındaki düşüş miktarları ise referans numuneye göre KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C serileri için sırasıyla %5.6, %3.9 ve %3 oranında ve NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için ise sırasıyla %2, %3.9 ve %7.4 oranındadır.

Direkt okuma metoduna göre ise 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri A serisinde referans numuneye göre KTT5-A, KTT10-A ve KTT15-A serileri için sırasıyla %0.4, %0.5 ve %3.7 oranında ve NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serileri için ise sırasıyla %5.2, %7.5 ve %8.4 oranında düşüş gerçekleşmiştir. B serisindeki ultrases geçiş hızı değerlerinde referans numuneye göre KTT5-B, KTT15-B serileri için sırasıyla %0.1, ve %2.0 oranında düşüş gerçekleşmiş iken KTT10-B serisinde ise herhangi bir

değişiklik gerçekleşmemiştir. B serisindeki NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için ise ultrases geçiş hızı değerleri referans numuneye göre sırasıyla %3.8, %4.6 ve %8.1 oranında düşüş göstermiştir. C serisinde ultrases geçiş hızı değerleri referans numuneye göre KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C serileri için sırasıyla %3.3, %2.7 ve %0.9 oranında ve NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için ise sırasıyla %4.2, %5.4 ve %7.2 oranında düşüş göstermiştir.



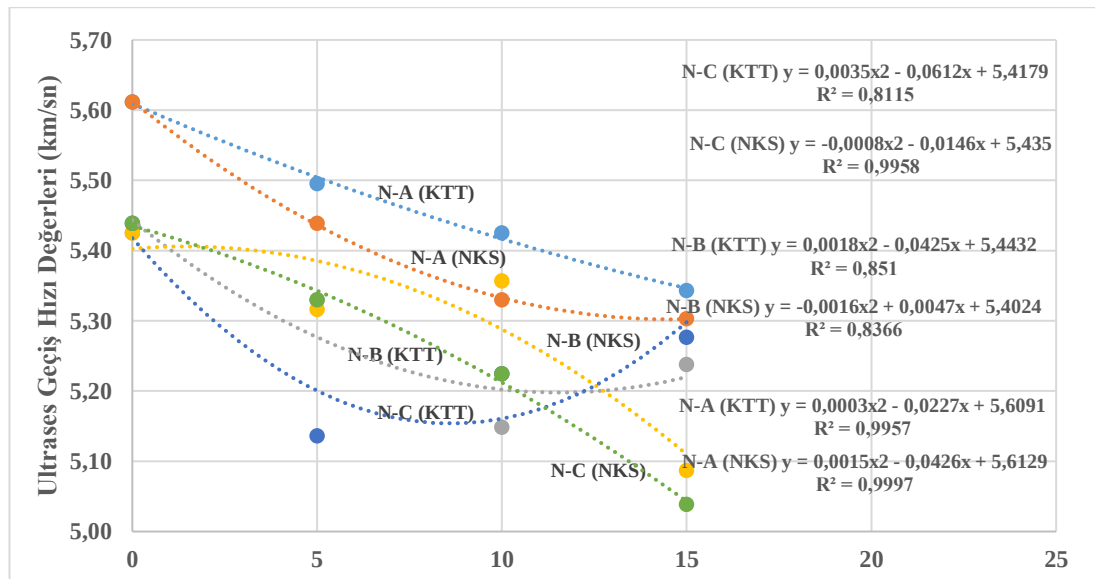
Şekil 4.8. 14. günde ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Yarı direkt okuma)



Şekil 4.9. 14. günde ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Direkt okuma)

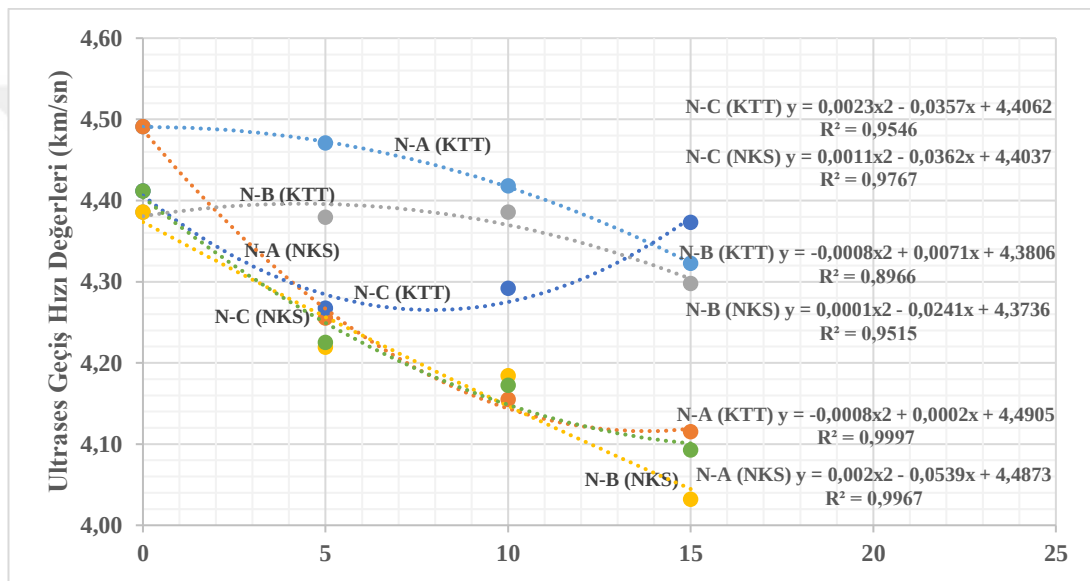
Şekil 4.8.'de ve Şekil 4.9.'da sırasıyla çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerdeki ultrases geçiş hızı - yer değiştirme oranı ilişkisi gösterilmiştir. Şekil 4.8'de verilen korelasyon değerleri incelendiğinde, en düşük korelasyon katsayılarını hem Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde hacimce %0.5 çelik lif içeren numuneler göstermiştir. En yüksek korelasyon katsayılarını hem Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde hacimce %1 çelik lif içeren numuneler göstermiştir. Lif içeriğindeki artışa bağlı olarak korelasyon katsayılarının hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde azalırken hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde ise arttığı görülmektedir.

Şekil 4.9'de Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin korelasyon katsayıları incelendiğinde en yüksek ilişkinin Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hacimce %1 çelik lif içeren numunelerin gösterdiği ve nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek ilişkiyi çelik lifsiz numunelerin gösterdiği sonucuna varılmıştır. En düşük korelasyon katsayılarını ise nano karbon siyahı içeren numunelerde hacimce %1 çelik lif içeren numunenin ve Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde ise hacimce %0.5 çelik lif içeren numunenin gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.10. 28. günde ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Yarı direkt okuma)

Şekil 4.10.'da ve Şekil 4.11.'de sırasıyla çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerdeki ultrases geçiş hızı - yer değiştirme oranı ilişkisi gösterilmiştir. Şekil 4.10'da verilen korelasyon değerleri incelendiğinde, en düşük korelasyon ilişkisini nano karbon siyahı numunelerinde hacimce %0.5 çelik lif içeren numuneler ve Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde ise hacimce %1 çelik lif içeren numunelerin gösterdiği sonucuna varılmıştır. En yüksek ilişkiyi Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde çelik lifsiz numunelerin gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.11. 28. gündeki ultrases geçiş hızı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi (Direkt okuma)

Şekil 4.11'de Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin korelasyon katsayıları incelendiğinde en iyi ilişkiyi Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde çelik lifsiz numunelerin gösterdiği sonucuna varılmıştır. En düşük korelasyon katsayılarının ise hem nano karbon siyahı içeren numunelerde hem de Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde olduğu görülmüştür.

4.2.3. Basınç dayanımı

Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 oranlarında

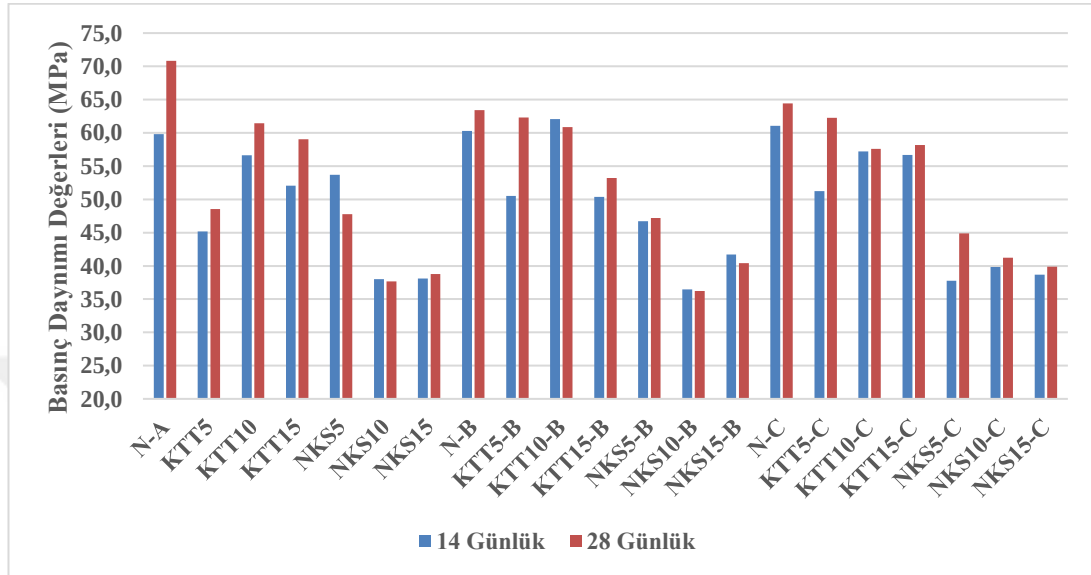
çelik lif içeren 10x10x10 cm küp numunelerin basınç dayanımı değerleri 14. ve 28. günlerde TS EN 12390-3'e uygun olarak belirlenmiş olup Tablo 4.4.'te verilmiştir. Ayrıca çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin 14. ve 28. gündeki basınç dayanımı değerlerinin yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Numunelerin basınç dayanımı değerleri

Numune Kodu	14 Günlük (MPa)	Değişim (%)	28 Günlük (MPa)	Değişim (%)
N-A	59,8	100,00	70,9	100,00
KTT5-A	45,2	75,5	48,6	68,5
KTT10-A	56,7	94,7	61,4	86,7
KTT15-A	52,1	87,0	59,0	83,3
NKS5-A	53,7	89,7	47,8	67,4
NKS10-A	38,0	63,6	37,7	53,1
NKS15-A	38,1	63,7	38,8	54,7
N-B	60,3	100,8	63,4	89,5
KTT5-B	50,5	84,5	62,3	88,0
KTT10-B	62,1	103,7	60,9	85,9
KTT15-B	50,4	84,2	53,2	75,1
NKS5-B	46,7	78,1	47,2	66,6
NKS10-B	36,5	61,0	36,2	51,1
NKS15-B	41,7	69,7	40,4	57,1
N-C	61,1	102,1	64,4	90,9
KTT5-C	51,2	85,6	62,3	87,9
KTT10-C	57,2	95,7	57,6	81,3
KTT15-C	56,7	94,7	58,2	82,1
NKS5-C	37,8	63,1	44,9	63,3
NKS10-C	39,8	66,6	41,2	58,2
NKS15-C	38,7	64,7	39,9	56,3

Tablo 4.4.'te verilen değerler incelendiğinde çimento ile farklı oranlarda yer değiştirilerek kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının basınç dayanımı değerleri 14. günde 36.5 MPa ile 62.1 MPa arasında değişirken 28. günde ise 36.2 MPa ile 70.9 MPa arasında değişmektedir. Sertleşmiş beton serilerinde 14. günde yapılan basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, en yüksek dayanıma sahip numune 62.1 MPa ile KTT10-B serisi, en düşük ise 36.5 ile NKS10-B serisi iken 28. günde yapılan basınç dayanımı deney sonuçlarına göre ise, en yüksek dayanıma sahip numune 70.9 ile N-A serisi, en düşük ise 36.2 MPa ile NKS10-B serisidir. Hedef basınç dayanımı 36 MPa olmasına rağmen laboratuvar koşullarında bağlayıcı miktarının, agrega

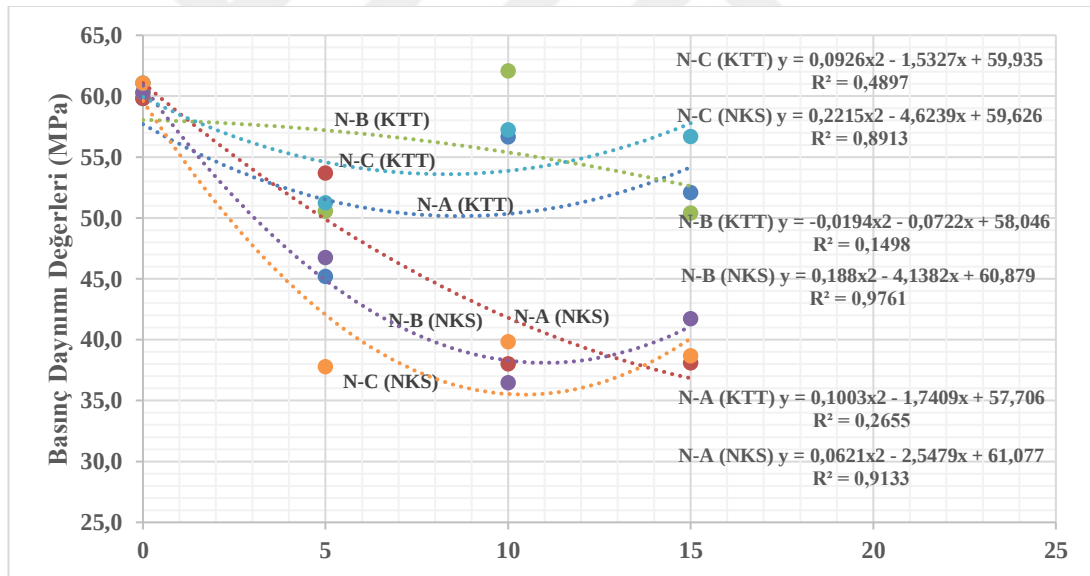
granülometrisinin ve su içeriğinin hassas olarak ayarlanması ve homojen karışım, mümkün olan en iyi sıkıştırma ve uygun kür gibi olumlu etkenler basınç dayanımının hedef basınç dayanımından daha fazla çıkmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.12. Numunelerin basınç dayanımı değerleri

Kandıra Taşı tozunun ve nano karbon siyahının çimento ile farklı oranlarda yer değiştirilmesiyle üretilen çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren numunelerin 14. gündeki basınç dayanım değerleri incelendiğinde, A serisindeki (çelik lifsiz) Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren beton numunelerinin referans numuneye göre basınç dayanımı değerleri KTT5-A, KTT10-A ve KTT15-A serilerinde sırasıyla %24.5, %5.3 ve %13 oranında ve NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serilerinde ise sırasıyla %10.3, %36.4 ve %36.3 oranında düşüş göstermiştir. B serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren beton numunelerinin ise referans numuneye göre basınç dayanımı değerleri KTT10-B serisinde %3 artış göstermiş iken KTT5-B ve KTT10-B serilerinde ise %16.1 ve %16.4 oranında düşüş göstermiştir. Ayrıca B serisindeki NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B numunelerin basınç dayanımı değerleri ise referans numuneye göre sırasıyla %22.5, %39.5 ve %30.8 oranında düşüş göstermiştir. Son olarak C serisindeki referans numuneye göre numunelerdeki basınç dayanımı değerlerindeki düşüş miktarları ise KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C serilerinde sırasıyla %16.1, %6.3 ve %7.2 oranında ve NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serilerinde ise %38.2, %34.8 ve %36.7 oranındadır.

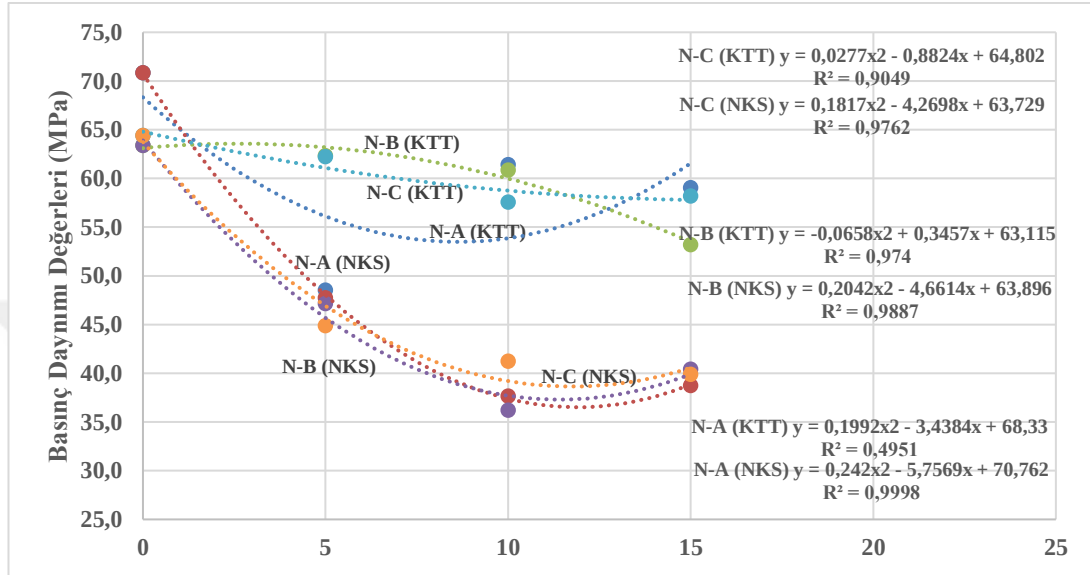
28. gündeki basınç dayanımı değerleri incelendiğinde ise, A serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren beton numunelerinin referans numuneye göre basınç dayanımı değerlerindeki düşüş miktarları KTT5-A, KTT10-A ve KTT15-A serilerinde sırasıyla %31.5, %13.3 ve %16.7 oranında ve NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serilerinde ise sırasıyla %32.6, %46.9 ve %45.3 oranındadır. B serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren beton numunelerinin ise referans numuneye göre basınç dayanımı değerlerindeki düşüş miktarı KTT10-B, KTT5-B ve KTT10-B serilerinde sırasıyla %1.7, %4 ve %16.1 oranındadır. Ayrıca B serisindeki NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B numunelerin basınç dayanımı değerleri ise referans numuneye göre sırasıyla %25.6, %42.9 ve %36.2 oranında düşüş göstermiştir. Son olarak C serisindeki referans numuneye göre KTT5-C, KTT10-C ve KTT15-C ve NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C numunelerindeki basınç dayanımı değerlerindeki düşüş miktarları sırasıyla %3.3, %10.6, %9.7, %30.3, %36 ve %38.1 oranındadır.



Şekil 4.13. 14. günde basınç dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi

Çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılan Kandıra Taşı tozunun ve nano karbon siyahının 14. ve 28. günde basınç dayanımı değerleri – yer değiştirme oranı ilişkisi sırasıyla Şekil 4.13.'te ve Şekil 4.14.'te verilmiştir. Şekil 4.13'te verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en iyi ilişkiyi hacimce %1 çelik lif içeren numune gösterirken en kötü ilişkiyi ise hacimce %0.5 çelik lif içeren numunenin gösterdiği sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı

içeren numunelerin korelasyon katsayıları incelendiğinde ise en iyi ilişkiyi hacimce %0.5 çelik lif içeren numunenin gösterdiği en kötü ilişkiyi ise hacimce % 1 çelik lif içeren numunenin gösterdiği görülmüştür. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin korelasyon katsayıları nano karbon siyahı içeren numunelere göre daha düşüktür.



Şekil 4.14. 28. günde basınç dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi

Şekil 4.14'te verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde ise, Kandıra Taşı tozunun en iyi ilişkiyi hacimce %0.5 çelik lif içeren numune göstermiş iken en kötü ilişkiyi çelik lifsiz numunenin gösterdiği sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahında ise sırasıyla en iyi ilişkiyi çelik lifsiz numune ve en kötü ilişkiyi de %1 çelik lifli numunenin gösterdiği sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı içeren numunelerde lif oranı arttıkça korelasyon katsayı değerleri azalmakta iken Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde ise lif oranı arttıkça çelik lifsiz numuneye göre korelasyon katsayısı değerleri artmıştır. Fakat hacimce %0.5 çelik lif içeren numunenin korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lif içeren numuneye göre daha yüksektir.

4.2.4. Yarmada çekme dayanımı

Ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında çimento yerine kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı ile üretilen çelik lifsiz ve çelik lifli 10x20 cm silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri 28. günde TS EN 12390-6'ya uygun

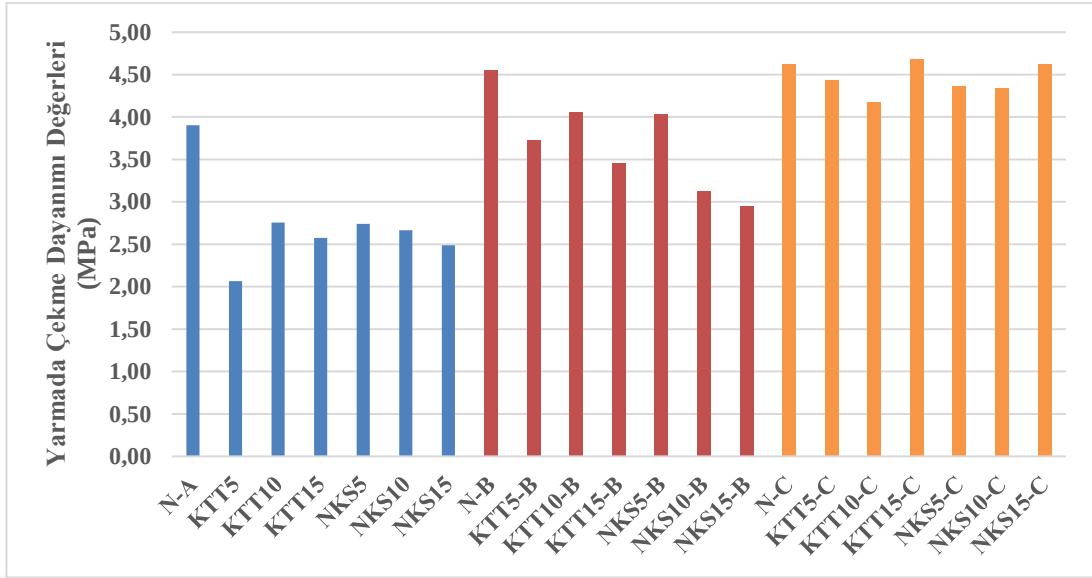
olarak belirlenmiş olup tüm numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri Tablo 4.5.'te verilmiştir. Ayrıca çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinin yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri

Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)
N-A	3,90	N-B	4,55	N-C	4,62
KTT5-A	2,06	KTT5-B	3,73	KTT5-C	4,43
KTT10-A	2,76	KTT10-B	4,06	KTT10-C	4,18
KTT15-A	2,58	KTT15-B	3,46	KTT15-C	4,68
NKS5-A	2,74	NKS5-B	4,04	NKS5-C	4,37
NKS10-A	2,67	NKS10-B	3,13	NKS10-C	4,34
NKS15-A	2,49	NKS15-B	2,95	NKS15-C	4,63

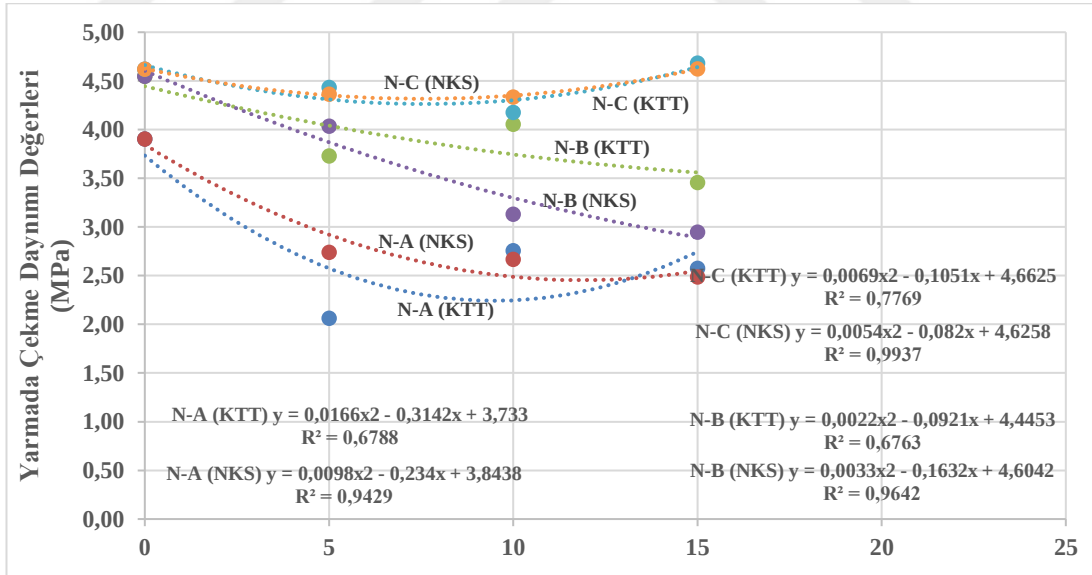
Tablo 4.5.'te verilen değerler incelendiğinde farklı oranlarda çimento ile yer değiştirilen nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri 2.06 MPa ile 4.68 MPa arasında değişmektedir. Yarmada çekme dayanımı en düşük olan seri 2.06 MPa ile KTT5-A serisi ve yarmada çekme dayanımı en yüksek olan seri ise 4.68 MPa ile KTT15-C serisidir.

