

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

**POLİPROPİLEN LİF BOYUTLARININ ASFALT
AŞINMA TABAKASI TAŞIMA KAPASİTESİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilay YİĞİT

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hakan ASLAN

ARALIK 2020

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

**POLİPROPİLEN LİF BOYUTLARININ ASFALT
AŞINMA TABAKASI TAŞIMA KAPASİTESİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilay YİĞİT

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 10.12.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğr. Üyesi
İrfan PAMUK
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
Metin İPEK
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi
Hakan ASLAN
Üye**

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.

Nilay YİĞİT

10.12.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca ve diğer her alanda desteklerini esirgemeyen aileme, benim okuduğumu görmeye ömrü yetmeyen rahmetli babam Zeki YİĞİT'e değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ASLAN'a ve Karadeniz Teknik Üniversitesi değerli hocası Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü desteklerini esirgemeyen Serdivan Belediye Başkanlığı Belediye Başkanı Yusuf ALEMDAR, Fen İşleri Müdürü Muzaffer ŞANLI ve büro ortamında, şantiye sahasında bana desteklerini sunan çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Büyükşehir Belediyesi Yol Bakım ve Altyapı Koordinasyon Dairesi Başkanlığı Daire Başkanı Atilla TURAN'a ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Laboratuvar sorumlusu Serdar KÜÇÜK'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmada kullanılan Polipropilen lif malzemeler konusunda destek sağlayan ATLAS BİR YAPI ve MÜHENDİSLİK A.Ş.'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Karayollu Altyapılar.....	4
2.2. Karayolu Üstyapılar	4
2.2.1. Rijit üstyapılar	5
2.2.2. Yarı rijit üstyapılar	6
2.2.3. Esnek üstyapılar	7
2.3. Asfalt Betonu Kaplamalarda Oluşan Bozulma Türleri.....	12
2.3.1. Deformasyon	12
2.3.1.1. Tekerlek izi oluşumu.....	13
2.3.1.2. Oturmalar ve çökmeler.....	15
2.3.1.3. Ondülasyonlar ve kabarmalar	16
2.3.2. Çatlamalar	17
2.3.3. Ayırışmalar	18
2.3.3.1. Dağılmalar ve sökülmeler.....	19
2.3.3.2. Soyulma.....	19

2.3.3.3. Kayganlık.....	20
2.3.3.4. Cilalanma.....	20
2.3.3.5. Kusma.....	21
2.4. Polipropilen Lifler	21
2.4.1. Polipropilen liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	23
2.4.2. Polipropilen liflerin kullanım alanları	25
2.5. Agregalar ve Özellikleri	25

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.2. Yapılan Deneyler.....	27
3.2.1. Metilen Mavisi deneyi (TS EN 933-9).....	28
3.2.2. Elek analizi.....	32
3.2.2.1. Elek analizi yöntemleri.....	33
3.2.2.1.1. Elek analizi ana hatları	34
3.2.2.2. Agregaların sınıflandırılması.....	35
3.2.2.2.1. Agregaların özellikleri.....	35
3.2.3. Marshall deneyi	39
3.2.3.1. Deney aletleri	39
3.2.3.2. Karışımların hazırlanması.....	40
3.2.3.3. Numunelerin hazırlanması.....	41
3.2.3.4. Numunelerin sıkıştırılması.....	41
3.2.3.5. Deney yapılışı.....	42
3.2.3.6. Deney sonuçları ile optimum bitüm oranı tayini.....	43
3.2.3.7. PP lif katkılı Marshall deneyi.....	46
3.2.4. Kiriş eğilme deneyi.....	53
3.2.4.1. PP lif katkılı asfalt kiriş numuneleri hazırlanması....	53
3.2.4.2. Üç noktalı kiriş eğilme deneyi.....	54

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	64
4.1. Üç Noktalı Kiriş Eğilme	64
4.1.1. Kiriş eğilme mukavemet sonuçlarının değerlendirilmesi.....	68
4.2. PP Lif Katkılı Marshall Numuneleri Test Sonuçları	74

BÖLÜM 5.

SONUÇ VE ÖNERİLER	77
5.1. Kiriş Eğilme Mukavemet Sonuçların Değerlendirilmesi.....	77
5.2. Marshall Stabilite Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	78
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	:	American Society for Testing Materials
AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation O.
BSK	:	Bitümlü sıcak karışım
DKY	:	Doygun kuru yüzey ağırlığı
F	:	Yük
gr	:	Gram
H	:	Kalınlık
KTŞ	:	Karayolları Teknik Şartnamesi
KGM	:	Karayolları Genel Müdürlüğü
Km	:	Kilometre
kg	:	Kilogram
L	:	Mesnetler arası mesafe
MB	:	Metilen Mavisi değeri
m	:	Metre
mm	:	Milimetre
ml	:	Mililitre
N	:	Newton
P	:	Gerilme
PP	:	Polipropilen
TS	:	Türk standardı
σ	:	Eğilme dayanımı
δ	:	Sehim
VMA	:	Agrega daneleri arası boşluk yüzdesi
W	:	Genişlik
Vb/VMA	:	Bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Rijit üstyapı kesiti	6
Şekil 2.2. Yarı rijit üstyapı kesiti.....	7
Şekil 2.3. Esnek üstyapı kesiti.....	7
Şekil 2.4. Rijit ve esnek üstyapılarda gerilme dağılımı.....	8
Şekil 2.5. Tekerlek yükü gerilme dağılışı.....	9
Şekil 2.6. Tipik esnek üstyapı enkesiti.....	10
Şekil 2.7. Tekerlek izi oluşumu.....	14
Şekil 2.8. Zayıf bitümlü tabakada tekerlek izi oluşumu.....	14
Şekil 2.9. Zayıf alt tabakalarda tekerlek izi oluşum.....	15
Şekil 2.10. Çatlama oluşumu	18
Şekil 2. 11. Polipropilen lif örneği.....	22
Şekil 2.12. Polipropilen liflerin donatı etkisi.....	23
Şekil 3.1. Metilen Mavisi deney seti.....	28
Şekil 3.2. Metilen Mavisi deney örneği	29
Şekil 3.3. Metilen Mavisi deneyi.....	30
Şekil 3.4. 54mm PP Lif katkılı Marshall deney çalışması.....	47
Şekil 3.5. Marshall deney çalışmasında BSK'a PP lif karıştırılması	47
Şekil 3.6. Marshall deney çalışmasında karışımın kalıplara konulması	48
Şekil 3.7. Marshall numunelerinin sıkıştırma işlemi	48
Şekil 3.8. Marshall deney çalışmasında numunenin yakından görünüşü	49
Şekil 3.9. Kalıptan çıkarılmış katkılı Marshall numuneleri 1.....	49
Şekil 3.10. Kalıptan çıkarılmış katkılı Marshall numuneleri 2.....	50
Şekil 3.11. Marshall numunelerinin havadaki ağırlığının tartılması	50
Şekil 3.12. Marshall numunelerinin sudaki ağırlığının tartılması	51
Şekil 3.13. Marshall numunelerinin sıcak su banyosunda bekletilmesi	51

Şekil 3.14. Marshall numunesinin stabilite değerinin belirlenmesi	52
Şekil 3.15. Marshall numunesinin kırılmadan sonraki görüntüsü	52
Şekil 3.16. Eğilme deneyi düzeneği.....	55
Şekil 3.17. Kiriş eğilme deneyi numuneleri için kalıp hazırlanması	56
Şekil 3.18. Kiriş eğilme deney numunelerinin kalıp içinde sıkıştırma işlemi	56
Şekil 3.19. Kiriş eğilme deney numuneleri için BSK'a PP lif karıştırma işlemi 1.....	57
Şekil 3.20. Kiriş eğilme deney numuneleri için BSK'a PP lif karıştırma işlemi 2.....	57
Şekil 3.21. Bazı numunelerin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görseli 1.....	58
Şekil 3.22. Bazı numunelerin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görseli 2.....	58
Şekil 3.23. Kiriş eğilme deney numuneleri	59
Şekil 3.24. Kiriş eğilme deneyi bilgisayar ayarları görseli	59
Şekil 3.25. Kiriş eğilme deney aşamaları 1.....	60
Şekil 3.26. Kiriş eğilme deney aşamaları 2.....	60
Şekil 3.27. Kiriş eğilme deney aşamaları 3.....	61
Şekil 3.28. Kiriş eğilme deney sonrası numunenin görseli	61
Şekil 3.29. Sehim yapmış numune düz zemine bırakılmış hali	62
Şekil 3.30. Sehim yapmış numune düz zemine bırakıldıktan 1-2 dk sonraki hali	62
Şekil 3.31. Kiriş eğilme deney çalışması sırasında dağılan numune.....	63
Şekil 3.32. Kiriş eğilme deneyinde sehim yapmış numune	63
Şekil 4.1. PP lif katkısız numune üzerinde yükleme testi.....	66
Şekil 4.2. 54 mm PP lif %0.5 katkılı karışım test sonuçları.....	66
Şekil 4.3. 6 mm PP lif katkılı numune test sonuçları.....	67
Şekil 4.4. 12 mm PP lif katkılı numune test sonuçları.....	67
Şekil 4.5. 19 mm PP lif katkılı numune test sonuçları.....	68

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Alttemel gradasyon limitleri	11
Tablo 2.2. Temel gradasyon limitleri	11
Tablo 2.3. Polipropilen liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	24
Tablo 3.1. Metilen Mavisi sınır değerleri.....	28
Tablo 3.2. Metilen Mavisi deney sonuçla	31
Tablo 3.3. Elek analizinde kullanılan elek aralıkları.....	32
Tablo 3.4. Agregada boyut sınıflandırması	33
Tablo 3.5. Elek analizi.....	36
Tablo 3.6: Asfalt betonu aşınma tabakası sıcak silo agregada karışım gradasyonu	37
Tablo 3.7. Asfalt betonu aşınma tabakası agregada karışım gradasyonu.....	38
Tablo 3.8. Asfalt betonu aşınma tabakası extraction deney raporu.....	44
Tablo 3.9. Asfalt betonu aşınma tabakası Marshall verileri.....	45
Tablo 4.1. Kiriş eğilme deneyi sonuçları.....	72
Tablo 4.2. Asfalt aşınma PP lif katkılı Marshall deney sonuçları.....	75

ÖZET

Anahtar kelimeler: Asfalt Aşınma Tabakası, Polipropilen Lif, Deformasyon, Marshall Stabilité, 3 Noktalı Kiriş Eğilme Testi

Yol kaplama türleri arasında yer alan esnek üstyapı kaplamaları Türkiye’de diğer kaplama türlerine oranla daha çok tercih edilerek öne çıkmaktadır. Esnek üstyapı kaplaması olarak kullanılan asfalt kaplamada doğal koşullar, yüksek sıcaklık ve uzun yükleme sürelerinin etkisiyle deformasyonlara karşı direnç azalmakta ve başta tekerlek izi olmak üzere birçok deformasyon oluşmaktadır. Alt temel deformasyonları, yollarda yapılan altyapı çalışmaları, tamiratlar, ağır trafik yükleri ve benzeri birçok uygulama yolun geometrik standartlarını olumsuz etkilemekte ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumuna ve yol deformasyonunun önüne geçebilmek için birçok katkı maddesi kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinden bir kısmı bitümü modifiye ederek karışım özelliklerini iyileştirirken, doğrudan karışıma katılan bazı katkı maddeleri ise kaplamanın mühendislik özelliklerini iyileştirmektedir.

Bu çalışmada; fiziksel ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle inşaat sektöründe ve farklı alanlarda kullanılan termoplastik bir malzeme olan Polipropilen lifler dört farklı boyutta (6, 12, 19 ve 54 mm uzunluklarında) ve %0,5 ile %2,5 arasında %0,5 artırılarak 5 farklı karışım oranlarında asfalt aşınma tabakasında doğrudan kullanılmıştır. Marshall deneyi için 80 adet 3 nokta kiriş eğilme deneyi için 100 adet katkılı numuneler ve referans numuneleri üretilip mühendislik özellikleri karşılaştırılmış, eğilme dayanımı ve kırılma davranışı üzerine etkileri araştırılmıştır.

Kiriş eğilme test sonuçları, çalışılan propilen (PP) liflerin aşınma tabakasına mukavemet açısından önemli katkı sağlamadığı fakat tabakanın bozulmadan daha fazla sehim yapabileceklerini göstermiştir. 19 mm ve 12 mm PP lif katkıları ile güçlendirilmiş aşınma tabakalarının katkısız olanlarla eş değer çekme mukavemetlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca, kiriş eğilme test sonuçlarında kullanılan formülün tek başına yanıltıcı olabileceği, maksimum tekil yükün de değerlendirmeye alınması gerektiği belirlenmiştir. 3 nokta kiriş eğilme test sonuçlarının aksine 12 ve 19 mm PP lif katkılı numunelerin stabilite değerleri, PP lif katkısız numunelere göre daha yüksek elde edilmiştir. Alttaki tabakanın sağlam olması şartıyla 19 ve 12 mm PP liflerin aşınma tabakalarında kullanılmasının faydalı olacağı tespit edilmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF POLYPROPYLENE FIBER DIMENSIONS ON ASPHALT WEARING LAYER CARRYING CAPACITY

SUMMARY

Keywords: Asphalt Wear Layer, Polypropylene Fiber, Deformation, Marshall Stability, 3-Point Beam Flexure Test

Located between pavement types of flexible pavement compared with other types of coatings in Turkey was more preferable excels. Asphalt pavement, which is used as a flexible pavement coating, decreases resistance to deformations due to natural conditions, high temperatures and long loading times, and many deformations occur, especially wheel tracks. Sub-base deformations, infrastructure works on roads, repairs, heavy traffic loads and many similar applications negatively affect the geometric standards of the road and cause economic losses. Many additives are used in bituminous hot mixtures to prevent the formation of traces and road deformation. While some of these additives improve the mixture properties by modifying the bitumen, some additives directly added to the mixture improve the engineering properties of the coating.

In this study; Polypropylene fibers, which is a thermoplastic material used in the construction industry and in different fields due to its physical and high mechanical properties, are produced in four different sizes (6, 12, 19 and 54 mm lengths) and 5 different products with an increase of 0.5% between 0.5% and 2.5%. It was used directly in the asphalt wear layer in mixing ratios. For the Marshall test, 100 samples with additives and reference samples were produced for 80 pieces of 3 point beam bending tests, their engineering properties were compared and their effects on bending strength and fracture behavior were investigated.

Beam bending test results showed that the propylene (PP) fibers studied did not contribute significantly to the wear layer in terms of strength, but they could make more deflection without deteriorating the layer. It has been determined that wear layers reinforced with 19 mm and 12 mm PP fiber additives have tensile strength equivalent to those without additives. In addition, it was determined that the formula used in the beam bending test results could be misleading by itself, and the maximum single load should also be taken into consideration. Contrary to the 3 point beam bending test results, the stability values of 12 and 19 mm PP fiber added samples were higher than those without PP fiber. It has been determined that the use of 19 and 12 mm PP fibers in wear layers will be beneficial provided that the underlying layer is strong.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yollar ulaşımda kullanılan doğal nedenlerle oluşmuş veya insan eliyle hazırlanmış uzun, sert, şerit şeklindeki yüzeylerdir. Ulaşım ise mevcut yollar üzerinde insanların ve eşyaların bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Yollar kendiliğinden oluşan patikalardan, çok çeşitli otobanlara kadar büyük çeşitlilik gösterir. Ülkemizde birçok ulaşım sistemi bulunmakla birlikte karayolu ulaşımı en önemli yere sahiptir [1, 16].

Karayolu; taban zemini üzerine esnek ve rijit olarak inşa edilen, araçların hızlı, güvenli ve konforlu hareketlerine olanak sağlayan bir üst yapıdır. Düzenli bir dağılıma sahip bir karayolu ağı, ülkelerin kalkınmasında önemli bir unsur haline gelmiştir. Çünkü güçlü ve konforlu bir karayolu ağı, enerji kaynaklarına kolay ulaşılmasını, üretilen ürünlerin hızlı ve zamanında yerine teslim edilmesini ve zamandan tasarruf edilmesini sağlar [1].

Türkiye gibi kalkınma çabasında bulunan ülkelerin sınırlı olan ekonomik olanaklarını en iyi şekilde değerlendirmesi gerekmektedir. Yatırımların; ayrıntılı ve çok yönlü etütlere dayalı, uzun vadeli planlamalara bağlı olarak yapılması gerektiği belirtilmesi gereken bir husustur. Bunun içindir ki yeni yol yapımı veya mevcut bir yolun iyileştirilmesi ile ilgili planlamalar ve projelendirmeler sırasında mevcut ve geleceğe ait trafik gereksinimlerinin en ekonomik biçimde karşılanması yanında, söz konusu yatırımın ilgili bölge ve tüm ülke için sosyoekonomik kalkınmayı teşvik edici olması da süreçlere dâhil edilmelidir. [1].

Endüstri ve sanayinin son yıllarda artan bir ivmeyle gelişmesi, ulaşımda ağır tonajlı trafik hacminin artmasını beraberinde getirmiştir. Artan trafik yüklerinden dolayı geleneksel karayolu esnek üstyapı kaplaması ihtiyacı karşılayamamakta ve projelendirilmiş servis ömrünü tamamlayamadan kısa periyotlarda bakım ihtiyacı

oluşmaktadır. Bu anlamda yapılan araştırma ve deneylerle beraber asfalt betonunu güçlendirecek çeşitli katkı malzemeleri bulunmuştur [2].

Günümüzde özellikle ağır tonajlı yüklere maruz kalan otoyol kaplamaları, tırmanma şeritleri, hava alanları, yarış pistleri gibi yollarda modifiye asfaltların kullanımı kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Asfalt bağlayıcı veya sıcak karışımın polimer ile modifiye edilmesinin kaplamanın, oluklanmaya, düşük ısı çatlaklarına, yorulma çatlaklarına, soyulma ve sıcaklık etkilerine karşı direncini artırdığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [2].

Asfalt yol kaplamaları çok maliyetli yapılardır. Bu nedenle bunlardan elde edilecek performansın, hizmet ömürlerinin ve deformasyonlara karşı direncin yükseltilmesi önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir [1].

Asfalt kaplamaların yüksek sıcaklık ve uzun yükleme sürelerinin etkisiyle viskoz bir davranış göstermesi deformasyonlara karşı direncini azaltmakta ve tekerlek izinde oturmalar meydana gelmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise kırılgan bir yapıya dönüşen asfalt kaplamalar, üzerlerine etkileyen trafik yüklerini sönümleyememekte ve çatlaklar oluşmaktadır. Özellikle ağır trafik yüklerinden dolayı oluşan tekerlek izleri yolun geometrik standartlarını olumsuz etkilemekte ve ekonomik kayba neden olmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlardaki bu deformasyonları önlemek amacıyla farklı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Yapılan birçok çalışmada gerek karışımın gerekse de bitümün özelliklerini iyileştirmek amacıyla katkı maddeleri kullanılmış ve önemli kazanımlar elde edilmiştir [1, 2, 20].

Dünyanın geneline bakıldığında karayollarının büyük bölümünün bitümlü sıcak karışım olarak imal edildikleri görülmektedir. Son yıllarda artan dingil yükleri nedeniyle asfalt betonu sık sık bakım gerektirmekte ve ülke ekonomilerine ciddi bir maliyet getirmektedir. Bu nedenle son zamanlarda asfalt betonunun performansını artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Asfalt Betonun özelliklerini olumlu yönde etkilemek için en fazla başvuru yol bitüm veya bitümlü sıcak karışımın çeşitli malzemeler ile modifiye edilmesidir [1, 2].

Yapılan bu çalışma da polimer PP lif ile bitümlü sıcak karışım modifiye edilerek, PP lifin asfalt betonunun Marshall ve eğilme dayanımı üzerindeki etkilerinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bağlayıcı olarak TÜPRAŞ'dan temin edilen ve penetrasyon değeri B50/70 sınıfı olan bitüm, standart performans deneylerine tabi tutularak performans özellikleri belirlenmiştir. Deneylerde agregası olarak Geyve Karaçam taş ocağından temin edilen kırmataş agregası kullanılmıştır. Gerekli agregası deneyleri uygulanarak agregası özellikleri saptanmış ve karışım gradasyonu belirlenmiştir. Seçilen gradasyon ve farklı oranlarda bitüm içerikleri ile Marshall testi uygulanarak, tasarım bitüm oranı % 4,6 olarak belirlenmiştir. Ocak 2019 ABT laboratuvar dizayn raporu baz alınmış ve Sakarya Büyükşehir Belediye Başkanlığı şantiyesinde üretilen BSK kullanılmıştır [18].

