

## Doğal Asfalt ve SBS Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Karşılaştırılması

Yunus ERKUŞ<sup>1\*</sup>, Baha Vural KÖK<sup>2</sup>, Mehmet YILMAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

<sup>3</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

\*<sup>1</sup> yerkus@firat.edu.tr, <sup>2</sup> bvural@firat.edu.tr, <sup>3</sup> mehmetyilmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 09/06/2020;

Kabul/Accepted: 08/10/2020)

**Öz:** Bu çalışmada, Irak'ın Zaho bölgesinden çıkarılan doğal asfalt (NA) ile modifiye edilen bitümünün özellikleri araştırılmıştır. NA, saf bitümün ağırlığınca %20, %35 ve %50 oranlarında kullanılmıştır. NA modifiyeli bağlayıcıların özellikleri, %2 ve %4 SBS içeren modifiye bağlayıcılarla karşılaştırılmıştır. Bağlayıcılara penetrasyon, yumuşama noktası, dönel viskozimetre ve dinamik kayma reometresi deneyleri uygulanmıştır. Bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri ve tekerlek izi dirençleri değerlendirilmiştir. Bitüme NA ilavesi yumuşama noktası, viskozite ve tekerlek izi parametresinde önemli bir artışa neden olmuştur. %50 oranında kullanılan NA işlenebilirlik açısından bir sorun teşkil etmemiştir. %50 NA modifiyeli bağlayıcının tekerlek izi parametresi %4 SBS modifikasyonundan 4.3 kat daha fazla çıkmıştır. Sıcaklık hassasiyeti bakımından NA modifikasyonu kabul edilebilir değerler verse de SBS modifikasyonu kadar başarılı olamamıştır. NA modifiyeli kaplamaların, işlenebilirlik bakımından olumsuz bir sonuç oluşturmadan, yüksek hava sıcaklığına sahip bölgelerde, ağır trafik koşullarına, SBS modifikasyonuna göre daha ekonomik olarak direnç gösterebileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Doğal asfalt, SBS, bitüm, sıcaklık hassasiyeti, modifikasyon.

## Comparison of Bituminous Binders Modified by Natural Asphalt and SBS

**Abstract:** In this study, properties of bitumen modified with natural asphalt (NA) extracted from Zaho region of Iraq were investigated. NA was used in 20%, 35% and 50% of the weight of pure bitumen. The properties of NA modified binders were compared with 2% and 4% SBS modified binders. Penetration, softening point, rotational viscometer and dynamic shear rheometry tests were applied to the binders. The addition of NA to the bitumen resulted in a significant increase in softening point, viscosity and rutting parameter. NA used by 50% was not a problem in terms of workability. The rutting parameter of the 50% NA modified binder is 4.3 times more than the 4% SBS modification. Although the NA modification gave acceptable values in terms of temperature sensitivity, it was not as successful as the SBS modification. It has been determined that NA modified pavements can resist heavy traffic conditions as more economically than SBS modification in regions having high air temperature without any workability problem.

**Key words:** Natural asphalt, SBS, bitumen, temperature sensitivity, modification.

### 1. Giriş

Artan trafik hacimleri ve araç yüklerinden dolayı sıcak karışım asfaltının, kalıcı deformasyonlara ve termal çatlamalara karşı koyabilmesi için özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bitüm ve bitümlü sıcak karışımlarda sıklıkla polimer tipi katkı maddeleri kullanılmaktadır. Stiren-bütadien-stiren (SBS), saf bitümün ve dolayısıyla bitümlü karışımların özelliklerini arttırmak için en çok kullanılan katkı maddesidir. SBS modifikasyonu maliyet artışına neden olduğundan, katkı olarak doğal ve atık malzemelerin kullanımı önemli bir konu haline gelmiştir. Doğal asfaltlar, hidrokarbonlar ve aromatik moleküller içeren katı yada yarı katı yapı malzemeleridir. Doğal asfaltlar, genel olarak karbon ve hidrojen oluşmasına rağmen nitrojen, hidrojen, sülfürün yanı sıra az miktarda demir, nikel ve vanadyum gibi metaller de içermektedir [1]. Amerika ve İran gibi ülkelerde çıkarılan Gilsonit, Trinidad ve Tobago'da bulunan göl asfaltı, Kanada'da temin edilen katranlı kum, Suriye'de ve Endonezya'da bulunan katranlı kum asfalt karışımlarda çeşitli oranlarda kullanılmış ve asfalt kaplamasının performansını artırdığı tespit edilmiştir.