Tablo 4.5.'te verilen yarmada çekme dayanımı değerleri incelendiğinde, A serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre yarmada çekme dayanımı değerlerindeki düşüş miktarları KTT5-A, KTT10-A, KTT15-A ve NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serileri için sırasıyla %47.1, %29.3, %34, %29.8, %31.7 ve %36.2 oranındadır. B serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre ise düşüş miktarları KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için sırasıyla %18, %10.9, %24, %11.3, %31.1 ve %35.2 oranındadır. Son olarak C serisinde referans numuneye göre yarmada çekme dayanımları KTT15-C ve NKS15-C serileri için sırasıyla %1.6 ve %0.1 artış göstermiş iken KTT5-C, KTT10-C ve NKS5-C, NKS10-C serilerinde ise sırasıyla %4, %9.6, %5.5 ve %6.2 oranında düşüş göstermiştir.



Şekil 4.15. Numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri

Şekil 4.15.'te verilen grafik ve Tablo 4.5.'te verilen değerler incelendiğinde de lif hacminin artmasıyla yarmada çekme dayanımının da arttığı sonucu rahatlıkla gözlemlenmektedir.



Şekil 4.16. Yarmada çekme dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi

Şekil 4.16'ta verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde ise, Kandıra Taşı tozunun en iyi ve en kötü ilişkiyi gösterdiği numunelerin sırasıyla hacimce %1 çelik lif içeren numune ve hacimce %0.5 çelik lif içeren numune olduğu sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahında ise en iyi ilişkiyi hacimce %1 çelik lif içeren numune ve en kötü

ilişkiyi de çelik lifsiz numunenin gösterdiği sonucuna varılmıştır. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerdeki korelasyon katsayıları değerleri çelik lifsiz numunelerin korelasyon katsayılarına göre hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde azalış göstermiş iken hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde ise artış göstermiştir. Nano karbon siyahı içeren numunelerde ise korelasyon katsayısı lif hacmi arttıkça artış göstermiştir.

Tablo 4.6. Numunelerin yarmada çekme dayanımı / basınç dayanımı oranı

Numune Kodu		Numune Kodu		Numune Kodu	
N-A	0,055	N-B	0,072	N-C	0,072
KT5-A	0,043	KT5-B	0,060	KT5-C	0,071
KT10-A	0,045	KT10-B	0,067	KT10-C	0,073
KT15-A	0,044	KT15-B	0,065	KT15-C	0,080
NKS5-A	0,057	NKS5-B	0,086	NKS5-C	0,097
NKS10-A	0,071	NKS10-B	0,086	NKS10-C	0,105
NKS15-A	0,064	NKS15-B	0,073	NKS15-C	0,116

Numunelerin yarmada çekme dayanımlarının (f_{ct}), basınç dayanımına (f_c), oranının lif içeriğine bağlı değişimi incelenmiş ve Tablo 4.6.'da verilmiştir. Tüm serilerde lif içeriğinin artmasıyla birlikte yarmada çekme dayanımı / basınç dayanımı oranının arttığı görülmektedir. Bu durumun lif içeriğinin numunelerin çekme dayanımlarını basınç dayanımlarına göre daha fazla iyileştirmesiyle açıklanması mümkündür. Tüm numunelerin f_{ct}/f_c oranları göz önüne alındığında, yarmada çekme dayanımı değerinin basınç dayanımının ortalama %7.1'ine karşılık geldiği görülmektedir.

4.2.5. Su emme

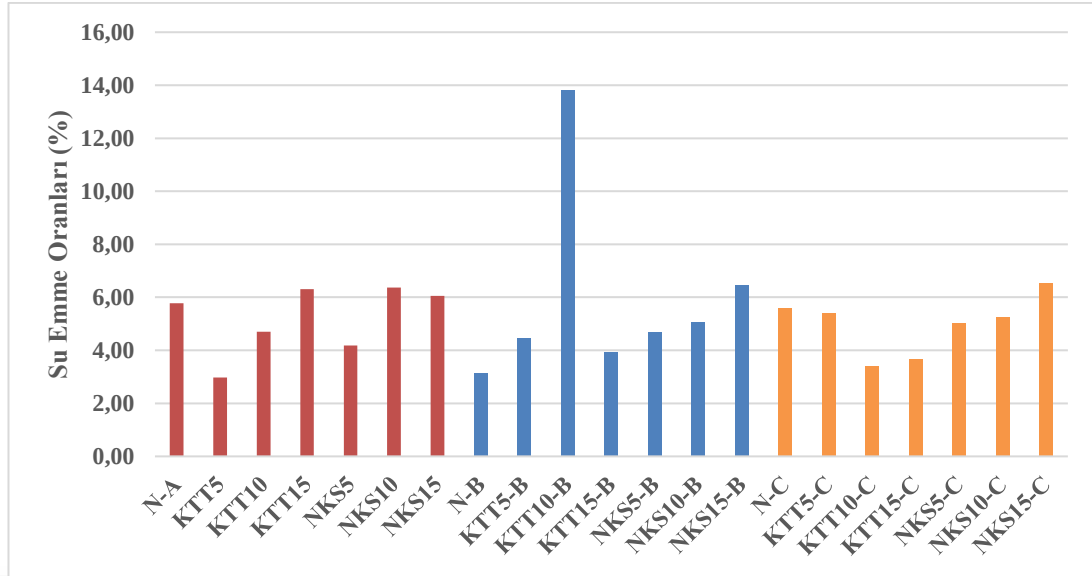
Farklı oranlarda çimento yerine ağırlıkça kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı ile üretilen çelik lifsiz ve çelik lifli 10x10x3 cm prizmatik numunelerin su emme oranları TS EN 480-11'e uygun olarak belirlenmiş olup tüm numunelerin su emme oranları Tablo 4.7.'de verilmiştir. Ayrıca çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin su emme oranlarının yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.7.'de verilmiştir. Tablo 4.7.'de verilen değerler incelendiğinde, numunelerin su emme oranları %2.98 ile %13.82 arasında değişmektedir. Su emme oranı en yüksek olan numune %13.82 ile KT10-B serisi iken su emme oranı en düşük olan numune

ise %2.98 ile KTT5-A serisidir. KTT10-B serisindeki su emme oranının diğer tüm numunelere göre daha yüksek çıkmasının taze haldeki betonun kalıplara yerleştirilmesi esnasında homojen bir şekilde dağılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.7. Numunelerin su emme oranları (%)

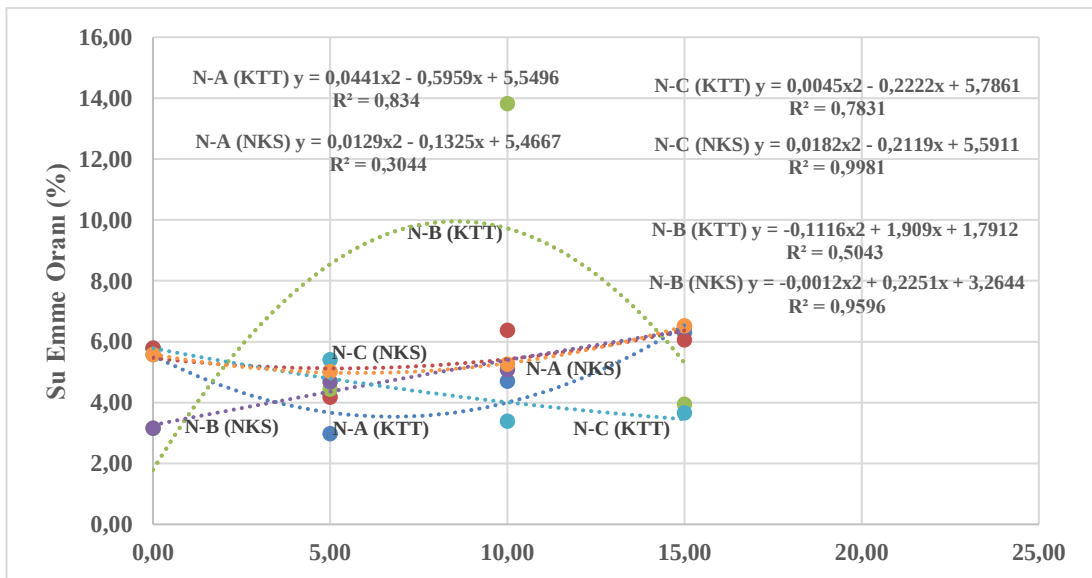
Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)
N-A	5,78	N-B	3,16	N-C	5,58
KTT5-A	2,98	KTT5-B	4,44	KTT5-C	5,40
KTT10-A	4,70	KTT10-B	13,82	KTT10-C	3,39
KTT15-A	6,31	KTT15-B	3,94	KTT15-C	3,66
NKS5-A	4,18	NKS5-B	4,68	NKS5-C	5,02
NKS10-A	6,37	NKS10-B	5,08	NKS10-C	5,26
NKS15-A	6,06	NKS15-B	6,48	NKS15-C	6,52

Tablo 4.7.'de verilen su emme oranları incelendiğinde, A serisindeki Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin referans numuneye göre su emme oranları KTT5-A ve KTT10-A serileri için sırasıyla %48.5 ve %18.7 oranında düşüş göstermiş iken KTT15-A serisi için ise %9.1 artış göstermiştir. Ayrıca A serisindeki nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre su emme oranları NKS5-A serisi için %27.7 düşüş göstermiş iken NKS10-A ve NKS15-A serileri için ise sırasıyla %10.2 ve %4.8 oranında artış göstermiştir. B serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre su emme oranındaki artış miktarları KTT5-B, KTT10-B, KTT15-B ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için sırasıyla %22.2, %184.4, %13.6, %26.3, %33.2 ve %57.4 oranındadır. Son olarak C serisinde Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre su emme oranları NKS15-C serisi için %16.2 artış göstermiş iken KTT5-C, KTT10-C, KTT15-C, NKS5-C ve NKS10-C serileri için sırasıyla %3, %37.8, %33.2, %9.7 ve %5.6 oranında düşüş göstermiştir.



Şekil 4.17. Numunelerin su emme oranları (%)

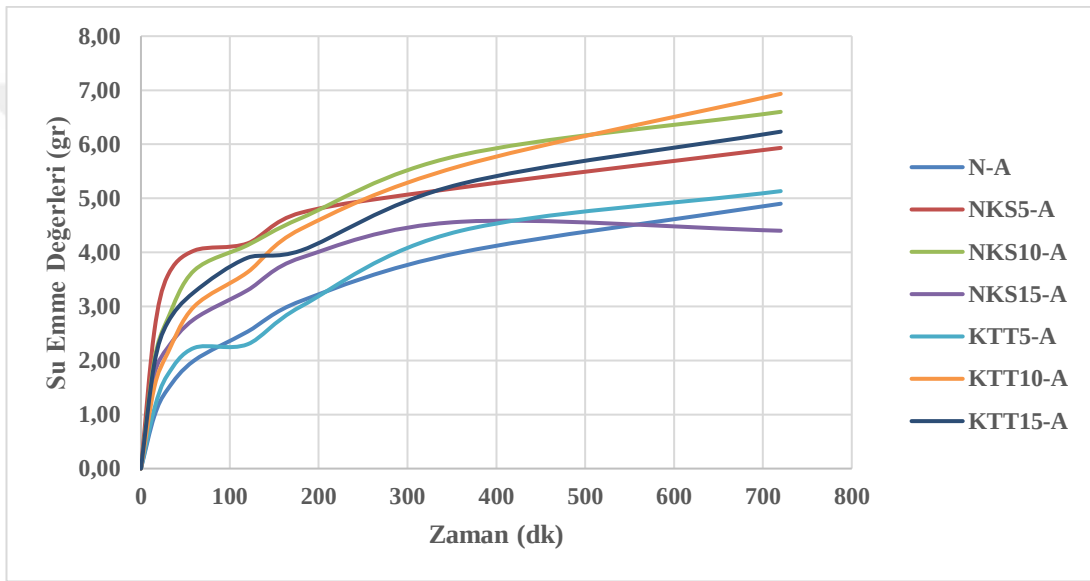
Şekil 4.18’de verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde, Kandıra Taşı tozu içeren serilerde en iyi korelasyon katsayısı değerinin çelik lifsiz numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı içeren serilerde ise en iyi korelasyon katsayısı değerinin hacimce %1 çelik lif içeren numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise çelik lifsiz numunede olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.18. Numunelerin su emme oranları (%) yer değiştirme oranı ilişkisi

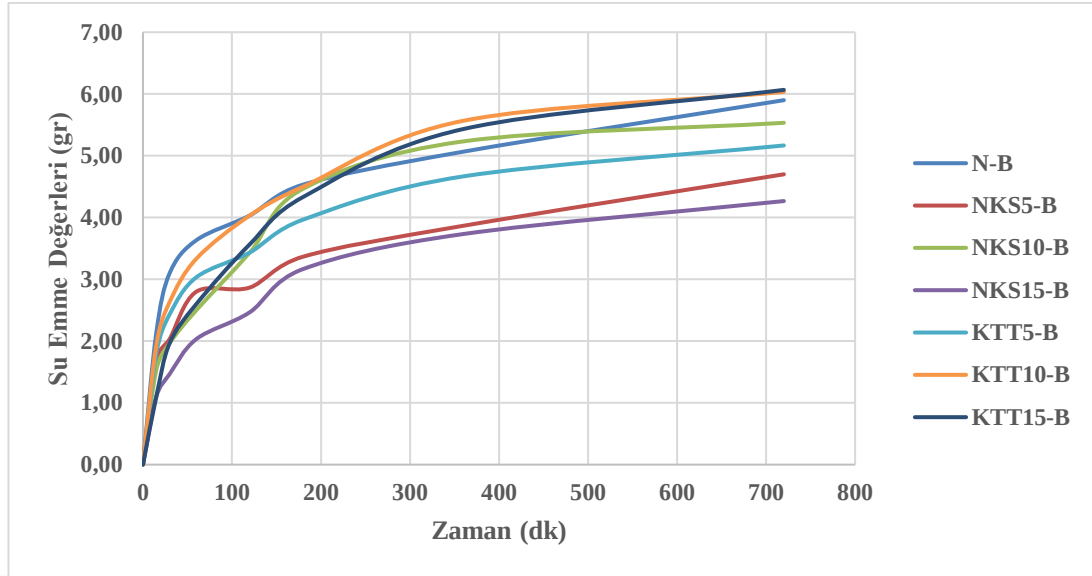
4.2.6. Kapiler su emme

Çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı ile üretilen çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lifli 10x10x3 cm prizmatik numuneler üzerinde ASTM C1585-13'e uygun olarak kapiler su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren numunelerin zamana bağlı olarak değişen su emme değerlerinin grafikleri sırasıyla Şekil 4.19., Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.'de verilmiştir.



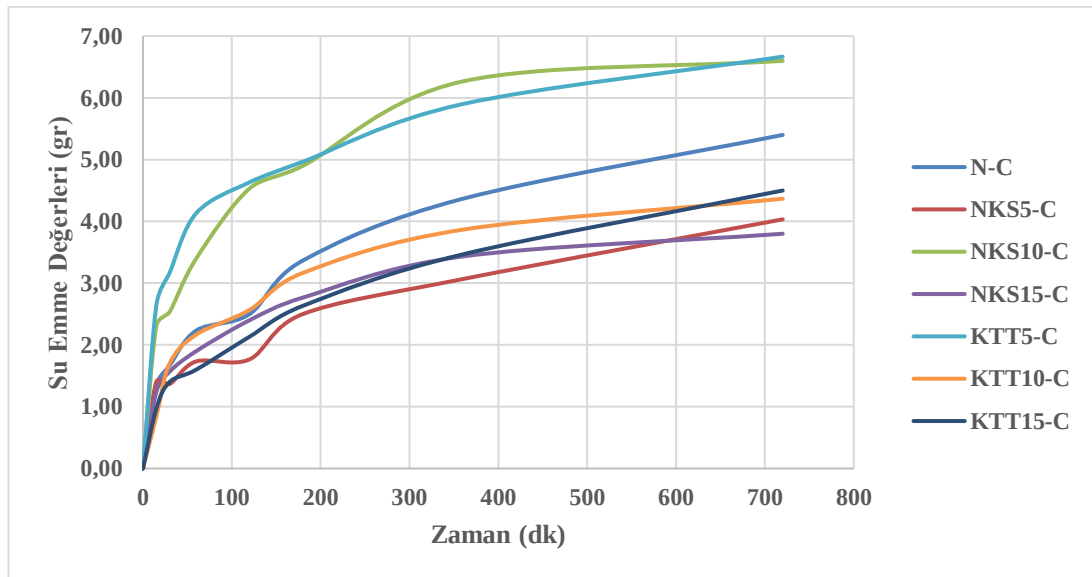
Şekil 4.19. Çelik lifsiz numunelerin su emme değerleri

Şekil 4.19.'da verilen çelik lifsiz numunelere ait su emme değerleri incelendiğinde, NKS15-A serisi hariç diğer tüm numune serilerinin su emme değerlerinin zamanla arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca NKS15-A serisinin 720. dakikadaki su emme değeri dışındaki zamana bağlı tüm su emme değerlerinin referans numuneye (N-A) göre daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.20. Hacimce %0.5 çelik lifli numunelerin su emme değerleri

Şekil 4.20.'de verilen hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelere ait su emme değerleri incelendiğinde ise, NKS15-B, NKS5-B ve KTT5-B serilerinin zamana bağlı olarak tüm su emme değerlerinin referans numunenin (N-B) su emme değerine göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca NKS10-B serisinin 360 dakikadaki, KTT10-B ve KTT15-B serilerinin 360. ve 720. dakikadaki su emme değerleri dışındaki tüm su emme değerlerinin referans numunenin su emme değerlerine göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.21. Hacimce %1 çelik lifli numunelerin su emme değerleri

Şekil 4.21.'de verilen hacimce %1 çelik lif içeren numunelere ait su emme değerleri incelendiğinde ise, NKS15-C ve KTT15-C serilerinin zamana bağlı olarak tüm su emme değerleri, KTT10-C serisinin 60. dakikadaki su emme değeri ve NKS5-C serisinin 30 dakikadaki su emme değeri hariç tüm su emme değerlerinin referans numunenin su emme değerlerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca KTT5-C ve NKS10-C serilerinin su emme değerleri referans numunenin tüm su emme değerlerinden daha yüksektir.

Tablo 4.8. Numunelerin kapiler su emme katsayıları (*10⁻⁷ cm²/sn)

Numune Kodu	15	30	60	120	180	360	720	Ortalama	Değişim (%)
N-A	1,04	1,20	1,11	0,89	0,89	0,74	0,56	0,92	100,0
KTT5-A	1,34	1,67	1,39	0,74	0,83	0,90	0,61	1,07	116,3
KTT10-A	2,50	2,53	2,50	1,73	1,82	1,45	1,11	1,96	213,8
KTT15-A	4,15	2,53	2,96	2,11	1,51	1,28	0,90	2,21	240,2
NKS5-A	7,13	7,07	4,52	2,41	2,07	1,25	0,82	3,61	392,4
NKS10-A	4,44	4,25	3,73	2,37	1,99	1,56	1,01	2,76	300,0
NKS15-A	3,34	2,77	2,13	1,51	1,41	0,97	0,45	1,80	195,7
N-B	5,06	5,34	3,67	2,26	1,90	1,19	0,81	2,89	314,1
KTT5-B	3,6	3,3	2,6	1,6	1,5	1,01	0,62	2,03	220,7
KTT10-B	4,15	3,85	3,09	2,26	1,88	1,43	0,84	2,50	271,7
KTT15-B	1,34	2,15	1,88	1,77	1,74	1,37	0,85	1,59	172,8
NKS5-B	3,21	2,30	2,18	1,14	1,05	0,69	0,51	1,58	171,7
NKS10-B	2,61	2,15	1,74	1,64	1,85	1,27	0,71	1,71	185,9
NKS15-B	1,34	1,20	1,15	0,85	0,93	0,65	0,42	0,93	101,6
N-C	1,98	1,54	1,39	0,87	1,05	0,88	0,68	1,20	130,4
KTT5-C	7,70	5,57	4,75	2,98	2,28	1,61	1,03	3,70	402,2
KTT10-C	0,70	1,61	1,30	0,91	0,93	0,69	0,44	0,94	102,2
KTT15-C	1,04	1,09	0,71	0,63	0,64	0,56	0,47	0,73	79,3
NKS5-C	2,18	1,04	0,83	0,43	0,58	0,44	0,38	0,84	91,3
NKS10-C	5,88	3,57	3,21	2,85	2,22	1,82	1,01	2,94	319,6
NKS15-C	1,69	1,36	1,00	0,80	0,71	0,55	0,33	0,92	100,0

Tablo 4.8.'de çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine farklı oranlarda ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin kapiler su emme katsayıları verilmiştir. Ayrıca çelik

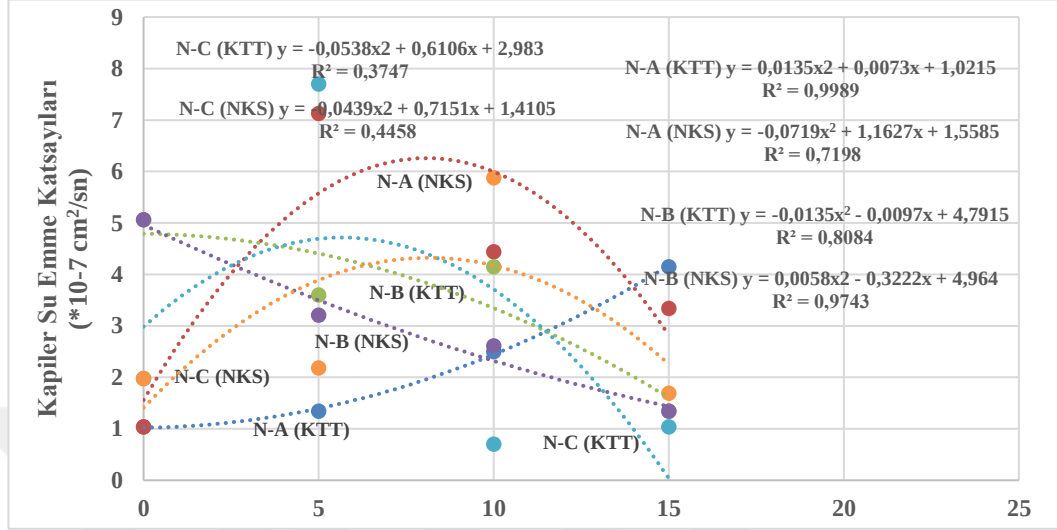
lifsiz referans numunenin ortalama kapiler su emme katsayısına (N-A) bağılı olarak tüm numunelerin ortalama kapiler su emme katsayılarının yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.8.'de verilmiştir. Tablo 4.8.'de verilen tüm değerler incelendiğinde kılcal su emme katsayısı en yüksek 7.7×10^{-7} değeri ile en düşük 0.33×10^{-7} değeri arasında değişmektedir. Kapiler su emme katsayısı değerleri en yüksek olan seriler 15. dakikada KTT5-C serisi, 30. dakikada NKS5-A serisi, 60.,120.,180. ve 360. dakikalarda KTT5-C serisi ve son olarak 720. dakikada ise KTT10-A serisidir. Kapiler su emme katsayısı değerleri en düşük olan numuneler ise 15. dakikada KTT10-C serisi, 30. ve 120. dakikada NKS5-C serisi, 60. dakikada KTT15-C serisi ve son olarak 180. ve 360. dakikada NKS5-C serisi ve son olarak 720. dakikada ise NKS15-C serisidir. Zamanla tüm serilerin kılcal su emme katsayı değerleri azalmıştır.