Son olarak, belirlenen tasarım bitüm içeriği ve farklı oranlarda PP lif kullanılarak 4 farklı boyutta 4'er adet %0,5 ile %2,5 arasında %0,5 artırımlı 80 adet Marshall numunesi hazırlanmış, stabiliteleri incelenmiştir. Ayrıca, kırış numuneleri üzerinde kırılma deneyleri (üç nokta kırış eğilme) de uygulanmıştır. Polimer katkısız ve farklı oranlarda katkı içeren numunelerden özel deney düzeneği ve veri toplama sistemi kullanılarak yük- sehim değerleri tespit edilmiş, elde edilen veriler sonucunda PP lifin asfalt betonu eğilme dayanımı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Karayolu Altyapısı

Karayolu altyapısı; yolun projesinde yer alan toprak işleri (yarma, dolgu, zayıf zemin kazısı vb.) ve sanat yapısı (köprü, tünel, hidrolik menfez, istinat duvarı vb.) işlerini içerir. Yol altyapısı yol üstyapısının tasarımını doğrudan etkilediği için şartnamelerde belirtilen esaslara uygun olarak imal edilmelidir [3, 4].

2.2. Karayolu Üstyapısı

Karayolu üstyapısı, trafik yüklerini taşıyarak taban zeminine aktaran, tesviye tabakası (taban zemini) üzerine yerleştirilen ve tabakalar halinde inşa edilen yapıdır.

Üstyapı; trafikte taşıtların üzerinde akabileceği düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, gelen trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değerlere indirmek, yol gövdesini doğanın bozucu etkilerine karşı korumak amacıyla trafik yükünden dolayı oluşan gerilmeleri üzerine alarak tabakalar boyunca dağıtmak ve taban toprağına fazla yük gelmesini önlemek amacıyla altyapı üzerine inşa edilen ve kaplama, temel ve alt temel tabakalarından oluşan tabakalı yol yapısı olarak tanımlanır [5, 6].

Yol projelendirilmesinde öncelikle standartlara uygun olarak güzergâh seçimi yapılır. Güzergâh belirlendikten sonra araçların üzerlerinden istenilen hız, konfor ve güvenlikte geçişlerini sağlayabilmek için taban zemini istenilen kot seviyesine getirilip üzerine üstyapı inşa edilir. İnşa edilen tüm bu yapılar karayolu yapısını oluşturmaktadır [1].

Ülkemizde son yıllarda karayolu yatırımlarına büyük bütçeler ayrılmakta ve büyük harcamalar yapılmaktadır. Bu harcamalar içerisinde yol üstyapısı büyük paya sahiptir. Bundan dolayı yolu oluşturacak uygun üstyapı sisteminin belirlenmesi önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir [1].

Yol üstyapısı rijit ve esnek üstyapılar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, kaplama tabakalarında kullanılan bağlayıcı malzemeye (çimento ve bitüm) göre yapılmaktadır. Uygulanacak olan üstyapı tipinin seçimi iklim, trafik ve taban zeminin sahip olduğu özellikler göz önüne alınarak yapılmaktadır [1].

2.2.1. Rijit üstyapılar

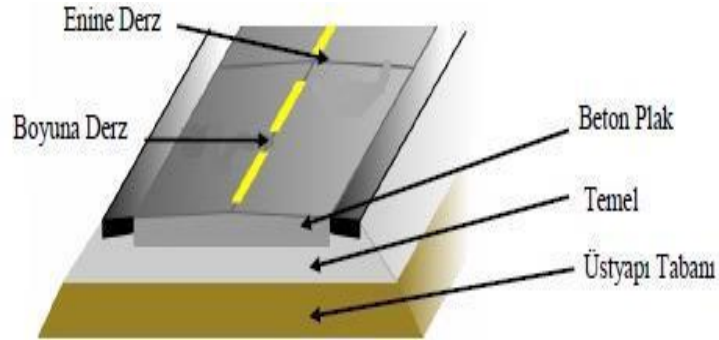
Rijit üstyapılar taban zeminini üzerine inşa edilen beton plaklardan oluşur. Beton plaklar enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmıştır.

Beton yol; oldukça yüksek eğilme mukavemetine sahip, bağlayıcı malzeme olarak Portland çimentosundan yapılmış tek tabakalı betonarme plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üstyapı tipidir. Rijit üstyapı alttemel tabakası ve beton plak olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır [3, 7].

Rijit üstyapıları esnek üstyapılardan ayıran en temel özellik deforme olmadan gelen yükleri taşıyabilmesidir. Bu anlamda bakıldığında beton plakların temel görevi, üzerine gelecek trafik yüklerini sönmleyerek taban zemininin bozulmamasını sağlamaktır. Rijit üstyapıları oluşturan beton plakların kendisinden beklenen davranışı sergileyebilmesi, betonun özellikleriyle doğru orantılı olmakla birlikte kaplama altında oluşturulan temel, alttemel ve taban zemininin özellikleriyle de ilişkilidir. Bundan dolayı temel, alttemel ve taban zemininin özelliklerinin iyi belirlenmesi gerekir. Rijit üstyapı Şekil 2.1.'de gösterilmektedir [3, 7].

Ülkemizde çok fazla beton yol uygulaması olmamakla beraber bazı illerimizde deneme çalışmaları yapılmıştır. Örneğin Afyon, Kocaeli vb. illerimizde beton yol

deneme kesiminde uzun dönemde performans gözlemleri yapılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

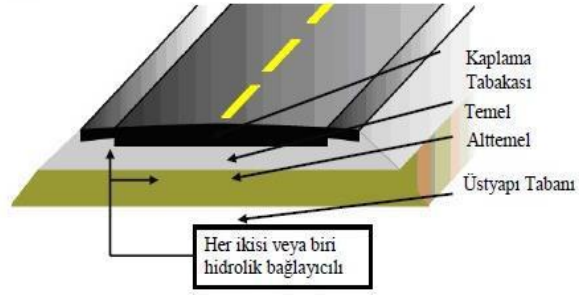


Şekil.2.1. Rijit üstyapı kesiti

Isı ve iklim değişikliklerinden dolayı kaplama boylarında değişimler olur. Bu boy değişimlerinin etkilerini azaltmak için enine ve boyuna bırakılan derzler arasında bağlantı ve yük transferi amacıyla çelik çubuklar yerleştirilir. Rijit kaplamalar, ülkemizde yapım zorluğu, maliyeti ve iklim değişkenlerinden fazla etkilenerek zarar görmeleri gibi nedenlerle, fazla tercih edilmemektedir. Bununla beraber, 20 yıl proje ömrü içinde 8.2 ton standart dingil yükü sayısının 60 ile 75 milyondan fazla olduğu veya yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari araç sayısı 5000'den fazla olan yollarda ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5000'den fazla kalkış yaptığı havaalanlarında beton yollar tercih edilir hale gelmiştir. Bu nedenlerle ülkemizde de beton kaplamaların kullanımının gündeme gelmesi ve yaygınlaşması beklenmektedir [8].

2.2.2. Yarı rijit üstyapılar

Yarı rijit üstyapılarda, esnek üstyapılardan farklı olarak granüler temel veya alttemel yerine çimento bağlayıcılı granüler temel veya çimento ile stabilize edilmiş alttemel kullanılır (Şekil 2.2.). Bu tabakaların üzerine sırasıyla bitümlü temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakaları serilir. Türkiye' de dizayn trafik değerleri çok yüksek olan devlet yollarında ve otoyollarda bu tür üstyapılar kullanılmaktadır [9].



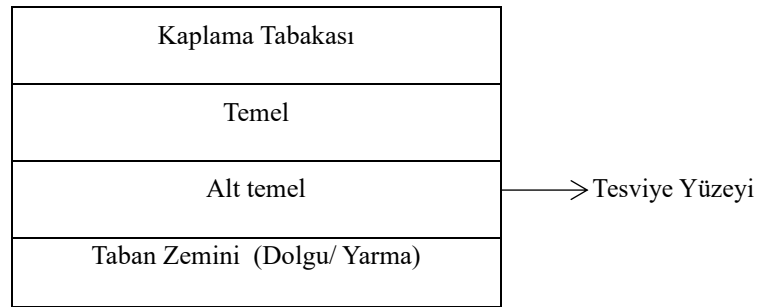
Şekil 2.2. Yarı rijit üstyapı kesiti

2.2.3. Esnek Üstyapı

Trafik yüklerini taban zeminine aktaran ve sürekli olarak her noktada tesviye yüzeyi ile sıkı temas sağlayan üstyapı tipidir. Stabiliteleri;

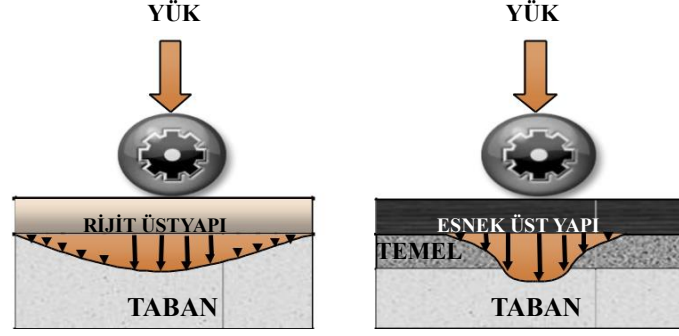
- Agreganın kenetlenmesine,
- Agreganın danelerinin içsel sürtünmelerine ve
- Kohezyona bağlıdır.

Esnek üstyapılar belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş tabakalı yapılardır. Tabaka kalınlıkları taban zemininin taşıma gücü ve trafik yüklerine bağlı olarak tasarlanır. Esnek üstyapılarda gerilme değeri en üst tabakadan aşağıya doğru inildikçe azalır. Tabakalarda kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri bu gerilme dağılımı dikkate alınarak belirlenir. Esnek üstyapı kesiti Şekil 2.3.'de gösterilmektedir [3, 7].



Şekil 2.3. Esnek üstyapı kesiti

Şekil 2.4.' de görüldüğü üzere esnek ve rijit üstyapılar, trafik yükünü taban zeminine iletme şekilleri yönünden farklılık gösterir [10].



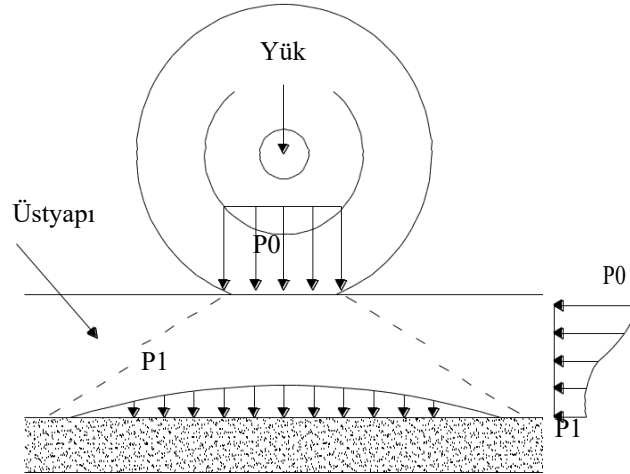
Şekil 2.4. Rijit ve esnek üstyapılarda gerilme dağılımı [13]

Esnek üstyapıyı oluşturan tabakalarda bitümlü bağlayıcı kullanılmaktadır. Esnek üstyapı, üzerine gelen trafik yüklerini taban zemininin taşıyabileceği seviyeye düşüren, altyapıyı koruyan ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan tabakalı yapı olup; stabilitesi dane sürtünmesi, kohezyon ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır [1, 20].

Temel tabakası üzerine inşa edilen kaplama tabakasının görevleri, üzerinde hareket edecek olan taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, taşıtların aşındırma etkilerine karşı koymak ve temel tabakası üzerine etki edecek olan gerilmeleri azaltmaktır. Belirli gradasyon ve kaliteye sahip malzemelerden oluşan temel tabakasının görevi yol üstyapısının yük taşıma kapasitesini arttırmaktır. Günümüzde temel malzemesi temini çoğunlukla kırma taş ocaklarından veya taş ocaklarından sağlanır [1].

Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılımını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, su ve don tesirlerine karşı direnç sağlamak ayrıca tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır [11].

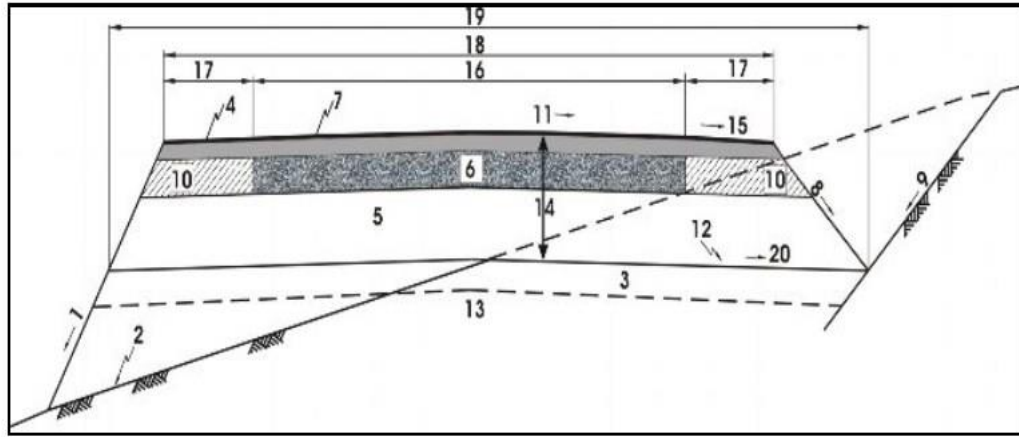
Başka bir deyişle esnek üstyapı, üzerine etki eden trafik yüklerini kendisini oluşturan tabakalar aracılığıyla oturduğu taban zeminine aktaran nitelik ve taşıyıcılık bakımından en alt tabakadan en üst tabakaya doğru malzeme özelliklerinin iyileştiği üstyapı tipidir [11, 20].



Şekil 2.5. Tekerlek yükü gerilme dağılışı [1]

Şekil 2.5.'de görüldüğü gibi esnek üstyapıda trafik yüklerinden dolayı oluşacak gerilme yayılımı en üst tabakadan başlayarak aşağı tabakalara inildikçe azalacaktır. Oluşturulacak olan yol üstyapısı bu yükleri güvenli bir şekilde taşımali ve gerilmeleri taban zemininin taşıyabileceği düzeye indirmelidir [1, 20].

Bir esnek üstyapı, proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zeminini dayanımı gibi kriterler göz önünde bulundurularak tabakalı olarak projelendirilir. Bu tabakalar; üstyapının üst kısmından taban zeminine inildikçe, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri azalacak şekilde kaplama tabakası, temel tabakası, alttemel tabakası ve taban zeminini olarak adlandırılır. Ayrıca projelendirilecek olan yolun platform genişliğinin, banket genişliklerinin, yüzeysel suları uzaklaştıracak olan hendeklerin oldukça önemli bir yeri vardır. Şekil 2.6.'da bu yapıya ait en kesit ayrıntılı olarak gösterilmiştir [12].



- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Dolgu Şevi | 11. Yolun Enine Eğimi |
| 2. Doğal Zemin | 12. Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi) |
| 3. Seçme Malzeme Tabakası | 13. Yol Gövdesi (Taban Zemini) |
| 4. Banket Kaplama | 14. Üstyapı Proje Kalınlığı |
| 5. Alt Temel | 15. Banket Eğimi |
| 6. Temel Tabakası | 16. Trafik Şeritleri Genişliği |
| 7. Kaplama Tabakası | 17. Banket Genişliği |
| 8. Hendek Şevi | 18. Yol Genişliği (Platform Genişliği) |
| 9. Yarma Şevi | 19. Üstyapı Taban Genişliği |
| 10. Banket Temeli | 20. Taban Yüzeyinin Enine Eğimi |

Şekil 2.6. Tipik esnek üstyapı enkesiti [1, 7]

Bütün yapılarda olduğu gibi karayolu üstyapıları da taban zemini üzerine oturur. Taban zemini, sıkıştırılmış doğal zeminden oluşur. Bir esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan ilişkili olduğundan, yapısal olarak en önemli tabakadır. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın esas görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ihtiyacı vardır [6].

Taban zemini ile temel tabakası arasına yerleştirilerek sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile stabilize edilmiş malzeme tabakası alttemel tabakasıdır. Alttemel tabakasının esas görevi, bitümlü tabakaların inşası için çalışma platformu oluşturmaktır. Bu tabakada kullanılan malzemeler genel olarak temel tabakasına göre daha düşük kalitededir ve granüler malzemedir. Mümkün mertebe yerel malzemeler ve yol inşaatında kullanılmaya elverişli malzemeler (molozlar, cürufklar, inşaat atıkları gibi) kullanılmaya çalışılır. Tablo 2.1.'de alttemel tabakasına ait şartname gradasyon limitleri verilmiştir [6].

Tablo 2.1. Alttemel gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

ELEK AÇIKLIĞI		TİP-A	TİP-B
(mm)	(inç)	% GEÇEN	% GEÇEN
75	3	100	-
50	2	-	100
37,5	1 ½	85-100	80-100
25	1	-	60-90
19	¾	70-100	45-80
9,5	¾	45-80	30-70
4,75	No.4	30-75	25-55
2	No.10	-	15-40
0,425	No.40	10-25	10-20
0,075	No.200	0-12	0-12

Kaplama tabakası altında inşa edilen temel tabakası; üstyapının oturacağı alan tabi zemini çevresel etkilerden koruyan, kaplamadan iletilen trafik yüklerini alt tabakalara aktaran, bir ya da daha fazla tabakadan oluşabilen karayolu üstyapısıdır. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.2.'de temel tabakasına ait şartname gradasyon limitleri verilmiştir [6].

Tablo 2.2. Temel gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN		
(mm)	(inç)	A	B	C
50	2	100		
37,5	1 ½	80-100	100	
25	1	60-90	70-100	100
19	¾	45-80	60-92	75-100
9,5	¾	30-70	40-75	50-85
4,75	No.4	25-55	30-60	35-65
2	No.10	15-40	20-45	25-50
0,425	No.40	8-20	10-25	12-30
0,075	No.200	2-8	0-12	0-12

2.3. Asfalt Betonlu Kaplamalarda Oluşan Bozulma Türleri

Bitümlü sıcak karışımlarla yapılmış karayolu üstyapılarında meydana gelen bozulmaların ana nedenleri temel, alttemel ve taban zemininin taşıma gücündeki yetersizlikler, trafik yüklerinin olumsuz etkileri ve asfalt betonuna ait özellikler olarak ele alınabilir. Asfalt kaplamalarda oluşan bu bozulmaları deformasyon, çatlamlar ve ayrışmalar olarak üç grupta sıralayabiliriz [1].

2.3.1. Deformasyon

Deformasyon, asfalt kaplama tabakalarının inşa edildikten bir süre sonra ilk kotuna göre değişikliğe uğraması olarak tanımlanabilir. Oluşan bu şekil değiştirmeler kaplamanın bir bölümü veya tamamında görülebilir [1].

Çoğu araştırmacı, asfalt mühendisliği ile ilgili çalışmalarda öneminden dolayı, çalışmalarını esnek kaplamalarda meydana gelen kalıcı deformasyonlar (oluklanma ya da tekerlek izi) üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Kalıcı deformasyonlar, kaplamanın servis yeteneğinde azalmaya neden olmaktadır. Oluklanma izlerinin zamanla çatlama uğraması ve su girişi ile birlikte kaplamada meydana gelen bozulma, bu duruma yardımcı olmaktadır. Bitümlü malzemelerde oluşan deformasyonlar daha çok ilkbahar sonlarında, yaz aylarında ve sonbahar başlarında oluşmaktadır. Bunun nedenleri olarak, yılın bu dönemlerinde sıcaklıkların yükselmesi, don çözümlerinin meydana gelmesi, yağmurlar ve kasma olaylarına eşlik eden oluklanmaların oluşması ve sonbaharda yinelenen yağışlar gösterilebilir. Kış aylarında ise zemin donarak asfalt kaplamaya destek olmaya başlamakta ve böylelikle kalıcı deformasyonların miktarında azalma görülmektedir [1].

