



# Farklı oranlardaki poliolefin polimer karışımları ve SBS kopolimerinin bitümün viskozitesine ve sıcaklık hassasiyetine etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

## Comparatively evaluation of the effects of polyolefin polymer blends in different ratios and SBS copolymer on viscosity and temperature susceptibility of bitumen

Neslihan Atasagun<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada, farklı oranlardaki poliolefin karışımlarının (polipropilen(PP):polietilen(PE)) saf bitümün viskozitesine ve sıcaklık hassasiyetine etkisinin belirlenmesi ve SBS (stiren-butadiyen-stiren) modifiye bitümler ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, saf bitüm farklı oranlardaki poliolefin karışımları (PP:PE) ve ayrıca %2SBS, %4SBS ve %4PP ile modifiye edilmiştir. Polimerlerin saf bitüm üzerindeki etkilerini değerlendirmek için tüm bağlayıcıların viskozite, yumuşama noktası, penetrasyon, sıcaklık hassasiyeti ve karıştırma-sıkıştırma sıcaklık değerleri belirlenmiştir. 135°C'deki deney sonuçları, 3:1 PP:PE ve 1:3 PP:PE katkılı bitümlerin viskozitelerinin, %2SBS ve %4PP modifiye bitümlerin viskozite değerlerinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. %4 SBS katkılı bitümün en az sıcaklık hassasiyetine ve 135°C'de en yüksek viskozite değerine sahip bağlayıcı olduğu görülmüştür. 135°C'de tüm bağlayıcıların viskozitelerinin 3 Pa s şartname kriterini aşmadıkları tespit edilmiştir. 3:1 PP:PE modifiye bitümün diğer poliolefin katkılı bitümlerden ve %2SBS modifiye bitümden daha az sıcaklık hassasiyetine sahip bağlayıcı olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, tüm polimer modifiye bitümler arasında %2SBS katkılı bitümün en düşük karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarına sahip bağlayıcı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bitüm modifikasyonu, Polimer, Poliolefin, SBS, Viskozite

### 1 Giriş

Petrol ürünü olarak ya da doğal olarak elde edilen bitüm [1] genellikle esnek kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Gün geçtikçe artan trafik yüküne bağlı olarak esnek kaplamalarda oluşan deformasyonlar da artmaktadır. Deformasyonları azaltarak uzun ömürlü yollar elde etmek ve bakım-onarım maliyetlerini azaltmak amacıyla, bitüm çeşitli katkı maddeleri ile modifiye edilmektedir [2, 3]. Bu katkı maddeleri arasında plastomerik polimerler ve termoplastik elastomerler bitüm modifikasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Çeşitli polimerlerin, bitümün reolojik ve fiziksel özelliklerini

### Abstract

In this study, it was aimed to detect the effects of different polyolefin mixtures (polypropylene(PP): polyethylene(PE)) on the viscosity and temperature susceptibility of pure bitumen and was also aimed to comparatively evaluate with SBS (styrene-butadiene-styrene) modified bitumens. For this purpose, bitumen was modified with different polyolefin mixtures (PP:PE) and was also modified with 2%SBS, 4%SBS and 4%PP. To evaluate the effects of polymers on pure bitumen, viscosity, softening point, penetration, temperature susceptibility and mixing-compaction temperature values of all bituminous binders were detected. The test results at 135°C showed that, the viscosities of 3:1 PP:PE and 1:3 PP:PE modified bitumens were higher than the viscosities of 2%SBS and 4%PP modified bitumens. It was seen that, 4%SBS modified bitumen was the binder with the lowest temperature sensitivity and the highest viscosity at 135°C. It was detected that the viscosities of all binders at 135°C did not exceed the 3 Pa s specification criterion. It was determined that, 3:1 PP:PE modified bitumen was a binder with a lower temperature sensitivity than other polyolefin modified bitumens and 2%SBS modified bitumen. Results showed that 2%SBS modified bitumen was the binder with the lowest mixing-compaction temperatures among all of the polymer modified binders.

**Keywords:** Bitumen modification, Polymer, Polyolefin, SBS, Viscosity

geliştirerek deformasyon direncini arttırdığı görülmüştür [2, 4-6]. Bitüm içerisinde en çok kullanılan plastomer polimerler arasında PP (polipropilen), PE (polietilen), EBA (etilen butil akrilat), EVA (etilen vinil asetat) ve en çok kullanılan elastomerler arasında ise SBS (stiren butadiyen stiren), SEBS (stiren etilen/butilen stiren), SIS (stiren isopiren stiren), SBR (stiren butadiyen kauçuk) kopolimerleri yer almaktadır [2, 4].

PE ve PP plastomer polimerleri en yaygın poliolefinlerdir. PE, etilen monomerinin polimerizasyonu sonucu elde edilir. PE türlerinden yüksek yoğunluklu polietilen yaklaşık 0.957-0.965 gr/cm<sup>3</sup> ve düşük yoğunluklu polietilen ise 0.922-0.942 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahiptir. Yüksek

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: natasagun@ktun.edu.tr (N. Atasagun)

Geliş / Received: 27.08.2022 Kabul / Accepted: 20.04.2023 Yayınlanma / Published: 15.07.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1167716

yoğunluklu polietilen ve düşük yoğunluklu polietilenin erime sıcaklıkları sırasıyla yaklaşık 130-149°C ve 98-120°C dir [4, 7, 8]. PP, propilen monomerinin polimerizasyonu sonucu elde edilir. Yoğunluğu 0.90-0.91 gr/cm<sup>3</sup> ve erime sıcaklığı yaklaşık 160-175°C dir [4, 7, 8].

Bitüm modifikasyonunda yaygın olarak kullanılan termoplastik elastomer katkı maddesi SBS ise, blok zincirlerden oluşan kopolimerdir. SBS kopolimerinin yapısındaki polistiren uç bloklar mukavemet kazandırırken, kauçuksu polibutadiyen orta bloklar ise elastikiyet sağlamaktadır. SBS bitüm ile karıştırıldığında, SBS kopolimerinin elastomerik fazı bitümdeki maltenleri emer ve hacmi başlangıçtaki hacminin yaklaşık dokuz katı artabilmektedir [9, 10].