Tüm zamanlardaki kapiler su emme katsayıları değerlerinin her bir numune için ortalaması alınacak olursa çelik lifsiz numunede Kandıra Taşı tozunun çimento yerine kullanım yüzdesi arttıkça kapiler su emme katsayı değeri artmakta iken nano karbon siyahının çimento yerine kullanım yüzdesi arttıkça kapiler su emme katsayı değeri azalmaktadır. Ortalama değerler dikkate alınacak olursa çelik lifsiz gruptaki referans numuneye göre hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı içeren numunelerin geçirimsizliği artmıştır.

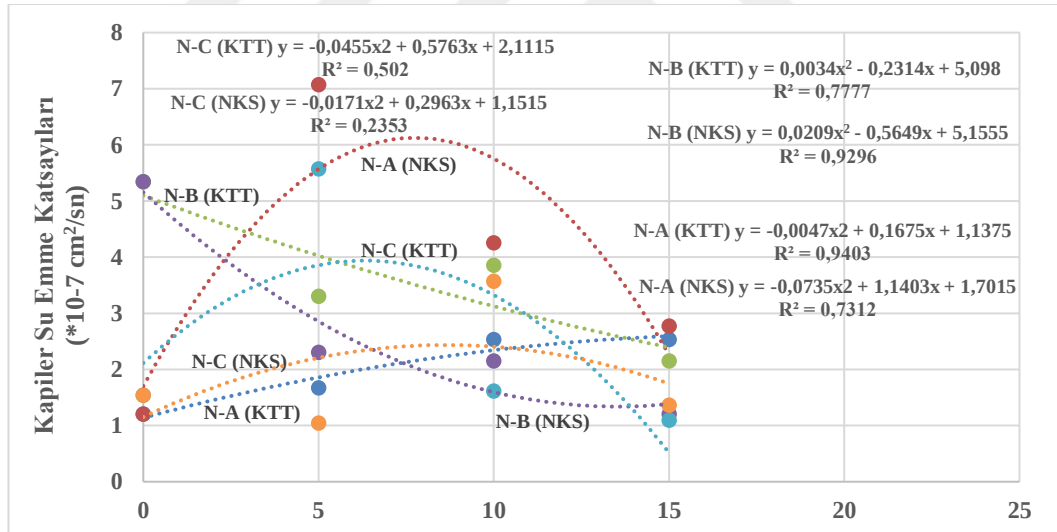
Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede ise ortalama kapiler su emme değerlerine göre hem Kandıra Taşı tozunun hem de nano karbon siyahının çimento yerine kullanım yüzdesi arttıkça kapiler su emme katsayı değerleri ilk olarak artış göstermiş daha sonra ise azalış göstermiştir. Ortalama değerler dikkate alınacak olursa hacimce %0.5 çelik lif içeren gruptaki referans numuneye göre tüm numunelerin geçirimsizliği azalmıştır.

Hacimce %1 çelik lif içeren numunede ise ortalama kapiler su emme değerlerine göre Kandıra Taşı tozunun çimento yerine kullanım yüzdesi arttıkça kapiler su emme katsayı değerleri azalmakta iken nano karbon siyahındaki durumda ise kapiler su emme katsayı değerleri ilk olarak artış göstermiş daha sonra ise azalış göstermiştir. Ortalama değerler dikkate alınacak olursa hacimce %1 çelik lif içeren gruptaki

referans numuneye göre KTT5-C ve NKS10-C serileri hariç tüm numunelerin geçirimsizliği azalmıştır.



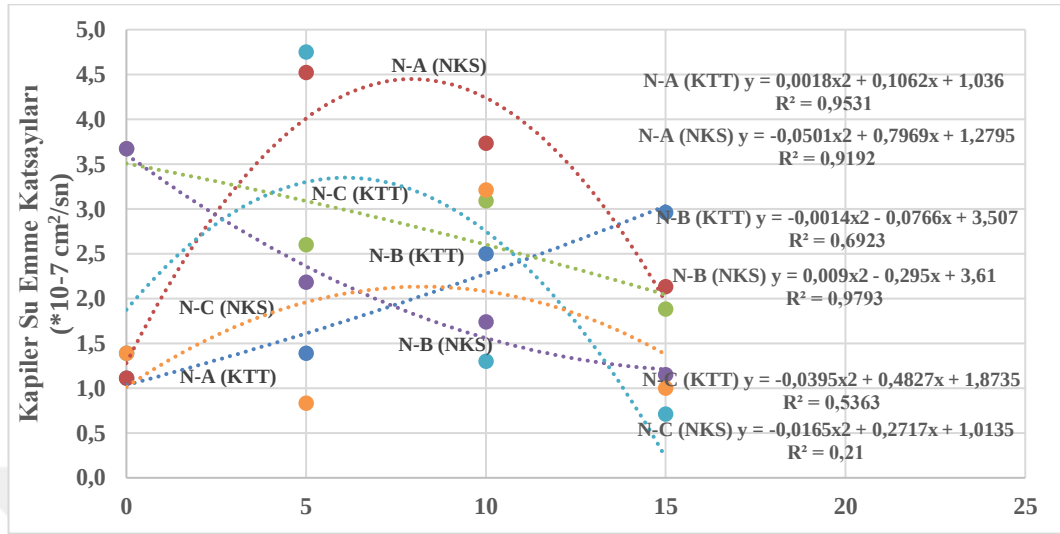
Şekil 4.22. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (15. dk)



Şekil 4.23. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (30. dk)

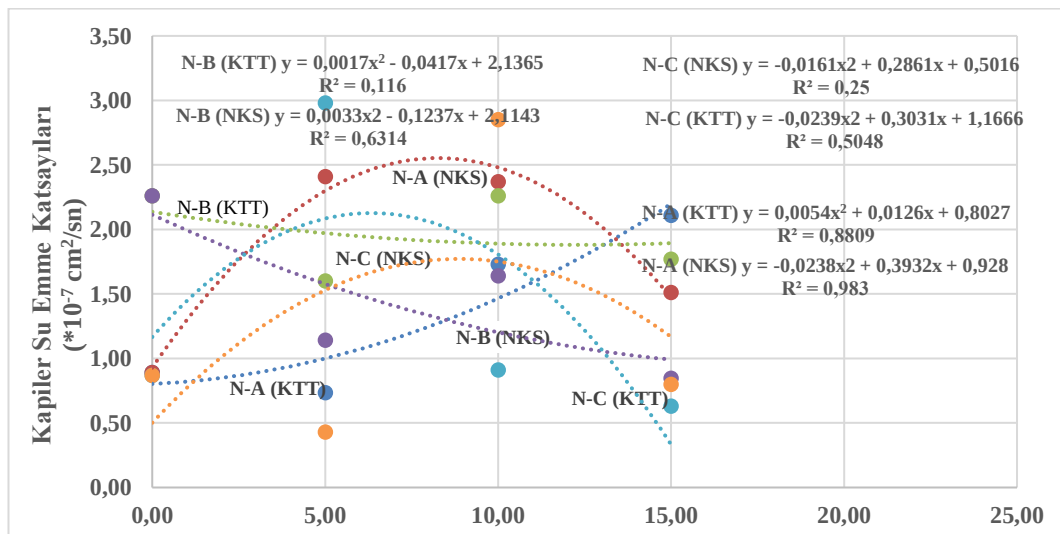
Şekil 4.22’de ve Şekil 4.23.’de verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde, Kandıra Taşı tozu içeren serilerde en iyi korelasyon katsayısı değerinin çelik lifsiz numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %1 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı içeren serilerde ise en iyi korelasyon katsayısı değerinin hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede ve en kötü korelasyon

katsayısı değerinin ise hacimce %1 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır.

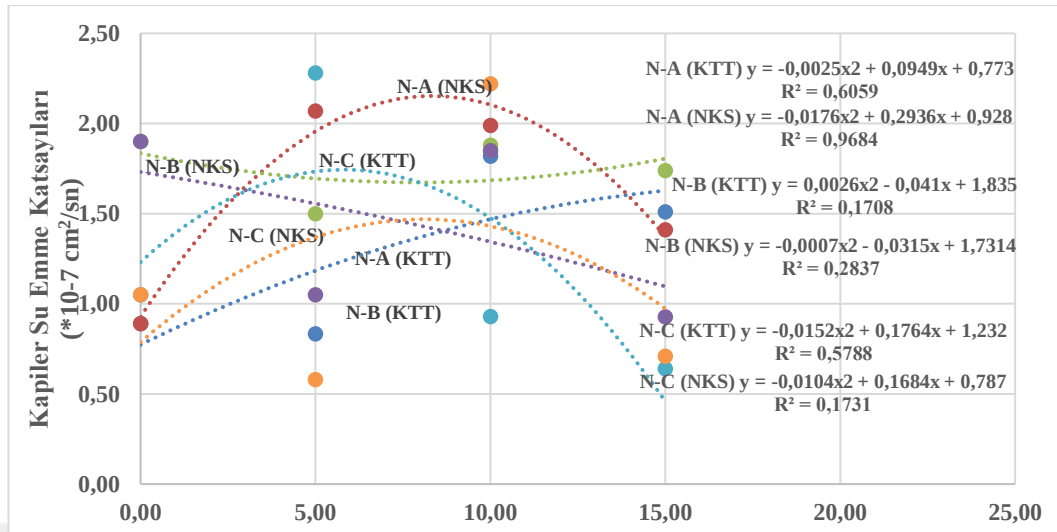


Şekil 4.24. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (60. dk)

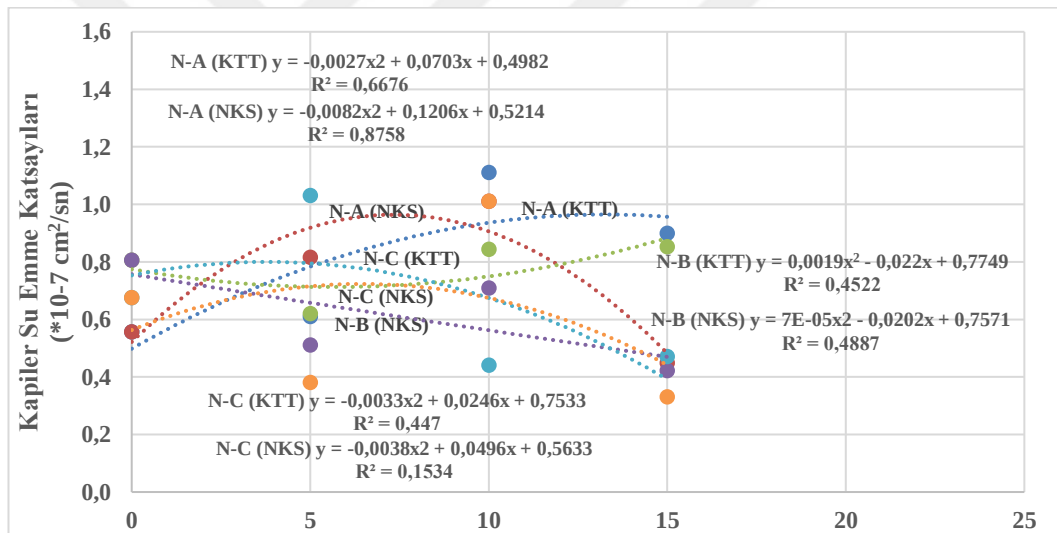
Şekil 4.24.'de verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde, Kandıra Taşı tozu içeren serilerde en iyi korelasyon katsayısı değerinin hacimce çelik lifsiz numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %1 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı içeren serilerde ise en iyi korelasyon katsayısı değerinin hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %1 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.25. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (120. dk)

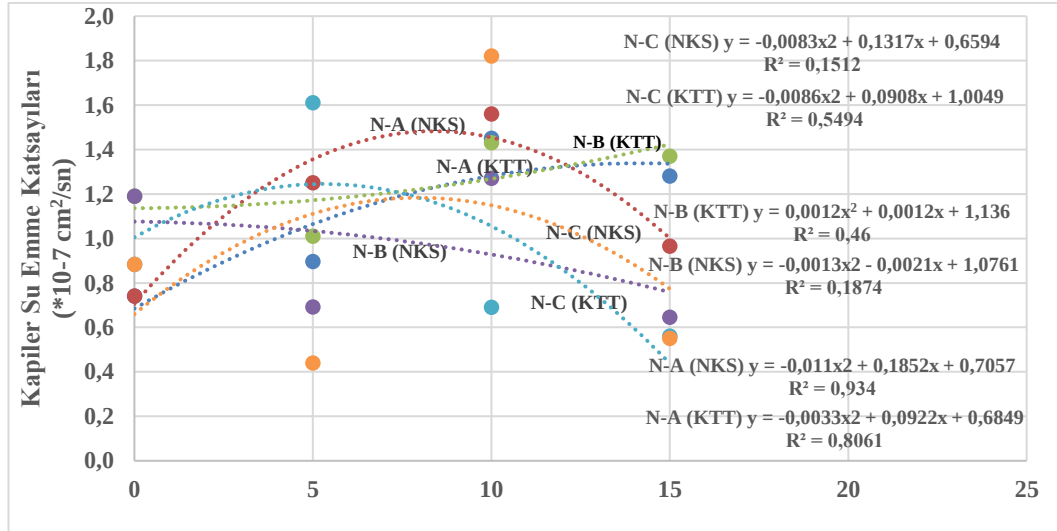


Şekil 4.26. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (180. dk)



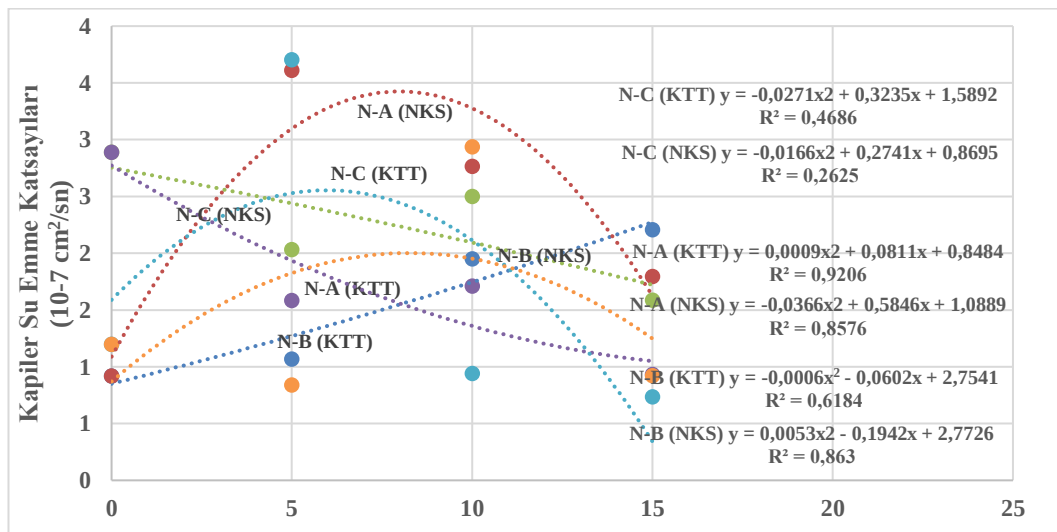
Şekil 4.27. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (360. dk)

Şekil 4.25., Şekil 4.26., Şekil 4.27. ve Şekil 4.28.'de verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde, Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren serilerde en iyi korelasyon katsayısı değerlerinin çelik lifsiz numunede olduğu görülmüştür. Nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozu içeren numuneler için en kötü korelasyon katsayısı değerlerinin ise sırasıyla hacimce %1 çelik lif içeren numunede ve hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.28. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (720. dk.)

Şekil 4.29.'da tüm zamanlardaki kapiler su emme katsayısı değerlerinin her bir numune için ortalamasına göre oluşturulmuş olan kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi verilmiştir. Şekil 4.29.'da verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde, Kandıra Taşı tozu içeren serilerde en iyi korelasyon katsayısı değerinin çelik lifsiz numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %1 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı içeren serilerde ise en iyi korelasyon katsayısı değerinin hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %1 çelik lif içeren numunede olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.29. Kapiler su emme katsayısı yer değiştirme oranı ilişkisi (Ortalama)

4.2.7. Görünen porozite

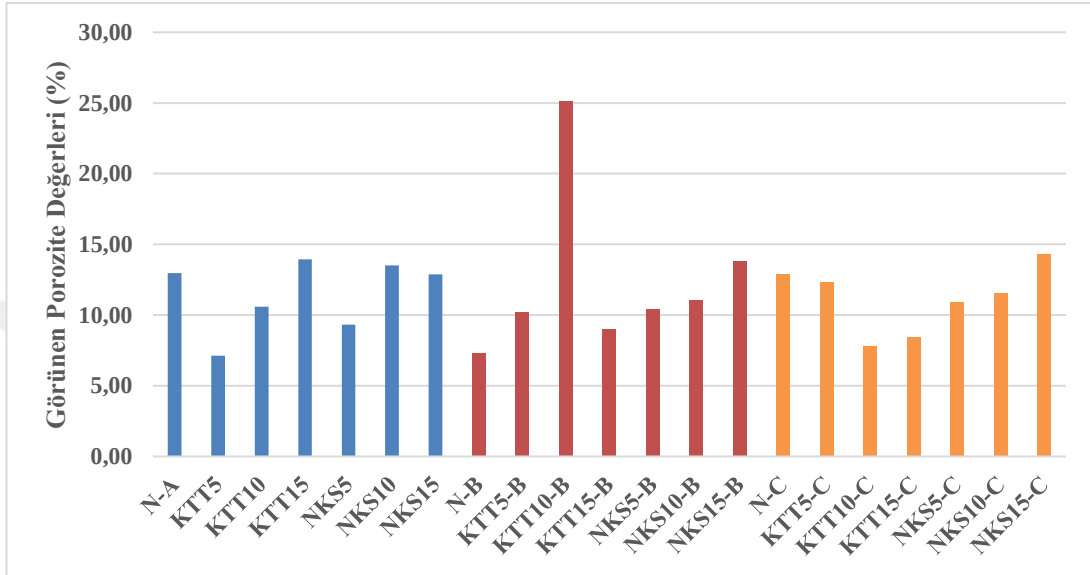
Ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında çimento yerine kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı ile üretilen çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren 10x10x3 cm prizmatik numunelerin porozite değerleri TS EN 772-4'e uygun olarak belirlenmiş olup tüm numunelere ait porozite değerleri Tablo 4.9.'de verilmiştir. Ayrıca çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin porozite değerlerinin yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.9.'de verilmiştir. Tablo 4.8.'de verilen değerler incelendiğinde, numunelerin porozite değerleri %7.1 ile %25.2 arasında değişmektedir. Porozite değeri en yüksek olan numune %25.2 ile KTT10-B serisi iken porozite değeri en düşük olan numune ise %7.1 ile KTT5-A serisidir. KTT10-B serisindeki porozite değerinin diğer tüm numunelere göre daha yüksek çıkmasının taze haldeki betonun kalıplara yerleştirilmesi esnasında homojen bir şekilde dağılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.9. Numunelerin görünen porozite değerleri (%)

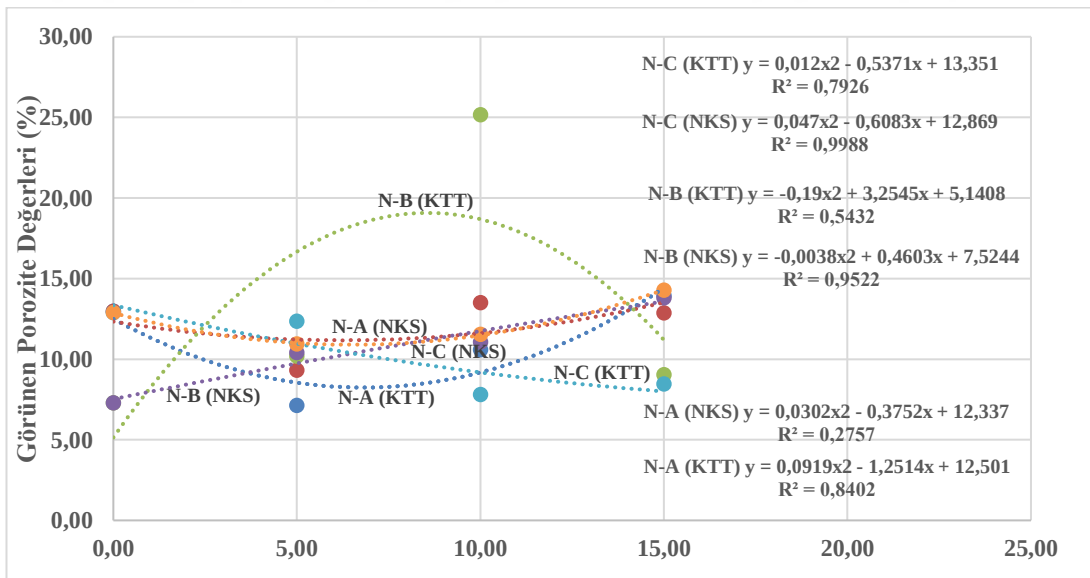
Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)
N-A	13,0	N-B	7,3	N-C	12,9
KTT5-A	7,1	KTT5-B	10,2	KTT5-C	12,4
KTT10-A	10,6	KTT10-B	25,2	KTT10-C	7,8
KTT15-A	13,9	KTT15-B	9,0	KTT15-C	8,5
NKS5-A	9,3	NKS5-B	10,4	NKS5-C	10,9
NKS10-A	13,5	NKS10-B	11,1	NKS10-C	11,5
NKS15-A	12,9	NKS15-B	13,8	NKS15-C	14,3

Tablo 4.9.'da verilen porozite değerleri incelendiğinde, A serisindeki Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin referans numuneye göre porozite değerleri KTT5-A ve KTT10-A serileri için sırasıyla %45 ve %18.4 oranında düşüş göstermiş iken KTT15-A serisi için ise %7.5 artış göstermiştir. Ayrıca A serisindeki nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre porozite değerleri NKS5-A ve NKS15-A serileri için sırasıyla %27.7 ve %0.7 düşüş göstermiş iken NKS10-A serisinde ise %4.2 oranında artış göstermiştir. B serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre porozite değerlerindeki artış miktarları KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B ve NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için

sırasıyla %22.3, %137.7, %13.4, %24, %29.1 ve %50.2 oranındadır. Son olarak C serisinde referans numuneye göre porozite değerleri NKS15-C serisi için %10.8 artış göstermiş iken KTT5-C, KTT10-C, KTT15-C, NKS5-C ve NKS10-C serileri için ise sırasıyla %4.2, %39.3, %34.1, %15 ve %10.4 oranlarında düşüş göstermiştir.