Yük altında meydana gelen deformasyonlar, geçici (elastik) deformasyonlar ve kalıcı (plastik) deformasyonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Stabilitate yüksek olduğu sürece toplam deformasyon az olduğu gibi bu deformasyonun geçici kısmı fazla, kalıcı kısmı çok azdır. Stabilitenin düşük olması durumunda ise durum tersine döner. Sadece kalıcı deformasyonların oluşması halinde ise stabiliteden söz edilemez [1].

Deformasyonlar genel olarak düşük stabiliteli BSK'ların imalatından kaynaklansa da;

- Kaplama tabakalarının yetersiz sıkıştırılması,
- Aşınma tabakasında aşırı filler ve bitümlü bağlayıcı kullanımı,
- Alt tabakalarda ve zeminde aşırı hacim değişikliği olması,
- Tabaka kalınlıklarının yetersiz oluşu,
- Yetersiz drenaj,

gibi nedenler de önemli etkenlerdir. Deformasyon çeşitlerini oturmalar, yerel çökmeler, oluklanma izi oluşması, ondülasyonlar, kabarmalar, yığılmalar ve lastik deseni oluşması olarak yedi bölüme ayırabiliriz [1, 10].

2.3.1.1. Tekerlek izi oluşumu

Tekerlek izi oluşumu, özellikle sıcak havalarda ve ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda çok sık karşılaşılan, kalıcı deformasyonun en yaygın şeklidir ve aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır.

- Ağır trafik yükü, tekrür sayısının fazlalığı ve ağır taşıtların hızı,
- Yüksek hava sıcaklığı ve düşük viskoziteli asfalt,
- Yetersiz temel tabakası kalınlığı ve zemin mukavemeti,
- Aşırı asfalt ve filler yüzdesi veya filler/bitüm yüzdesi,
- Yuvarlak dere malzemesi,
- Yetersiz sıkıştırma.

Kalıcı bir şekil değiştirme olan tekerlek izi Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi genellikle ağır tonajlı araçların yoğun kullanıldığı şeritlerde oluşmaktadır [1].



Şekil 2.7. Tekerlek izi oluşumu [1]

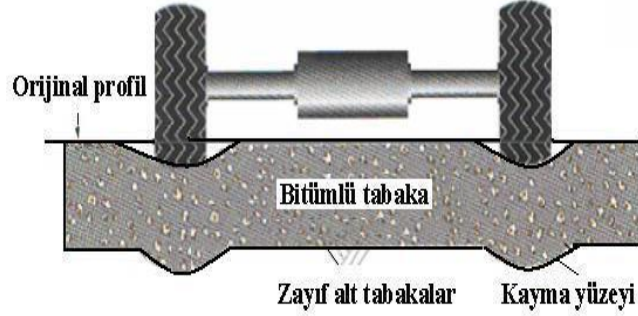
Bitümlü sıcak karışım tabakaları, tekrarlı ağır yüklere maruz kaldıklarında bünyelerinde iki şekilde tekerlek izi oluşmaktadır. Birinci durumda tekerlek izi, Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi kaplama tabakasında meydana gelmiş ise sıcak karışımın, trafik yüklerine karşı koyacak kayma mukavemetine sahip olmaması veya plastik akma nedeniyle oluşur. Zayıf bir asfalt tabakasında, her ağır kamyon geçişiyle küçük ama kalıcı deformasyonlar oluşur ve bu deformasyonlar da karışımın aşağı ve kenarlara doğru plastik yer değiştirmesini sağlayarak tekerlek izi oluşumuna neden olur. Plastik akma, karışımın yük altında yanal hareketi olur, karışımda aşırı asfalt ve yuvarlak agrega bulunması ve yetersiz sıkıştırma sonucu oluşmaktadır [1, 8].



Şekil 2.8. Zayıf bitümlü tabakada tekerlek izi oluşumu [1]

Tekerlek izi Şekil 2.9.'da belirtildiği gibi sadece asfalt kaplama tabakasında değil aynı zamanda kaplama altındaki tabakalarda da meydana gelmiş ise bu olay yapısal bir

bozulma olarak değerlendirilir. Bu tür bozulmaların nedeni, asfalt kaplama tabakası ve alt tabakaların yetersiz kalınlıkları, temel ve alttemel tabakalarının stabilitelerinin düşüklüğü, zemin tabakasının sağladığı desteğin azlığı ve kaplamanın maruz kaldığı yüklerin büyüklükleri ve şiddetidir [1].



Şekil 2.9. Zayıf alt tabakalarda tekerlek izi oluşumu [1]

Tekerlek izi oluşumu özellikle yaz aylarında daha da artmaktadır. Çünkü sıcaklığın artması ile asfaltın sertlik değeri düşmektedir. Viskozitesi yüksek bağlayıcı kullanarak sıcak havalarda kaplamanın deformasyona uğramaya yatkınlığının azaltılması, kalıcı tekerlek izi oluşumuna karşı kaplamanın direncinin artmasını sağlar [1, 7].

2.3.1.2. Oturmalar ve çökmeler

Oturmalar, kaplama altındaki alt tabakalarda meydana gelen bozulmaların sathaya yansması olup kaplamaya bağlı değildir. Bunlar 0,5-2 m yarıçaplı dairesel veya daireye yakın boyutta oluşur ve bitümlü tabakalar esneklikleri sayesinde genellikle çatlamadan alt tabakaların yeni kotuna intibak ederler ancak, kırılğan asfalt kaplamalarda çatlamalar görülür. Oturmaların nedenleri aşağıda sıralanmıştır [1].

- Alt tabakaların yetersizliği,
- Taban, alttemel veya temel tabakalarında yetersiz sıkıştırma,
- Üstyapı zemininin taşıma gücünün zayıf olması,
- Dolgu şevinde hatalar,
- Yer altı su seviyesinin yüksekliği,
- Yetersiz drenaj,

- Uygun olmayan bakım teknikleridir.

Çökme, kaplama yüzeyinin ötelenmesini de içeren yerel bir plastik hareket biçimidir. Orijinal kaplama yüzeyine göre düşük kotta kalmış küçük çukurluklardır. Derinlikleri 2.5 cm ya da daha fazla olabilmekte ve yağmurlardan sonra içlerine su dolmaktadır. Çapları değişkendir. Nedenleri aşağıda sıralanmıştır [1].

- Temel ve alttemel tabakalarının stabilite yetersizliği,
- Kaplamanın yapım sırasında yetersiz olarak belirli bir bölgede sıkıştırılması,
- Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimi,
- Temel ve alttemel malzemelerinin kille karışması,
- Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü ile karşılaşması,
- Kötü işçilik ve yapım hataları,

2.3.1.3. Ondülasyonlar ve kabarmalar

Ondülasyonlar, yol üzerinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan ve belirli biçimde dalgaya benzeyen, plastik bir hareket sonucu oluşan kaplama deformasyonlarıdır. Bu tip deformasyonlar kavşaklar, otobüs durakları, tırmanma şeritleri gibi kesimlerde ondülasyon şeklinde görülür. Ondülasyon problemi, genel olarak düşük stabiliteli karışım, yetersiz tabaka kalınlığı, düşük viskoziteli, aşırı asfalt miktarı, rutubet miktarı, zayıf yapıştırma tabakası ve ağır taşıtların yoğun durma-kalkma hareketi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır [8].

Kabarmalar yol sathının lokal bir bölgede yukarıya doğru hareket etmesidir. Bu hareketin oluşum nedeni genel olarak tabii zeminin ve üst tabakaların şişmesiyle ortaya çıkar. Doğal zeminin şişmesi;

- Doğal zemindeki suyun donması ve çözülmesi,
- Doğal zeminin, su etkisi ile şişme karakterine,

bağlı olarak farklı derecelerde kendisini göstermektedir. [1].

2.3.2. Çatlamlar

Çatlamalar kaplama yüzeyinde trafik, çevre ve iklimin etkisi ile çok çeşitli şekilde, genişlikte ve derinlikte oluşan kusurlardır. Çatlaklar genel olarak;

- Stabilite çatlakları,
- Yorulma çatlakları,
- Yansıma çatlakları,

olarak sınıflandırılır.

Stabilite çatlakları, trafik yükleri etkisi ile kaplamanın altında oluşan çekme gerilmelerinin kaplamanın çekme mukavemetini aşması halinde tabakanın alt tarafından başlamakta ve zamanla kaplama yüzeyine çıkması sonucu oluşmaktadır. Bu nedenle stabilite çatlakları yapısal çatlaklardır. Çünkü kaplamaya etki eden trafik yükleri kaplamanın her tabakasinda hem basınç hem de çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Basınç gerilmeleri tabakanın üstünde maksimum iken çekme gerilmeleri ise tabakanın altında maksimumdur. Bu nedenle, stabilite çatlakları önce tabakaların altında oluşmakta ve trafiğin etkisiyle zamanla tabakaların üst tarafına doğru ilerlemektedir [1].

Yorulma çatlakları, ağır dingil yüklerinin etkisiyle asfalt kaplama tabakasının zamanla direncini kaybetmesi sonucu oluşan bozulmalar olarak tanımlanmaktadır.

Yansıma çatlakları, bozulmuş bir esnek veya rijit kaplama üzerine yeniden bir kaplama (takviye) yapıldığında veya çimento stabilizasyonu yarı rijit bir temel tabakası üzerindeki esnek kaplamalarda veya bir şekilde fleksibilitesi çok düşük temel tabakasinda oluşmuş çatlakların trafik ve iklim etkisi ile yaklaşık 45 derecelik açıyla en üstteki tabakaya kadar ilerlemesi yani alttaki çatlakların yüzeye yansıması sonucu oluşmaktadır. Stabilite, yorulma ve yansıma çatlakları genel olarak trafik etkisi ile olurken çevre ve iklim etkisi ile (yani sıcaklık ve nemin değişmesi sonucu) oluşan büzülme çatlakları ise trafiğin etkisi ile büyüyerek belirgin hale gelir. Yorulma ve stabilite çatlakları kaplamanın mekanik özelliklerinden kaynaklanırken yansıma

çatlağı ise alt tabakadaki çatlakların trafik ve iklim etkisi ile zamanla yüzeye çıkması sonucu oluşur. Esnek kaplamalarda oluşan çatlaklar daha ziyade yorulma çatlaklarıdır. Stabilitate çatlaklarının kaplamanın düşük stabilitesinden kaynaklandığı için önlenmesi mümkün iken, trafik hacminin büyük olduğu yollarda yorulma çatlakları kaçınılmazdır. Kaplamalardaki çatlaklardan hava ve suyun kaplama içine nüfus etmesi sonucu bitümlü bağlayıcının oksidasyonu (sertleşmesi), diğer kusurların oluşmasına ve/veya hızlanmasına neden olduğundan dolayı çatlakların varlığı çok sakıncalıdır [1].

Bitümün çatlama bakımından en önemli özelliği olan gerilme direnci, diğer direnç özellikleri gibi yükleme hızı ve sıcaklığa bağlıdır. Gerilme direnci düşük sıcaklıklarda yüksektir, fakat yavaş yükleme hızları için düşüktür. Çok düşük sıcaklıklarda karışım aşırı kırılğan olabildiği için gerilme direnci azalabilir [1].



Şekil 2.10. Çatlama oluşumu [1]

2.3.3. Ayrışmalar

Kaplamayı oluşturan agreganın, iklim ve trafiğin mekanik etkileri nedeniyle koparak ayrılmasıdır. Ayrışma, ülkemizdeki karayolu kaplamalarında çok görülen bir bozulma türüdür. Asfalt kaplamalardaki ayrışmalara neden olan ana etmenler;

- Kalitesiz karışım kullanılması,

- Drenaj yetersizlikleri,
- Kötü hava koşullarında yapım,
- Karışımın serimi sırasında segregasyon oluşması,
- Sıkıştırmanın yetersiz yapılması,
- Kaplama tabakasının ince yapılması,
- Kimyasal maddelerin (tuz vb.) etkisi,
- Kuma meydana gelmesi,

olarak sayılabilir.

Tüm bu nedenlerin hiçbiri tek başına ayrışmaların oluşmasına neden olmaz. Sıralanan etmenlerin birkaçının bir araya gelmesi sonucu trafiğin mekanik etkisiyle ayrışma başlar. Başlıca ayrışma çeşitleri dağılmalar ve sökülmeler, soyulma, kayganlık, cilalanma ve kuma olarak ifade edilebilir [1].

2.3.3.1. Dağılmalar ve sökülmeler

Asfalt kaplamalarında dağılma, karışımda bulunan agregaların ufalanması sonucu agrega tanelerinin küçük çukurlar bırakarak sökülmesi şeklinde meydana gelir. Sökülmeler önce ince agregaların kaplamadan ayrılmasıyla başlar ve sonraki aşamada iri agrega tanelerinin ayrılması ile devam eder [1].

Dağılma ve sökülmelerin en önemli nedenleri olarak karışımda kullanılan agregaların temiz olmaması ve soğuk hava koşullarında imalat olarak sayılabilir.

2.3.3.2. Soyulma

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan bitümün, agregaların etrafını film şeklinde sarması istenir. Fakat kaplamalarda zamanla trafik yüklemeleri, su ve kil etkisi ile bu film tabakası agregadan ayrılarak agreganın çıplak kalmasına neden olur. Ülkemizde soyulma olayı çok gerçekleşmediğinden dolayı bugün için büyük bir sorun haline gelmemiştir.

Sıcak karışımda yüzeyde herhangi bir soyulma meydana gelmemesine rağmen, karışıma giren suyun, bağlayıcının içsel kohezyon kaybına neden olduğu ve karışımın dayanımını düşürebildiği de görülmüştür [1].

2.3.3.3. Kayganlık

Kaplama tabakalarını kaygan duruma getiren temel neden yüzeyin pürüzsüz ve düzgün olmasıdır. Su, pürüzsüz ve düzgün olan yüzeylerde ince bir film tabakası oluşturarak yüzeyin kaygan olmasına neden olur. Bu durumda karayolu üzerinde tekerlek ile yüzey arasındaki sürtünme azalacağından dolayı taşıtların kontrolsüz bir şekilde kaymaları söz konusu olacaktır. Bu olay don etkisinin fazla olduğu bölgelerde daha çok görülmektedir. Yol yapım çalışmaları sırasında gerekli enine ve boyuna eğimler verilerek veya kaba agregalar kullanmak suretiyle bu problem çözülebilmektedir [1].

2.3.3.4. Cilalanma

Bazı agregalar trafiğin zamansal etkisinden dolayı aşınarak pürüzlülüklerini kaybederler. Özellikle kalker kökenli agregalar başlangıçta köşeli ve pürüzlü olmalarına rağmen bir süre sonra aşınarak pürüzlülüklerini kaybederek cilalı bir hale gelirler. Asfalt kaplama ile taşıt tekerlekleri arasındaki sürtünme katsayısı, özellikle yol yüzeyinin ıslak olması halinde düşer ve 60 km/saat'den yüksek hızlarda kaymalara neden olur. Bu nedenle özellikle aşınma tabakasında kullanılacak olan agreganın iyi seçilmesi önemlidir [1, 8].

2.3.3.5. Kuma

Kuma yol kaplamasını oluşturan bitümün sıcaklıktan dolayı kaplamanın yüzeyine doğru yükselerek yüzeyde kalın bir film tabakası oluşturmaktadır. Oluşan film tabakasından dolayı yüzeyin sürtünme katsayısı azalmaktadır.

Kuma daha ziyade asfalt yüzdesi yüksek karışımlarda ve sıcak havalarda ortaya çıkar. Çok ağır dingil yükleri altında da asfalt yüzeye çıkabilir. Asfalt yüzdesi optimum olsa bile, karışımda boşluk yüzdesi çok düşükse, sıcak havalarda genleşen ve boşluk bulamayan asfalt yine yüzeye çıkma eğilimi gösterecektir. Çok kalın serilen astar veya yapıştırma tabakaları da kumaya sebep olabilir. Karayollarımızın bakım görmüş kesimlerinde görülen kuma, bağlayıcı ve boşluk yüzdeleri konusunda dikkatli olmak suretiyle önlenabilir [13].

Yapılan çalışmalarda agrega gradasyonundaki ince malzeme miktarının kuma olayında etkili olduğu, kuma miktarının sıcaklık, trafik yükü ve bitüm miktarı arttıkça arttığı tespit edilmiştir [13].

2.4. Polipropilen Lifler

Petrokimya ve tekstil endüstrisinde yapılan araştırmalar ve elde edilen gelişmeler sonucu sentetik polimer lifler üretilmiştir. Akrilik, aramid, naylon, polyester, polietilen ve polipropilen başlıca polimer lifleridir. Bu liflerin hepsi de çok yüksek çekme dayanım özelliğine sahiptir [2].

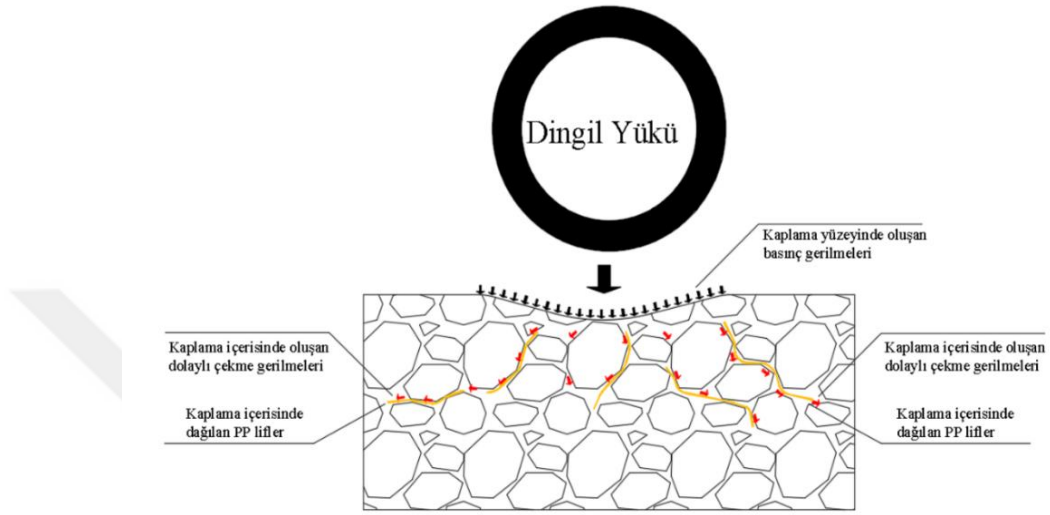
Polipropilen lifler petrolün bir türevi olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle, başta inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan organik bir malzemedir. Şekil 2.11.'de lif örneği görülmektedir.



Şekil 2.11. Polipropilen lif örneği

Polipropilen liflerin beton içerisinde gösterdiği en önemli özellik, betonun dökülüşünün ilk birkaç saati içerisinde meydana gelen plastik büzülmeden (rötreden) dolayı oluşan çatlamayı kontrol etmesidir. Polipropilen lifler beton, sıva, şap, alçı, bitüm ve prekast uygulamaları için kullanılan bir mikro donatı sistemidir. Polipropilen lifler çok çeşitli ebatlarda üretilirler. Hammaddesi %100 polipropilendir. 6 mm, 12 mm, 19 mm, 38 mm uzunluğunda üretilen çeşitleri daha az ipliksi yapıya sahiptir. Saha betonları, yürüyüş yolları, garaj, otopark ve şaplar için bir tali donatı sistemi olarak hasır donatının yerine kullanılabilir. Lif donatılı beton uygulamaları çok eski yıllara dayanmasına rağmen, 1960'lı yıllardan itibaren büyük bir ivme kazanmıştır. Özellikle Amerikan Ordu Mühendisleri Birliği (US Army Corp. Of Engineers) geleneksel silahlara karşı betonu güçlendirmek amacı ile yaptığı çalışmalar sonucunda betonda lif kullanımına yönelik deneysel ve teorik veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında ASTM, bir standart hazırlayarak 1116-C kodlu 'Püskürtme Sıva ve Lif donatılı Beton uygulamaları'nı yayımlamıştır. ASTM 1116-C standardında bir betonun liflendirilmiş olması için hacimce %0,1 oranında lif içermesi gerekmektedir. Diğer bir ifade ile 1 m³ beton için en az 1 kg lif kullanılmalıdır. Polipropilen malzemenin yoğunluğu en az 0,9 kg/m³ olduğunda standarda uygunluk açısından en az 0,9 kg/m³ dozaj kullanılmalıdır [2].