Doğal asfalt olan Qingchuan kaya asfaltı ve silika katkıları bitümün viskozite değerini önemli ölçüde artırmıştır. Katkılar birlikte kullanıldığında yüksek sıcaklık deformasyon direnci en iyi değerleri vermiştir. Yüksek sıcaklık direnci açısından Qingchuan kaya asfaltı daha iyi sonuçlar göstermiştir. Modifiye bitümün düşük sıcaklık

\* Sorumlu yazar: [yerkus@firat.edu.tr](mailto:yerkus@firat.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0001-7664-2964, <sup>2</sup> 0000-0002-7496-6006, <sup>3</sup> 0000-0001-6700-6579

performansı her iki katkı kullanımında da kötüleşmiştir. Bunun yanında silikanın düşük sıcaklık performansına etkisinin daha az olduğu gözlenmiştir [2]. Trinidad göl asfaltı (TLA) katkısının kullanımı saf bağlayıcının süneklik değerini ve penetrasyon değerini düşürürken yumuşama noktası değerini artırmıştır. Ayrıca TLA saf bağlayıcı ile mükemmel bir uyum göstererek yüksek sıcaklık stabilitesini ve tekerlek izi dayanımı geliştirmiştir [3]. İran kaya asfaltı, Buton adası kaya asfaltı, Trinidad göl asfaltı ve SBS modifiyeli bitümlerle ve saf bitümle hazırlanan karışımların kalıcı deformasyona karşı dayanımları değerlendirildiğinde, kalıcı deformasyonlara direnci en fazla olan katkının İran kaya asfaltı olduğu, en az olan katkının ise Trinidad göl asfaltı olduğu belirlenmiştir [4]. En sık kullanılan doğal asfalt katkılarından olan Gilsonit katkı oranı arttıkça bağlayıcıların viskozitesini, yumuşama noktasını ve kompleks kayma modülünü arttırdığı, faz açısı ve penetrasyonunu azalttığı belirlenmiştir [5]. İran'da bulunan 5 farklı türden Gilsonit ile modifiye edilen bağlayıcıların, orta ve yüksek sıcaklık performanslarının önemli derecede iyileştiği belirlenmiştir. Gilsonit oranının artmasıyla bu iyileşmenin devam ettiği gözlenmiştir. Gilsonit, bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performanslarını geliştirmesine rağmen düşük sıcaklık performansını olumsuz etkilemiş ve modifiye bitümlerdeki Gilsonit içeriğinin artmasıyla düşük sıcaklık performansının kötüleştiği belirlenmiştir [6]. Stiren-butadien-stiren (SBS) ve Amerikan Gilsoniti'nin (AG) bitümlü bağlayıcılarda kullanımı araştırıldığında, aynı performans seviyesine sahip bağlayıcılar elde etmek için %2 SBS ile %13 AG, %3 SBS ile %10 AG ve %4 SBS ile %6 AG kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. SBS ve AG katkı maddelerinin bağlayıcıların kıvamını arttırdığı, penetrasyon değerleri üzerinde en etkin katkı türü ve oranının %18 AG olduğu ve tüm katkı maddelerinin yumuşama noktası ve viskozite değerleri üzerinde benzer etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, ısı hassasiyetinin katkı kullanımı ile azaldığı ve en etkin katkının %5 SBS olduğu saptanmıştır [7]. Saf bağlayıcıda Gilsonit oranının artışıyla tekerlek izi parametresi yükselmiş ancak SBS modifiyeli bitüm ile karşılaştırıldığında düşük kalmıştır. Ayrıca, Gilsonit ve SBS modifiyeli bağlayıcıların viskozitesi her zaman aynı oranda sadece SBS içeren modifiyeli bağlayıcıdan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Gilsonit'in sahadaki asfalt karışımı üretim ve sıkıştırma maliyetini azaltmak için alternatif bir katkı olarak kullanılması önerilmiştir [8].