Şekil 4.30. Numunelerin görünen porozite değerleri (%)



Şekil 4.31. Numunelerin görünen porozite yer değiştirme oranı ilişkisi

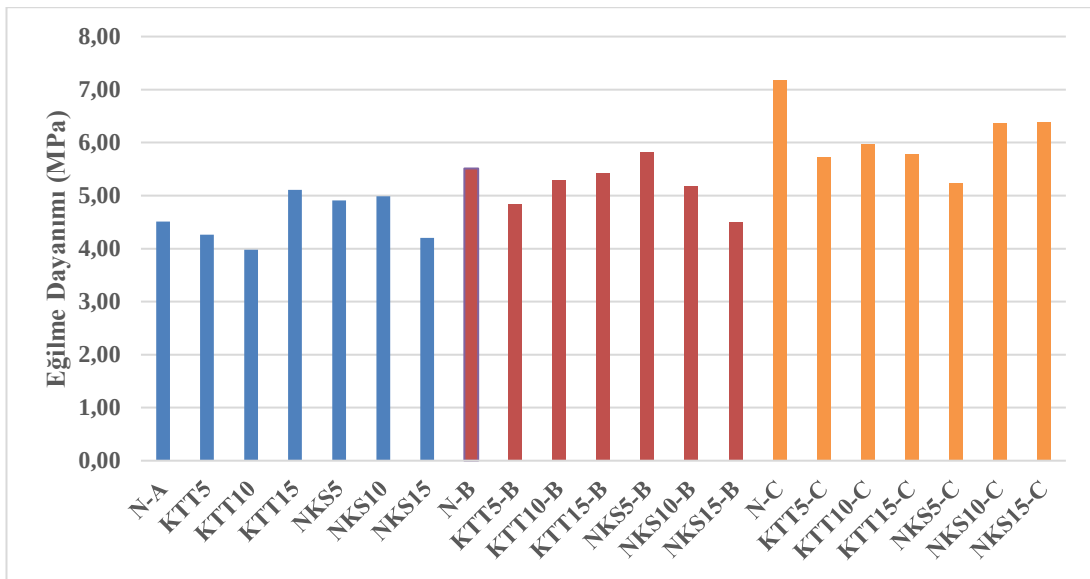
Şekil 4.31’de verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde, Kandıra Taşı tozu içeren serilerde en iyi korelasyon katsayısı değerinin çelik lifsiz numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede olduğu

sonucuna varılmıştır. Nano karbon siyahı içeren serilerde ise en iyi korelasyon katsayısı değerinin hacimce %1 çelik lif içeren numunede ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise çelik lifsiz numunede olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2.8. Eğilme dayanımı ve eğilme tokluğu

a) Eğilme dayanımı

Çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilerek kullanılan Kandıra Taşı tozlu ve nano karbon siyahlı çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lifli 10x10x40 cm boyutlarındaki prizmatik numunelerin eğilme dayanımını belirlemek amacıyla TS EN 12390-5'e uygun olarak eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen tüm numunelere ait eğilme dayanımı değerleri Tablo 4.10.'da verilmiştir. Ayrıca çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin yüzdesel değişim miktarları da Tablo 4.10.'da verilmiştir. Tablo 4.10.'da verilen değerler incelendiğinde, numunelerin eğilme dayanımı değerleri 3.98 MPa ile 7.18 MPa arasında değişmektedir. Eğilme dayanımı değeri en yüksek olan numune 7.18 MPa ile N-C serisi iken en düşük olan numune ise 3.98 MPa ile KTT10-A serisidir.

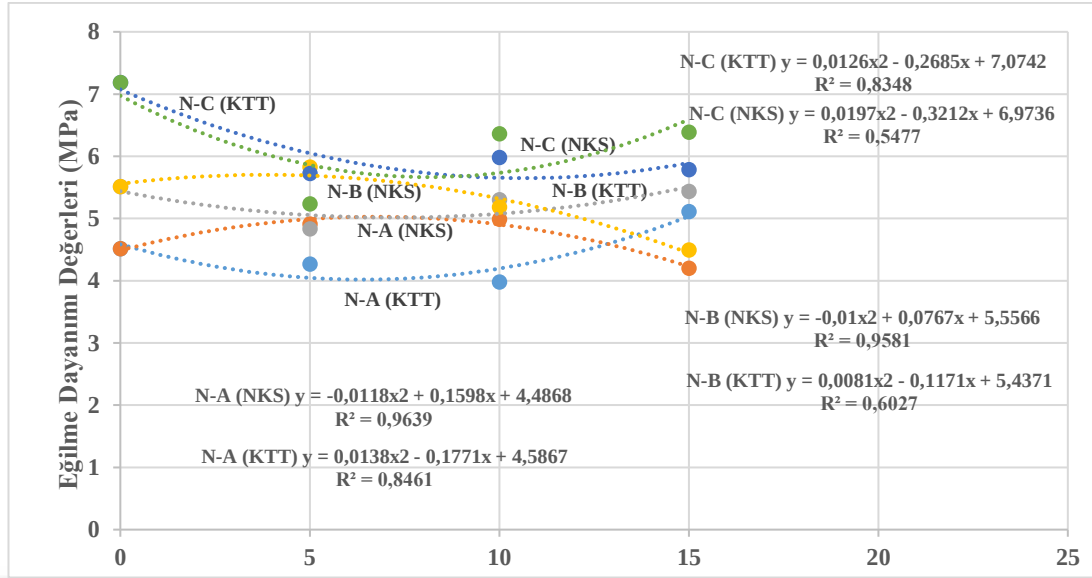


Şekil 4.32. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Tablo 4.10. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Numune Kodu	Maksimum Kuvvet (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Değişim (%)
N-A	8358,6	4,51	100,0
KTT5-A	7899,5	4,27	94,5
KTT10-A	7364,1	3,98	88,1
KTT15-A	9459,9	5,11	113,2
NKS5-A	9092,7	4,91	108,8
NKS10-A	9231,4	4,98	110,4
NKS15-A	7780,2	4,20	93,1
N-B	10206,2	5,51	122,1
KTT5-B	8947,4	4,83	107,0
KTT10-B	9814,6	5,30	117,4
KTT15-B	10058,3	5,43	120,3
NKS5-B	10786,5	5,82	129,0
NKS10-B	9598,5	5,18	114,8
NKS15-B	8318,2	4,49	99,5
N-C	13296,9	7,18	159,1
KTT5-C	10600,5	5,72	126,8
KTT10-C	11069,6	5,98	132,4
KTT15-C	10710,9	5,78	128,1
NKS5-C	9699,0	5,23	116,0
NKS10-C	11776,6	6,36	140,9
NKS15-C	11823,5	6,38	141,5

Tablo 4.10.'da verilen eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, A serisindeki çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre eğilme dayanımı değerleri KTT15-A, NKS5-A ve NKS10-A serileri için sırasıyla %13.2, %8.8 ve %10.4 oranında artış göstermiş iken KTT5-A, KTT10-A ve NKS15-A serileri için ise sırasıyla %5.5, %11.9 ve %6.9 oranında düşüş göstermiştir. B serisindeki Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin referans numuneye göre eğilme dayanımı değerleri NKS5-B serisinde %5.7 oranında artış göstermiş iken KTT5-B, KTT10-B ve KTT15-B, NKS10-B ve NKS15-B serileri için ise sırasıyla %12.3, %3.8, %1.4, %6 ve %18.5 oranında azalmıştır. Son olarak C serisinde referans numuneye göre eğilme dayanımı değerleri KTT5-C, KTT10-C, KTT15-C, NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için sırasıyla %20.3, %16.8, %19.5, %27.1, %11.5 ve %11.1 oranında düşüş göstermiştir. Numunelerdeki çelik lif hacmi arttıkça eğilme dayanımı değerlerinde de artış gerçekleştiği Şekil 4.32.'de rahatlıkla gözlenmektedir.



Şekil 4.33. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri yer değiştirme oranı ilişkisi

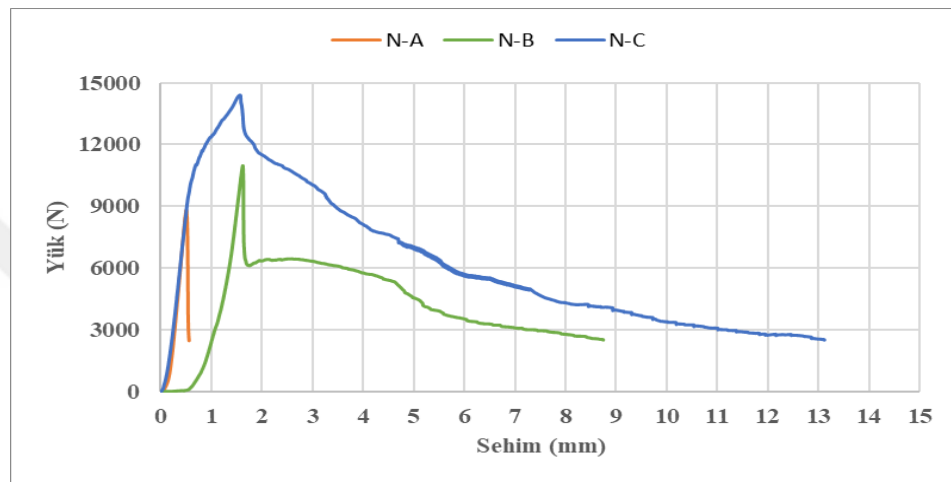
Şekil 4.33.'te verilen eğilme dayanımı – yer değiştirme oranı ilişkisindeki korelasyon katsayıları incelendiğinde, Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren serilerde en iyi korelasyon katsayısı değerinin çelik lifsiz numunelerde ve en kötü korelasyon katsayısı değerinin ise hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde olduğu sonucuna varılmıştır. Lif hacmi arttıkça korelasyon katsayı değerleri azalmaktadır.

b) Eğilme tokluğu

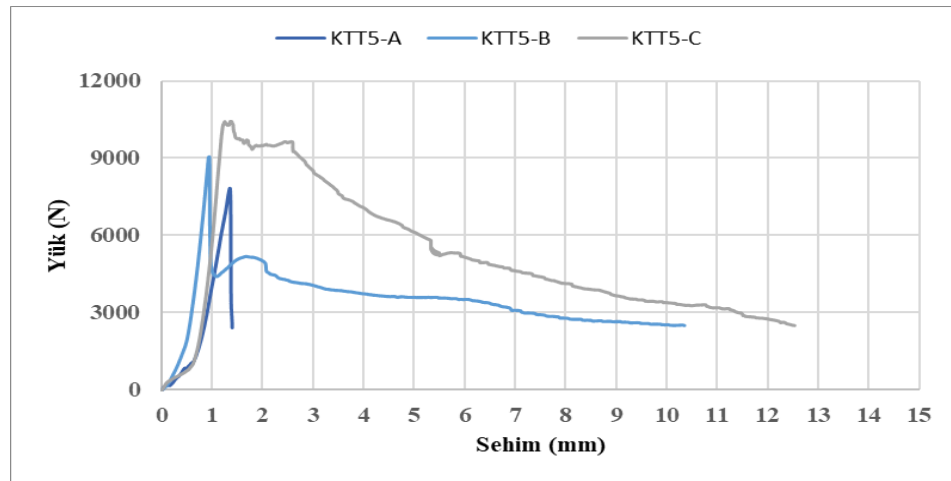
Ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında çimento yerine kullanılan Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı ile üretilen çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren numunelerde yapılan üç noktalı eğilme deneyi ile, numunelerin yük – sehim grafikleri elde edilmiştir. Yük – sehim grafikleri hem referans numuneler için hem de Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numuneler için %0 (A), %0.5 (B) ve %1 (C) lif içerikleri ile enerji yutma kapasiteleri değişimlerinin gözlenebileceği şekilde hazırlanmış ve Şekil 4.34., Şekil 4.35., Şekil 4.36., Şekil 4.37., Şekil 4.38., Şekil 4.39. ve Şekil 4.40.'da gösterilmiştir. Yük-sehim grafiklerinden elde edilen tokluk değerleri ise Tablo 4.11.'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 4.11.'de çelik lifsiz referans numuneye (N-A) bağlı olarak tüm numunelerin tokluk değerlerinin yüzdesel değişim miktarları verilmiştir.

Tablo 4.11. Numunelerin eğilme tokluğu değerleri (N.m)

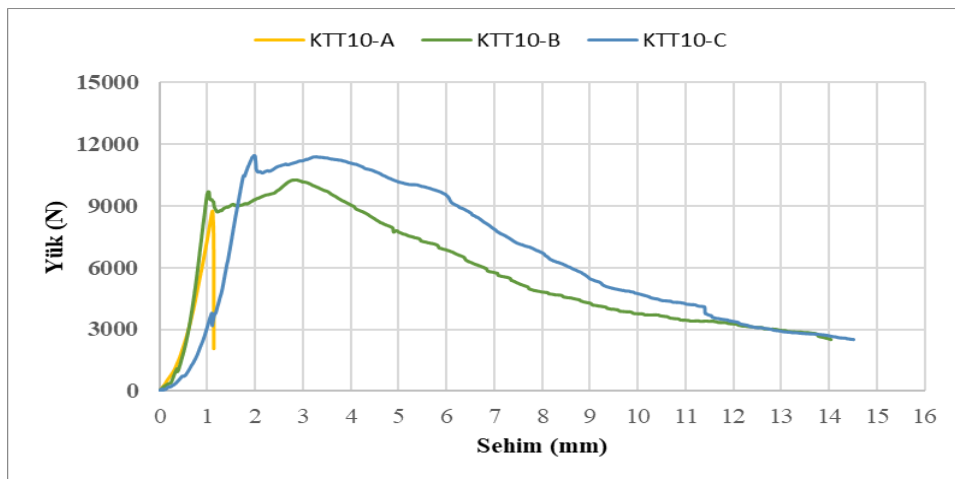
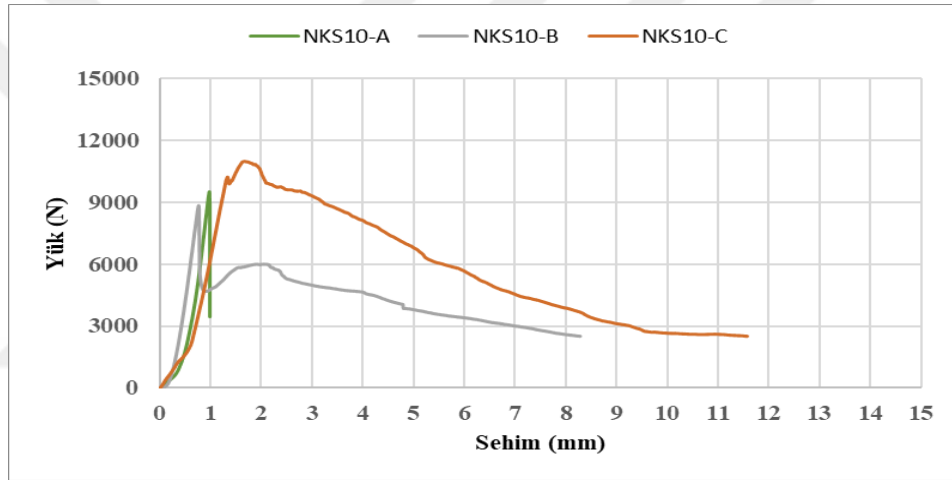
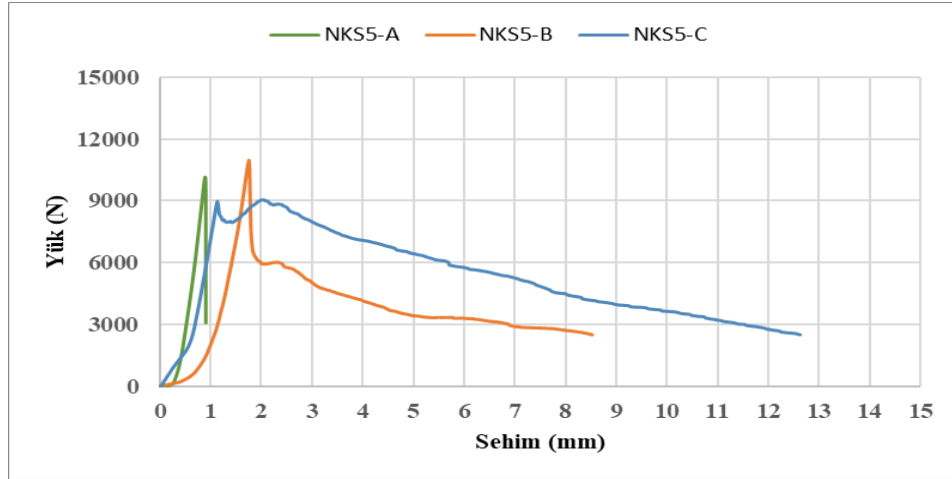
Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)	Numune Kodu	Değişim (%)
N-A	1,9	N-B	33,1	N-C	88,4
KTT5-A	3,2	KTT5-B	36,8	KTT5-C	79,9
KTT10-A	2,7	KTT10-B	45,7	KTT10-C	82,2
KTT15-A	3,9	KTT15-B	52,9	KTT15-C	83,2
NKS5-A	2,9	NKS5-B	58,4	NKS5-C	63,9
NKS10-A	3,8	NKS10-B	56,9	NKS10-C	81,3
NKS15-A	3,4	NKS15-B	41,0	NKS15-C	77,2

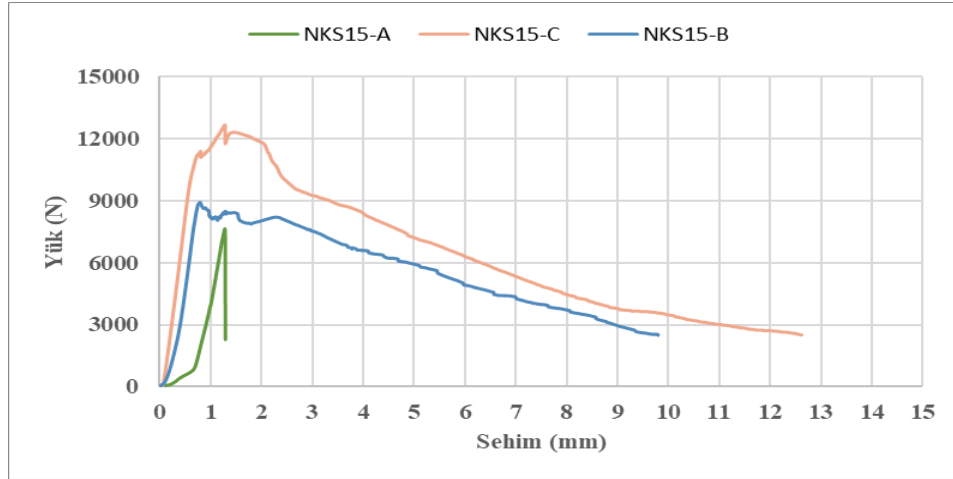


Şekil 4.34. Yük – sehim grafikleri (N-A, N-B, N-C)

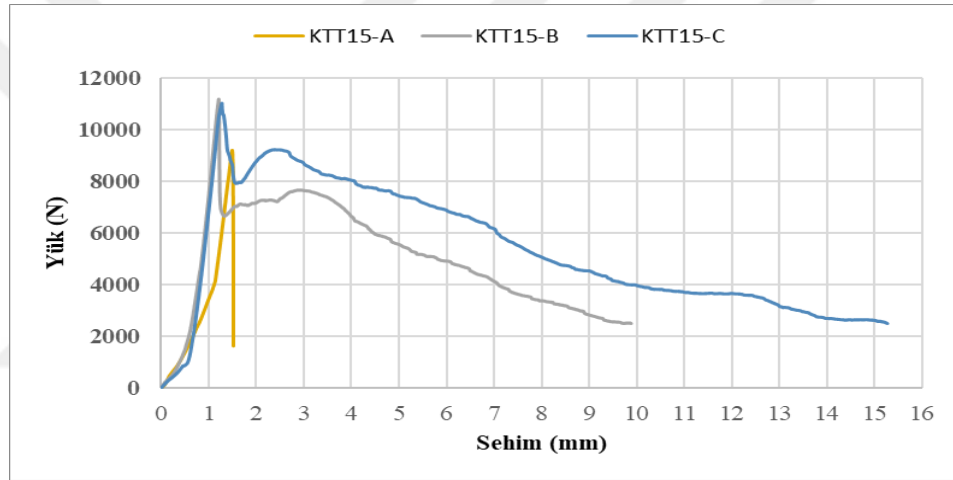


Şekil 4.35. Yük – sehim grafikleri (KTT5-A, KTT5-B, KTT5-C)





Şekil 4.39. Yük – sehim grafikleri (NKS15-A, NKS15-B, NKS15-C)



Şekil 4.40. Yük – sehim grafikleri (KTT15-A, KTT15-B, KTT15-C)

Lif hacminin artmasıyla birlikte numunelerin enerji yutabilme kapasitelerinin de (toklukları) gözle görülür şekilde arttığı görülmüştür. Yük-sehim grafikleri incelendiğinde, tüm serilerde tepe noktalarından sonra ani bir düşüş olduğu görülmektedir. Deney sırasında yükün ani azalması ile çatlak ağzı açılmış ve alt bölgedeki liflerin sıyrıldığı veya nadiren koptuğu görülmüştür. Sehim miktarının artması ile alt bölgeye yakın bulunan lifler, çatlak köprülemesi yaparak numunelerin yük taşımaya devam etmesini sağlamıştır.