Tüm dünyada çimento ve alçı gibi inorganik kökenli bağlayıcılar ile bitüm gibi organik bağlayıcıların durabilite özelliklerini geliştirmek için mikro donatılandırılmaları yaygın uygulamalardandır. Polipropilen liflerin asfalt kaplama içerisindeki donatı etkisi Şekil 3.3.'te gösterilmektedir [2].



Şekil 2.12. Polipropilen liflerin donatı etkisi [2]

Polipropilen liflerin asfalt beton kaplama içerisindeki donatı etkisi şu şekilde açıklanabilir: Kaplama üzerine etkiyen dingil yükleri sebebiyle kaplama yüzeyinde basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Bu basınç gerilmeleri kaplama içerisinde agregaların hareket etmesine ve bunun sonucunda dolaylı çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Karışım içerisine eklenen PP lifler yüksek rijitlik ve çekme dayanım özelliğine sahip bir malzemedir. Karışım içerisinde rastgele dağılan bu lifler yüksek sıcaklıkta erise dahi termoplastik özelliğe sahip olduğundan sıkıştırılıp soğuduğunda tekrar yüksek mekanik özelliklerini göstermekte ve kaplama içerisinde oluşan dolaylı çekme gerilmelerine karşı mukavemet sağlayarak tali donatı etkisi göstermektedirler [2].

2.4.1. Polipropilen liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Polipropilen, petrolden elde edilen propilen gazının ($[CH_2=CH-CH_3]$) polimerizasyonu ile üretilen termoplastik bir polimerdir. Propilen, petrolün ısıtılma işlemi ile parçalanması sırasında elde edilen kaynama noktası $-47,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan bir gazdır.

Propilende çift baş birinci ve ikinci karbon atomları arasında olduğundan dolayı propilen Z-olefinler grubunda yer almaktadır. Propilenin polimerizasyonu, yapısındaki çift bağa bağlı olarak adisyon polimerizasyonu ile gerçekleşir. Polimerizasyon reaksiyonu monomerlerin zincir reaksiyonları ile doğrudan doğruya polimer molekülüne katılması şeklinde gerçekleşir. Zincir oluşmasını sağlayan taşıyıcı bir iyon (anyon veya katyon) ya da serbest radikal diye adlandırılan çiftleşmemiş bir elektronu bulunan etkin bir madde olabilir [2].

Polipropilen liflerin genel fiziksel özellikleri Tablo 2.3.'de gösterilmektedir. Değişen gereksinimler için farklı mukavemet özelliklerine sahip çeşitli polipropilen lifler üretilmektedir [2].

Tablo 2.3. Polipropilen liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Karakteristik	Değer	Standart
Homojenlik (%)	100%	-
Renk	Şeffaf	-
Uzunluk (mm)	3-50	-
Erime Noktası (C°)	160	-
Spesifik Yer Çekimi (kg/m ³)	910	ASTM D-792
Yanma Noktası (C°)	590	-
%40 oranında işlemde sonra dayanım yüzdesi olarak alkali direnci	99.5	-
NaOH çözeltisi 20 ° C'de 1000 saat su emilimi, %		
Nem tutma, 20°C'de ve %65 bağıl nemde		
Kopma Direnci, Mpa		
NaOH çözeltisi 20 ° C'de 1000 saat su emilimi, %	31-41	ASTM D-638
Uzama, %	≥33	ASTM D-638
Kopmada Uzama, %	100-600	ASTM D-638
Gerilme Direnci, Mpa	31-37	ASTM D-638
Basınç Dayanımı, Mpa	37-55	ASTM D-695
Eğilme Direnci, Mpa	41-55	ASTM D-790
Gerilim Modülleri, Mpa	1137-1551	ASTM D-638
Eğilme Modülleri, 73 °F, Mpa	1172-1723	ASTM D-790
Termal Genleşme, Doğrusal, m/m/°C	0.031-0.039	ASTM D-696

Polipropilen yüksek sıcaklıklarda mükemmel elektriksel ve kimyasal direnç sunar. Polipropilen'in özellikleri polietileninkine benzer olsa da belirli farklılıklar vardır. Bunlar, daha düşük yoğunluklu olması, daha yüksek bir yumuşama noktasına sahip olması (Polipropilen, 160° C'nin altında erimez, daha yaygın bir plastik olan polietilen

yaklaşık 100 °C’de tavlansaktadır), daha yüksek rijitlik ve sertlik değerleri içermesi olarak belirtilebilir. İşleme sırasında polimeri korumak ve son kullanıcı performansını artırmak için ticari olarak üretilen tüm polipropilen reçinelere katkı maddeleri uygulanmaktadır [2].

2.4.2. Polipropilen liflerin kullanım alanları

Polipropilen lifler; beton, sıva, şap, alçı, bitüm, prekast ve şatkrit uygulamaları için kullanılan mikro donatı sistemleridir ve betonda ikincil donatı görevi yaparlar. Günümüzde yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları göstermiştir ki, Polipropilen lifler kullanılarak inşa edilen projeler yüksek performans sağlamaktadır. Farklı uygulamalar için farklı boyutlarda imal edilen lifler (6-12-19 mm) belirlenen dozajda kullanıldığında, betonun içerisinde homojen olarak dağılması ile rötre ve büzülme çatlaklarının bertaraf edilmesini sağlamaktadır [2].

2.5. Agrega ve Özellikleri

Asfalt kaplamalarda kullanılacak olan agregaların, kökeni (tortul, magmatik, vb.) ne olursa olsun, kullanılacağı tabakanın şartnamelerde istenilen özelliklerini sağlaması gerekir. Şartname değerlerini sağlayan malzemenin kullanılması karayolu üstyapısı için aranan bir husustur [1].

Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan karışımın %90’dan fazlasını agregalar teşkil eder. Yolun servis ömrü boyunca agregalara hayati rol düşmektedir. Bu nedenle kullanılan agregalar bazı temel özelliklere sahip olmalıdır. Yapılan dizaynın özelliğine göre agregalarda aranan özellikler de farklılık gösterecektir. Yol üsyapısı, çeşitli kalınlıkta ve farklı görevleri olan birden fazla katmandan meydana gelmektedir. En üst kısmı oluşturan ve en önemli katmanlardan biri olan aşınma tabakası, yol güvenliği açısından önemli parametrelerden birini meydana getirir. Yolun servis ömrünü güvenli bir şekilde tamamlaması ve arzu edilen özelliklerini uzun süre koruması için, sürtünme katsayısı yüksek ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanım sağlayan agregaların kullanılması istenir [1].

Esnek üstyapıyı oluşturan alttemel ve temel tabakalarının tamamının agregadan oluşması ve bitümlü sıcak karışımların ise ağırlıkça %90-95' nin agregadan meydana gelmesi bu malzemeyi önemli bir konuma getirmektedir. [1].



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada, polipropilen liflerin 4 farklı boyutu (6, 12, 19 ve 54 mm), 5 farklı karışım oranlarında (%0.5-1-1.5-2-2.5) kullanılmıştır.

3.2. Yapılan Deneyler

Araştırmada kullanılacak malzemelerin standartlarda belirtilen özelliklere uygunluğunu belirlemek adına Metilen Mavisi deneyi ve elek analizi deneyleri yapılmaktadır. Metilen Mavisi deneyi BSK'da kullanılacak agregaların (0-2) mm aralığındaki kil oranının belirlenmesi adına yapılmakta olup, elek analizi deneyi ise gerekli agregaların gradasyon oranlarının belirlenmesi için yapılmıştır.

Marshall deneyi BSK'daki en uygun bağlayıcı oranı belirlemek adına yapılmakta olup BSK'daki yoğunluk- boşluk analizi ve stabilite- akma değerlerinin standartlara uygunluğu değerlendirilmektedir. PP lif katkılı ve katkısız uygulamalara yapılarak bitüm oranı elde edilmiş ve ek katkıların davranışları incelenmiştir.

BSK'ın uygulama alanlarında sıkça rastlanılan yorulma çatlaklarının ana sebebi olan dingil yüklerinden dolayı çekme ve eğilme gerilmeleri malzemede plastik deformasyonlara sebebiyet vermektedir. Kiriş eğilme deneyi ile PP lif katkılı ve katkısız BSK numunelerin çekme ve eğilme gerilmeleri açısından plastik deformasyonlara sebebiyet veren durumlar üzerine etkilerinin incelenmesi adına yapılmaktadır.

3.2.1. Metilen Mavisi deneyi (TS EN 933-9)

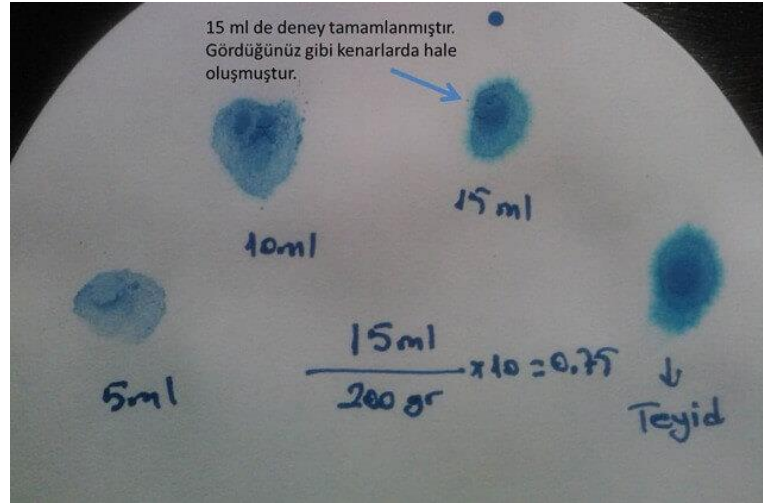
Bu deney, ince agregaya veya gruplandırılmamış agregalarda, (0-2) mm aralığında Metilen Mavisi değerinin belirlenmesidir. Yol üstyapısında ki temel ve kaplama tabakalarında kullanılacak olan malzeme içerisindeki kil oranının yüksek olmasının sebep olacağı şişme, sıkışmış durumdaki bu tabakalarda stabilite bozulmalarına sebep olma riski taşıdığından bu deneyin sonuçları önemlidir. Bu anlamda Metilen Mavisi deneyi ile söz konusu malzeme içerisindeki kil varlığı ortaya konulmaktadır. (200 gr agregaya için) [14].

Tablo 3.1. Metilen Mavisi sınır değerleri

SMA	Aşınma	Binder	B. Temel	S. Kaplama
Metilen Mavisi maks %1,5 (üretmiş agregaya)	1,5	1,5	2,0	-
Metilen Mavisi maks %3,0 (üretmiş agregaya)	3,0	3,0	3,5	-



Şekil 3.1. Metilen Mavisi deneyi



Şekil 3.2. Metilen Mavisi deney örneği

Standartlara uygun deneyin yapılabilmesi için öncelikle Metilen Mavisi çözeltisi hazırlanır. Litrede 10 gr Metilen Mavisi bulunması amaçlanır. Önce 10 gr'lık Metilen Mavisi tozu 105°C etüvde 24 saat bekletilir. Bu yöntemle tozun havayla teması sırasında tuttuğu nem uzaklaştırılmış olur. Bu uygulamadan sonra 1 litrelik damıtık su 40°C ısıtılarak toz içerisine eklenir. Metilen Mavisi tozunun su içerisinde tamamen karışması amacıyla 45 dakika karıştırılıp 20°C sıcaklığa gelmesi için soğutulur. Belirtilen yöntemlerle oluşturulan çözelti deneylerde kullanılmak üzere 28 günü aşmayacak şekilde tamamen karanlık ortamda tutulmalıdır. Deneyin yapılması aşamasında Metilen Mavisi deney seti düzeneğine ihtiyaç vardır. 500 ml damıtılmış suya karıştırılan 200 gr etüv kurusu 2 mm elekaltı ince agrega 5 dakika boyunca 600devir/dakika hızda karıştırılır. Ardından 1 dakika boyunca karıştırıcı 400devir/dakika hıza ayarlanıp 5 ml Metilen Mavisi çözeltisi eklenir. 1 dakikalık karıştırmadan sonra cam bir çubukla bir damla alınan süspansiyon filtre kâğıdına bırakılarak mavi renkli merkezi çevreleyen açık mavi bir halka oluşması gözlenmeye çalışılır [14].

İlk uygulamada gözlemlenmediyse halka gözlemlenene kadar 1 dakikalık periyotlarla 5 ml çözelti ilavesine devam edilip işlem tekrarlanır. Bu uygulamayla agreganın beher kilogramı başına tükettiği boya miktarının gram cinsinden değeri belirlenir.

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad (\text{TS EN 933 - 9}) \quad (3.1)$$

- M1: Agregas numunesinin kütlesi (gr),
- V1: İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi (ml)
- 10: Kullanılan boya çözeltisinin hacmini ifade etmektedir.

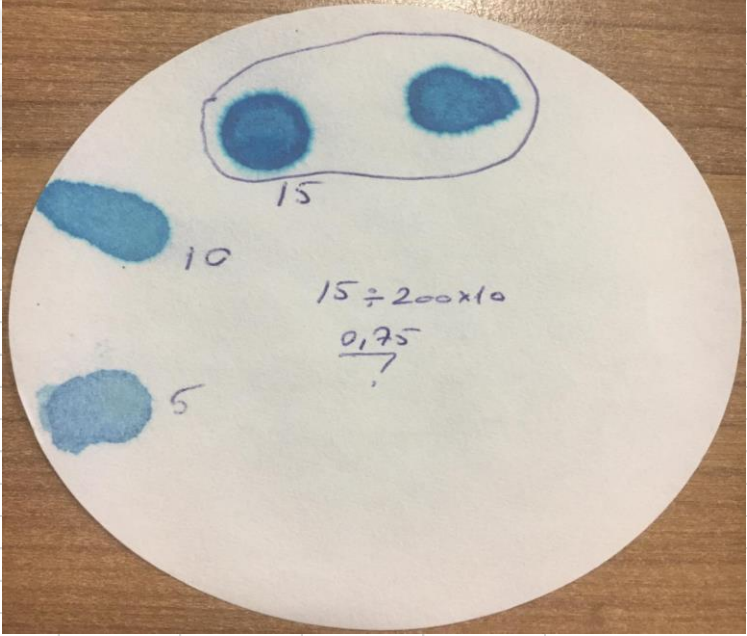
Kırma kireçtaşı agregasında var olan zararlı ince malzemenin tespitinde TS EN 933-9 standardınca önerilen Metilen Mavisi deneyi kullanılmaktadır. Standartlara göre ince agregalarda Metilen Mavisi değeri arttıkça ve kum eşdeğerliği değeri azaldıkça, betonun su ihtiyacı ve geçirimsizliğini arttırdığı, dayanımını ise azalttığı bilinmektedir [14].



Şekil 3.3. Metilen Mavisi deneyi

Tablo 3.2. Metilen Mavisi deney sonuçları

METİLEN MAVİSİ DENEY FORMU			
TS EN 933 - 9			
METİLEN MAVİSİ DENEYİ			
Ocağın adı Karaçam Taşocağı			
Deney Malzemesi Kuru Kütlesi	(g)	M_1	200
İlave Edilen Boya Çözeltisinin Toplam Hacmi	(mL)	V_1	15
Eğer Kullanılmışsa Kaolinit Tarafından Absorplanan Boya	(mL)	V'	0
Beher Kilogramı Başına Boya Miktarı Metilen Mavisi Değeri	(g)	$MB = (V_1 / M_1) \times 10$	0.75
Kaolin Kullanılmışsa , Metilen Mavisi Değeri	(g)	$MB = [(V_1 - V') / M_1] \times 10$	0



3.2.2. Elek analizi

Bir agreg a numunesi içerisindeki danelerin boyutlarına göre dağılımına granülometri, dane miktarlarını boyutlara göre sınıflandıran eğriye ise granülometri eğrisi adı verilmektedir. Bir agreg a numunesinin dane boyutu çeşitliliği o agreg a numunesinin mühendislik açısından özelliklerini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Dane boyutu ve gradasyonu, karışımın maksimum birim hacim ağırlığa ulaşması bakımından önemli bir kriterdir [2].

Malzemenin dane boyutu dağılımının bulunması, dane boyu dağılımının ve sınıflandırmanın şartnameye uygunluğu ve agreg a karışım hesaplarında kullanılması amacıyla Tablo 3.3.'de verilen elekler kullanılmaktadır [2].

Tablo 3.3. Elek analizinde kullanılan elek aralıkları.

Elek Açıklığı	
mm	İnch
25,0	1
19,0	3/4
12,5	1/2
9,5	3/8
4,75	No.4
2,00	No.10
0,425	No.40
0,180	No.80
0,075	No.200

Elek analizi ASTM C-136 standartına göre elle eleme yöntemiyle yapılmıştır. Agreg a numuneleri dane büyüklüğüne göre Tablo 3.4.'te belirtildiği gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.4. Agregaya boyut sınıflandırması.

Elek Açıklığı		Elek Üstünde Kalan
mm	inç	
19,0	3/4	Kaba Agregaya
12,5	1/2	
9,5	3/8	
4,75	No.4	
2,00	No.10	İnce Agregaya
0,425	No.40	
0,180	No.80	
0,075	No.200	
200 No'lu elek altında kalan		Filler

Elek analizinde 3000 gram agregaya numunesi 4 numaralı elekten elenerek üzerinde kalanlar kaba agregaya, altında kalanlar ise ince agregaya olarak belirlenmiştir. Daha sonra kaba agregaya sırasıyla 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", ve 3/8" nolu eleklerden elenmiştir. İnce agregaya içinse 10, 20, 40, 80, 200 nolu elekler kullanılarak eleme yapılmıştır. Son olarak elek üstünde kalan miktarlar hassas terazide tartılıp not edilmiş ve bu tartımlar toplam numune ağırlığına oranlanarak agregaya numunesinin dane büyüklüğü dağılımı belirlenmiştir (ASTM C 136 ve ASTM C 117).

3.2.2.1. Elek analizi yöntemleri

Agregaların elek analizi ile ilgili standartlarda, Yıkamalı Elek Analizi ya da Kuru Elek Analizi şeklinde 2 metot vardır.

Yıkamalı elek analizi metodu en sağlıklı sonuçları vermekle birlikte kuru elek analizi metoduna göre daha uzun sürmektedir.

Laboratuvara gönderilen deney numunelerinin elek analizlerinin yıkamalı mı yoksa kuru yöntemle mi yapılacağına karar vermek büyük önem taşımaktadır [6].

İncesi olmayan ve temiz görünümlü agrega numunelerinin, standartlar ve Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) izin verdiği sürece kuru elek analizi yöntemiyle dane boyu dağılımının belirlenmesinde bir sakınca yoktur.

İçerisinde ince malzeme oran yüksek olan killi malzemelerin yıkamalı elek analizi yöntemiyle dane boyu dağılımının bulunması, yapılacak hataları en aza indirmek açısından önemlidir.

Yöntemlerde farklılıklar olsa da ortak bulunan; belirtilmiş açıklığa sahip elekten geçen miktarın (gr) toplam kütleyle (gr) % olarak oranıdır [6].

3.2.2.1.1. Elek analizi ana hatları

Kuru elek analizi, ince malzeme oranı çok az ya da hiç olmayan agregalara uygulanan bir yöntemdir. İşlem adımları yıkamalı elek analizi ile benzerdir. Yıkamalı elek analizinden farklı olarak kuru elek analizinde numunenin suda bekletilmesi ve yıkanması adımları uygulanmaz. Deneyde kullanılacak numune etüvde bütün nemini kaybedip sabit kütleyle gelene kadar kurutulur. Kurutulan numune laboratuvar sıcaklığına geldikten sonra tartılır. (M) Kurutulmuş numune, uygun elek serisi kullanılarak elek sarsma makinasında ya da el ile elenir [12].