Lineer ve radyal türleri bulunan SBS kopolimeri, yapısındaki polistiren/polibutadiyen oranına, molekül yapısına ve molekül ağırlığına göre farklılıklar göstermektedir [11, 12, 13]. SBS blok kopolimerinin özgül ağırlığı yaklaşık 0.94 olarak belirlenmiştir [13, 14]. %30 oranında polistiren içeren radyal SBS kopolimeri türünün saf bitümün özelliklerini, aynı oranda polistiren içeren lineer SBS kopolimerinden daha çok geliştirdiği belirlenmiştir [11]. Literatürde, SBS katkı maddesinin bitümün yüksek sıcaklıklarda oluşan deformasyonlara karşı dayanımını arttırdığı ve düşük sıcaklık performansını geliştirdiği tespit edilmiştir [2, 6, 10]. Bununla birlikte, SBS katkı maddesinin yol yapım maliyetlerini arttırması sebebiyle [2, 5, 15], bitüm modifikasyonunda atık plastomerik polimerler kullanılmakta ve böylece çevresel ve ekonomik olarak fayda sağlanması amaçlanmaktadır [5, 15, 16].

Literatürde, poliolefinler ile bitüm modifikasyonunun, polimerin türüne ve boyutlarına da bağlı olarak, çeşitli modifikasyon şartlarında, farklı karıştırma hızlarında, farklı sürelerde ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirildiği görülmektedir [4,6,17,21,22].

Polipropilen polimerinin, molekül ağırlıkları, kristalleşme özellikleri ve taktisite yapılarındaki farklılıklara bağlı olarak, izotaktik-polipropilen (iPP), sindiyotaktik-polipropilen (sPP) ve ataktik-polipropilen (aPP) türleri bulunmaktadır [8, 18, 28].

PE, etilen monomerinin polimerizasyonu sonucu elde edilen uzun zincirli hidrokarbon moleküldür [4, 7, 8]. Yüksek yoğunluklu PE, lineer zincir yapısına sahip olup nispeten daha yüksek kristalleşme özelliği göstermektedir. Düşük yoğunluklu PE ise, dallanmış yapıya sahiptir ve fiziksel özellikleri, kristalleşme derecesine, moleküler ağırlığına ve molekül ağırlığı dağılımına bağlıdır. Dallanma yapısı ve özellikleri, kristalleşme derecesini ve yoğunluğunu etkileyen özelliklerdendir [7, 8, 19].

Daha az moleküler ağırlığa sahip olan düşük yoğunluklu PE türünün, daha yüksek moleküler ağırlığa sahip diğer PE türleriyle karşılaştırıldığında, daha az faz ayrışması göstermesi sebebiyle, bitümle daha uyumlu olduğu belirlenmiştir [2, 4, 20].

Atık polietilenlerin bitüm içerisinde %5 katkı maddesi olarak kullanıldığı bir çalışmada [17], polietilen katkılarının saf bitümün yüksek sıcaklık performansını geliştirdiği, yumuşama noktasını ve viskozitesini arttırdığı görülmüştür. Kimyasal özelliklerine göre, iki farklı düşük yoğunluklu

polietilen polimerinin bitüm içerisinde %1, %2, %3 ve %4 oranlarında katkı maddesi olarak kullanıldığı bir çalışmada [16], düşük yoğunluklu polietilen katkılarının, saf bitümün yumuşama noktasını ve viskozitesini arttırdığı, penetrasyon değerini ise düşürdüğü belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada [5], düşük yoğunluklu polietilenin bitümün işlenebilirlik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, %2.5 oranında trietanolamin katkılı bitüme %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında düşük yoğunluklu polietilen eklenerek modifikasyon işlemi yapılmıştır. Düşük yoğunluklu polietilen katkısının bitümün kıvamını sertleştirdiği, sıcaklık hassasiyetini azalttığı, karıştırma-sıkıştırma sıcaklığını arttırdığı belirlenmiştir. Katkı maddesi olarak geri dönüştürülmüş polipropilenin bitüm içerisinde kullanıldığı bir çalışmada [15], polimer katkısının saf bitümün viskozitesini ve yumuşama noktasını arttırdığı, penetrasyon değerini düşürdüğü ve sıcaklık hassasiyetini azalttığı sonucu elde edilmiştir. Zhao vd. [21], %80-85 PP ve %10-15 PE ile oluşan bir PP:PE kopolimerini bitüm içerisinde katkı maddesi olarak kullanmışlar ve PP:PE kopolimerinin bitümün viskozitesini ve tekerlek izi direncini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Literatürde, PP ve PE polimerlerinin bitüm içerisinde ayrı ayrı katkı maddesi olarak kullanıldığı birçok çalışma [2, 4, 5, 15] bulunmakla birlikte, poliolefinlerin kopolimer olarak bitüm içerisinde kullanıldığı bir çalışma [21] da bulunmaktadır.

Farklı poliolefinlerin (PP ve PE) bitüm içerisinde ayrı ayrı tek bir katkı maddesi olarak kullanıldığı çalışmalarda bitümün özelliklerini geliştirdikleri bilinmektedir [2, 5, 15-17]. Fakat, bu poliolefinlerin bitüm içerisine farklı oranlarda art arda eklenmesi yöntemiyle bitümün modifiye edildiği bir çalışmaya literatürde rastlanmamış olup, (PP:PE) karışımlarının ne oranda bitüm özelliklerini geliştireceği belirlenmemiştir. Bu çalışmada, saf bitüm daha önce literatürde rastlanmamış olan farklı oranlardaki poliolefin karışımları (PP:PE) ile, poliolefinlerin bitüm içerisine art arda belirlenen şartlarda eklenmesiyle modifiye edilmiştir. Ayrıca, saf bitüm PP ve SBS katkıları ile modifiye edilerek, elde edilen sonuçlar poliolefin karışımı modifiye bitümler ile karşılaştırılmıştır. Böylece, farklı oranlardaki poliolefin karışımlarının (PP:PE), saf bitümün bazı özelliklerine etkisinin belirlenmesi, sonuçların SBS ve PP katkılı bitümler ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ve literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## 2 Materyal ve metod

### 2.1 Materyal

Bu çalışmada, SBS kopolimeri ve PP polimeri Konya Sanayi bölgesinden temin edilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen (PE-YY) ve düşük yoğunluklu polietilen (PE-DY) ise evsel plastik atıklardan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan polimerler Şekil 1'de görülmektedir.