Numune serilerinde en yüksek eğilme tokluğu değeri 88.4 N.m ile N-C numunesine ait iken en düşük eğilme tokluğu değeri ise 1.9 N.m ile N-A serisine aittir. Tablo 4.11.'de verilen eğilme tokluğu değerleri incelendiğinde, A serisindeki numunelerin

referans numuneye göre eğilme tokluğu değerlerindeki artış miktarları KTT5-A, KTT10-A, KTT15-A, NKS5-A, NKS10-A ve NKS15-A serileri için sırasıyla %67.7, %44.1, %108.6, %52.5, %102.2 ve %78.7 oranındadır. Eğilme tokluğu değerlerindeki artış miktarı B serisinde ise referans numuneye göre KTT5-B, KTT10-B, KTT15-B, NKS5-B, NKS10-B ve NKS15-B serilerinde sırasıyla %11.2, %37.8, %59.7, %76.3, %71.7 ve %23.8 oranındadır. Son olarak C serisinde referans numuneye göre eğilme tokluğu değerleri KTT5-C, KTT10-C, KTT15-C, NKS5-C, NKS10-C ve NKS15-C serileri için sırasıyla %9.7, %7.1, %5.9, %27.7, %8.1 ve %12.7 oranında düşüş göstermiştir.

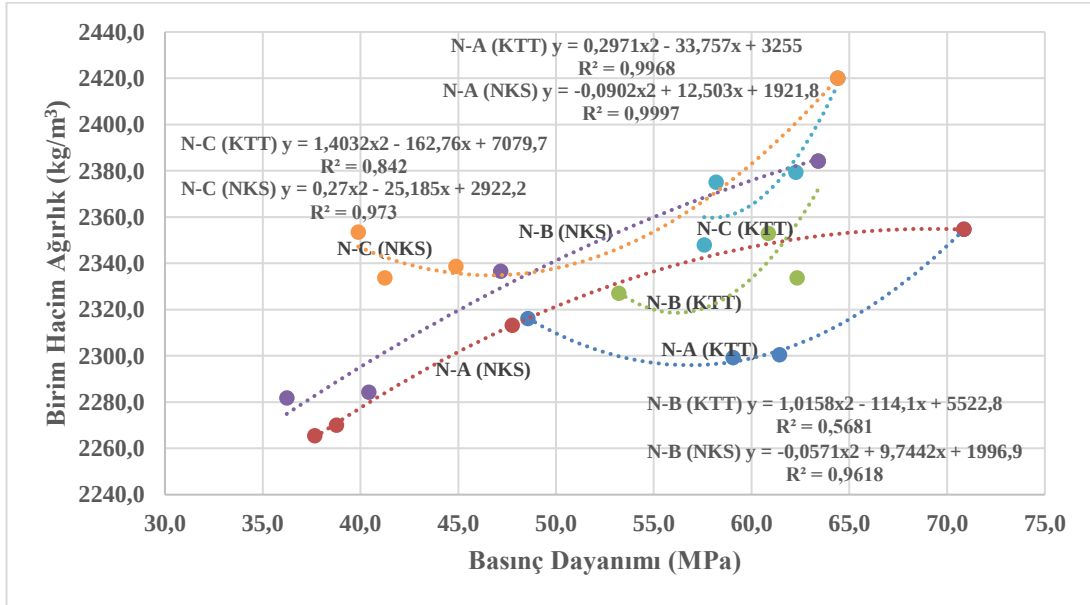


BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde sonuçları bir önceki bölümde verilen fiziksel ve mekanik özelliklerin birbirleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve incelenen parametreler arasındaki ilişkileri temsil eden korelasyonlar elde edilmiştir.

5.1. Birim Ağırlık – Basınç Dayanımı İlişkisi

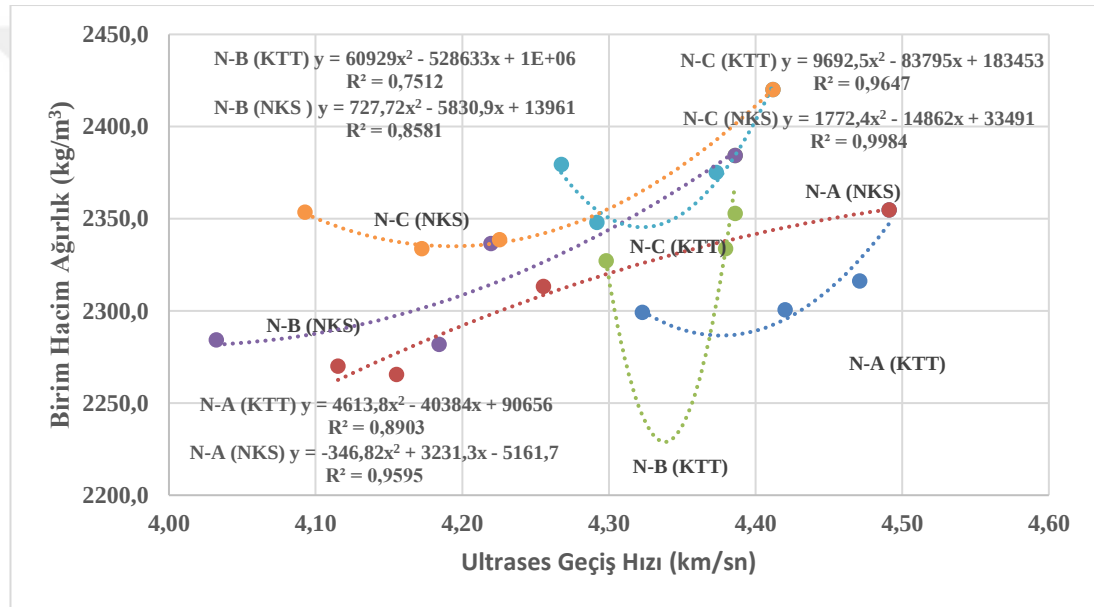
Sertleşmiş birim hacim ağırlık – basınç dayanımı ilişkisi Şekil 5.1.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değerleri çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Bununla birlikte N-B (KTT) hariç diğer tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Birim hacim ağırlık – basınç dayanımı ilişkisi

5.2. Birim Ağırlık –Ultras es Geçiş Hızı İlişkisi

Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık – ultras es geçiş hızı (28. günde ki direkt okuma metodu sonucunda elde edilen) ilişkisi Şekil 5.2.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değerleri hacimce %1 çelik lif içeren numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Bununla birlikte tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.

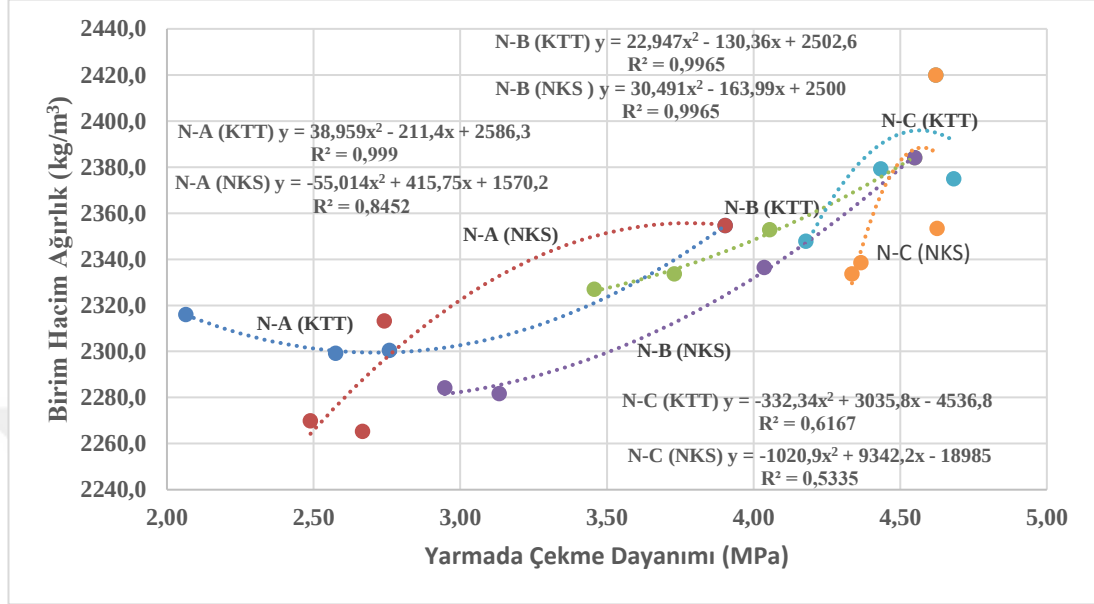


Şekil 5.2. Birim hacim ağırlık – ultras es geçiş hızı ilişkisi

5.3. Birim Ağırlık – Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi

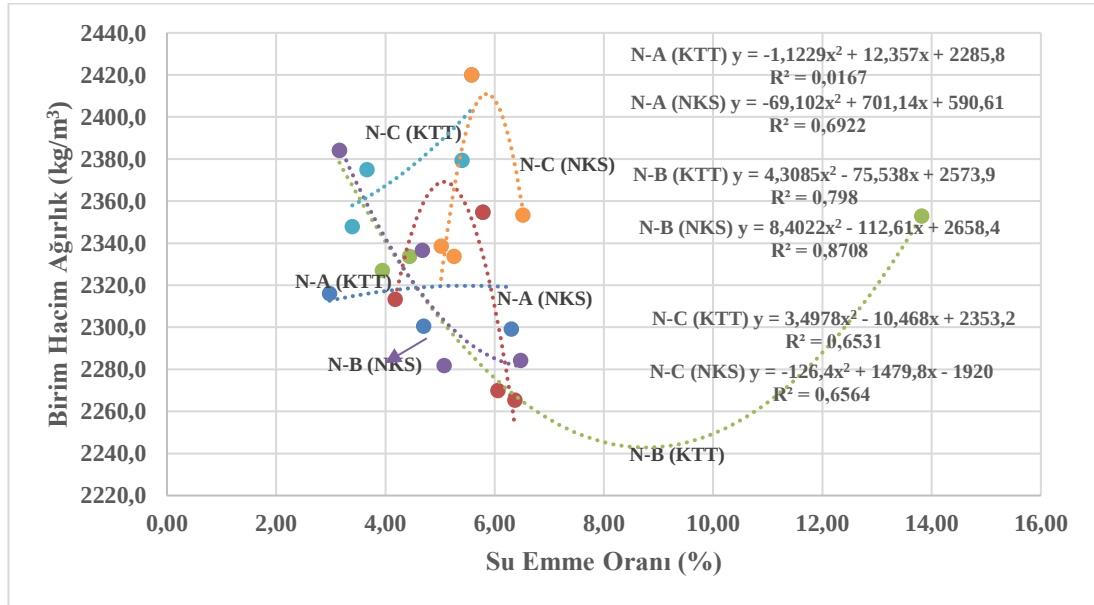
Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık – yarmada çekme dayanımı ilişkisi Şekil 5.3.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon

katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Bununla birlikte N-C (KTT) ve N-C (NKS) hariç tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Birim hacim ağırlık – yarmada çekme dayanımı ilişkisi

5.4. Birim Ağırlık –Su Emme Oranı İlişkisi

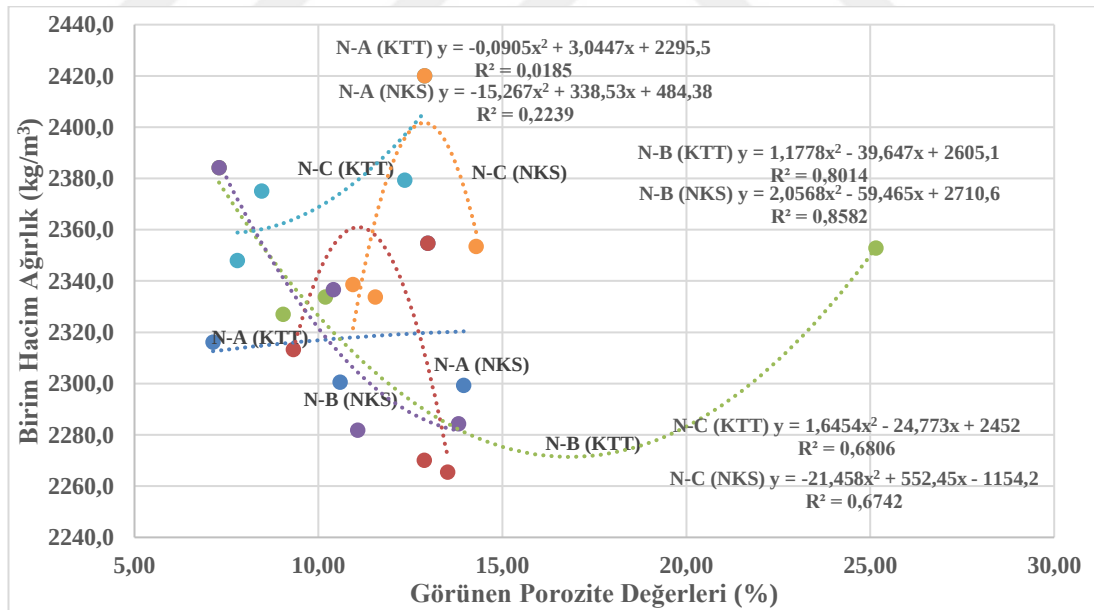


Şekil 5.4. Birim hacim ağırlık – su emme oranı ilişkisi

Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık – su emme oranı ilişkisi Şekil 5.4.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değerleri hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

5.5. Birim Ağırlık –Görünen Porozite İlişkisi

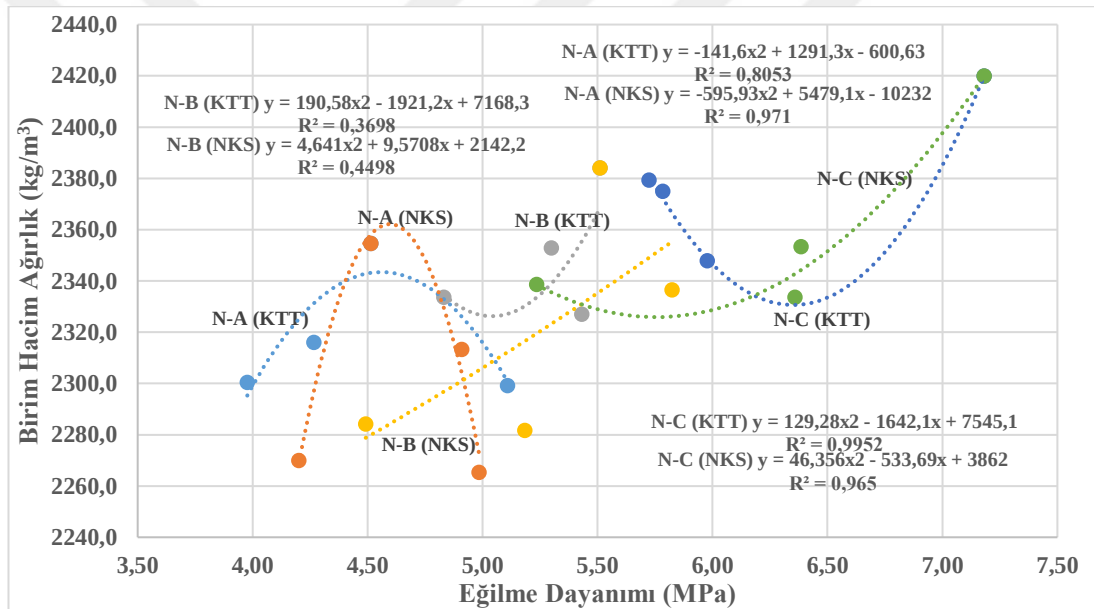
Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık – görünen porozite ilişkisi Şekil 5.5.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değerleri hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.



Şekil 5.5. Birim hacim ağırlık – görünen porozite ilişkisi

5.6. Birim Ağırlık –Eğilme Dayanımı İlişkisi

Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık – eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 5.6.’da verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Bununla birlikte N-B (KTT) ve N-B (NKS) hariç tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.

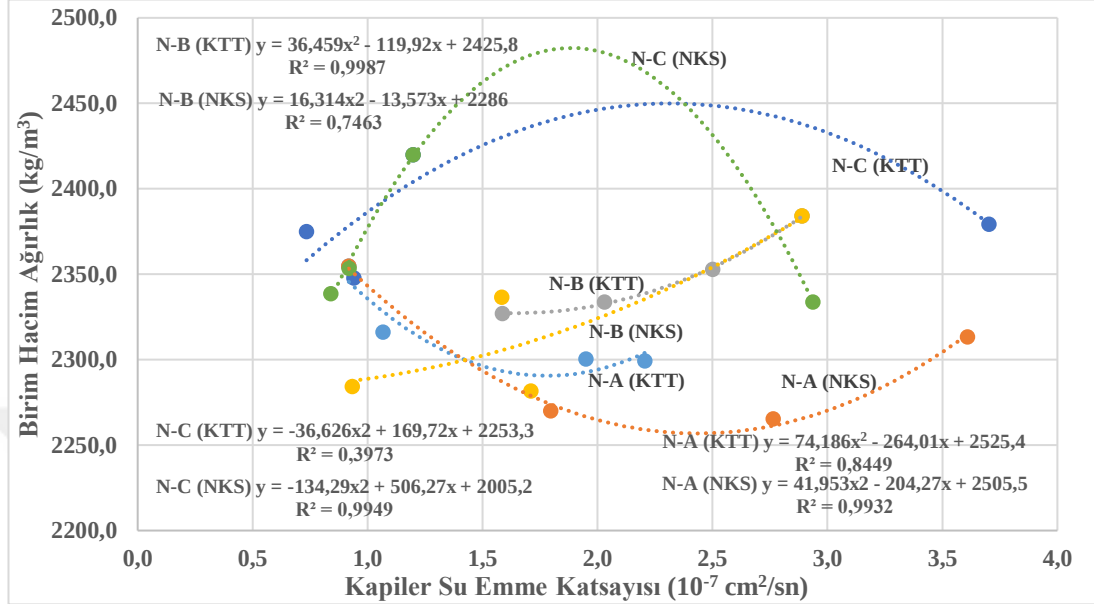


Şekil 5.6. Birim hacim ağırlık – eğilme dayanımı ilişkisi

5.7. Birim Ağırlık –Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi

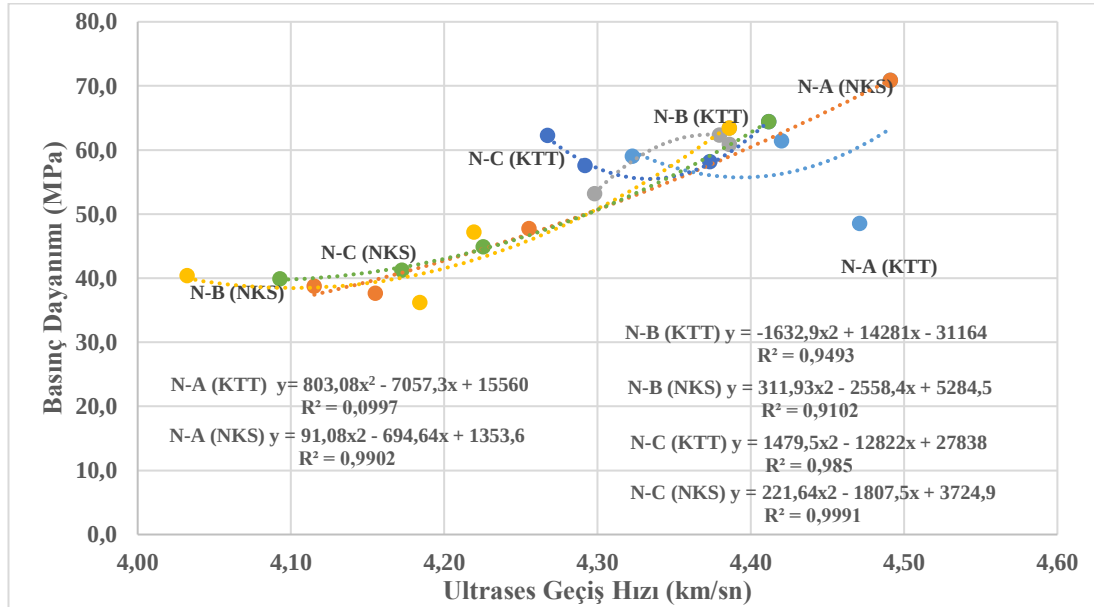
Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık – kapiler su emme katsayısı ilişkisi Şekil 5.7.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce

azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Bununla birlikte N-C (KTT) hariç tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Birim hacim ağırlık – kapiler su emme katsayısı ilişkisi

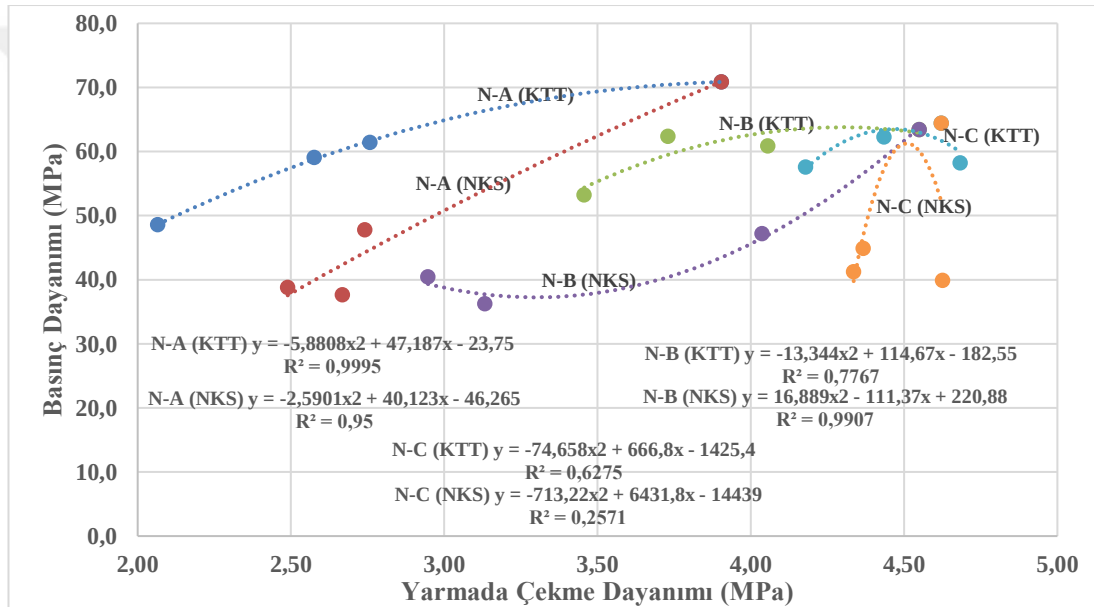
5.8. Basınç Dayanımı – Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi



Şekil 5.8. Basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi

Numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi Şekil 5.8.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değerleri hacimce %1 çelik lif içeren numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Bununla birlikte N-A (KTT) hariç tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.