Elek analizi yapıldıktan sonra deneyde kullanılan elek açıklıkları ve bu eleklerle ait % geçen değerler kullanılarak Dane Boyu Dağılımı Grafiği (Granülometri Eğrisi) çizilir. Bunun için yarı logaritmik kâğıt üzerinde; elek açıklıkları logaritmik eksen, % değerler normal eksen işaretlenir. Deneyde kullanılan bir eleğin açıklığından logaritmik eksene dik bir çizgi çizilir. Benzer şekilde elekten geçen % değer bulunduğuş düşey eksenden logaritmik eksene yatay bir doğru çizilir. İki doğrunun kesiştiğı nokta işaretlenir. Diğer tüm eleklerden geçen % değerler için aynı işlem yapılır. Tüm noktalar tek bir eğri ile birleştirilerek Granülometri eğrisi oluşturulur [12].

3.2.2.2. Agregaların sınıflandırılması

Genel olarak,

- Kaba Agregası: 4,75 mm elek üzerinde kalan agrega,
- İnce Agregası: 4,75 mm-0,075 mm elekler arasında kalan agrega,
- Mineral Filler: %70'i 0,075 mm elekten geçen agrega

olarak adlandırılır [6].

3.2.2.2.1. Agregaların özellikleri

Açık Gradasyonlu Agregası: Gradasyonlarında filler ve ince agrega bulunmayan ya da çok az içeren agregalardır. Sıkıştırıldıklarında çok yüksek boşluk bırakırlar [6].

Tek Boyutlu Agregası: Bütün agrega danelerinin birbirine çok yakın boyutta olduğu agrega biçimidir. 5 mm-15 mm fraksiyona sahip tek boyutlu agregaların filtrasyon özellikleri yüksektir [6].

Kesikli Gradasyonlu Agregalar: Gradasyonunda belirli fraksiyonlarda agrega bulunmayan ya da çok az bulunan agrega dağılımıdır [6].

İyi Gradasyonlu Agregalar (İyi Derecelenmiş): Kaba agregadan fillere kadar her boyuttan agregaların birleşimidir. Sıkıştıktıklarında düşük boşluk ve yüksek taşıma gücü sağlarlar [6].

Deneyisel çalışma için Tip-1 aşınma tabakasında 3 grup malzeme kullanılmıştır. 0-5 mm, 5-12 mm ve 12-19 mm olan agrega grupları kullanılarak elde edilen elek analizi grafiği Tablo 3.5.'de görülmektedir. Ayrıca asfalt betonu aşınma tabakası sıcak silo agrega karışım gradasyonu Tablo 3.6.'da verilmiştir [1].

Tablo 3.5. Elek analizi

AGREGA ELEK ANALİZİ													
Numunenin Geldiği Yer				Karaçam Taşocağı									
Elek / Sieve		0-5 mm			5-12 mm			12-19 mm			19-25 mm		
mm		Kalan (g)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kalan (g)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kalan (g)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kalan (g)	Kalan (%)	Geçen (%)
	37,5												
	31,5												
	25												
	19									100,0			
	12,5						100,0	2451,0	56,2	43,8			
	9,5			100,0	11,0	0,6	99,4	3289,0	99,5	0,5			
	4,75	49,0	3,6	96,4	562,0	30,6	69,4						
No 10	2	620,0	46,1	53,9	1590,0	86,6	13,4						
No 40	0,425	841,0	62,5	37,5	1824,0	99,4	0,6						
	0,18	1014,0	75,3	24,7									
	0,075	1180,0	87,7	12,3									
Toplam		1346,0			1835,0			3307,0					

Tablo 3.6. Asfalt betonu aşınma tabakası sıcak silo agrega karışım gradasyonu

ASFALT BETONU AŞINMA TABAKASI-Sıcak Silo Agrega Karışım Gradasyonu																
OCAK		Karaçam Taşocağı						KAPLAMA TİPİ				ASFALT BETONU AŞINMA TABAKASI				
								ALINDIĞI YER				Plent				
ELEKLER		25-19		19-12.5		12.5-5		5-0				KARIŞIM GRADES.	TOLERANS		ŞARTNAME	
INCH	mm	Grading	%age	Grading	%age	Grading	%age	Grading	%age				MIN	MAX	MIN	MAX
			0		10		45		45							
2"	50	100,0	0,0	100,0	10,0	100,0	45,0	100,0	45,0			100	100	100	100	100
1 1/2"	37,5	100,0	0,0	100,0	10,0	100,0	45,0	100,0	45,0			100	100	100	100	100
1"	25	100,0	0,0	100,0	10,0	100,0	45,0	100,0	45,0			100	100	100	100	100
3 / 4"	19	100,0	0,0	100,0	10,0	100,0	45,0	100,0	45,0			100,0	100	100	100	100
1 / 2"	12,5	100,0	0,0	35,1	3,5	99,7	44,9	100,0	45,0			93,4	89	97	88	100
3 / 8"	9,5	100,0	0,0	5,1	0,5	71,5	32,2	100,0	45,0			77,7	74	82	72	90
No 4	4,75	100,0	0,0	1,5	0,2	4,6	2,1	98,4	44,3			46,6	43	51	42	52
No 10	2	100,0	0,0	1,2	0,1	1,2	0,5	62,5	28,1			28,7	26	32	25	35
No 40	0,425	100,0	0,0	1,1	0,1	1,2	0,5	27,3	12,3			12,9	10	16	10	20
No 80	0,18	100,0	0,0	0,9	0,1	1,1	0,5	19,5	8,8			9,4	7	12	7	14
No 200	0,075	100,0	0,0	0,5	0,1	1,0	0,5	11,2	5,0			5,6	4	8	3	8

ELEK AÇIKLIĞI

3.2.3. Marshall deneyi

Bitümlü karışımlar için en uygun bağlayıcı oranı Marshall deneyi ile bulunur. Optimum bitüm oranının tespitindeki yöntemlerden birisi olan Marshall deneyinin amacı, sağlam ve durabil bir üstyapı elde etmek, trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek bir karışım stabilitesi oluşturmak, sıkıştırılmış karışımda kuma, akma ve stabilite düşüklüğü oluşturmeyen çok az miktarda sıkışmaya imkân verecek ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu sağlamak ve segregasyona uğramaksızın uygun serimi ve işlenebilirliği sağlayacak bir karışım oluşturmaktır. Ancak Marshall tasarım yönteminde, bitümün sıcaklık ve yükleme şartlarına bağlı olarak gösterebileceği değişkenlikler, farklı davranışlar göz ardı edilmektedir [1].

Marshall deneyi deneme numunelerinin hazırlanması için öncelikle aşağıdaki koşullar sağlanmış olmalıdır;

- Malzeme ilgili şartnamelerde istenilen özelliklere uygun olmalıdır.
- Hazırlanmış agrega gradasyonu elek analizi şartnamesine uygun olmalıdır.
- Boşluk ve yoğunluk analizleri için, karışımda kullanılan her agrega boyutunun özgül ağırlıkları bulunmuş olmalıdır.

Tüm bu hususlar şartnamelerin gerekleri olan koşullar olup, kullanılan hesap metoduna göre değişen durumlar değildir. Marshall numuneleri, bitüm-agrega karışımlarının belirli bir ısıda karıştırma ve sıkıştırılması işlemi sonunda hazırlanır. Bu metodun başlıca iki özelliği, sıkıştırılmış numunelerde yoğunluk-boşluk analiz sonuçlarının ve stabilite-akma değerlerinin standartlarda belirtilen değerlerine ulaşıncaya kadar denenmesi gerekliliğidir [1].

3.2.3.1. Deney aletleri

Aşağıda Marshall deneyinde kullanılan ekipmanlar belirtilmiştir.

- Tepsiler ve kaplar: Agregaya ve bitümlü bağlayıcıyı ısıtmak, taşımak ve karıştırmak için,
- Etüv ve elektrikli ısıtma kabı: Agregayı, bitümlü bağlayıcıyı ve aletleri gerekli derecede ısıtmak için,
- Kürek, spatula: Karıştırma işlemleri için,
- Cam veya metal gövdeli Termometre: 10-232 °C aralığında ölçüm yapabilmelidir,
- Hassas Terazî: Agregaya ve bitümlü bağlayıcıyı tartmak için,
- Mekanik karıştırıcı: 2,5 kg kapasiteli, bitüm ve agregayı karıştırmak için,
- Elektrikli su banyosu: Numuneleri ısıtmak için,
- Sıkıştırma tablası: Numuneleri sıkıştırmak için,
- Sıkıştırma kalıbı: Bir taban levhası, şekil verme kalıbı ve bir üst parçadan oluşmaktadır,
- Kriko: Deney numunelerini kalıptan çıkartmak için,
- Stabilité ölçüm kalıbı: İç eğrilik yarıçapları 5 cm olacak şekilde hassasiyetle işlenmiş alt ve üst dairesel parçalardan oluşmaktadır [1].

3.2.3.2. Karışımların hazırlanması

Bitümlü bağlayıcı, agregaya ve mineral filler sıcaklıkları karıştırma sıcaklığına gelinceye kadar ısıtılır. Bitümlü bağlayıcının uzun müddet ve tekrar tekrar ısıtılmasından kaçınılmalıdır.

Kullanılacak bitümlü bağlayıcı ve agregalar bir mala veya mekanik bir karıştırıcı ile mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde karıştırılır. Karıştırma işleminin 2 dakika içinde bitmesi gerekmektedir.

Karıştırmanın sonucunda, karışımın sıcaklığı gerekli olan sıkıştırma sıcaklığı alt limit değerinin altına düşmemelidir. Şayet sıcaklık, bu değerin altına düşmüşse karışım atılmalı ve işlem tekrarlanmalıdır. Karıştırma sırasında ve karıştırmadan sonra malzemelerin yeniden ısıtılmasına müsaade edilmemelidir [1].

3.2.3.3. Numunelerin hazırlanması

Uygun karışım veya agrega granülometrisi için Marshall metodu ile optimum bağlayıcı miktarı tayininde, çeşitli bağlayıcı oranlarına sahip numune serileri hazırlanır. Bu numunelerin standartlarda belirli bazı deneylere tabii tutulması sonucu saptanan değerlere dayanılarak çizilen deney eğrilerinden bir optimum değer bulunur. Deney numunelerinde kullanılacak bitüm oranını her numune serisinde %0,5 arttırılarak ve tahmin edilen optimum bitüm oranının en az %2 aşagısından başlayarak, yine tahmin edilen optimum değeri %2'yi aşacak şekilde değişik yüzdelerde hazırlanmaktadır [1].

Optimum bitüm oranının bulunabilmesi için deney öncesinde karışımında kullanılacak olan bitüm oranının tahmin edilmesi gerekir. Deney sonuçlarından sağlıklı veri elde edebilmek amacıyla genellikle her bir bitüm oranı için en az 3'er adet numune hazırlanmaktadır. Örneğin yedi farklı bitüm oranı için karışım tasarımında en az 21 adet bitümlü sıcak karışım numunesi üretilmesine ihtiyaç olacaktır. Hazırlanacak olan sıcak karışım numuneleri için yaklaşık olarak 1200 gr agregaya ihtiyaç duyulmuştur [1].

3.2.3.4. Numunelerin sıkıştırılması

Numuneleri sıkıştırılma işleminde izlenecek yollar:

- Karışım hazırlanmadan önce, sıkıştırma tokmağı ve sıkıştırma kalıbının iç yüzü iyice temizlenmeli ve bir etüvde 93–147 °C'ye kadar ısıtılmalıdır.
- Isıtılmış kalıp taban levhası üzerine yerleştirilerek, içine gres yağı ile yağlanmış 10,16 cm çapında filtre kâğıdı konulmalıdır.
- Karışım, sıkıştırma kalıbı içine yerleştirilerek ısıtılmış bir ince demir çubuk ile 25 defa şişlenir, kalıp içindeki numune üzerine 10,16 cm çapında filtre kâğıdı konulur ve sıkıştırmaya geçilir.

- Sıkıştırma tokmağı ile numuneye her iki yönden, trafik değeri 100 psi lastik basıncı olması için 50 darbe, trafik değeri 200 psi lastik basıncı olması için 75 darbe vurulur.
- Numuneler iki taraflı sıkıştırıldıktan kısa bir müddet sonra kalıptan çıkarılarak, düz bir satıh üzerine dikkatlice konur ve oda sıcaklığında bir gece soğumaya bırakılır.
- Sıkıştırılmış numunelerin yüksekliği $6,35 \pm 0,8$ cm arası olmalıdır.
- Numuneler, birim ağırlığının tayin edilebilmesi işlemi için havada ve suda tartılır.
- Tartılmış ve ölçülmüş numuneler 60 °C'lik su banyosu içinde 30 dakika bekletilerek, deneye hazır hale getirilir [1].

3.2.3.5. Deneyin yapılışı

Deneye başlamadan önce, deney kalıbının alt ve üst çenelerinin iç yüzleri ve kılavuz çubukları ince bir yağ tabakası ile iyice yağlanmalıdır.

Numune su içinden dikkatlice çıkarılarak, kurutulur ve aletin çenesi içine deney vaziyetine uygun şekilde yerleştirilir.

Deney makinesine uygun şekilde yerleştirilen numune flowmetre de deney durumuna uygun konulduktan sonra alet çalıştırılır. Numunenin üzerinde bulunduğu çene, numunede kırılma oluşuncaya kadar dakikada 2 inçlik bir hızla yükseltilir.

Numunede stabiliteyi saptayan kırılma, yük ölçme göstergesinde varılan en yüksek değerde meydana gelir. Bu değer o numunenin stabilitesi olarak kaydedilir ve numunede meydana gelen akma ise akma göstergesinde mm olarak okunur. Örneğin göstergede herhangi bir numune için 0,18 inç değeri okunuyorsa, onun akma değeri 18mm olarak kaydedilir [1].

3.2.3.6. Deney sonuçları ile optimum bitüm oranı tayini

Deney sonucunda;

- Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-birim ağırlık,
- Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-stabilite,
- Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-akma,
- Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-boşluk yüzdesi,
- Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-Vb/VMA,
- Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-VMA,

eğrileri çizilmektedir.

Bu tablolardan yola çıkarak optimum bitüm oranı tespit edilir. Aşağıdaki belirtilen beş koşulu sağlayan bitüm oranlarının ortalaması alınarak bu değer optimum bitüm oranı olarak kaydedilir;

- Maksimum birim ağırlığının verdiği bitüm oranı,
- Maksimum stabilitenin verdiği bitüm oranı,
- %4 boşluk oranının verdiği bitüm oranı,
- %80 Vb/VMA değerinin verdiği bitüm oranı,
- Minimum VMA değerinin verdiği bitüm oranı [1].

Tablo 3.8. Asfalt betonu aşınma tabakası extraction deney raporu

EXTRACTION DENEY RAPORU										
AASHTO T-164										
OCAK	Karaçam Taşocağı				AŞINMA TABAKASI					
					Plent					
EXTRACTION		1	ELEK ANALİZİ							
			ELEK AÇIKLIKLARI	CUM RET	% KALAN	% GEÇEN	SINIR DEĞERLER		Şartname	
A. BİTÜMLÜ NUMUNE AĞIRLIĞI + FİLTRE	g	1241	1 1/2"	0	0.0	100.0	100	100	100	100
B. FİLTRE AĞIRLIĞI	g	18	25mm	0	0.0	100.0	100	100	100	100
C. BİTÜMSÜZ NUMUNE + FİLTRE AĞIRLIĞI	g	1187.0	19mm	0	0.0	100.0	100	100	100	100
D. BİTÜM AĞIRLIĞI	g	54	12,5mm	78	6.7	93.3	88	96	88	100
E. BİTÜMLÜ NET NUMUNE AĞIRLIĞI	g	1223	9,5mm	193	16.5	83.5	79	87	72	90
F. BİTÜMSÜZ NET NUMUNE AĞIRLIĞI	g	1169	4,75mm	611	52.3	47.7	43.8	51.8	42	52
H. % ' e BİTÜM	%	4.62	2mm	805	68.9	31.1	28	34	25	35
			0,425mm	1017	87.0	13.0	10	15.9	10	20
G. % ' de BİTÜM	%	4.42	0,180mm	1074	91.9	8.1	7	11.6	7	14
			0,075mm	1113	95.2	4.8	3.2	7.2	3	8

ELEK AÇIKLIĞI

Tablo 3.9. Asfalt betonu aşınma tabakası Marshall verileri

OCAK	Karaçam Taşocağı						KAPLAMA TİPİ	AŞINMA TABAKASI						
							ALINDIĞI YER	PLENT						
AŞINMA TABAKASI MARSHALL BİRİKET VERİLERİ														
NUMUNE NO	KALINLIK	A	B	C	V	DP	Dt	Vh	VMA	Vf	AKMA	STABİLİTE	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE
		HAVADAKİ AĞIRLIK	SUDAKİ AĞIRLIK	D.Y.K. AĞIRLIK	HACİM cm3	PRATİK YOĞUNLUK	TEORİK YOĞUNLUK	BOŞLUK %'Sİ	%	ASFALTLA DOLU BOŞLUK %	(mm)	(kg)		
1	63.1	1200.8	715.0	1201.3	486.3	2.469	2.571	4.19	14.66	71.42	3.25	1138	0.975	1110
2	62.4	1200.5	713.2	1201.0	487.8	2.461					3.4	1165	0.980	1142
3	62.3	1201.0	712.5	1202.0	489.5	2.454					3.1	1127	0.953	1074
4	63.0	1200.3	714.4	1201.2	486.8	2.466					3	1158	0.949	1099
5	62.7	1200.1	714.3	1200.9	486.6	2.466					2.95	1174	0.983	1154
6	62.5	1200.0	713.8	1201.1	487.3	2.463					3.36	1192	0.998	1190
ORT.	62.67					2.463					3.17			1128
Deney 1 Wa :	4.62	Deney 1 Wb :		4.42	Gb :	1.033	Darbe Sayısı :	75			Kaba % :	58.5		
Deney 2 Wa :		Deney 2 Wb :									İnce % :	36.7		
ORT.	4.62	ORT.		4.42							Filler % :	4.8		
											Hacim Öz.Agr.		Zahiri Öz.Agr.	
											Kaba Agr.Öz.Agr.		2.741	2.786
											İnce Agr.Öz.Agr.		2.785	2.833
											Filler Öz.Agr.		...	2.78
											Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı		Gsb	2.759
											Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı		Gsa	2.803
											Agreganın Efektif Özgül Ağırlığı		Gef	2.781
											Bitüm Özgül Ağırlığı		Gb	1.033
											Agreganın Bitüm Absorbsiyonu		Pba	1.42

3.2.3.7. PP lif katkılı Marshall deneyi

Marshall numunelerinin katkısız numuneler ile aralarındaki farklılıkları belirleyebilmek için PP lif katılmış Marshall briketlerinin hazırlanmasına geçilmiştir. Hazırlama sırasında asfalt karışımının elle karıştırma yöntemi denenmiş fakat zayıf oranının yüksekliği dolayısı ile deneyin daha güvenilir sonuç vermesi adına asfalt plentinde üretilen BSK'a PP lifler manuel olarak eklenmiştir. Diğer bitüm hazırlama sıkıştırma metotları belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Boyutları 8mm, 12mm, 19mm ve 54mm olmak üzere dört farklı boyutlarda PP lif 5 farklı karışım oranlarında %0,5 ile %2,5 arasında %0,5 arttırılarak 80 adet numune ve 6 adet referans numunesi hazırlanmıştır.