SBS blok kopolimerinin özgül ağırlığı yaklaşık 0.94 olarak belirlenmiştir [13, 14]. PE-YY yaklaşık 0.957-0.965 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa ve 130-149°C erime sıcaklığına sahiptir. PE-DY ise yaklaşık olarak 0.922-0.942 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğundadır ve erime sıcaklığı 98-120°C dir.



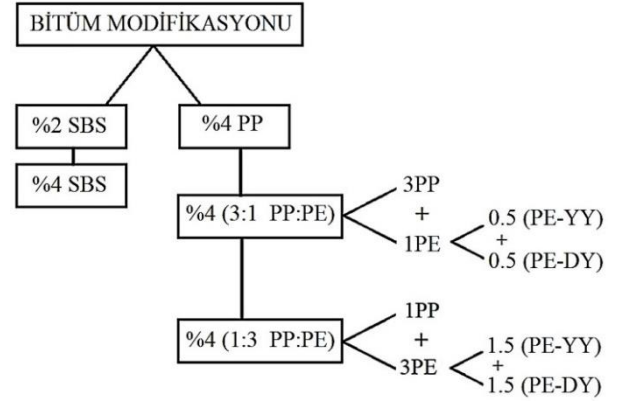
Şekil 1. SBS ve Poliolefin polimer katkıları

PP polimerinin yoğunluğu yaklaşık 0.90-0.91 gr/cm<sup>3</sup> ve erime sıcaklığı ise 160-175°C dir [4, 7, 8]. Bu çalışmada, SBS kopolimeri 5 mm çapında ve poliolefinler ise yaklaşık 5 mm ve daha küçük çaptaki parçacık boyutlarında kullanılmıştır.

PP ve PE poliolefinlerinin farklı oranlardaki karışımları, 50/70 saf bitüm içerisinde katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Poliolefin modifiye bitümler, %2 SBS ve %4 SBS modifiye bitümler ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 2.1.1 Bitüm modifikasyonu

Bu çalışmada, modifikasyon şartları ve polimer katkı oranları literatürdeki polimer modifiye bitüm çalışmaları [2,15-17,21,22] dikkate alınarak belirlenmiştir. 50/70 saf bitüm 3:1 ve 1:3 oranlarındaki poliolefin (PP:PE) karışımları ve PP ile ağırlıkça %4 oranında modifiye edilmiştir. Buna ek olarak, saf bitüm ağırlıkça %2 SBS ve %4 SBS ile modifiye edilerek, elde edilen sonuçlar poliolefin modifiye bitümler ile karşılaştırılmıştır. Bitüm modifikasyonu Şekil 2' de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Her karışımda kullanılan PE miktarı, eşit oranlardaki PE-YY ve PE-DY karışımından oluşmaktadır. Bitüm modifikasyonunda, katkılar bitüm içerisine düşük hızda ve yavaş yavaş eklenmiştir. Katkıların bitüme eklenmesinden sonra, SBS ile bitüm modifikasyonları 180°C sıcaklıkta, 2000 rpm hızında ve 2 saat sürede gerçekleştirilirken, poliolefinler ile bitüm modifikasyonları 187±2 °C sıcaklıkta, 2000 rpm hızında ve toplam 2 saat sürede gerçekleştirilmiştir. Poliolefin karışımları ile bitüm modifikasyonunda, bitüm içerisine ilk olarak PP polimeri eklenerek 1 saat modifiye edilmiş, daha sonra sırasıyla PE-YY eklenerek 30 dakika süre ve PE-DY eklenerek 30 dakika süre olmak üzere toplam 2 saat süre modifiye edilmiştir.



Şekil 2. Bitüm modifikasyonu

Bu çalışmada, polimerler ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcılar ve saf bitüm şu şekilde tanımlanmıştır:

- 0 : Saf Bitüm
- 2S : Saf Bitüm + %2 SBS
- 4S : Saf Bitüm + %4 SBS
- 4PP : Saf Bitüm + %4 PP
- 3:1 PP:PE : Saf Bitüm + %4 (3:1 PP:PE)
- 1:3 PP:PE : Saf Bitüm + %4 (1:3 PP:PE)

### 2.2 Metot

Polimerlerin saf bitüm üzerindeki etkilerini değerlendirmek için tüm bağlayıcıların viskozite, yumuşama noktası, penetrasyon, penetrasyon indeksi (PI) değerleri ile sıcaklık hassasiyetleri ve karıştırma-sıkıştırma sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

#### 2.2.1 Penetrasyon deneyi

ASTM D5 [23] standardına uygun olarak yapılan ve bitümlü bağlayıcıların kıvamının belirlenmesinde kullanılan deney yöntemlerinden biri olan penetrasyon deneyi, 25°C sıcaklıkta, 100 gr lık yükün 5 sn süreyle uygulanmasıyla standart penetrasyon iğnesinin bitüm içerisine girme miktarının 0.1 mm olarak belirlenmesidir.

#### 2.2.2 Yumuşama noktası deneyi

Bitümlü bağlayıcıların kıvamının belirlenmesinde kullanılan bir diğer yöntem, yumuşama noktası deneyidir. ASTM D36 [24] standardına uygun olarak yapılan bu deney sıvı içerisinde yapılmaktadır. Deney, 5°C deki suyun dakikada 5°C artacak şekilde ısıtılmasıyla, üzerinde 3.5 gr ağırlığındaki bilyeler bulunan standart deney halkaları içerisindeki bağlayıcının yumuşayarak 2.5 cm aşağıdaki plakaya değdiği andaki sıcaklık değerinin belirlenmesidir. İki halka içerisindeki bağlayıcı için okunan sıcaklık değeri arasındaki fark 1°C den fazla ise deney tekrar edilir. Deneyde, yumuşama noktası 80°C den daha yüksek olan bağlayıcılar için su yerine gliserin kullanılmaktadır.