5.9. Basınç Dayanımı –Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi

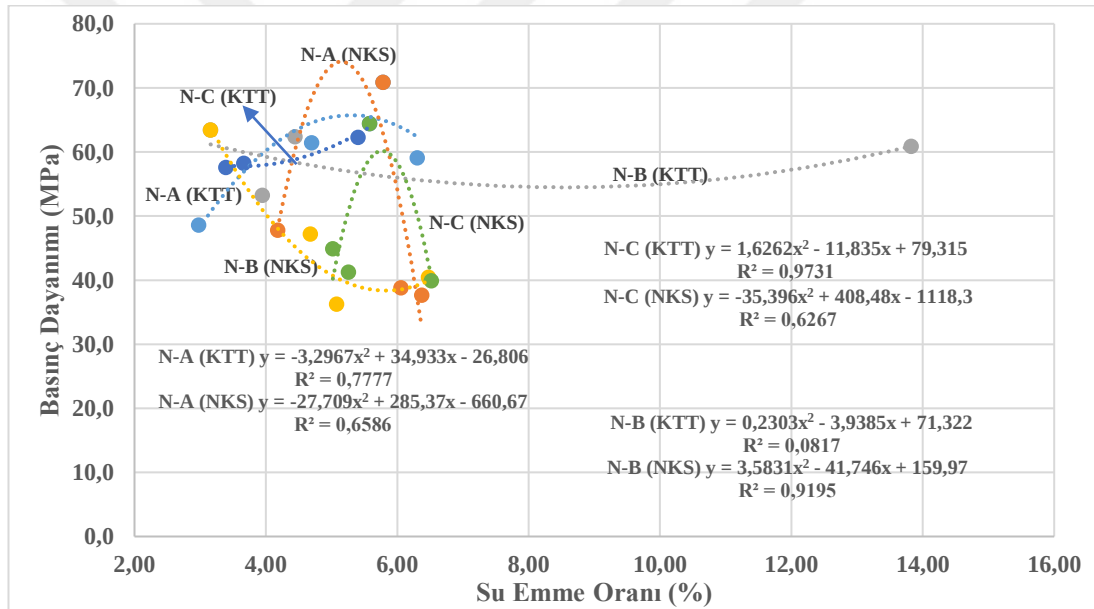


Şekil 5.9. Basınç dayanımı – yarmada çekme dayanımı ilişkisi

Numunelerin basınç dayanımı – yarmada çekme dayanımı ilişkisi Şekil 5.9.'da verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Bununla birlikte N-C (KTT) ve N-C (NKS) hariç tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.

5.10. Basınç Dayanımı –Su Emme Oranı İlişkisi

Numunelerin basınç dayanımı – su emme oranı ilişkisi Şekil 5.10.'da verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lifli numunede ve nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Bununla birlikte N-B (KTT), N-C (NKS) ve N-A (NKS) hariç diğer tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.

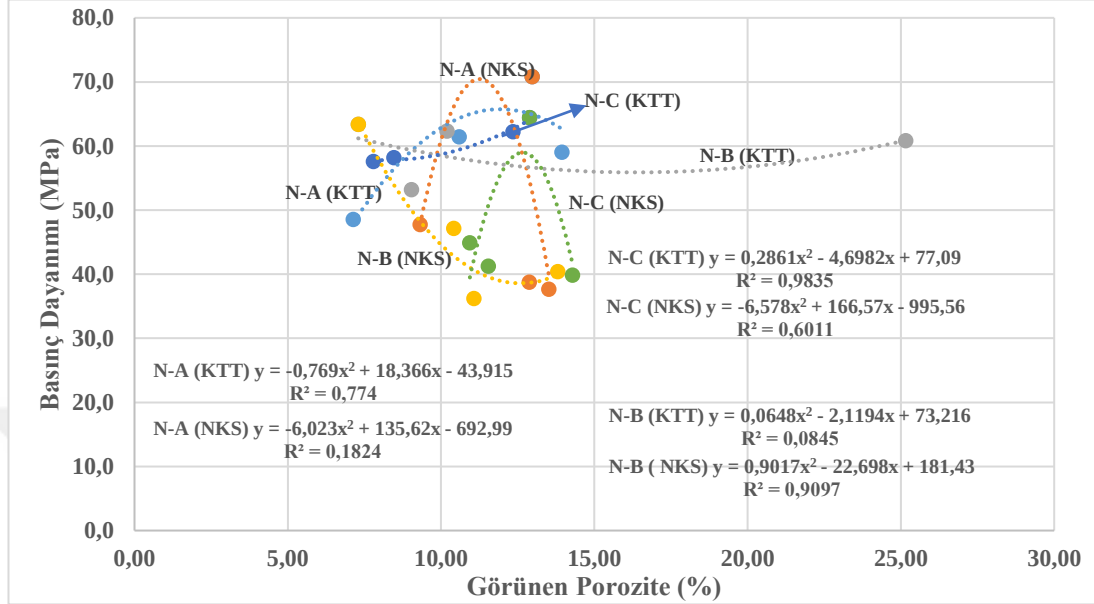


Şekil 5.10. Basınç dayanımı – su emme oranı ilişkisi

5.11. Basınç Dayanımı –Görünen Porozite İlişkisi

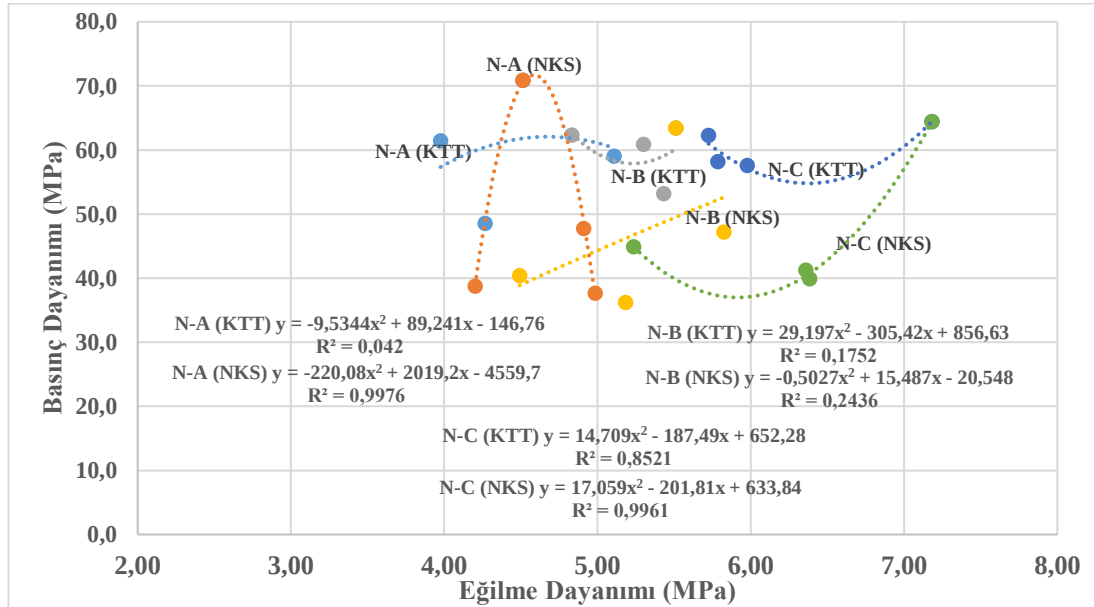
Numunelerin basınç dayanımı – görünen porozite ilişkisi Şekil 5.11.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon

katsayısı değerleri artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.



Şekil 5.11. Basınç dayanımı – görünen porozite ilişkisi

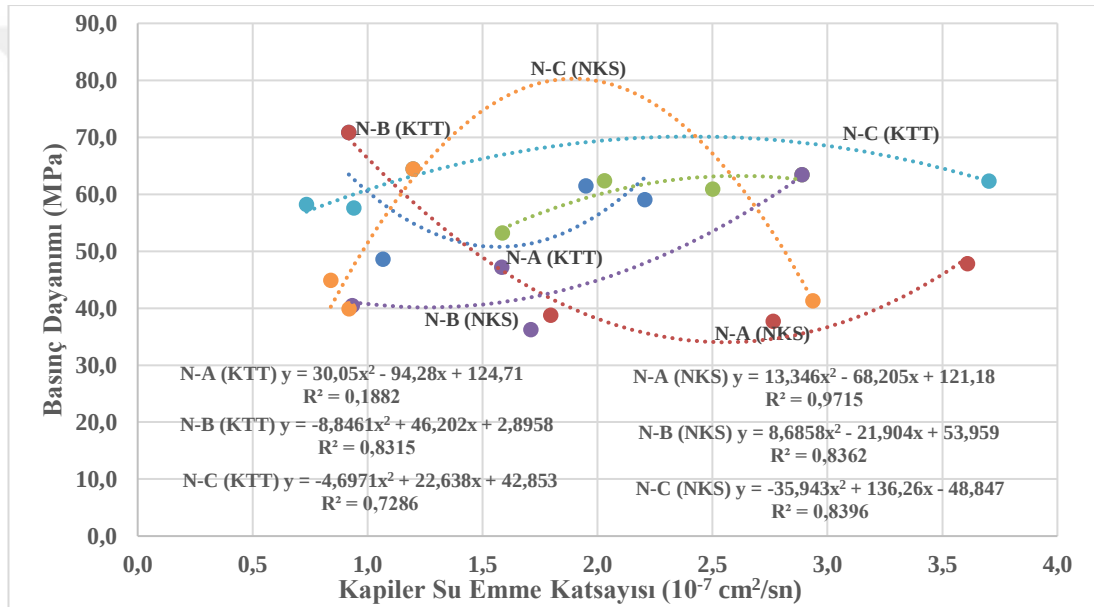
5.12. Basınç Dayanımı –Eğilme Dayanımı İlişkisi



Şekil 5.12. Basınç dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin basınç dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 5.12.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır.

5.13. Basınç Dayanımı –Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi

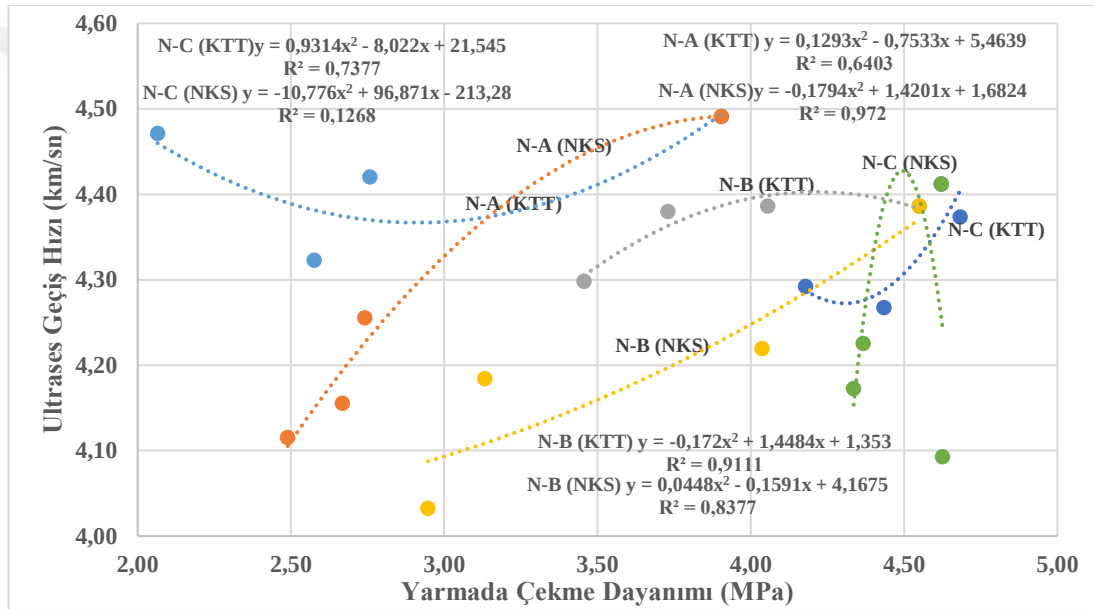


Şekil 5.13. Basınç dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi

Numunelerin sertleşmiş basınç dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi Şekil 5.13.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Bununla birlikte N-A (KTT) hariç tüm serilerde oldukça yüksek korelasyonlar elde edilmiştir.

5.14. Ultrases Geçiş Hızı – Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi

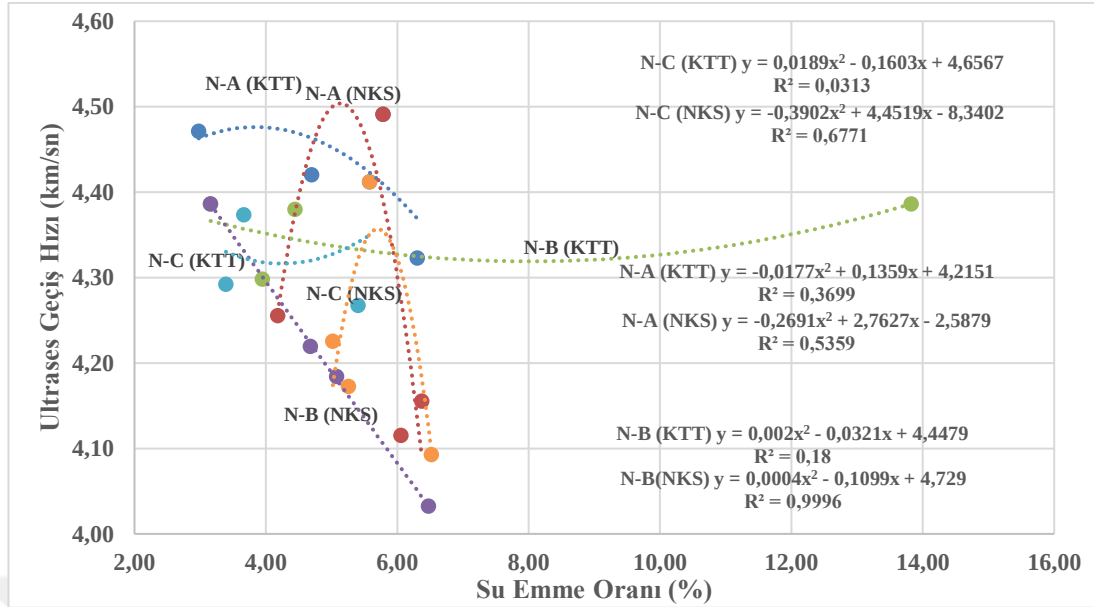
Numunelerin ultrases geçiş hızı – yarmada çekme dayanımı ilişkisi Şekil 5.14.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri azalmaktadır.



Şekil 5.14. Ultrases geçiş hızı – yarmada çekme dayanımı ilişkisi

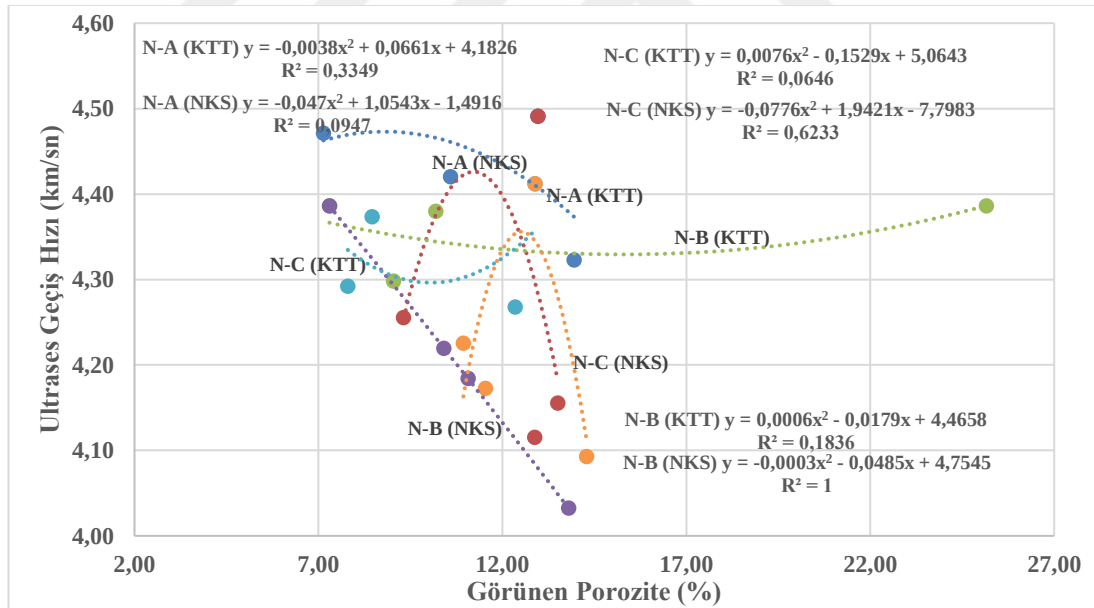
5.15. Ultrases Geçiş Hızı – Su Emme Oranı İlişkisi

Numunelerin ultrases geçiş hızı – su emme oranı ilişkisi Şekil 5.15.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.



Şekil 5.15. Ultrases geçiş hızı – su emme oranı ilişkisi

5.16. Ultrases Geçiş Hızı – Görünen Porozite İlişkisi

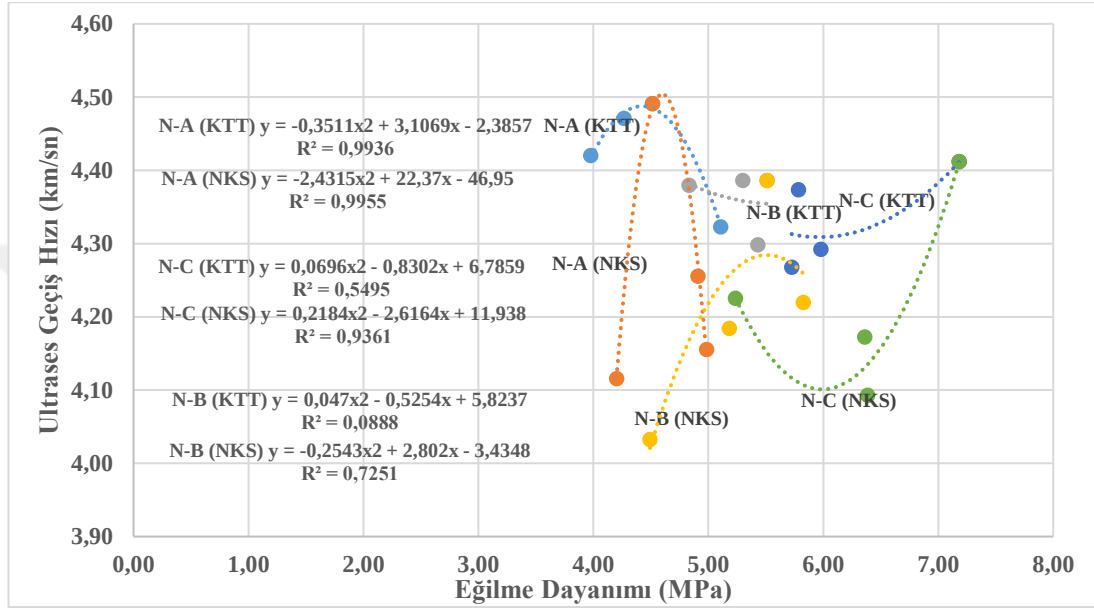


Şekil 5.16. Ultrases geçiş hızı – görünen porozite ilişkisi

Numunelerin ultrases geçiş hızı –görünen porozite ilişkisi Şekil 5.16.’da verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir.

Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

5.17. Ultrases Geçiş Hızı – Eğilme Dayanımı İlişkisi



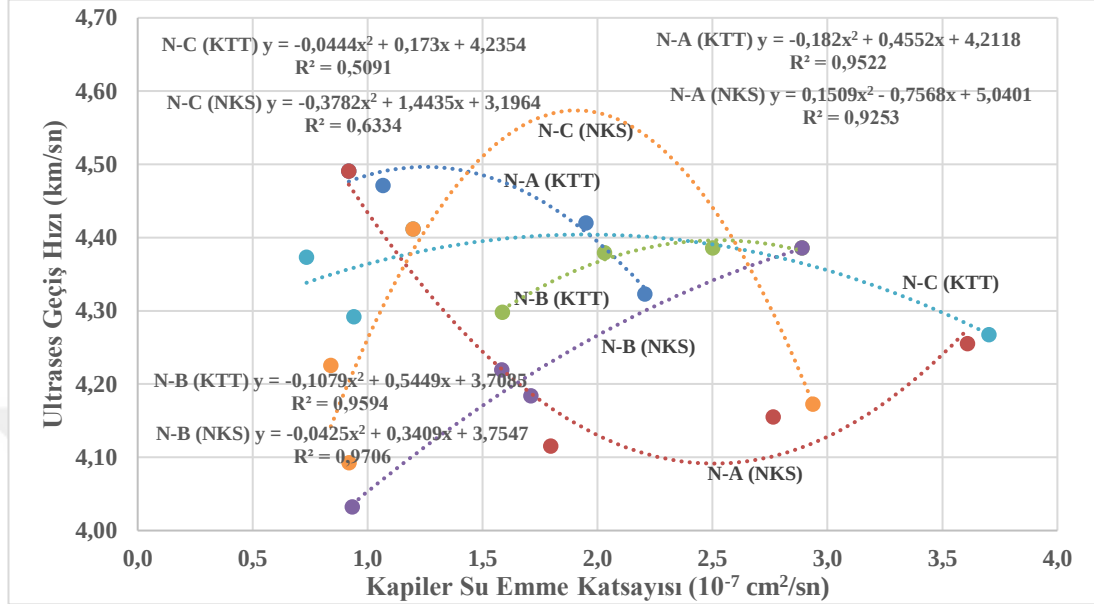
Şekil 5.17. Ultrases geçiş hızı – eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin ultrases geçiş hızı – eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 5.17.'de verilmiştir. Hem Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça hem Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır.

5.18. Ultrases Geçiş Hızı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi

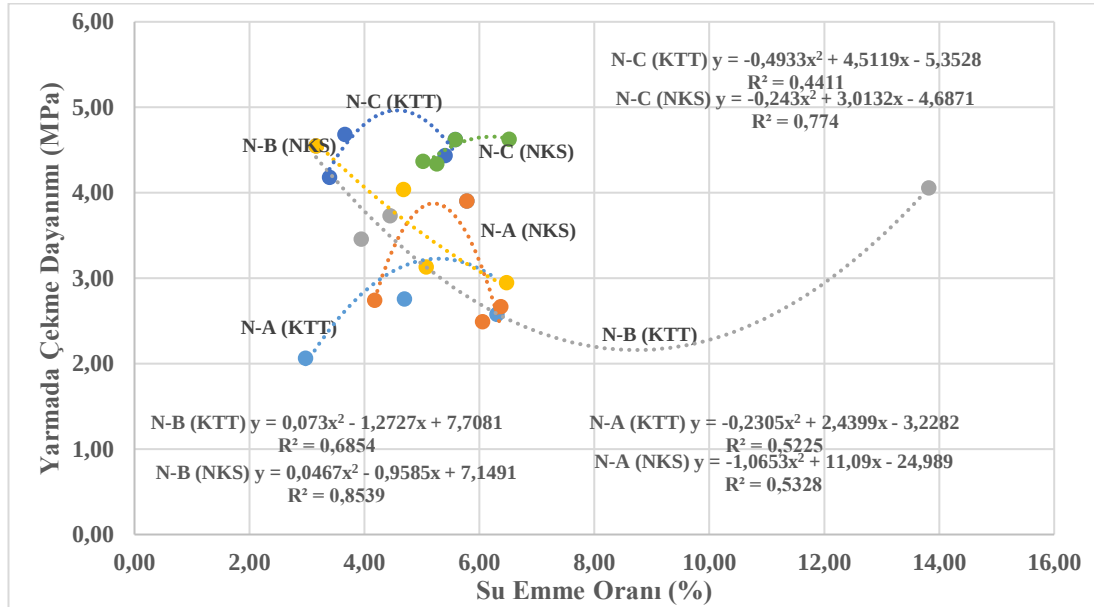
Numunelerin ultrases geçiş hızı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi Şekil 5.18.'de verilmiştir. Hem Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça hem Kandıra Taşı tozu içeren

numunelerde hem de nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.