Plent de üretilen aşınma tabakası karışımı her bir numune için 1200 gr olacak şekilde tartılarak farklı kaplarda 160 °C'deki etüvde sabit sıcaklıkta bekletilmiştir. Her bir numunenin yüzdelik derecesine göre PP lif gramajı belirlenip asfalt gramajı ayarlanmış ve karıştırma işlemi hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Marshall standartlarına uygun şekilde etüvde ısıtılan kalıplara şişleme yöntemiyle numuneler yerleştirilmiştir. Otomatik mekanik tokmak/kompaktör ASTM (4,5 kg'lık) makinası ayarlanarak kalıplar yerleştirildikten sonra, 75 darbe öne 75 darbe de arkaya gelecek şekilde sistem ayarı yapılarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiş sonrasında dikkatli bir şekilde numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Bu işlemler deneyde kullanılan her bir numune için tekrarlanmıştır. Birkaç gün soğuyan numunelerin havada, suda ve DKY ağırlıkları belirlenip veriler kaydedilmiştir. 54 mm boyutundaki PP liflerin her oranının numuneleri kalıptan çıkarılma esnasında Şekil 3.5.'de görüldüğü üzere dağıldığı gözlenmiş, işlem 1-2 sefer tekrarlanmış, bununla beraber 54 mm boyutta hiçbir numune sağlıklı olarak üretilenmemiştir. 54 mm uzunluğundaki PP liflerden numune üretilemediği için değerlendirmeye katılamamıştır.

Deney çalışması resimleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.4. 54mm PP lif katkılı Marshall deney çalışması



Şekil 3.5. Marshall deney çalışmasında BSK'a PP lif karıştırılması



Şekil 3.6. Marshall deney çalışmasında karışımın kalıplara konulması



Şekil 3.7. Marshall numunelerinin sıkıştırma işlemi



Şekil 3.8. Marshall deney çalışmasında numunenin yakından görünüşü



Şekil 3.9. Kalıptan çıkarılmış katkılı Marshall numuneleri 1



Şekil 3.10. Kalıptan çıkarılmış katkılı Marshall numuneleri 2



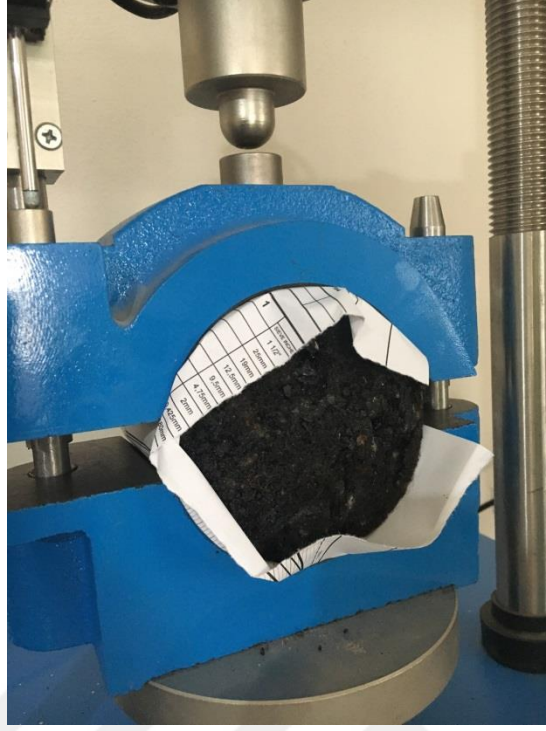
Şekil 3.11. Marshall numunelerinin havadaki ağırlığının tartılması



Şekil 3.12. Marshall numunelerinin sudaki ağırlığının tartılması



Şekil 3.13. Marshall numunelerinin sıcak su banyosunda bekletilmesi



Şekil 3.14. Marshall numunesinin stabilite değerin belirlenmesi



Şekil 3.15. Marshall numunesinin kırılmadan sonraki görüntüsü

3.1.4. Kiriş eğilme deneyi

Farklı tür malzemelerde uygulanabilen kiriş eğilme deneyi; genel olarak dikdörtgen veya dairesel kesitli kiriş elemanların eğilme dayanımlarının saptanması için kullanılan test yöntemidir. TS 205 ve TS EN ISO 7438 standartına göre iki sabit mesnete serbest olarak oturtulmuş dairesel veya dikdörtgen kesitli düz bir malzeme parçasının ortasına yönü sabit bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan şekil değiştirme olarak tanımlanmaktadır. Deney numunesine bir kuvvet (yük) etkilendiğinde, numune kesitinin bir kısmında basınç, kesitin geri kalan kısmında çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde, iç yüzeye yakın bölgede basınç gerilmeleri, dış yüzeye yakın bölgede ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda sıkça rastlanılan yorulma çatlaklarının ana sebebi dingil yükleri sebebiyle oluşan dolaylı çekme ve eğilme gerilmelerinin malzemede plastik deformasyonlara sebebiyet vermesidir. Buradan yola çıkıldığında PP lif katkılı karışımın eğilme dayanımlarının artması, kaplamanın yorulma ömrünün artmasını sağlayacaktır. Çeşitli eğilme deneyi yöntemlerinin içinde en çok tercih edilen uygulama üç noktalı eğilme deneyidir. Bu deneyde, kullanılan malzeme yük altında çatlayana kadar tek yönde eğilmeye çalıştırılır [15, 17, 19].

3.2.4.1. PP lif katkılı asfalt kiriş numuneleri hazırlanması

Yol üzerindeki asfalt kaplamaya etkiyen dingil yükleri, kirişe etkiyen yükler gibi modellenip teste tabii tutulması, tasarlanan bitümlü sıcak karışımın eğilme dayanımları hakkında fikir edinilmesini sağlayacaktır. Atlas1 Yapı ve Müh. A.Ş. firmasından temin edilen PP lifler 6mm, 12mm, 19mm ve 54 mm uzunluğunda standart olan PP liflerdir. Asfalt kiriş eğilme numuneleri için standartlarda belirli bir ölçü yer almadığından, PP liflerin asfalt kirişinde tam olarak dağılmasını sağlamak ve eğilme dayanımı üzerindeki etkisini iyi gözlemleyebilmek için hazırlanacak kiriş numunesinin boyutları kent içi yol kaplama kalınlıkları minimum 8cm olduğundan 8x8x24 cm olarak belirlenmiştir. Bu sayede en ince yol kaplama tabakasında bile PP lifler numune içerisinde iki doğrultuda dağılabilecek ve numunede oluşan çekme gerilmelerine karşı numuneye mukavemet sağlayacağı düşünülmektedir. Kiriş

numunelerinin oluşturulması için tasarlanıp hazırlanan kalıp iç ölçüleri 8x8x24 cm olacak şekilde çelik plakalar kaynak yardımı ile üretilmiştir.

Laboratuvar sonuçları ile önceden belirlenmiş olan %4,6 optimum bitüm içeriğinde ve Tablo 3.8. gradasyonlu Marshall tasarım yöntemiyle karışım yapılan toplam her kırı için yaklaşık 3700 gr BSK kullanılarak, 5 adet katkısız kontrol numunesi hazırlanmıştır. Sıkıştırma işlemi ise 7 ton'luk asfalt silindiri ile yapılmıştır. PP lif katkılı numunelerin eğilme direncinin katkı oranı ile nasıl değişim gösterdiğinin gözlemlenebilmesi adına her boyut PP lif için numuneye ağırlıkça %0,5 ten başlayarak 0,5 artışlarla %2,5 oranına kadar PP lif ekleyerek her grup için 5'er adet olmak üzere toplamda 100 adet polipropilen katkılı asfalt kırı numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin bazılarında kalıptan çıkardıktan sonra hemen veya 1-2 gün sonra dağılma parçalanma gözlemlendiği için, kırı numuneleri hazırlığı iki sefer tekrarlanmış, sağlam olan numuneler üzerinde eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir.

PP lif katkılı kırı numunesi karışımı hazırlanması, Marshall numune hazırlamasındaki işlemler gibi yapılarak yaklaşık 3700gr BSK kullanılmış, daha sonra bunlara % lik değerine göre 8mm, 12mm, 19mm ve 54 mm boyutlarındaki PP lifler katılarak kürek yardımı ile hızlı şekilde karışım işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıplara ince bir tabaka yağ sürülüp, altına kâğıt konup şişleme işlemi yapılarak yerleştirilmiştir. 7 tonluk asfalt silindiri ile sıkıştırma işlemi yapıp, 1-2 gün sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarma esnasında ve çıkarıp kenarda bekletme sürecinde bazı numunelerde dağılma, parçalanma gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı numune hazırlığı iki sefer tekrarlanmış olup sağlam olan numuneler üzerinde kırı eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.2. Üç noktalı kırı eğilme deneyi

Numunenin mukavemetini ve eğilmeye karşı gösterdiği mekanik özelliklerini belirleyebilmek adına yapılmakta olan üç noktalı kırı eğilme deneyinde malzemeyi tek yönde kırılıncaya kadar eğmek amaçlanmaktadır.

Bu deney, 8cm kalınlık, 8cm genişlik ve 24 cm uzunluğundaki kiriş numunesi 16 cm sabit mesnet açıklığına oturtularak tam ortasına akma meydana gelinceye kadar sürekli artan bir kuvvet uygulanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Deney süresince F kuvveti (yükü) artırılırken numunenin tam ortasında oluşan sehım değeri de ölçülmüştür. Bu ölçümler, tüm numune için en yüksek sehım ve momentin oluştuğu orta noktadan yapılmıştır. Deney düzeneğine yerleştirilen numuneye etki eden yük sonucunda numunenin en son taşıyabildiği maksimum yük, kuvvetölçerden okunmuş ve bu değer o numuneye ait eğilme yükü olarak not edilmiştir. Kırılan numunelerin kesit ölçüleri de elektronik kumpas yardımı ile not edilmiştir. Ölçülen değerler sonucu yüke karşılık gelen sehım grafiği elde edilmiştir.

Numunenin eğilme dayanımı ise aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmıştır.

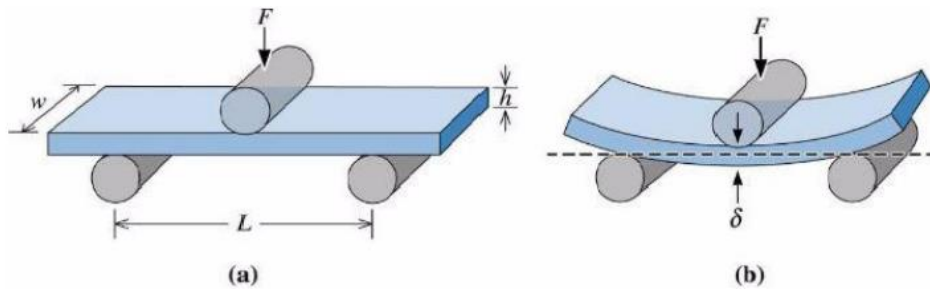
$$\sigma = \frac{3FL}{2WH^2} \quad (3.2)$$

F: Numunenin taşıyabildiği maksimum yük (N)

L: Mesnetler arasındaki mesafe (mm)

W: Numune kesitinin kuvvete dik doğrultudaki uzunluğu (mm)

H: Numune kesitinin kuvvet doğrultusundaki uzunluğu (mm)



Şekil 3.16. Üç noktalı kiriş eğilme deney düzeneği

Deney çalışması görselleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.17. Kiriş eğilme deneyi numuneleri için kalıp hazırlanması



Şekil 3.18. Kiriş eğilme deney numunelerinin kalıp içinde sıkıştırma işlemi



Şekil 3.19. Kiriş eğilme deney numuneleri için BSK'a PP lif karıştırma işlemi 1



Şekil 3.20. Kiriş eğilme deney numuneleri için BSK'a PP lif karıştırma işlemi 2



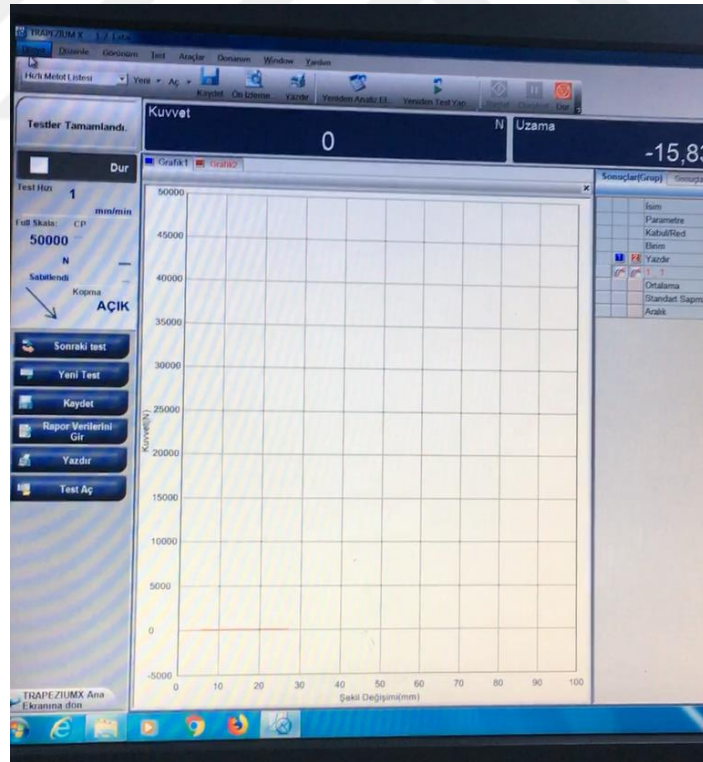
Şekil 3.21. Bazı numunelerin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görseli 1



Şekil 3.22. Bazı numunelerin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görseli 2



Şekil 3.23. Kiriş eğilme deney numuneleri



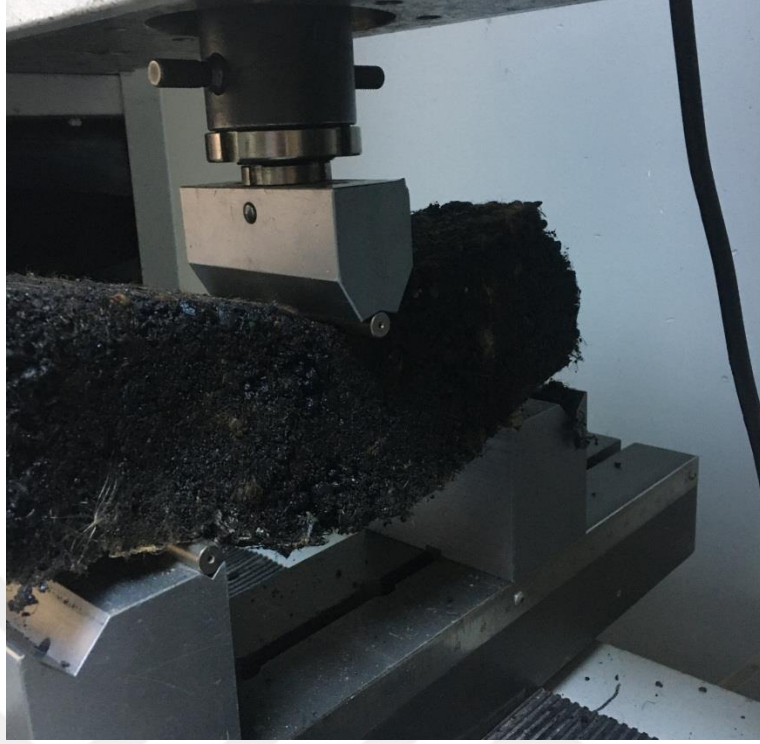
Şekil 3.24. Kiriş eğilme deneyi bilgisayar ayarları görseli



Şekil 3.25. Kiriş eğilme deney aşamaları 1



Şekil 3.26. Kiriş eğilme deney aşamaları 2



Şekil 3.27. Kiriş eğilme deney aşamaları 3



Şekil 3.28. Kiriş eğilme deney sonrası numunenin görseli



Şekil 3.29. Sehim yapmış numune düz zemine bırakılmış hali



Şekil 3.30. Sehim yapmış numune düz zemine bırakıldıktan 1-2 dk sonraki hali



Şekil 3.31. Kiriş eğilme deney çalışması sırasında dağılan numune



Şekil 3.32. Kiriş eğilme deneyinde sehim yapmış numune

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

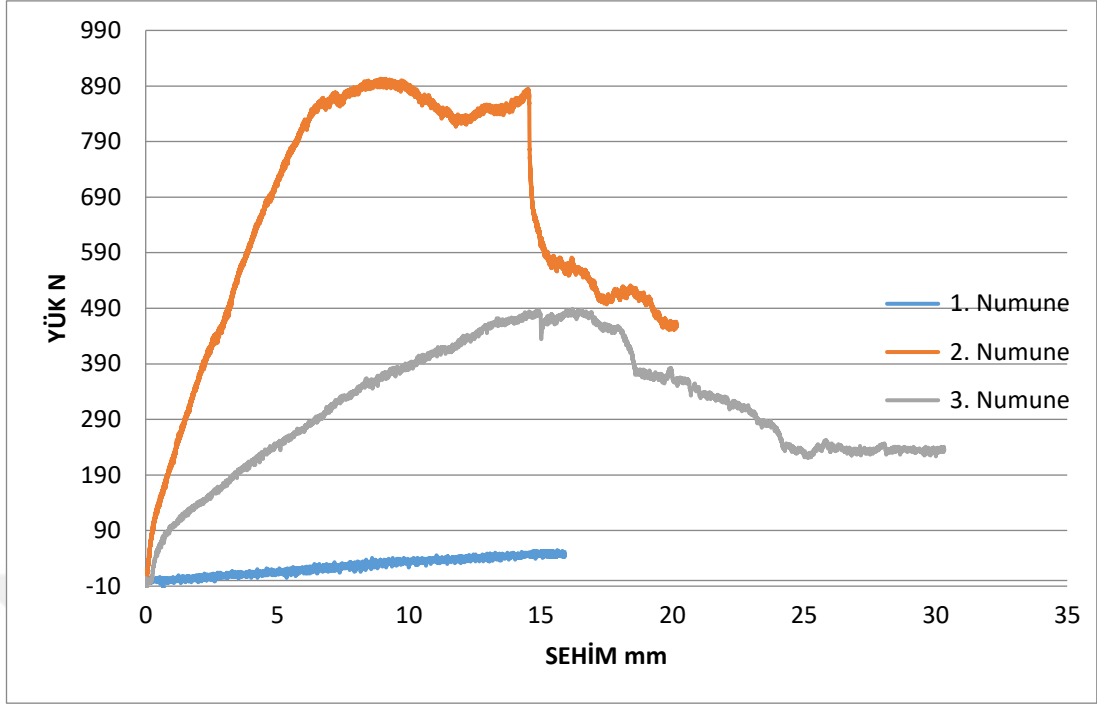
4.1. Üç Noktalı Kiriş Eğilme

PP lif ile güçlendirilmiş BSK'nın çatlama davranışını karakterize etmek için üç noktalı kiriş eğilme test uygulaması araştırılmış ve ilk kırılmada çekme dayanımı ve kırılma enerjisi yoğunluğu olarak tanımlanan temel BSK'nın kırılma özellikleri belirlenmiştir.