#### 2.2.3 PI ve bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri

Polimer modifiye bitümlerin ve saf bitümün sıcaklık hassasiyetleri Denklem (1)' deki formül kullanılarak PI değerleri ile belirlenmiştir. PI değerinin belirlenmesinde yumuşama noktası ve penetrasyon deney sonuçları kullanılmaktadır. Denklem (1)' de, bağlayıcının penetrasyon

değeri ‘(Pen)’ ile yumuşama noktası değeri ise ‘(SP)’ ile simgelenmektedir [1].

$$PI = \frac{1952 - 500 \cdot \log(Pen) - 20 \cdot SP}{50 \cdot \log(Pen) - SP - 120} \quad (1)$$

#### 2.2.4 Dönel viskozite deneyi

Bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki akışkanlıkları ve işlenebilirlikleri ASTM-D4402 [25] standardına uygun olarak yapılan dönel viskozite (RV) deneyi kullanılarak belirlenebilmektedir. Deneyde, bitümlü bağlayıcının viskozitesi, belirlenen sabit sıcaklıktaki bağlayıcı numunesi içerisindeki silindirik milin, sabit dönme hızında elde edilen torku sonucunda ölçülmektedir. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma için yeterli akışkanlığa sahip olabilmeleri için 135°C’ deki viskozitenin şartname kriteri olan 3Pa s değerini aşmaması gerekmektedir [26].

#### 2.2.5 Karıştırma – sıkıştırma sıcaklıkları

Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi için, 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki RV deneyi sonucunda elde edilen viskozite değerleri kullanılmaktadır. Bu sıcaklıklardaki viskozite değerleri viskozite – sıcaklık grafiğine işaretlenerek çizilen doğrudan karıştırma– sıkıştırma sıcaklık değerleri belirlenmektedir. Karıştırma sıcaklık aralığı için 0.17±0.02 Pa s ve sıkıştırma sıcaklık aralığı için ise 0.28 ± 0.02 Pa s değerlerine karşılık gelen sıcaklık aralıkları belirlenmiştir [26].

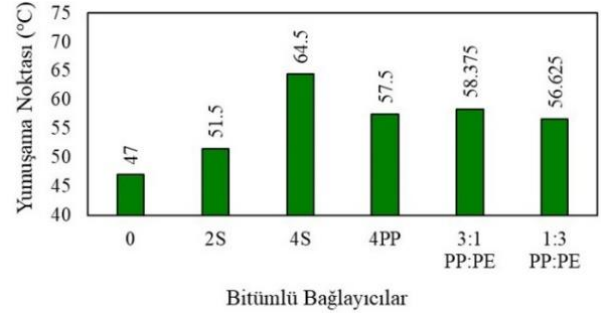
### 3 Bulgular ve tartışma

#### 3.1 Yumuşama noktası ve penetrasyon deney sonuçları

Bağlayıcıların kıvamının belirlenmesinde kullanılan yumuşama noktası ve penetrasyon deney sonuçlarına göre, tüm polimer katkılarının beklenildiği gibi, saf bitümün penetrasyon değerini azalttığı ve yumuşama noktası değerini artırarak bitümü sertleştirdiği ve literatürle [2,6,15,17] uyumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Şekil 3’deki yumuşama noktası deney sonuçlarına göre; %4 SBS modifiye bitümün diğer modifiye bitümler arasında en yüksek yumuşama noktası değerine sahip bitümlü bağlayıcı olduğu tespit edilmiştir. %4 oranında bitüme ilave edilen PP katkısının ve poliolefin katkılarının tümünün, %2 SBS katkılı bitümden daha yüksek yumuşama noktası değerine ve daha düşük penetrasyon değerine sahip oldukları görülürken, %4 SBS katkılı bitümden daha düşük yumuşama noktası değerine sahip oldukları görülmüştür. 3:1 PP:PE modifiye bitümün, diğer poliolefin katkılı bitümlerden daha yüksek yumuşama noktası değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4’deki penetrasyon değeri sonuçlarına göre, 4PP katkılı modifiye bitümün en düşük penetrasyon değerine sahip bitümlü bağlayıcı olduğu belirlenmiştir.

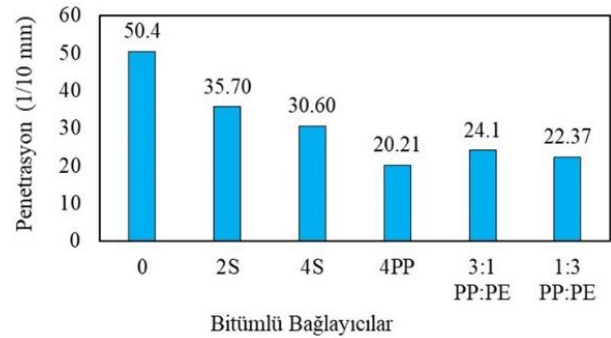
Sonuçlar incelendiğinde, %2 SBS katkılı modifiye bitümün, diğer modifiye bitümlerden daha düşük yumuşama noktası ve daha yüksek penetrasyon değerine sahip olması, katkının %2 oranında kullanılması sebebiyle, beklenen bir sonuçtur. Diğer taraftan, %4 SBS katkılı modifiye bitüm, aynı orandaki (%4) poliolefin katkılı modifiye bitümlerden daha yüksek yumuşama noktası değerine sahiptir. Bu

sonucun elde edilmesinde, kullanılan katkıların farklı yapısal özelliklere sahip olmaları ve bitüm üzerinde de farklı oranlarda farklı etki göstermeleri [27, 28, 29] etkili olabilir. Polimerlerin molekül ağırlığı, zincir yapısı ve zincir uzunluğu, bitüm içerisindeki dağılımını, ağ oluşumunu ve modifiye bitümün özelliklerini etkilemektedir [10,11,20,27-29].