Şekil 5.18. Ultrases geçiş hızı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi

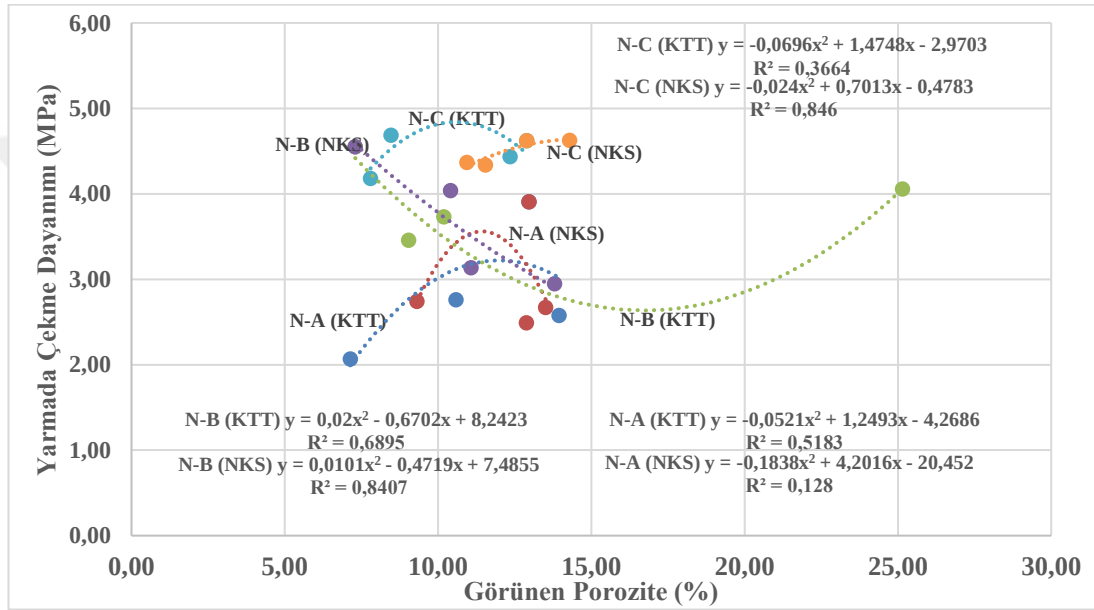
5.19. Yarmada Çekme Dayanımı – Su Emme Oranı İlişkisi



Şekil 5.19. Yarmada çekme dayanımı – su emme oranı ilişkisi

Numunelerin yarmada çekme dayanımı - su emme oranı ilişkisi Şekil 5.19.'da verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

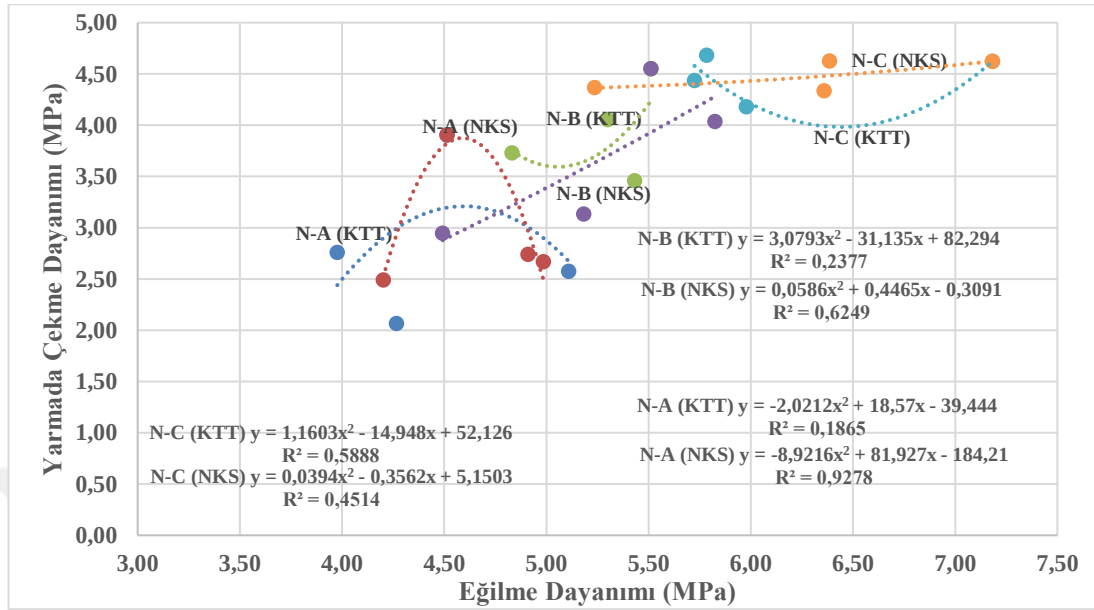
5.20. Yarmada Çekme Dayanımı – Görünen Porozite İlişkisi



Şekil 5.20. Yarmada çekme dayanımı – görünen porozite ilişkisi

Numunelerin yarmada çekme dayanımı – görünen porozite ilişkisi Şekil 5.20.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri artmaktadır.

5.21. Yarmada Çekme Dayanımı – Eğilme Dayanımı İlişkisi



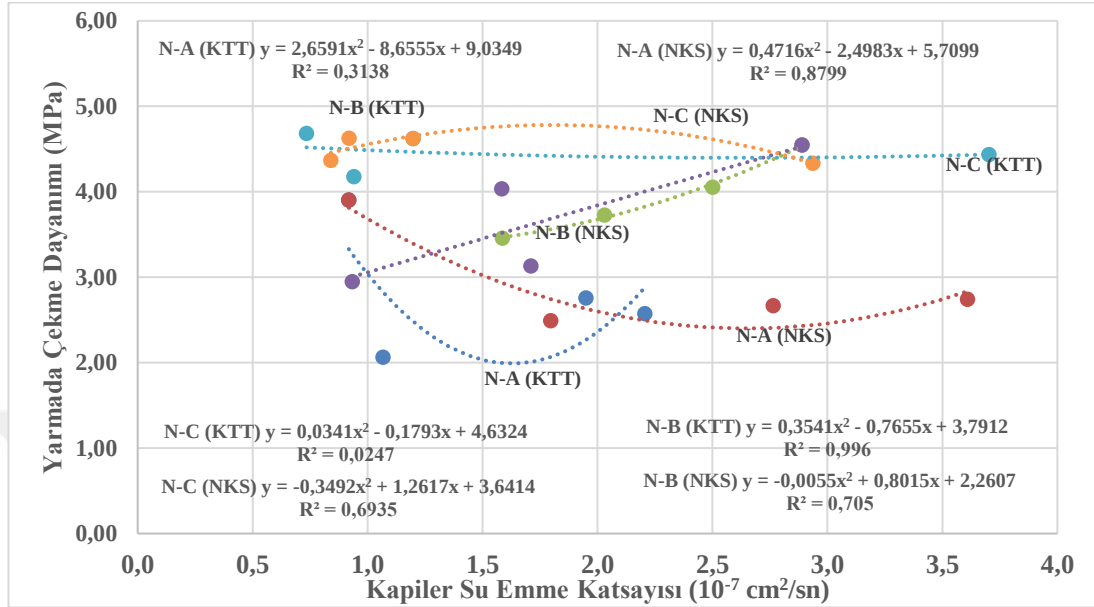
Şekil 5.21. Yarmada çekme dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin yarmada çekme dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 5.21.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu numunelerde korelasyon katsayısı değerleri artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri azalmaktadır.

5.22. Yarmada Çekme Dayanımı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi

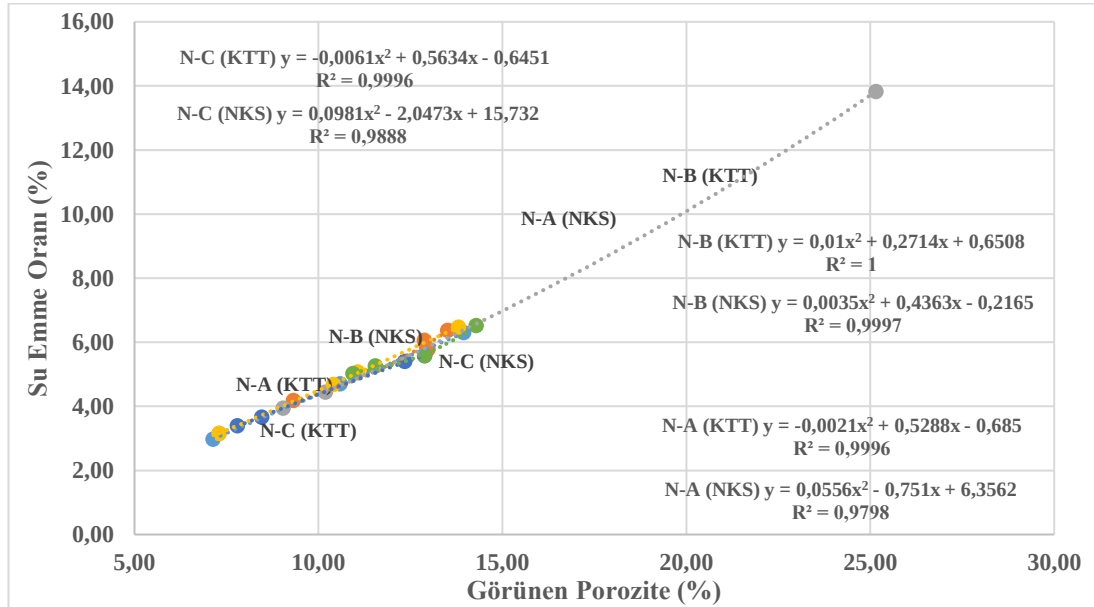
Numunelerin yarmada çekme dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi Şekil 5.22.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra azalmakta iken nano karbon

siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri azalmaktadır.



Şekil 5.22. Yarmada çekme dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi

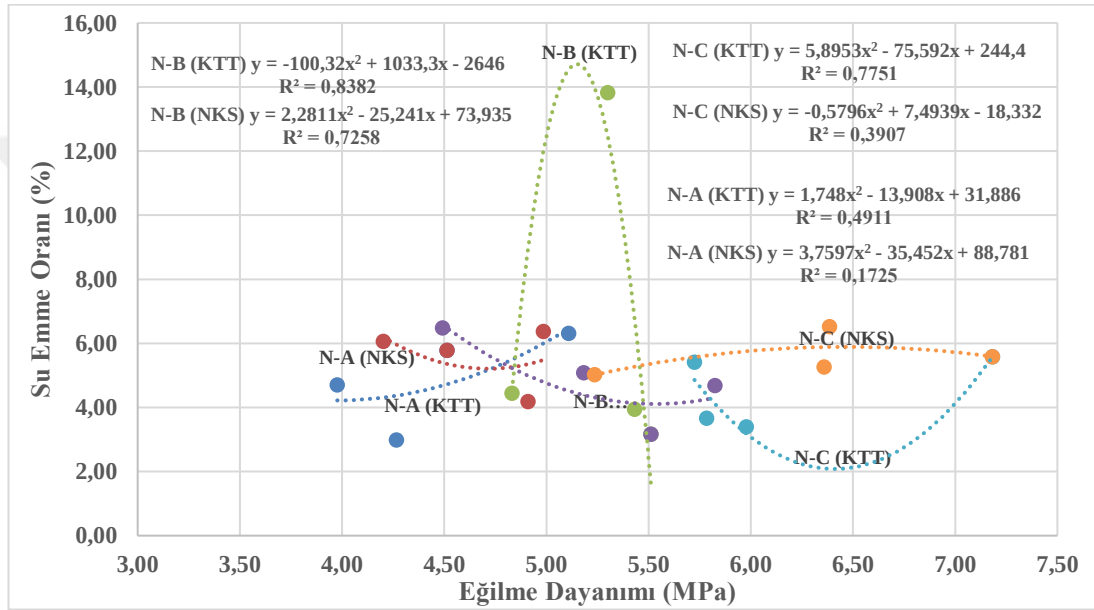
5.23. Su Emme Oranı – Görünen Porozite İlişkisi



Şekil 5.23. Su emme oranı – görünen porozite ilişkisi

Numunelerin su emme oranı – görünen porozite ilişkisi Şekil 5.23.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

5.24. Su Emme Oranı – Eğilme Dayanımı İlişkisi



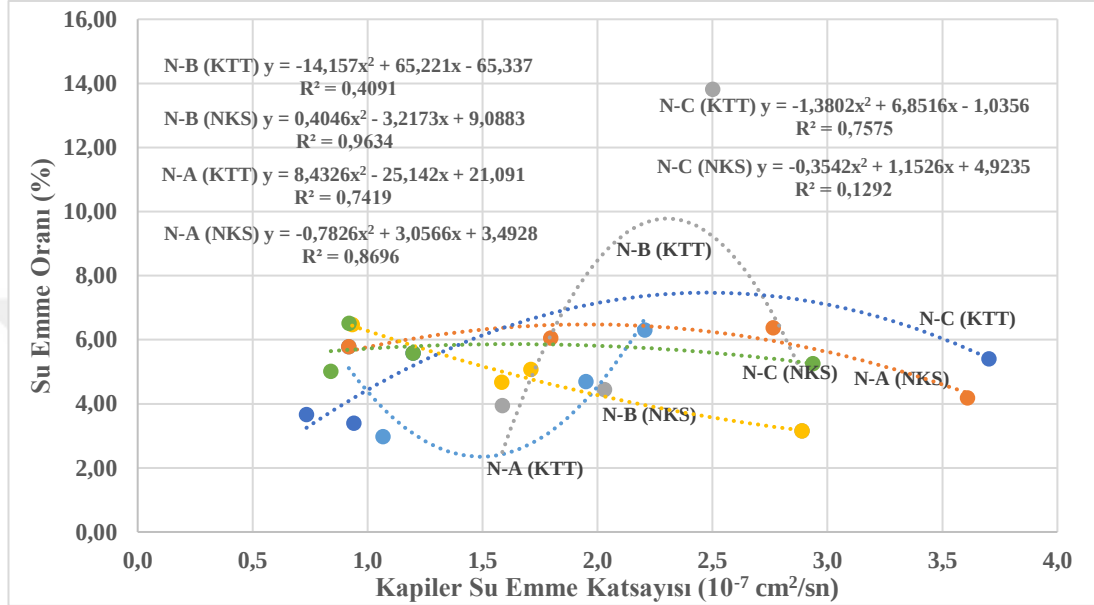
Şekil 5.24. Su emme oranı – eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin su emme oranı – eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 5.24.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

5.25. Su Emme Oranı –Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi

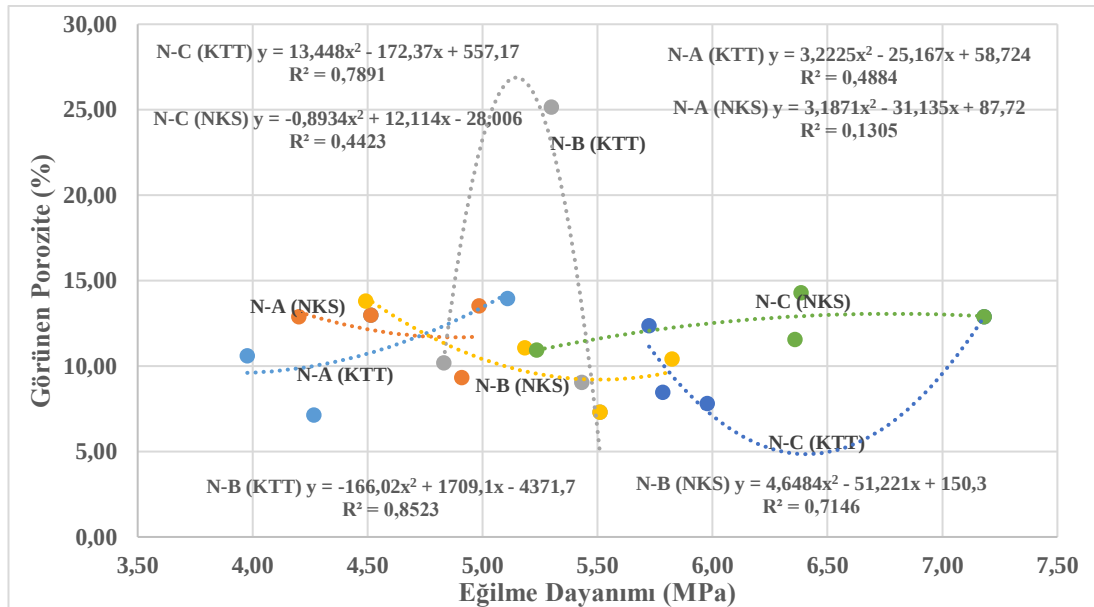
Numunelerin su emme oranı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi Şekil 5.25.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lif içeren numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lif

içeren numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra ise artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.



Şekil 5.25. Su emme oranı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi

5.26. Görünen Porozite –Eğilme Dayanımı İlişkisi

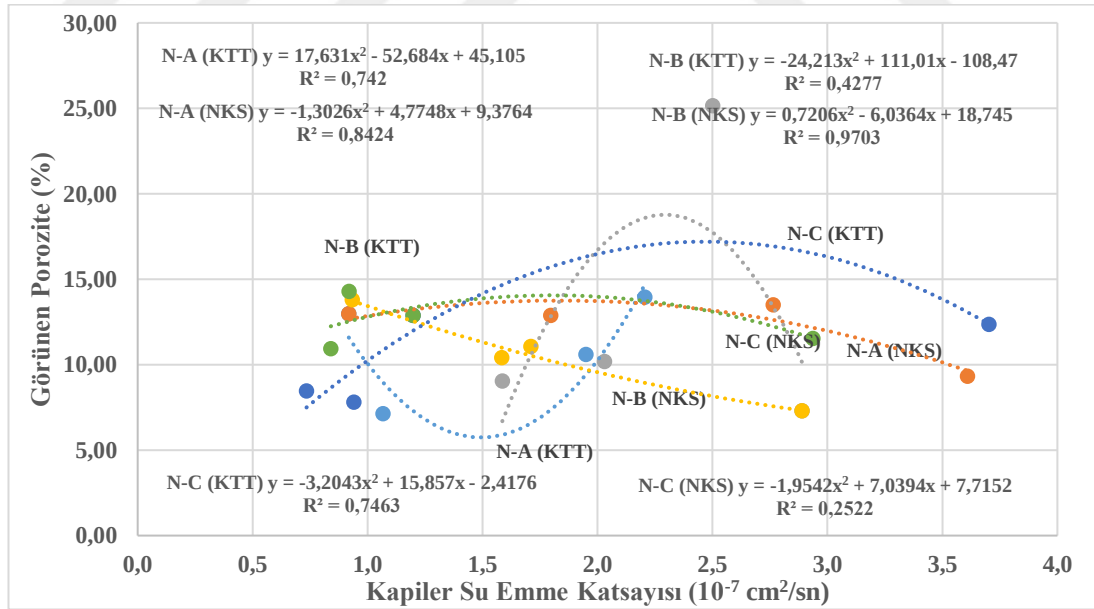


Şekil 5.26. Görünen porozite – eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin görünen porozite – eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 5.26.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lifli numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

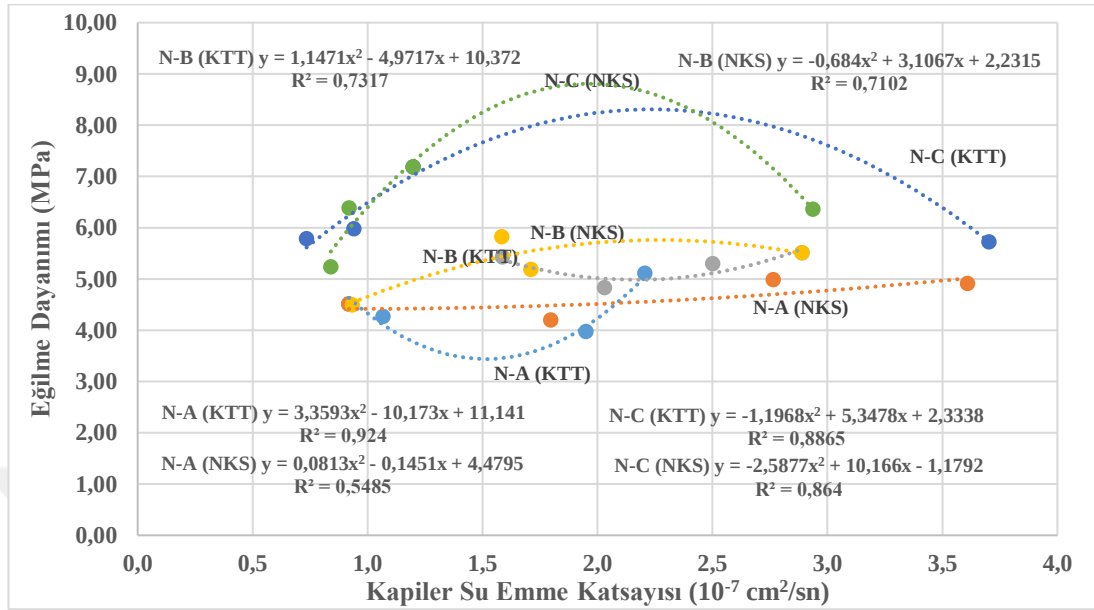
5.27. Görünen Porozite – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi

Numunelerin görünen porozite – kapiler su emme katsayısı ilişkisi Şekil 5.27.'de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lif içeren numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır.



Şekil 5.27. Görünen porozite – kapiler su emme katsayısı ilişkisi

5.28. Eğilme Dayanımı – Kapiler Su Emme Katsayısı İlişkisi



Şekil 5.28. Eğilme dayanımı – kapiler su emme katsayısı ilişkisi

Numunelerin görünen porozite – kapiler su emme katsayısı ilişkisi Şekil 5.27.’de verilmiştir. Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı değeri çelik lifsiz numunede elde edilmiş iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise en yüksek korelasyon katsayısı değeri hacimce %1 çelik lif içeren numunede elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça Kandıra Taşı tozu içeren numunelerde korelasyon katsayısı değerleri önce azalmakta daha sonra artmakta iken nano karbon siyahı içeren numunelerde ise lif hacmi arttıkça korelasyon katsayısı değerleri artmaktadır.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında nano karbon siyahı ve Kandıra Taşı tozunun çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilmesiyle üretilen çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren numunelerin taze ve sertleşmiş haldeki fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Numuneler üzerinde deneysel olarak araştırılan fiziksel ve mekanik özelliklerin sonuçları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

6.1. Sonuçlar

6.1.1. Çökme (slump) deneyi ile ilgili sonuçlar

Su miktarı ve akışkanlaştırıcı katkı miktarları sabit tutulan beton numunelerin işlenebilirlik deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra taşı Tozu kullanılarak üretilen numuneler referans numuneye göre işlenebilirlik özelliği üzerinde herhangi bir olumlu ya da olumsuz etki oluşturmamış iken çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numuneler referans numuneye göre işlenebilirlik değerlerinde yaklaşık olarak %36 ila %58 oranında azalma meydana getirmiştir. Yani nano karbon siyahı içeren numuneler işlenebilirlik özelliği üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu görülmüştür.
- b) Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde ise çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre işlenebilirlik özelliklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin

işlenebilirlik değerleri %12.5 oranında azalmış iken nano karbon siyahı içeren numunelerin işlenebilirlik değerleri %36 ila %56 oranında azalmıştır.