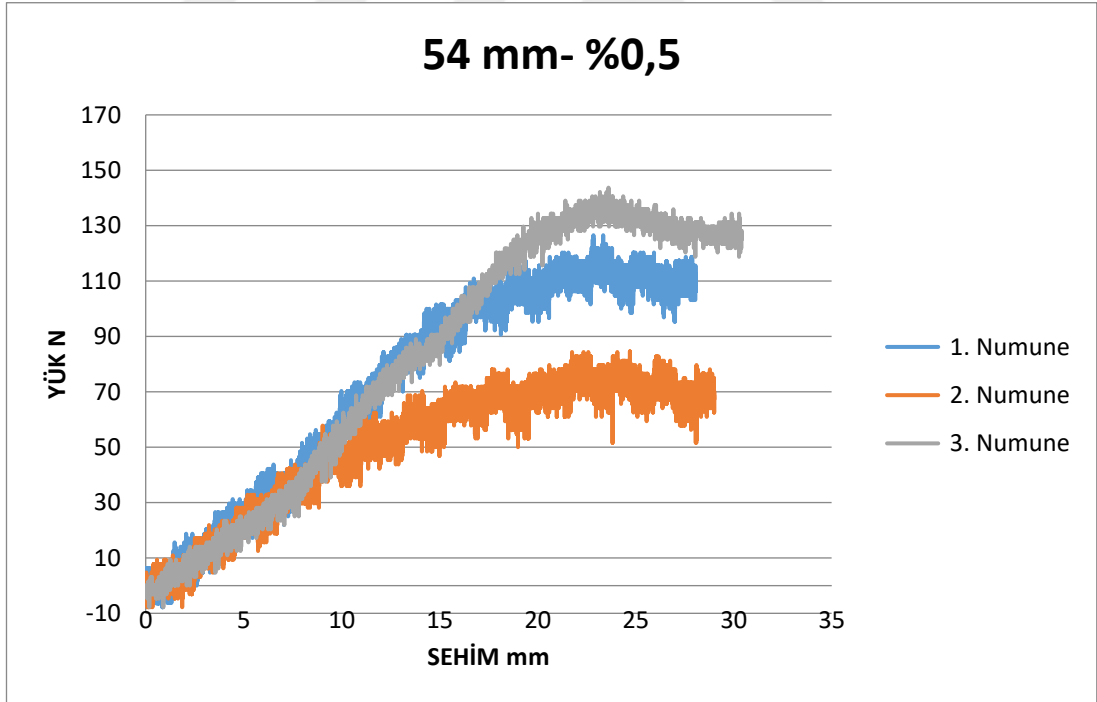
Esnek üstyapılarda asfalt kaplama çekme mukavemetlerinin sıfıra yakın değerlerde olduğu bilinen bir gerçektir. Bu durum özellikle tekerlek yükleri altında aşınma ve binder tabakalarında alttaki temel ve taban zeminlerindeki düşey deplasmanlara bağlı olarak oluşan çekme gerilmelerinde kendini belli etmektedir. Çekme gerilmeleri, zamanla artan trafik ve çevresel koşullara bağlı olarak üstteki kesit boyunca artan bir şekilde ilerleyebilmektedir. Bu çalışmada temelde çekme mukavemeti çok zayıf olan aşınma tabakasındaki asfalt mukavemetinin PP lif katkılarıyla güçlendirilmesi durumunda yük taşıma kapasiteleri değerlendirilmiştir.

Bu anlamda polimer olan PP lif ile BSK modifiye edilerek, PP lifin asfalt betonunun Marshall ve eğilme dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Belirlenen tasarım bitüm oranı sabit tutularak ve farklı oranlarda PP lif kullanılarak 4 farklı boyutta 4'er adet %0,5 ile %2,5 arasında %0,5 artırılarak 80 adet Marshall numunesi hazırlanmıştır. Toplamda referans numuneler ile 86 adet Marshall numunenin stabilitesi analiz edilmiştir. İkinci olarak kiriş numuneleri üzerinde kırılma deneyleri (üç noktalı eğilme) uygulanarak, polimer katkısız ve farklı oranlarda katkı içeren numunelerden özel deney düzeneği ve veri toplama sistemi kullanılarak yük- sehim ilişkileri çıkarılmıştır.

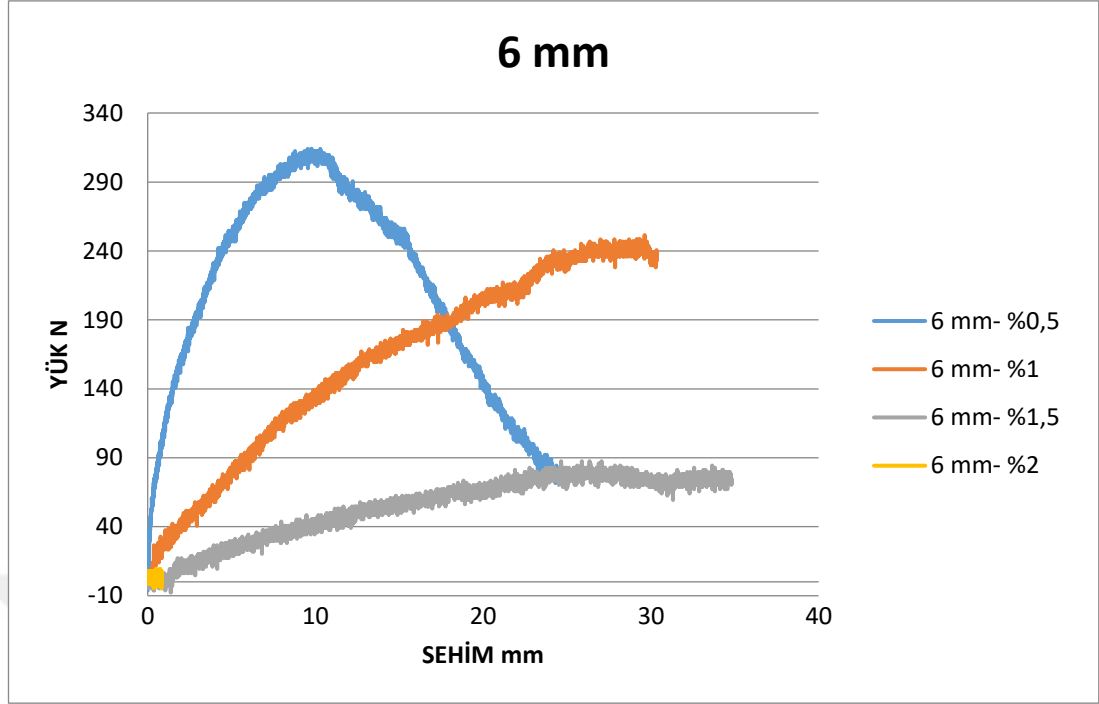
Şekil 4.1., PP lif katkısız aşınma tabakası kırış numuneleri üzerinde yapılan 3 noktalı kırış eğilme testinde elde edilen yük-sehim grafiğini göstermektedir. Grafiklerde de görüldüğü gibi, ilk 2 numuneye ait test sonuçları tipik yükleme-sehim ilişkisini göstermekle beraber 3. numune sürekli artan fakat düşük değerleri içeren yük-sehim ilişkisini göstermektedir. 1. ve 2. numuneler maksimum bir değere ulaştıktan sonra kısmen azalan kısmen ise sabit değerlerde seyreden bir eğilim göstermektedirler. Aynı oranda malzemelerden, aynı koşullarda hazırlanmış karışım olmasına rağmen kırış eğilme deney sonuçları 890, 490 ve 80 Newton olarak okunmuştur. Farklı sonuçların elde edilmesinin başlıca sebebi olarak 8 cm kalınlığındaki kırış aşınma kaplamasının yüklemeye tabii tutulması olabilir. Daha yüksek değerlerde, 30cm gibi, bu durum olmayacağı öngörülmektedir. Asfalt kaplamaların düşük mukavemete sahip olmaları ve numunelerin üzerlerine gelen yüklerden dolayı oluşan gerilmeleri geniş bir alana dağıtamamış olmaları da belirtilmelidir. Bu durum aynı arazi yapısında inşa edilen yol üzerindeki aşınma tabakasında, homojen olmayan farklı noktalarda çatlakların kendilerini göstermesinin sebebi olabilir. Agreg a çapların 5-19 mm olduğu düşünöldüğünde 8 cm kaplama içinde gelen yükleri 4 tabaka çakıl sırası aktarması söz konusu olabildiğinden oluşabilecek agreg a iskelet yapısının gerilmeleri dağıtması farklılık gösterebilir. İlk iki numunenin maksimum yüke ulaştığı değerlere karşılık gelen sehim değeri 10-15 mm aralığındadır. Şekil 4.2. ise 54 mm %0.5 PP lif katkılı karışımın test sonuçlarını göstermektedir. Göröldüğü gibi 54 mm PP lif katkılı karışım a ait sonuçlar referans numune test sonuçlarına göre oldukça düşük çıkmıştır. Hazırlanan numuneler kalıptan çıkarıldıklarında dağılma gösterdiğinden sadece %0.5 PP lif katkılı karışım numunesine kırış eğilme deneyi uygulanabilmiştir. Bir diğ er ifade ile bu karışım uygulaması aşınma tabakasına faydadan çok zarar vereceğı söylenebilir.



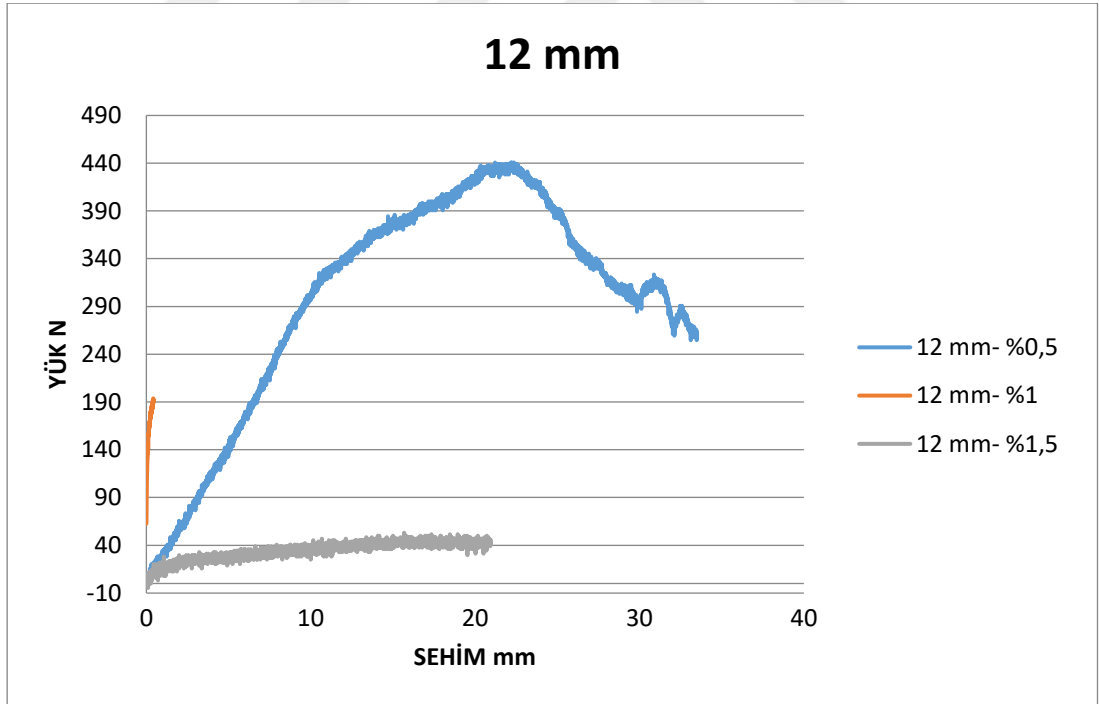
Şekil 4.1. PP lif katkısız numune üzerinde yükleme testi



Şekil 4.2. 54 mm PP lif %0,5 katkıli karışım test sonuçları

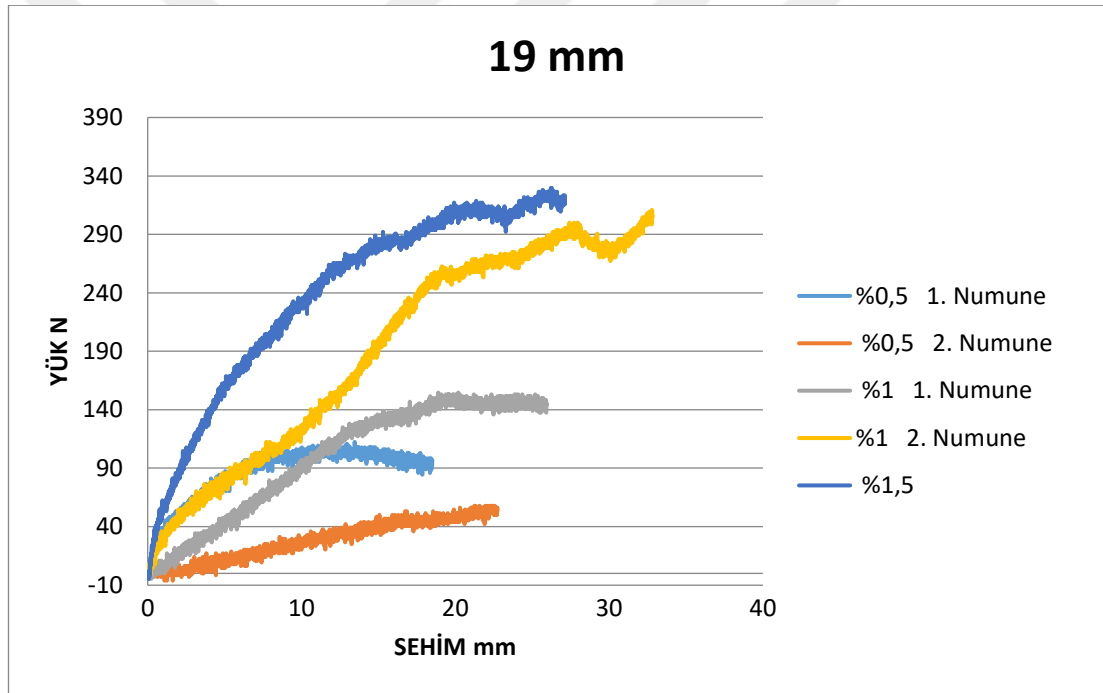


Şekil 4.3. 6 mm PP lif katkılı numune test sonuçları



Şekil 4.4. 12 mm PP lif katkılı numune test sonuçları

Şekil 4.3.'den de anlaşılacağı üzere PP lif katkılı numune kısmen daha fazla yük taşıyabilmiş ama referans numune değerlerin altında kalmıştır. Şekil 4.4.'de görüleceği üzere 12 mm PP lif katkılı numunelerin taşıma kapasiteleri referans numunelerin değerlerini yakalamış buna ilaveten 20 mm sehim değerlerine ulaşmıştır. Başka ifadeyle 12 mm PP lifler referans numunelere göre daha fazla enerji yutma kabiliyeti kazandırmıştır. Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi benzer durum 19 mm PP lif katkılı numuneler için de görülmektedir. 19 mm %0,5 PP lif katkılı numunelerin 36 mm maksimum sehim değerlerine ulaşması, aşınma tabakasının daha fazla sehim yapabileceğini göstermektedir. Fakat 19 mm %1 - %1,5 katkılı numuneler için aynı değerlendirmeler yapılamamaktadır.



Şekil 4.5. 19 mm PP lif katkılı numune test sonuçları

4.1.1. Kiriş eğilme mukavemet sonuçlarının topluca değerlendirilmesi

Tablo 4.1.'de sunulan değerlere bakıldığında, referans numunelerin 9-16 mm sehim sonrası kırıldığı düşünülürken, tekerlek izi hizmet ömürlerini kısa zamanda tamamlayacaklarını ortaya koyarken, daha az yük taşıma kapasitesi eğilimi gösteren

6mm, 12mm, 19mm ve 54 mm PP lif katkılı numunelerde çatlamlar görülmüş olsa da, kırılma görünmeksizin, referans numunesinden daha fazla sehim yaptıkları belirlenmiştir. 12 mm %1,5 PP lif karışımının, 25mm sehim sonrasında dahi yük taşımaya devam etmesi tekerlek izi kriterlerini belli oranda sağlayacağını göstermektedir.

PP lif kullanılmamış referans numuneleri ile karşılaştırıldığında 6 mm ve 54 mm PP lif katkılı numunelerin kiriş eğilme mukavemet değerlerine katkılarının ihmal edilecek kadar az olduğu anlaşılmaktadır. Başka bir ifadeyle 6 mm ve 54 mm PP liflerin aşınma tabakasında kullanımlarının etkisinin olmayacağı sonucu elde edilmiştir.

19 mm %1, 19 mm %2 ve 12 mm %0,5 karışım değerlerinin diğer karışımlara göre daha yüksek mukavemet direnci gösterdiği anlaşılmaktadır. Buna ilaveten 19 mm %1 karışım değerlerine sahip numunelerin, 4 adet test sonuçlarının birbirlerine yakın olması numune üretim aşamaları, kalıba yerleştirme ve sıkıştırılma uygulamalarından kaynaklı benzer performans sağlamaları açısından önemlidir.

Diğer yandan 19 mm %1 ve %2 PP lif karışımları, yüksek kiriş eğilme mukavemet değerine sahip olurken 19 mm %1,5'lik karışımların kiriş eğilme mukavemet değerleri, %1 ve %2 PP lif katkılı karışım test sonuçlarına göre %50 daha düşük elde edilmiştir.

Bir diğer ilginç sonuç ise, kiriş eğilme mukavemet değerleri yüksek olan numunelerin taşıyabileceği yüklerin aynı oranda yüksek olmaması ile ilgili elde edilen analiz sonuçlarıdır. En büyük yük taşıma değerleri referans numunelerde, yani içinde lif barındırmayan örneklerde elde edilmiştir. Fakat deney esnasında referans numuneler daha fazla dağılma eğilimi göstermiş ve iki parçaya bölünmüştür. Katkılı numunelerde bu durum hiç gözlenmemiştir.

Genel anlamda bakıldığında, çalışmada kullanılan aşınma tabakası karışımlarında 54, 19, 12, 6 mm PP lif katkısı kullanımlarının laboratuvar ortamında değişken sonuçlar vermesi nedeniyle kiriş eğilme mukavemet ve tekil yük taşıma açısından referans

numunelere göre üstünlüklerinin olmadığı tespit edilmiştir. Bununla beraber sehîm açısından referans numunelerden daha fazla sehîp yaptıkları gözlenmiştir.

Test sonuçlarının homojen olarak aynı değerklerde elde edilemediğı görölmüştür. Bunun başlıca sebebinin bu konuda geliştirilmiş bir standartın eksikliğinin olduğı belirtilebilir. Özellikle malzemenin şantiyede asfalt plent sahalarındaki karışım odalarından, kamyonlara yüklenmesi, sonrasında finişerlere verilip serilmesi ve silindir makinalarıyla sıkıştırılması esnasında PP liflerin, karışımın içinde homojen dağılımlarını temsil edebilecek şekilde laboratuvar şartlarında karışım devir sayısı ve hızı üzerine bir standardın olmaması önemli bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır.

Kiriş eğilme dayanımı testleri esnasında elde edilen maksimum yüke karşılık gelen sehîm miktarları referans numunelerde 9-16 mm arasında iken, PP lif katkılı BSK'larda bu değerk 10 ile 35 mm arasında değışebilmektedir. PP lif doğası itibariyle, kiriş eğilme testlerinde maksimum yük taşıma kapasitesinden sonra çatlamaya başlayan tabakada belirli bir miktar daha çatlağın açılmasına, yük taşıma kapasitesini düşürmeden devam etmeyi sağlayan ürünler olduğı için bu durum beklenen bir sonuçtur. Dolayısıyla bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre bütün PP liflerin enerji yutma kapasitesi bakımından görevlerini yapmış oldukları, fakat mukavemet açısından bir katkı sağlamadıkları ifade edilebilir. Bu durum beton yol çalışmalarında da özellikle tokluk testlerinde benzerlik göstermektedir. Beton plak numunelerinde çatlamadan sonra çatlak açılmaya devam etmesine rağmen yükler taşınmaya devam edilmektedir. PP Lif katkılı BSK'nın da benzer özellik gösterdiği görölmüştür. Kiriş eğilme deneylerinde her numune için 25-30 dakika kuvvet uygulanmış olup, PP lif katkılı numunelere daha uzun süre uygulandığında çatlak genişliklerinde artış gözlemlenmiş fakat bölünme gözlemlenmemiştir. Bu da sehîm özelliğinin ve enerji yutma kapasitesinin büyüklüğünü göstermektedir. PP lifler BSK'a büyük oranda esneklik kazandırmıştır. Uygulama sahalarında nasıl performans sağlanacağı ise araştırılmalıdır.

Bilindiğı üzere aşınma ve binder asfalt kaplamaları, altlarındaki temel veya alttemel tabakalarının düşey yöndeki deplasmanları sonucu alttan yukarı doğru çatlamaya

başlarlar. Tekerlek izi dâhil çökme miktarı 2,5 cm olduğunda, kaplama ömrünün tamamlanması ile yeni bir asfalt kaplamanın gerekliliği ortaya çıkar.

Tablo 4.1’de kiriş eğilme deneyine tabi tutulan PP lif katkılı ve katkısız bütün numunelerin ayrıntılı bilgileri gösterilmiştir. Bu anlamda numunelere uygulanan maksimum yük, maksimum yüke karşılık gelen sehim değeri, maksimum yük değerine göre eğilme dayanım değerleri ve maksimum yük ve karşılık gelen sehim değerine göre tokluk değerleri gösterilmiştir. Numunelerin eğilme dayanımları, kaldırabilecekleri yük kapasiteleri ve enerji yutma kapasiteleri tabloda görülmektedir.