Şekil 3. Yumuşama noktası deney sonuçları

PE, etilen monomerinin polimerizasyonu sonucu elde edilen uzun zincirli hidrokarbon molekülüdür. PP, propilen monomerinin polimerizasyonu sonucu elde edilen, termoplastik lineer hidrokarbondur [2, 7].



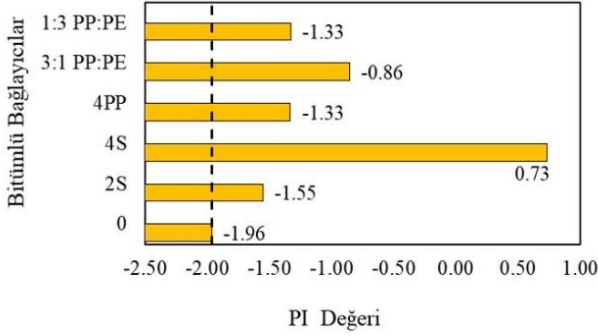
Şekil 4. Penetrasyon deney sonuçları

Diğer taraftan, SBS, blok zincirlerden oluşan kopolimerdir. SBS kopolimeri mukavemetini ve esnekliğini üç boyutlu bir ağa fiziksel olarak çapraz bağlanmasından alır [2, 9, 10]. SBS kopolimerinin yapısındaki polistiren uç bloklar mukavemet kazandırırken, kauçuksu polibutadiyen orta bloklar ise elastikiyet sağlamaktadır. SBS bitüm ile karıştırıldığında, SBS kopolimerinin elastomerik fazı bitümdeki maltenleri emer ve hacmi başlangıçtaki hacminin yaklaşık dokuz katı artabilmektedir [9, 10]. Polimerlerin aromatikleri absorbe ederek şişmesi sonucu artan asfalten konsantrasyonu matrisin sertleşmesini sağlamaktadır. Polimerlerin yapısı ve şişme oranları polimer modifiye bitümün özelliklerini etkilemektedir [2, 10, 27, 29]. Katkı maddelerinin yapısal özelliklerindeki farklılıklar, modifiye bitüm özellikleri üzerinde de farklı etki göstermelerine sebep olabilir.

#### 3.2 Bitümlü bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri

Sıcaklık hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan PI değerleri incelendiğinde (Şekil 5), tüm polimer katkılarının saf bitümün PI değerini artırarak sıcaklık hassasiyetini

azalttığı belirlenmiştir. %4 SBS modifiye bitümün en yüksek PI değerine ve en az sıcaklık hassasiyetine sahip bitümlü bağlayıcı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Literatürde de benzer şekilde, SBS katkı maddesinin sıcaklık hassasiyetini azalttığı [2, 9] ve SBS katkı miktarı arttıkça PI değerinin artarak sıcaklık hassasiyetinin azaldığı görülmektedir [9].



Şekil 5. Bitümlü bağlayıcıların PI değerleri

Bu çalışmada, tüm poliolefin katkıli bitümlü bağlayıcıların %2 SBS katkıli bitümden daha az sıcaklık hassasiyetine sahip oldukları Şekil 5’den görülmektedir. %4 SBS modifiye bitümün ise en düşük sıcaklık duyarlılığına sahip bağlayıcı olduğu belirlenmiştir.

Buna ek olarak, 3:1 PP:PE modifiye bitümün diğer poliolefin katkıli bitümlerden ve %2 SBS katkıli bitümden daha az sıcaklık hassasiyetine sahip bağlayıcı olduğu belirlenmiştir. Bu sonucun elde edilmesinde 3:1 PP:PE katkısının yumuşama noktası değerinin diğer poliolefin katkıli bitümlerden daha yüksek olması etkili olmuştur.

4PP ve 1:3 PP:PE katkılarının ise saf bitümün sıcaklık hassasiyetini aynı oranda azalttıkları görülmüştür. Bu katkıları, saf bitümün yumuşama noktası ve penetrasyon değerleri üzerinde farklı oranlarda etki göstermelerine rağmen, PI değeri üzerinde aynı etkiyi göstermişlerdir. PI değerinin belirlenmesinde yumuşama noktası önemli oranda etkili olmakla birlikte, penetrasyon değerinin etkisiyle bu sonuç elde edilmiştir.

Bitümün davranışı, viskoelastik bir malzeme olması sebebiyle, sıcaklığa ve yükleme süresine bağlı olarak değişmektedir [1, 27, 29]. Bitümlü bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri, sıcaklık değişimlerine karşı gösterdikleri direncin bir ölçüsüdür. PI değerinin artması, bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin azalmasını ve deformasyonlara karşı direncinin artmasını bir göstergesidir [1, 6, 27, 29].

Elastomerik ve plastomerik katkı maddelerinin bitümün sertliğini arttırdığı ve sıcaklık hassasiyetini azaltarak bazı özelliklerini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir [2, 9, 10, 15, 29]. Bununla birlikte, polimer modifiye bitümün sıcaklık hassasiyetindeki azalma miktarı, kullanılan katkı maddelerinin yapısına ve katkı miktarına bağlı olarak, bitümlü bağlayıcının kıvamına ve modifiye bitümün özelliklerine bağlıdır. Poliolefin türü polimerlerin çoğu kristalleşme özelliği göstermektedir ve kristalleşme dereceleri yapısal özelliklerine göre değişmektedir [7, 8, 10]. SBS kopolimerinin yapısındaki kauçuksu polibutadiyen bloklar ise elastikiyet sağlamaktadır. Polimerlerin yapısı ve

şişme oranları polimer modifiye bitümün özelliklerini etkilemektedir [10, 27, 29].

%4 SBS modifiye bitümün en yüksek yumuşama noktası değerine sahip olması (Şekil 3), PI değeri en yüksek ve sıcaklık hassasiyeti en az olan modifiye bitüm olmasını sağlamıştır (Şekil 5).