- c) Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre işlenebilirlik özelliği artış göstermiş iken çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre işlenebilirlik özellikleri NKS5-C serisinde artış göstermiş, NKS10-C serisinde herhangi bir olumlu ya da olumsuz etki oluşturmamış ve NKS15-C numunesinde ise azalış göstermiştir. Referans numuneye göre Kandıra Taşı tozu içeren numunelerin işlenebilirlik değerleri yaklaşık %11 ila % 55 oranında artmış iken nano karbon siyahı içeren numunelerin işlenebilirlik değerlerindeki değişim miktarı NKS5-C serisinde %22 oranında artış ve NKS15-C serisinde ise %66 oranında azalış göstermiştir.

Özetle, çelik lifsiz numunelerde KTT'nin işlenebilirlik üzerinde herhangi bir olumlu ya da olumsuz etkisi olmadığı, NKS'nin ise çelik lifsiz numunelerde işlenebilirliği azalttığı sonucuna varılmıştır. Hacimce %0.5 çelik lif içeren serilerde ise hem NKS'nin hem de KTT'nin işlenebilirliği azalttığı görülmüştür. Son olarak hacimce %1 çelik lif içeren serilerde KTT'nin işlenebilirliği arttırdığı, NKS'nin ise farklı sonuçlar gösterdiği görülmüştür.

6.1.2. Birim hacim ağırlık ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin hem taze hem de sertleşmiş birim ağırlık değerleri referans numuneye göre %1 ila %5 arasında azalış göstermiştir. Çelik lifsiz numunelerinin taze birim ağırlık değerleri 2381 kg/m³ ila 2284 kg/m³ arasında, sertleşmiş birim ağırlık değerleri ise 2354 kg/m³ ila 2270 kg/m³ arasında değişim göstermiştir.

- b) Hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren numunelerde ise çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda hem Kandıra Taşı hem de nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık değerlerinin %1 ila %5 arasında azaldığı sonucuna varılmıştır. Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerinin taze birim ağırlık değerleri 2410 kg/m^3 ila 2297.5 kg/m^3 arasında, sertleşmiş birim ağırlık değerleri ise 2384 kg/m^3 ila 2284 kg/m^3 arasında değişim göstermiştir. Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerinin taze birim ağırlık değerleri 2451 kg/m^3 ila 2389 kg/m^3 arasında, sertleşmiş birim ağırlık değerleri ise 2420 kg/m^3 ila 2353 kg/m^3 arasında değişim göstermiştir.

Taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, lif hacmi arttıkça hem taze hem de sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri artmaktadır. Ayrıca NKS ve KTT içeren çelik lifsiz ve çelik lifli numunelerin taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri referans numunelere göre azalmıştır.

6.1.3. Ultrases geçiş hızı ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde yarı direkt okuma ve direkt okuma metoduyla 14. ve 28. günde gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre yarı direkt okuma ve direkt okuma metodu kullanılarak 14. günde belirlenen ultrases geçiş hızı değerleri KTT5-A serisinde %2 artış göstermiş iken diğer tüm serilerde %5 ila %13 arasında düşüş göstermiştir. Yarı direkt okuma ve direkt okuma metodu kullanılarak 28. günde belirlenen ultrases geçiş hızı değerleri ise tüm serilerde %2 ila %7 arasında düşüş göstermiştir.
- b) Hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre yarı direkt okuma ve direkt okuma metodu kullanılarak 14. günde belirlenen ultrases geçiş hızı değerleri tüm serilerde %0.1 ila %8 arasında düşüş göstermiş iken yarı direkt okuma ve direkt okuma metodu

kullanılarak 28. günde belirlenen ultrases geçiş hızı değerleri ise KTT10-B serisinde referans numunenin ultrases geçiş hızı değeriyle aynı değerde iken diğer tüm serilerde referans numuneye göre %0.1 ila %8.1 arasında düşüş göstermiştir.

Hem yarı direkt okuma hem de direkt okuma metodu kullanılarak belirlenen ultrases geçiş hızı değerleri genel olarak KTT ve NKS eklenmesiyle referans numuneye göre azalmaktadır. Ayrıca çelik lif hacminin artmasıyla da referans numuneye göre ultrases geçiş hızı değerleri azalmaktadır.

6.1.4. Basınç dayanımı ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde 14. ve 28. günde gerçekleştirilen basınç dayanımı deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre 14. ve 28. günde belirlenen basınç dayanımı değerleri tüm serilerde %5 ila %47 arasında düşüş göstermiştir. Çelik lifsiz numunelerinin 14. gündeki basınç dayanımı değerleri 38 MPa ila 59.8 MPa arasında iken 28. gündeki basınç dayanımı değerleri ise 38.8 MPa ila 70.9 MPa arasında değişim göstermiştir.
- b) Hacimce %0.5 çelik lifli numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre 14. günde belirlenen basınç dayanımı değerleri KTT10-B serisinde %3 artış göstermiş iken diğer tüm serilerde %16 ila %39.5 arasında düşüş göstermiştir. Bununla birlikte 28. günde belirlenen basınç dayanımı değerleri ise tüm serilerde referans numunenin basınç dayanımı değerine göre %1 ila %43 oranında daha düşük çıkmıştır. Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerinin 14. gündeki basınç dayanımı değerleri 36.5 MPa ila 62.1 MPa arasında iken 28. gündeki basınç dayanımı değerleri ise 63.4 MPa ila 36.2 MPa arasında değişim göstermiştir.
- c) Hacimce %1 çelik lifli numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans

numuneye göre 14. ve 28. günde belirlenen basınç dayanımı değerleri tüm serilerde %3 ila %38.2 oranında düşüş göstermiştir. Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerinin 14. gündeki basınç dayanımı değerleri 37.8 MPa ila 61.1 MPa arasında iken 28. gündeki basınç dayanımı değerleri ise 64.4 MPa ila 39.9 MPa arasında değişim göstermiştir.

Çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren tüm numunelerin 14. ve 28. gündeki basınç dayanımı değeri hedef basınç dayanımı olan 36 MPa'ın üzerinde çıkmıştır. Yani, tüm seriler C30/37 beton sınıfını sağlamaktadır. 14. gündeki basınç dayanımı değerlerinin genelinde lif hacmi arttıkça basınç dayanımı artmakta iken 28. gündeki basınç dayanımı değerlerinin genelinde lif hacmi arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Ayrıca numunelerin genelinde 28.gündeki basınç dayanımı değerleri 14.gündeki basınç dayanımı değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımında nano karbon siyahına oranla Kandıra Taşı Tozunun daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

6.1.5. Yarmada çekme dayanımı ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz ve hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre yarmada çekme dayanımı değerlerinin %10.9 ila %47 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır.
- b) Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre yarmada çekme dayanımları KTT15-C ve NKS15-C serilerinde sırasıyla %1.3 ve %0.1 oranında artış göstermiş iken diğer tüm serilerde %4 ila %9.6 oranında azalış göstermiştir.

Çelik lifsiz ve hacimce %0.5 ve %1 çelik lif içeren KTT ve NKS numunelerinin genelinde yarmada çekme dayanımının referans numunelere göre belirgin şekilde azalış gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ancak yarmada çekme dayanımı en yüksek olan iki seri KTT15-C ve NKS15-C serileridir. Bununla birlikte tüm numunelerde lif içeriğinin artmasıyla yarmada çekme dayanımı değerleri artmaktadır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarına göre optimum lif içeriğinin %1 olabileceğini söylemek mümkündür.

6.1.6. Su emme ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen su emme deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre su emme oranları KTT15-A, NKS 10-A ve NKS15-A serilerinde %4.8 ila %9.1 oranında artış göstermiş iken diğer tüm serilerde %18.7 ila %48.5 oranında azalış göstermiştir.
- b) Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde ise çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda hem Kandıra Taşı hem de nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre su emme oranlarının %13.6 ila %184.4 oranında arttığı gözlemlenmiştir.
- c) Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde ise çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre su emme oranları NKS15-C numunesinde %16.2 artış göstermiş iken diğer tüm serilerde %3 ila %37.8 oranında azalış göstermiştir.

6.1.7. Kapiler su emme ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen kapiler su emme deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre kapiler su emme değerleri NKS15-A serisinin 720. dakikadaki kapiler su emme değeri hariç artış göstermiştir.
- b) Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre kapiler su emme değerleri NKS10-B serisinin 360. dakikadaki, KTT10-B ve KTT15-B serilerinin 360. ve 720. dakikadaki kapiler su emme değeri hariç azalış göstermiştir.
- c) Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numunenin kapiler su emme değerlerine göre NKS15-C ve KTT15-C serilerinin zamana bağlı olarak tüm kapiler su emme değerleri, KTT10-C serisinin 60. dakikadaki ve NKS5-C serisinin 30. dakikadaki kapiler su emme değerleri hariç tüm kapiler su emme değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca KTT5-C ve NKS10-C serilerinin kapiler su emme değerleri referans numunenin tüm kapiler su emme değerlerinden daha yüksektir.
- d) Ortalama kapiler su emme katsayısı değerleri incelendiğinde, çelik lifsiz numunede Kandıra Taşı tozunun çimento yerine kullanım yüzdesi arttıkça kapiler su emme katsayı değeri artmakta iken nano karbon siyahının çimento yerine kullanım yüzdesi arttıkça kapiler su emme katsayı değeri azalmaktadır. Ayrıca ortalama değerler dikkate alınacak olursa çelik lifsiz gruptaki referans numuneye göre hem Kandıra Taşı tozu hem de nano karbon siyahı içeren numunelerin geçirimsizliği artmıştır.
- e) Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunede ise ortalama kapiler su emme değerlerine göre hem Kandıra Taşı tozunun hem de nano karbon siyahının kapiler su emme katsayı değerleri ilk olarak artış göstermiş daha sonra ise azalış göstermiştir. Ortalama değerler dikkate alınacak olursa hacimce %0.5 çelik lif içeren gruptaki referans numuneye göre tüm numunelerin geçirimsizliği azalmıştır.
- f) Hacimce %1 çelik lif içeren numunede ise ortalama kapiler su emme değerlerine göre Kandıra Taşı tozunun çimento yerine kullanım yüzdesi arttıkça kapiler su emme katsayı değerleri azalmakta iken nano karbon siyahındaki durumda ise

kapiler su emme katsayı değerleri ilk olarak artış göstermiş daha sonra ise azalış göstermiştir. Ortalama değerler dikkate alınacak olursa hacimce %1 çelik lif içeren gruptaki referans numuneye göre KTT5-C ve NKS10-C serileri hariç tüm numunelerin geçirimsizliği azalmıştır

6.1.8. Görünen porozite ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen görünen porozite deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre görünen porozite oranları KTT15-A ve NKS 10-A serilerinde sırasıyla %7.5 ve %4.2 oranında artış göstermiş iken diğer tüm serilerde %0.7 ila %45 oranında azalmıştır.
- b) Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde ise çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda hem Kandıra Taşı hem de nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre görünen porozite oranlarının %13.4 ila %137.7 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.
- c) Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde ise çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre görünen porozite oranları NKS15-C numunesinde %10.8 oranında artış göstermiş iken diğer tüm serilerde %4.2 ila %39.3 oranında azalış göstermiştir.

6.1.9. Eğilme dayanımı ve eğilme tokluğu ile ilgili sonuçlar

Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğilme dayanımı deney sonuçlarına göre;

- a) Çelik lifsiz numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre eğilme dayanımı değerleri KTT15-A, NKS5-A ve NKS10-A serilerinde

sırasıyla %13.2, %8.8 ve %10.4 oranında artış göstermiş iken diğer serilerde %5.5 ila % 11.9 oranında azalmıştır.

- b) Hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre eğilme dayanımı değerleri NKS5-B serisinde %5.7 oranında artış göstermiş iken diğer serilerde %1.4 ila % 18.5 oranında azalmıştır.
- c) Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre eğilme dayanımları tüm serilerde %11.1 ila % 27.1 oranında düşüş göstermiştir.
- d) Çelik lifsiz ve hacimce %0.5 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numunelere göre eğilme tokluğu değerleri tüm serilerde artış göstermiştir. Artış oranı çelik lifsiz KTT ve NKS numunelerinde referans numuneye göre %44.1 ila %108.6 oranındadır. Artış oranı %0.5 çelik lif içeren KTT ve NKS numunelerinde ise referans numuneye göre %12.9 ila %78.9 oranındadır.
- e) Hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı kullanılarak üretilen numunelerin referans numuneye göre eğilme tokluğu değerleri tüm serilerde %5.9 ila %27 oranında azalış göstermiştir.

Çelik lifsiz ve hacimce %0.5 çelik lifli Kandıra Taşı Tozu ve nano karbon siyahı içeren numunelerin genelinde eğilme tokluğu değerlerinin referans numunelere göre belirgin şekilde artış gösterdiği sonucuna varılmış iken hacimce %1 çelik lif içeren numunelerde ise eğilme tokluğu değerlerinin referans numuneye göre belirgin şekilde azalış gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte tüm numunelerde lif içeriğinin artmasıyla eğilme dayanımı ve eğilme tokluğu değerleri de artmaktadır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, eğilme dayanımı deney sonuçlarına göre optimum lif içeriğinin %1 olabileceğini söylemek mümkündür.

Bu çalışma kapsamında, atık lastiklerin geri dönüştürülmesinden elde edilen nano karbon siyahıyla ve Kandıra Taşının kesilmesi ya da işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık çamurların kurutulmasıyla elde edilen Kandıra Taşı tozuyla taşıyıcı nitelikte, 36-62 MPa aralığında değişen basınç dayanımına sahip beton üretilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle çelik lifsiz ve hacimce %0.5 çelik lif içeren Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahı numunelerinin eğilme tokluğunu önemli derecede arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca çelik lif içeriğinin artmasıyla yarmada çekme dayanımının, eğilme dayanımının ve eğilme tokluğunun önemli derecede iyileşme gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan tüm deneyler sonucunda, atık lastiklerin geri dönüştürülmesinden elde edilen nano karbon siyahının ve Kandıra Taşının kesilmesi ya da işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık çamurların kurutulmasıyla elde edilen Kandıra Taşı tozunun yapılan deneyler sonucunda çimento yerine kullanılabileceği ve böylelikle hem atık malzemelerin hem de çimentonun sebep olduğu çevresel kirliliğinin önlenmesine katkı sağlanacağı görülmüştür. Ayrıca bu malzemelerin çimento yerine kullanılmasıyla enerji tasarrufuna ve doğal kaynakların korunmasına da katkı sağlanacaktır.

6.2. Öneriler

- a) Kandıra Taşı Tozunun ve nano karbon siyahının bu çalışma kapsamında ağırlıkça çimento yerine kullanılan oranlarıyla betonun durabilite özelliklerine etkisi ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- b) Çimento yerine katkı malzemesi olarak Kandıra Taşı tozu ve nano karbon siyahının ikili kullanımının betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- c) Kandıra Taşı Tozunun ve nano karbon siyahının bu çalışma kapsamında ağırlıkça çimento yerine kullanılan oranlarıyla veya daha yüksek oranlarda kullanımıyla betonun hem erken yaş hem de ileri yaştaki fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

- d) Kandıra Taşı Tozunun ve nano karbon siyahının çimento yerine ağırlıkça daha yüksek oranlarda kullanımının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi ile ilgili araştırmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- ACI Committe 544.3R-93. 1998. Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Report.
- ACI Committee 544. 2002. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R-96 (Reapproved 2002), p. 66, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan
- Ağaoğlu, E. 2018. Atık beton agregası ile üretilen makro lifli betonlarda aderansın deneysel olarak incelenmesi. KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Alparslan, U. 2015. Çelik lif uç geometrisinin beton özelliklerine etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Aslan, A., Aydın A. C., 1999. Lifli Betonların Genel Özellikleri. Hazır Beton Dergisi, Cilt 6, Sayı 36, Sayfa 67-75
- ASTM C1585-13. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM C597-16, 2016. Standard test method for pulse velocity through concrete, American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States
- Baikerikar, A. 2014. A Review on Green Concrete. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 1(6), 472–474.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S. 2012. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye.
- Barcelo, L., Kline, J., Walenta, G., & Gartner, E. 2014. Cement and carbon emissions. Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 47(6), 1055–1065. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0114-5>
- Bentur A, Mindess S. 2007. Fiber Reinforced Cementitious Composites. 2nd edition, Taylor & Francis, Abingdon
- Brandt, A. M. 2009. Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance, Taylor & Francis, New York.
- Çavdar, A. 2012. A study on the effects of high temperature on mechanical properties of fiber reinforced cementitious composites. Composites Part B: Engineering, 43(5), 2452–2463. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.10.005>

- Çavdar, A. 2012. The effects of high temperature on mechanical properties of cementitious composites reinforced with polymeric fibers. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.033>
- Çetişli, F. 2013.Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Pirolyz. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Çivici F., 2006. Çelik lif donatılı betonun eğilme tokluğu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2), 183- 188.
- Denghanpour, H. 2019. Elektriksel iletken betonlarda piroliz yöntemiyle elde edilen nano karbon siyahının değerlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Ding, Y., Chen, Z., Han, Z., Zhang, Y., & Pacheco-Torgal, F. (2013). Nano-carbon black and carbon fiber as conductive materials for the diagnosing of the damage of concrete beam. *Construction and Building Materials*, 43: 233–241
- Donnet. J-B., 1993. Carbon Black Industry. Carbon Black: Science and Technology. Donnet. J-B., Bansal. R.C., Wang. M-J.. CRC Press, USA, 2-6.
- Erdoğan, T. Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.ř. Yayını, s.741, Ankara.
- Erdoğan, ř., Kurbetçi ř., 2003. Betonun performansına sağladıkları etkinlik açışından kimyasal ve mineral katkı maddeleri. Türkiye Mühendislik Haberleri. 426: 115-120.
- Faghih, F., Das, D., & Ayoub, A. 2017. Seismic Behavior of Fiber Reinforced Steel-concrete Composite Systems. *Procedia Engineering*, 171, 899–908. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.386>
- Güner, M.S., (1999). Malzeme Bilimi-Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, 8, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- Hamzaçebi, D. 2015. Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Hossain, M. U., Poon, C. S., Dong, Y. H., & Xuan, D. 2018. Evaluation of environmental impact distribution methods for supplementary cementitious materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(October 2017), 597–608. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.048>
- Karimaei, M., Dabbaghi, F., Sadeghi-Nik, A., & Dehestani, M. 2020. Mechanical performance of green concrete produced with untreated coal waste aggregates. *Construction and Building Materials*, 233, 117264. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117264>
- Kırğız, M. S. 2016. Fresh and hardened properties of green binder concrete containing marble powder and brick powder. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1246692>

- Li, N., Long, G., Ma, C., Fu, Q., Zeng, X., Ma, K., Xie, Y., & Luo, B. (2019). Properties of self-compacting concrete (SCC) with recycled tire rubber aggregate: A comprehensive study. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117707. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117707>
- Long, C.M., M.A. Nascarella, and P.A. Valberg, Carbon black vs. black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: physical and chemical distinctions. *Environmental pollution*, 2013. 181: p. 271-286.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. 2006. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 3rd Edition. McGraw-Hill, New York.
- Moralı, G. 2019. Kocaeli Kandıra taşının yapı taşı özellikleri ve ekonomik potansiyelinin belirlenmesi . Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Sarkaz, A.M.H. 2020. Atık Lastik Katkılı Geopolimer Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Sekban, İ. 2007. Çelik lif katkısının tekrarlı yük etkisindeki geleneksel ve yüksek performanslı betonarme kolonların davranışlarına etkisinin incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Sivakrishna, A., Adesina, A., Awoyera, P. O., & Rajesh Kumar, K. 2020. Green concrete: A review of recent developments. *Materials Today: Proceedings*, 27, 54–58. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.202>
- Şimşek, O., 2012. Beton ve Beton Teknolojisi, 4. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Taşdemir M.A., Bayramov F. ve Yerlikaya M. (2003). Geleneksel ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar, *Türk Mühendislik Haberleri*, 426(4), 76-84.
- Taşdemir, C., 1996. Mikrofiller Malzemelerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkıları Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.199- 208.
- Tatnall, P.C., “Fiber-reinforced concrete. In: Lamond, J.F. and Pielert, J.H., editors, “Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials (STP 169D)”, ASTM International, West Conshohocken, 49, 578-594, 2006.
- Tokyay, M., Ramyar, K. ve Turanlı, L., Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Ulusal Beton Kongresi, 1991, İstanbul, Bildireler Kitabı, 303 - 311.
- Topçu, İ. B., 2006, “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., s.570. Eskişehir.
- Topgül, S. S. 2016. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Geri Kazanılmış Agregali Betonların Özelliklerine Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- TS 3530 EN 933-1, (2012). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Elemente Metodu, TSE, Ankara.

- TS 802, (2009). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-6, (2002). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-2, (2010). Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-6, (2010). Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3, (2010). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-5, (2010). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-6, (2010). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7, (2010). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12504-4, (2012). Beton Deneyleri-Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 206. (2014). Beton -Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk Standardı. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 772-4, (2000). Kâğıt Birimler, Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kâğıt Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlelerinin Tayini. TSE, Ankara.
- TS10153. (1992). Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS-10514, 1992. Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Etme Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS-EN 206:2013+A1 (2017) Beton-Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, 104 s., Ankara.
- TS EN 480-11 (2008) Kimyasal Katkılar- Beton, Harç, Şerbet İçin- Deney Metotları- Bölüm 11: Sertleşmiş Betonda Hava Boşluğu Özelliklerinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Hazır Beton Birliği. (2018). Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri. İstanbul <https://www.thbb.org/media/374133/thbb-istatistikler-2018.pdf>
- Uğurlu, A., 1994. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara, 175s.
- Uygunoglu, T., Çınar, E., Şimşek, B., Topçu, İ. B., (2018). Mechanical and Physical of Carbon Black Reinforced Concrete, 5. Uluslararası Seramik Cam Emaye Sır ve Boya Kongresi (SERES18), October, Eskişehir/Turkey

- Ünal, B., Köksal, F., Eyyubov, C, 2003. Polipropilen Ve Çelik Liflerindönme Çözölme Ve Aşınma Dirençlerine Ortak Etkisi. 5. Ulusal Betonkongresi, Betonun Dayanıklılığı, İstanbul, S.345-354.
- Van Den Heede, P., & De Belie, N. 2012. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and “green” concretes: Literature review and theoretical calculations. *Cement and Concrete Composites*, 34(4), 431–442.
- Wafa, F. F. 1990. Properties and Applications of Fiber Reinforced Concrete. JKAU: Eng. Sci., Vol. 2. pp 49-63
- World Business Council for Sustainable Development - WBCSD. 2009. The Cement Sustainability Initiative: Recycling Concrete. <https://docs.wbcsd.org/2009/07/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf>
- Yerlikaya, M., 1998.“Çelik Teller İle Donatılmış Beton Elemanların Düşey Yük Altında Davranışları”, *Hazır Beton Dergisi*, Eylül-Ekim, s. 72-73.
- Yıldız. T. 2012. Atık Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkısının Birlikte Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Eren. M.E. 2019. Atık Mermer Tozu ve Lastik Agrega Kullanılarak Üretilmiş Çevre Dostu Betonların Dayanımı ve Dayanıklılık Özelliklerinin Belirlenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Yozcu. E.. 2019. Ömrünü Tamamlamış Atık Lastiklerin Yeni Kullanım Alanlarının Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

İrfan Şehrullah Öztürk, 16.12.1994'te Bartın'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'nde tamamladı. 2012 yılında Pirelli Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında bitirdi. Aynı yıl akabinde, Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.