Tablo 4.1. Kiriş eğilme deneyi sonuçları

PP Lif	Oran	Deney	Yük(Kuvvet) Max (F)	Sehim (δ)	Eğilme Dayanımı $\sigma = 3FL/2WH^2$	Tokluk $Tokluk = \frac{F * \delta}{2}$
			N	mm	N/mm ²	Nmm
Referans	0,0%	1	54,6875	15,631	0,025634766	427,4102
Referans	0,0%	2	903,125	9,121	0,423339844	4118,702
Referans	0,0%	3	489,0625	16,21	0,229248047	3963,852
6 mm	0,5%	1	131,25	22,128	0,061523438	1452,15
6 mm	0,5%	2	214,06	16,434	0,100340625	1758,931
6 mm	0,5%	3	170,31	15,169	0,079832813	1291,716
6 mm	0,5%	4	403,125	11,435	0,188964844	2304,867
6 mm	1,0%	1	81,25	19,296	0,038085938	783,9
6 mm	1,0%	2	76,56	19,187	0,0358875	734,4784
6 mm	1,5%	1	71,875	21,482	0,033691406	772,0094
6 mm	1,5%	2	46,875	15,285	0,021972656	358,2422
6 mm	2,0%	1	51,56	17,888	0,02416875	461,1526
6 mm	2,0%	2	45,31	22,211	0,021239063	503,1902
6 mm	2,5%	1	64,06	18,782	0,030028125	601,5875
6 mm	2,5%	2	40,625	16,533	0,019042969	335,8266
12 mm	0,5%	1	510,93	11,727	0,239498438	2995,838
12 mm	0,5%	2	314,06	9,549	0,147215625	1499,479
12 mm	0,5%	3	326,56	36,213	0,153075	5912,859
12 mm	0,5%	4	865,62	14,447	0,405759375	6252,806
12 mm	0,5%	5	751,56	9,867	0,35229375	3707,821
12 mm	1,0%	1	143,75	21,632	0,067382813	1554,8
12 mm	1,0%	2	106,25	14,583	0,049804688	774,7219
12 mm	1,5%	1	107,81	17,906	0,050535938	965,2229
12 mm	1,5%	2	123,43	19,863	0,057857813	1225,845
12 mm	1,5%	3	368,75	17,339	0,172851563	3196,878
12 mm	1,5%	4	271,87	25,283	0,127439063	3436,845
12 mm	2,0%	1	46,875	22,074	0,021972656	517,3594
12 mm	2,0%	2	440,625	19,877	0,206542969	4379,152

Tablo 4.1. (Devamı)

12 mm	2,5%	1	46,876	25,634	0,021973125	600,8097
12 mm	2,5%	2	489,06	16,21	0,229246875	3963,831
12 mm	2,5%	3	53,125	27,623	0,024902344	733,7359
19 mm	0,5%	1	207,8125	20,597	0,097412109	2140,157
19 mm	0,5%	2	232,8125	19,02	0,109130859	2214,047
19 mm	0,5%	3	326,5625	36,213	0,153076172	5912,904
19 mm	1,0%	1	360,9375	20,664	0,169189453	3729,206
19 mm	1,0%	2	306,25	21,896	0,143554688	3352,825
19 mm	1,0%	3	404,6875	16,126	0,189697266	3262,995
19 mm	1,0%	4	431,25	15,652	0,202148438	3374,963
19 mm	1,0%	5	487,5	23,456	0,228515625	5717,4
19 mm	1,5%	1	168,75	16,837	0,079101563	1420,622
19 mm	1,5%	2	129,6875	26,934	0,060791016	1746,502
19 mm	2,0%	1	431,25	15,652	0,202148438	3374,963
19 mm	2,0%	2	487,5	23,456	0,228515625	5717,4
54 mm	0,5%	1	126,5625	23,34	0,059326172	1476,984
54 mm	0,5%	2	84,374	24,703	0,039550313	1042,145
54 mm	0,5%	3	143,75	23,611	0,067382813	1697,041

4.2. PP Lif Katkılı Marshall Numuneleri Test Sonuçları

Tablo 4.2., aşınma tabakası için hazırlanan numunelerin Marshall stabilite değerlerinin farklı PP lif katkıları için değişimlerini göstermektedir. 3 noktalı kırılgan eğilme test sonuçlarının aksine 12 mm ve 19 mm PP lif katkılı numunelerin stabilite değerleri, referans yani PP lif katkısız numunelere göre daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Özellikle 12 mm'likte %1 ve 19 mm'likte %0,5 oranlarındaki karışım stabilite değerleri en yüksek değerler olarak görülmektedir. Akma değerleri ise PP lif katkılı numunelerin referans numunelerinden çok fazla olduğu görülmektedir. Arazide aşınma kaplama tabakasının altındaki binder ve plentmiks temel tabakalarının sağlam olması durumunda 12 mm ve 19 mm PP lif katkılı BSK'ların üstyapının ömrünü uzatacağı, Marshall stabilite değerlerine göre ifade edilebilir. Bu amaçla bir sonraki aşamada, arazide uygulama sahası oluşturularak bu çalışmadaki bulguların geçerlilikleri doğrulanabilir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de aşınma tabakasındaki bozulmaların esas itibari ile alt tabakadaki bozulmalar sonucu meydana geldiği düşünülürse, sadece Marshall stabilite değerlerine göre PP lif katkılı karışımların daha uzun ömürlü olacağını söylemek doğru olmayacaktır. Marshall stabilitesi yüksek olan kaplamaların servis ömürlerinin daha uzun olacağı yönündeki genel kanaatin bu anlamda yeterli olmayacağı bu çalışmayla gösterilmiştir.

Tablo 4.2.'de Marshall deneyine tabi tutulan PP lif katkılı ve katkısız bütün numunelerin plastik yoğunlukları ile akma ve stabilite değerlerine ait ayrıntılı bilgileri sunulmuştur. Bu doğrultuda TSE standartlarına uygunluğu karşılaştırılabilmektedir.

Tablo 4.2. Asfalt aşınma PP lif katkılı Marshall deney sonuçları

PP Lif Boyutu	PP Lif Oranı		Havada Ağırlık	Suda Ağırlık	DKY	Hacim (DKY-Suda)	Pratik Yoğunluk (Havada/Hacim)	Akma	Stabilite
			gr	gr	gr	m ³	gr/m ³	mm	kg
Referans	0%	1	1200,8	715	1201	486,3	2,4693	3,25	1138
Referans		2	1200,5	713,2	1201	487,8	2,4610	3,35	1165
Referans		3	1201	712,5	1202	489,5	2,4535	3,1	1127
Referans		4	1200,3	714,4	1201	486,8	2,4657	3	1158
Referans		5	1200,1	714,3	1201	486,6	2,4663	2,95	1174
Referans		6	1200	713,8	1201	487,3	2,4625	3,36	1192
6 mm	0,5%	1	1197,5	704,7	1207	502,3	2,3840	6,59	1163
6 mm		2	1197,5	704,5	1203	498,7	2,4012	6,35	1098
6 mm		3	1198,3	705,2	1208	502,3	2,3856	6,42	1112
6 mm		4	1198	705	1208	503,3	2,3803	6,55	1159
6 mm	1%	1	1202,3	670,7	1210	539,3	2,2294	6,39	518
6 mm		2	1200,2	677,4	1210	532,6	2,2535	5,98	493
6 mm		3	1199,4	671,7	1209	537,3	2,2323	6,24	509
6 mm		4	1203,1	679,2	1211	531,8	2,2623	6,32	515
6 mm	1,5%	1	1195	676	1203	527,1	2,2671	7,05	747
6 mm		2	1196,5	672	1203	531	2,2533	6,85	712
6 mm		3	1198,1	677,8	1208	530,2	2,2597	7,03	735
6 mm		4	1197,8	672,4	1205	532,6	2,2490	6,97	705
6 mm	2%	1	1195	657,7	1203	544,8	2,1935	7,9	849
6 mm		2	1206	639,2	1215	575,8	2,0945	7,52	817
6 mm		3	1201,6	642,1	1209	566,9	2,1196	7,12	790
6 mm		4	1198,2	648,2	1205	556,8	2,1519	7,64	824
6 mm	2,5%	1	1196	618	1219	600,5	1,9917	8,25	349
6 mm		2	1206	570	1219	649,1	1,8580	7,99	305
6 mm		3	1202,5	598	1208	610	1,9713	8,21	335
6 mm		4	1195,4	607	1217	610	1,9597	8,19	327
12mm	0,5%	1	1200	686	1210	523,5	2,2923	5,48	1228
12mm		2	1200,5	699	1209	510	2,3539	6,63	504
12mm		3	1201	690	1210	520	2,3096	5,82	1118
12mm		4	1198	689	1208	519	2,3083	6,55	1209
12mm	1%	1	1200	678	1209	530,5	2,2620	6,04	2880
12mm		2	1200	673,5	1211	537,5	2,2326	5,92	1308
12mm		3	1200,5	666	1215	549	2,1867	6,13	2545
12mm		4	1201	678,5	1212	533,5	2,2512	5,87	2012
12mm	1,5%	1	1197	674	1215	541	2,2126	7,28	1914
12mm		2	1200	673	1215	542	2,2140	7,15	1850
12mm		3	1201	673	1212	539	2,2282	6,89	1906
12mm		4	1199	678	1210	532	2,2538	7,25	1890

Tablo 4.2. (Devamı)

12mm	2%	1	1150	610	1162	552	2,0833	6,63	1270
12mm		2	1152	617	1170	553	2,0832	7,62	1006
12mm		3	1152	617	1172	555	2,0757	7,61	1130
12mm		4	1151	612	1163	551	2,0889	8,31	979
12mm	2,5%	1	1152	615	1164	549	2,0984	6,86	2217
12mm		2	1151	613	1161	548	2,1004	7,14	1611
12mm		3	1146	610	1159	549	2,0874	11,34	1330
12mm		4	1149	612	1160	548	2,0967	9,92	1220
19 mm	0,5%	1	1191,3	641,5	1203	561,7	2,1209	5,05	2477
19 mm		2	1177,5	653,1	1188	534,9	2,2013	4,97	1987
19 mm		3	1175	638,6	1197	558,4	2,1042	5,03	2389
19 mm		4	1182	635	1200	565	2,0920	4,87	2294
19 mm	1%	1	1167,3	638	1180	542	2,1537	8,35	1634
19 mm		2	1203,8	662,7	1218	555,3	2,1678	7,98	1536
19 mm		3	1198,1	645	1201	556	2,1549	8,12	1489
19 mm		4	1165	635	1209	574	2,0296	8,31	1628
19 mm	1,5%	1	1196,8	649	1217	568,2	2,1063	7,04	1742
19 mm		2	1189	638,6	1211	572,4	2,0772	6,93	1712
19 mm		3	1190,8	637	1208	571	2,0855	7,05	1693
19 mm		4	1191	641	1210	569	2,0931	6,87	1738
19 mm	2%	1	1197,5	641,2	1216	574,8	2,0833	7,34	1620
19 mm		2	1195,2	621	1220	599	1,9953	7,22	1602
19 mm		3	1196,4	636	1214	578	2,0699	6,96	1582
19 mm		4	1198	640	1210	570	2,1018	7,29	1618
19 mm	2,5%	1	1201,6	636	1224	587,5	2,0453	9,38	1273
19 mm		2	1202,7	600,3	1238	637,7	1,8860	8,79	1258
19 mm		3	1200,5	628	1225	597	2,0109	9,27	1212
19 mm		4	1203,3	615	1232	617	1,9502	9,35	1269
54 mm	0,5%	4	0	0	0	0	0	0	0
54 mm	1%	4	0	0	0	0	0	0	0
54 mm	1,5%	4	0	0	0	0	0	0	0
54 mm	2%	4	0	0	0	0	0	0	0
54 mm	2,5%	4	0	0	0	0	0	0	0

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 4 farklı 6 mm, 12mm, 19mm ve 54 mm boyutlarındaki PP lif katkısının asfalt aşınma tabakası üzerindeki dayanımının incelenmesi amacı ile her boyuttan %2.5, %2, %1.5, %1, ve % 0.5 oranlarında karışım numuneleri hazırlanıp Marshall, ve 3 noktalı kiriş eğilme deneyleriyle davranışları incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır. Çalışmada çıkarılan sonuçlar Atlas1 Yapı ve Müh. A.Ş. firmasından temin edilen PP lif katkılı Sakarya Büyükşehir Belediye Başkanlığı şantiyesinden temin edilen penetrasyon değeri B50/70 sınıfı %4.6 bitüm karışım oranı içeren BSK numunler için geçerlidir.

5.1. Kiriş Eğilme Mukavemet Sonuçlarının Değerlendirilmesi

1. PP lif kullanılmamış referans numunlerle karşılaştırıldığında, 6 ve 54 mm PP liflerin aşınma tabakasında kullanımlarının kiriş eğilme mukavemet değerlerine katkılarının olmayacağı görülmüştür.
2. 19 mm %1, 19 mm %2 ve 12 mm %0.5 karışımlarının, diğer PP lif katkılı karışımlara göre daha yüksek mukavemet direnci gösterdiği belirlenmiştir.
3. 19 mm %1 numunelerin 4 adet numune test sonuçlarının birbirlerine yakın olması asfalt üretimi, yerine serimi ve sıkıştırılması sonrasında benzer performans değerleri sağlamaları açısından önemlidir.
4. Kiriş eğilme test sonuçlarında kullanılan formülün tek başına referans olmadığı tespit edilmiş olup, deneyde elde edilen maksimum tekil yükün de değerlendirmeye alınmasının gerekliliği sonucu elde edilmiştir.
5. En büyük yük taşıma değerleri referans numunlerden sonra PP lif katkılı 19 mm ve 12 mm karışımlarından elde edilmiştir.
6. Bütün PP liflerin asfalt kaplamada düşey yönde 20-36 mm sehime kadar yük taşıma kaybına maruz kalmadan enerji yutma kapasitesi bakımından görevlerini

yapacakları fakat mukavemet açısından bir katkı sağlamayabilecekleri söylenebilir.

7. PP lif katkılı numunelere 20-30 dakika kuvvet uygulandığında gerilme çatlakları oluşsa da, bölünme ve ayrışmanın olmadığı, yüksek esnek bir yapının söz konusu olduğu gözlemlenmiştir.
8. PP lif katkılı numunelerin sehim ve tokluk değerleri, referans numunelere göre çok yüksek değerler gösterdiğinden arazide aşınma kaplama tabakasının altındaki binder ve plentmiks temel tabakalarının sağlam olması durumunda katkısız BSK'lardan daha iyi performan gösterebileceği söylenebilir.
9. Literatür çalışmaları doğrultusunda yapılan incelemelerde, PP lif kullanılan BSK deney performans değerlerinin mukavemet açısından olumlu sonuçlanmış oldukları belirlenmiştir. Bununla beraber yapılan bu çalışmada beklenen yüksek mukavemetli sonuçlar gözlenmemiştir. Oğuzhan AKAR tarafından 2019 yılında yapılan "Polipropilen Fiber Liflerin Asfalt Betonunun Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması" adlı çalışma ile bu çalışma arasında üç noktalı kiriş eğilme deney uygulamaları benzerlik gösterse de, bitüm penetrasyon değerleri, kiriş numune boyutları, karıştırma ve sıkıştırma yöntemlerinde farklılıklar bulunmaktadır. Ayrıca PP lif boyutları olarak Oğuzhan AKAR'ın çalışmasında tek boyut PP lif kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda benzer sonuçların görülmemesinin, bahsedilen bu farklı etkenlerden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir.
10. PP lif katkılı BSK test sonuçların tekerrürlerinde tutarlılığın sağlanması için arazi koşullarını da temsil edebilecek laboratuvar karışım yönteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle karışımın devir süresi ve sayısı üzerine yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

5.2. Marshall Stabilité Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3 noktalı kiriş eğilme test sonuçlarının aksine, Marshall deneylerinde 12 ve 19 mm PP lif katkılı numunelerin stabilite değerleri, referans yani PP lif katkısız numunelere göre daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. PP lif katkılı numunelerin akma değerlerinin ise referans numunelerinden çok fazla olduğu görülmektedir. Aşınma tabakası

dışındaki diğer katmanların sağlam olması şartıyla 19 ve 12 mm PP liflerin aşınma tabakalarında kullanılmasının faydalı olacağı tespit edilmiştir. Arazi gözlemleri ise kent içi yollarda yapılan asfalt kaplamalarındaki bozulmaların en önemli sebebinin alt tabakadaki deformasyonlar olduğu düşünüldüğünde, çalışmada kullanılan PP liflerin eğilme dayanımlarının aşınma tabakasının deformasyonlara bağlı bozulmalarında çok etkili olamayabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Selçuk, T., 2015, Bitümlü Sıcak Karışımlarda Katkı Maddesi Olarak Pr Plast S Kullanımının Araştırılması. S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Konya. 2015
- [2] Oğuz A., 2018, Polipropilen Fiber Liflerin Asfalt Betonunun Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, İstanbul. 2018
- [3] Orhan, F., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları, KGM, Ar-Ge Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü Yayınları, 1-38, 2012
- [4] Sağlık, A., Güngör, A. G., Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, KGM, Ar-Ge Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü Yayınları, 3-33. 2008
- [5] Umar, F., Ağar, E., 1985, Yol üstyapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul. 1985
- [6] KARAYOLLARI 14.BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ Araştırma Geliştirme Başmühendisliği Araştırma Teknisyeni Geliştirme Kursu Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı 2015
- [7] Ağar, E., Sütaş, İ., Öztaş, G., Beton Yollar, İstanbul Teknik üniversitesi, İnşaat Fakültesi Yayınları, 1-50, 1998
- [8] Tunç, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınevi, İstanbul. 2001
- [9] Önalp, A. ve ark., 1993, Yol esnek üstyapı tasarım yöntemlerine Türkiye açısından bir bakış. 1993
- [10] Tunç, A., Kaplama Malzemeleri El Kitabı, 1. Baskı, Asil Yayın Dağıtım, 1-258, 2004
- [11] Ilıcalı, M., 2001, Asfalt ve Uygulamaları, İsfalt Bilimsel Yayınları, İstanbul, 2001
- [12] Türel, Ö., 2002, Antalya ve çevre illerdeki bölgesel devlet yollarının mevcut üstyapı uygulamalarının incelenmesi, “Rijit Üstyapı” formunda yeniden çözülmesi, maliyet karşılaştırmalarının yapılabilirliğinin araştırılması. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Antalya, 2002

- [13] İrfan Ş., 2018, Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt (Tma) Uygulamaları, Performanslarının Karşılaştırılması Ve Maliyet Analizi S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Sakarya. (2018)
- [14] <https://volkanatabey.com.tr/metilen-mavisi-deneyi>, Erişim Tarihi: 11.12.2019
- [15] TS 205-1 EN ISO 7438.
- [16] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Yol>, Erişim Tarihi: 08.12.2020
- [17] http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/39932_1703231357926.pdf, Erişim Tarihi: 08.12.2020
- [18] ABT Laboratuvar ve Müşafirlik Hizmetleri A.Ş. dizayn raporu AB-1327-T Ocak 2019
- [19] Investigating the Mechanical Behavior of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Bases in Large Scale Test Box SEFEROĞLU A. G. , Seferoglu M. T. , AKPINAR M. V. TEKNİK DERGI , cilt.30, ss.9581-9596, (SCI İndekslerine Giren Dergi) 2019
- [20] Field and Loading Unit Analysis of Vertical Pressure Distribution on Highway Sublayers Kütük T., Gürbüz A., AKPINAR M. V. American Academic & Scholarly Research Journal , cilt.8, ss.2-12, (ESCI İndekslerine Giren Dergi) 2016

ÖZGEÇMİŞ

Nilay YİĞİT İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. 1997 yılında Atatürk Lisesi ve 1999 yılında bölüm değişikliği nedeniyle de Açık öğretim Lisesi’nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Teknolojileri Bölümü’nü 2012 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2002 Yılında başladığı iş hayatı 2011 yılında Serdivan Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü’nde devam etti. Halen Serdivan Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü’nde görev yapmaktadır.