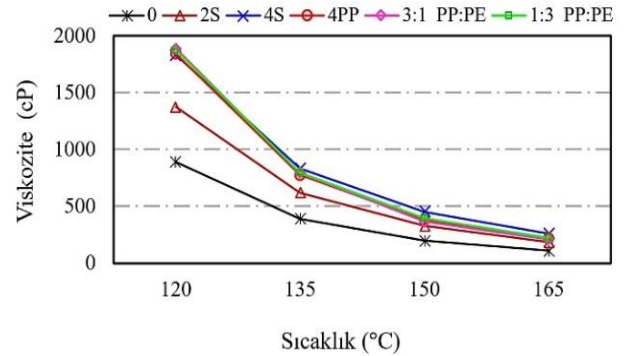
### 3.3 Bitümlü bağlayıcıların viskozite deney sonuçları

Bitümlü bağlayıcıların akmaya karşı direncinin göstergesi olan viskozite değerleri incelendiğinde, tüm katkıların, beklenildiği gibi, saf bitümün viskozitesini arttırdığı görülmektedir. Viskozite artış oranlarının polimer türlerine göre değişimi Şekil 6’da görülmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde, tüm katkıların beklenildiği gibi ve literatürdeki çalışmalarla [2, 4, 9, 17] uyumlu olarak saf bitümün viskozitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm bitümlü bağlayıcıların viskozite değerlerinin 3 Pa s şartname kriterini aşmadığı ve işlenebilirlik açısından uygun oldukları belirlenmiştir. Şekil 7’de bitümlü bağlayıcıların 135°C’deki viskozite değerleri görülmektedir. Şekil 7’deki deney sonuçlarına göre, %4 SBS katkıli bitümün en yüksek viskozite değerine sahip bağlayıcı olduğu görülürken, tüm poliolefin katkıli bitümlerin %2 SBS katkıli bitümden daha yüksek viskozite değerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu sonucun, yumuşama noktası deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Poliolefin katkıli bitümlerden, 3:1 PP:PE ve 1:3 PP:PE katkıli bitümlerin viskozitelerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve ayrıca %4PP ve %2 SBS katkıli bitümlerden daha yüksek viskozite değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.

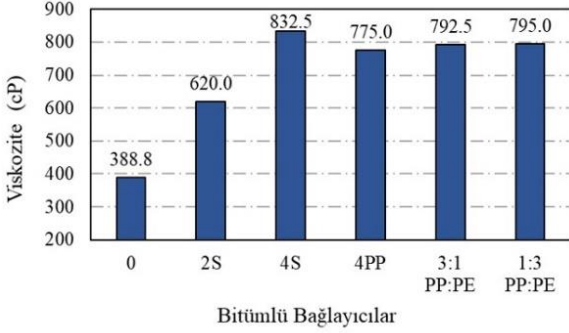
Bu sonucun elde edilmesinde, katkı maddelerinin yapısal özelliklerindeki farklılıklar ve bitüm ile farklı etkileşimleri sonucu, farklı özelliklere sahip modifiye bitümler elde edilebilirliği etkili olabilir.

PE-YY polimeri kristalleşme eğilimi yüksek polimerdir [2, 7, 8, 27]. Bu tür polimerler bitümü sertleştirmekte, viskoziteyi arttırmakta ve bitümün yüksek sıcaklık performansını geliştirebilmektedir [2, 10, 27]. Şekil 7 incelendiğinde, poliolefin karışımlarının bitüm viskozitesi üzerinde PP nin tek başına kullanılmasından daha etkili olduğu görülmüştür. Polimerlerin molekül ağırlığı, zincir yapısı ve zincir uzunluğu, bitüm içerisindeki dağılımını, ağ oluşumunu ve modifiye bitümün özelliklerini etkilemektedir [10,11,20,27-29].



Şekil 6. Bitümlü bağlayıcıların viskozite değerleri

Yüksek yoğunluklu PE, lineer zincir yapısına sahip olup yüksek kristalleşme özelliği göstermektedir. Düşük yoğunluklu PE ise, dallanmış yapıya sahiptir. Dallanma yapısı ve özellikleri, kristalleşme derecesini ve yoğunluğunu etkileyen özelliklerdendir [7, 8, 19]. Daha az moleküler ağırlığa sahip olan düşük yoğunluklu PE türünün, daha yüksek moleküler ağırlığa sahip diğer PE türleriyle karşılaştırıldığında, daha az faz ayrışması göstermesi sebebiyle, bitümle daha uyumlu olduğu belirlenmiştir [2, 4, 20].



Şekil 7. Bağlayıcıların 135°C deki viskozite değerleri

SBS kopolimeri ise, blok zincirlerden oluşan termoplastik elastomerdır. Bitüm ile karıştırıldığında, SBS kopolimerinin elastomerik fazı bitümdeki maltenleri emer ve hacmi başlangıçtaki hacminin yaklaşık dokuz katı artabilmektedir [9, 10, 29]. Polymerlerin aromatikleri absorbe ederek şişmesi sonucu artan asfalten konsantrasyonu matrisin sertleşmesini sağlamaktadır. Polymerler ile bitüm modifikasyonunda, polimerlerin yapısı ve şişme oranları polimer modifiye bitümün özelliklerini etkilemektedir [2, 10, 27, 29]. SBS katkı maddesinin elastomerik fazı olan butadiyenler, bitümdeki maltenleri absorbe ederek elastik bir

ağ oluşumuna ve viskozitenin artmasına neden olabilmektedir [9, 10, 27]. Bu sebeple, bu çalışmada bitümün %4 SBS ile modifiye edilmesi sonucu en yüksek modifiye bitüm viskozite değeri elde edilebilir (Şekil7).

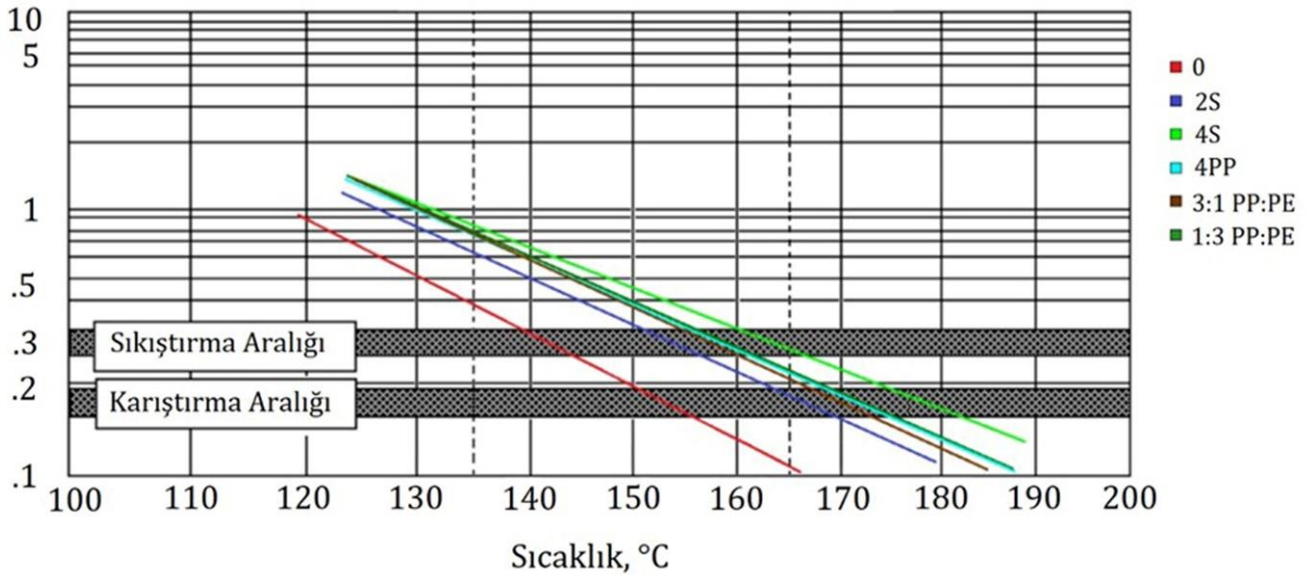
### 3.4 Bitümlü bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları

Bitümlü bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları Şekil 8’de görülen viskozite-sıcaklık grafiği ile Tablo 1’de görüldüğü şekilde belirlenmiştir. Çalışmada, elde edilen tüm polimer modifiye bitümlerin karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının, beklenildiği gibi saf bitümün karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde (Şekil 8), %4 SBS katkılı bitümün en yüksek karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarına sahip bağlayıcı olduğu ve elde edilen sonuçların yumuşama noktası ve viskozite deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

Poliolefin katkılı bitümlerden, 4PP ve 1:3 PP:PE katkılı bitümlerin karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. %2 SBS katkılı bitümün karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının diğer tüm polimer katkılı bitümlerin karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarından daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, farklı poliolefin polimerler farklı oranlarda bitüm içerisinde katkı maddesi olarak kullanılmış ve saf bitümün kıvamı, viskozitesi, sıcaklık hassasiyeti, karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları üzerine etkileri SBS modifiye bitümler ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Literatürde, polimerlerin bitüm ile kimyasal etkileşimini sağlamak için çeşitli katkıları kullanılmaktadır [5, 6]. İleride yapılacak çalışmalarda, bitüm modifikasyonunda farklı oranlardaki farklı polimer karışımları ile birlikte çeşitli reaktif katkıların kullanılmasıyla daha etkili sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

### Viskozite, Pa s



Şekil 8. Bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları

**Tablo 1.** Bağlayıcıların karıştırma- sıkıştırma sıcaklık aralıkları

BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR	VİSKOZİTE (cP)		KARIŞTIRMA SICAKLIK ARALIĞI (°C)	SIKIŞTIRMA SICAKLIK ARALIĞI (°C)
	135°C	165°C		
0	388.80	111.2	150.5-156	139.25-144.50
2S	620	185	163-170	151-157
4S	832.50	261.30	175-182.40	160-166.5
4PP	775	218.80	168.5-175	155.30-161.30
3:1 PP:PE	792.5	207.50	166.5-173.5	154.5-160.5
1:3 PP:PE	795	220	168.30-175.60	156.25-162

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, saf bitüm farklı oranlardaki PP:PE karışımları ve %4 PP ile modifiye edilmiştir. Buna ek olarak, saf bitüm %2 SBS ve %4 SBS ile modifiye edilerek, elde edilen sonuçlar poliolefin modifiye bitümler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre;

- %4 oranında bitüme ilave edilen PP ve poliolefin polimer karışımı katkılarının tümünün %2 SBS katkılı bitümden daha yüksek yumuşama noktası değerine ve daha düşük penetrasyon değerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

- %4 SBS katkılı bitümün sıcaklık hassasiyeti en az olan bağlayıcı olduğu görülürken, poliolefin katkılı bitümlü bağlayıcıların %2 SBS katkılı bitümden daha az sıcaklık hassasiyetine sahip oldukları belirlenmiştir.

- 135°C'de, %4 SBS katkılı bitümün en yüksek viskozite değerine sahip bağlayıcı olduğu görülürken, tüm poliolefin katkılı bitümlerin %2 SBS katkılı bitümden daha yüksek viskozite değerine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

- 135°C'de, 3:1 PP:PE ve 1:3 PP:PE katkılı bitümlerin 4PP katkılı bitümden ve %2 SBS katkılı bitümden daha yüksek viskozite değerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

- Poliolefin katkılı bitümlerden, 4PP ve 1:3 PP:PE katkılı bitümlerin karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. %2 SBS katkılı bitümün karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının tüm poliolefin katkılı bitümlerin karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarından daha düşük olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda, poliolefinlerin farklı oranlardaki karışımlarının bitüm içerisinde kullanılması halinde, tek başlarına kullanıldıklarından daha etkili olabileceği belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm katkı maddelerinin saf bitümü sertleştirdiği ve viskozitesini arttırdığı, bununla birlikte 135°C'deki viskozitelerinin 3 Pa şartname kriterini aşmadıkları ve tüm modifiye bitümlerin işlenebilirlik açısından uygun oldukları tespit edilmiştir. Atık polimerlerin bitüm içerisinde katkı maddesi olarak kullanılmasıyla bitüm performansının geliştirilebileceği ve aynı zamanda yol yapım maliyetlerini azaltacağı ve çevreye olumlu etkisi olacağı düşünülmektedir.

#### Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %5

#### Kaynaklar

- [1] D. Whiteoak, J. Read, Shell bitumen handbook. Fifth edition, London, 2003.
- [2] A. Behnood and M. M. Gharehveran, Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders. European Polymer Journal, 112, 766 - 791, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.10.049>.
- [3] B. Furtana, E. Yalçın, B. V. Kök, and M. Yılmaz, Laboratory comparison of EVA based resin and SBS modified bituminous binder. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9 (1), 358 - 365, 2020. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.561615>.
- [4] Y. Ma, H. Zhou, X. Jiang, P. Polaczyk, R. Xiao, M. Zhang and B. Huang, The utilization of waste plastics in asphalt pavements: A review. Cleaner Materials 2, 100031, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100031>.
- [5] T. Geçkil and C. B. İnce, Atık LDPE' nin asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(4), 1103 -1114, 2021. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.931151>.
- [6] P. Ahmedzade, The investigation and comparison effects of SBS and SBS with new reactive terpolymer on the rheological properties of bitumen, Construction and Building Materials 38, 285–291, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.090>.
- [7] D. Jubinville, E. Esmizadeh, S. Saikrishnan, C. Tzoganakis, T. Mekonnen, A comprehensive review of global production and recycling methods of polyolefin (PO) based products and their post-recycling applications. Sustainable Materials and Technologies, 25, e00188, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00188>.
- [8] R. O. Ebewele, Polymer Science and Technology. CRC Press LLC, New York, 2000.
- [9] G. D. Airey, Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. Fuel, 82, 1709 -1719, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00146-7](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00146-7).
- [10] G. Polacco, S. Filippi, F. Merusi, G. Stastna, A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts:

- Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility. *Advances in Colloid and Interface Science*, 224, 72-112, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2015.07.010>.
- [11] Q. Zhang, T. Wang, W. Fan, Y. Ying, Y. Wu, Evaluation of the properties of bitumen modified by SBS copolymers with different styrene-butadiene structure, *Journal of Applied Polymer Science*, 40398, 1-7, 2014, <https://doi.org/10.1002/app.40398>.
- [12] L.B. Canto, G.L. Mantovani, E.R. deAzevedo, T.J. Bonagamba, E. Hage and L.A. Pessan, Molecular characterization of styrene-butadiene-styrene block copolymers (SBS) by GPC, NMR, and FTIR. *Polymer Bulletin*, 57, 513-524, 2006, <https://doi.org/10.1007/s00289-006-0577-4>.
- [13] KRATON™ D1192 A Polymer, Kraton data documan. K0017 Europe 2/24/2022, [https://kraton.com/products/KRATON\\_D\\_SBS\\_SBS\\_OE.php](https://kraton.com/products/KRATON_D_SBS_SBS_OE.php). 07.02.2023.
- [14] J.G. Drobny, *Handbook of Thermoplastic Elastomers*. Second Edition, Elsevier, 2014.
- [15] P. Ahmedzade, A. Fainleib, T. Günay and O. Grigoryeva, Geri dönüştürülmüş atık polipropilenin bitümlü bağlayıcılarda kullanılması. *İMO Teknik Dergi*, 7497-7513, Yazı 456, 2016.
- [16] İ. Bektaş, E. Yalçın, Ö. E. Yamaç and M. Yılmaz, İki farklı düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) plastik atığın bitüm modifikasyonunda kullanımı. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33(1), 339-346, 2021. <https://doi.org/10.35234/fumbd.868039>.
- [17] M. R. Kakar, P. Mikhailenko, Z. Piao, M. Bueno and L. Poulidakos, Analysis of waste polyethylene (PE) and its by-products in asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 280, 122492, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122492>.
- [18] A. Eckstein, J. Suhm, C. Friedrich, R.D. Maier, J. Sassmannshausen, M. Bochmann and R. Mulhaupt, Determination of plateau moduli and entanglement molecular weights of isotactic, syndiotactic, and atactic polypropylenes synthesized with metallocene catalysts. *Macromolecules*, 31, 1335-1340, 1998. <https://doi.org/10.1021/ma971270d>
- [19] X.M. Zhang, S. Elkoun, A. Ajji, M.A. Huneault, Oriented structure and anisotropy properties of polymer blown films: HDPE, LLDPE and LDPE. *Polymer* 45, 217-229, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2003.10.057>.
- [20] S. Ho, R. Church, K. Klassen, B. Law, D. MacLeod, and L. Zanzotto, Study of recycled polyethylene materials as asphalt modifiers. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33, 968-981, 2006. <https://doi.org/10.1139/L06-044>.
- [21] X. Zhao, M. U. Rahman, T. Dissanayaka, F. Gharagheizi, C. Lacerda, S. Senadheera, R. C. Hedden and G. F. Christopher, Rheological behavior of a low crystallinity polyolefin-modified asphalt binder for flexible pavements. *Case Studies in Construction Materials* 15, e00640, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00640>.
- [22] İ. Gökalp, H.M. Çetin, Y. Özinal, H. Gündoğan, V.E. Uz, Polimer modifiye bitüm modifikasyonuna etki eden parametreler üzerine bir literatür araştırması, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 954-964, 2019. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.479148>.
- [23] ASTM-D5, Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, West Conshohocken, 2006.
- [24] ASTM-D36, Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), West Conshohocken, 2006.
- [25] ASTM-D-4402. Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer, 2002.
- [26] J. P. Zaniewski and M. E. Pumphrey, Evaluation of performance graded asphalt binder equipment and testing protocol, West Virginia, Technical Report, April 2004.
- [27] D. Lesueur, The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Advances in Colloid and Interface Science* 145, 42-82, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.08.011>.
- [28] A. Schaur, S.H. Unterberger, R. Lackner, Impact of molecular structure of PP on thermo-rheological properties of polymer-modified bitumen. *Construction and Building Materials*, 287, 122981, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122981>.
- [29] T. McNally, *Polymer Modified Bitumen, Properties and characterisation*. Woodhead Publishing Limited, Canada, 2011.