Bu çalışmada; Irak doğal asfaltının bir katkı olarak kullanımının bitümün sıcaklık hassasiyeti ve reolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bunun yanı sıra sadece SBS kullanılan modifiye bağlayıcılarla kıyaslama yapılmıştır. Saf ve modifiye bitümlere penetrasyon, yumuşama noktası, dönel viskozite ve dinamik kesme reometrisi deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca sıcaklık hassasiyetini temsil eden parametreler hesaplanarak geniş ölçekli bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. Malzeme ve Metot

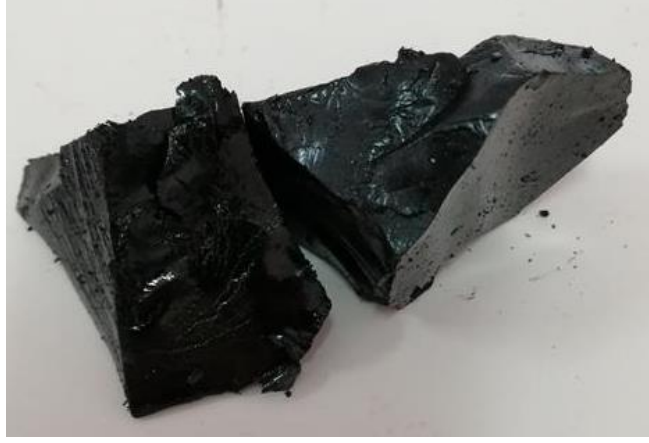
Çalışmada saf bağlayıcı olarak TÜPRAŞ Batman Rafinerisi'nden temin edilen 160/220 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Saf bağlayıcının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Saf bağlayıcıya ağırlıkça %20, %35 ve %50 doğal asfalt eklenmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla saf bağlayıcı ağırlıkça %2 ve %4 SBS ile modifiye edilmiştir. Irak'tan doğal asfalt (Şekil 1) temin edilmiştir. Kullanılan SBS polimer tipi Kraton D-1101, Shell Chemicals Company'den tedarik edilmiştir. Saf bağlayıcı 1000 rpm'de dört bıçaklı bir mikser yardımıyla 170°C sabit sıcaklıkta 1 saat karıştırılarak modifiye edilmiştir (Şekil 2). Yaşlanma etkisini ortadan kaldırarak daha gerçekçi bir karşılaştırma yapmak için aynı karıştırma işlemleri saf bağlayıcıya da uygulanmıştır. Saf ve doğal asfaltın elementel analizi Tablo 2'de verilmiştir. Doğal asfalt, bazik içerik bakımından saf bitümden çok farklı değildir. Saf bitüm "pure" ile ifade edilmiştir. Saf bitüm ağırlığına göre sırasıyla %20, %35 ve %50 doğal asfalt ile modifiye edilmiş bağlayıcılar 20NA, 35NA ve 50NA ile temsil edilmiştir. Saf bitüm ağırlığının %2 ve %4 SBS ile modifiye edilen bağlayıcılar sırasıyla 2SBS ve 4SBS ile temsil edilmiştir.

**Tablo 1.** Saf bağlayıcı özellikleri

|   | <b>Standart</b> | <b>B 160/220</b> |
|---|-----------------|------------------|
| <b>Penetrasyon (0.1 mm), 100 g, 5 s</b> | ASTM D5         | 206              |
| <b>Yumuşama noktası (°C)</b>            | ASTM D36        | 42.1             |
| <b>Penetrasyon indeksi (PI)</b>         |                 | 1.038            |
| <b>Özgül ağırlık</b>                    | ASTM D70        | 1.019            |
| <b>Viskozite (cP, 135°C)</b>            | ASTM D4402      | 262.5            |
| <b>Viskozite (cP, 165°C)</b>            | ASTM D4402      | 100              |

**Tablo 2.** Saf bitüm ve doğal asfaltın elementel analizi.

|                     | C(%)  | H(%)  | N(%)  | S(%)  | TCE'de çözünürlük (%) |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| <b>Saf bitüm</b>    | 82.38 | 8.96  | 0.604 | 7.227 | 99.21                 |
| <b>Doğal asfalt</b> | 81.52 | 10.82 | 0.455 | 5.914 | 97.95                 |



**Şekil 1.** Doğal asfalt.



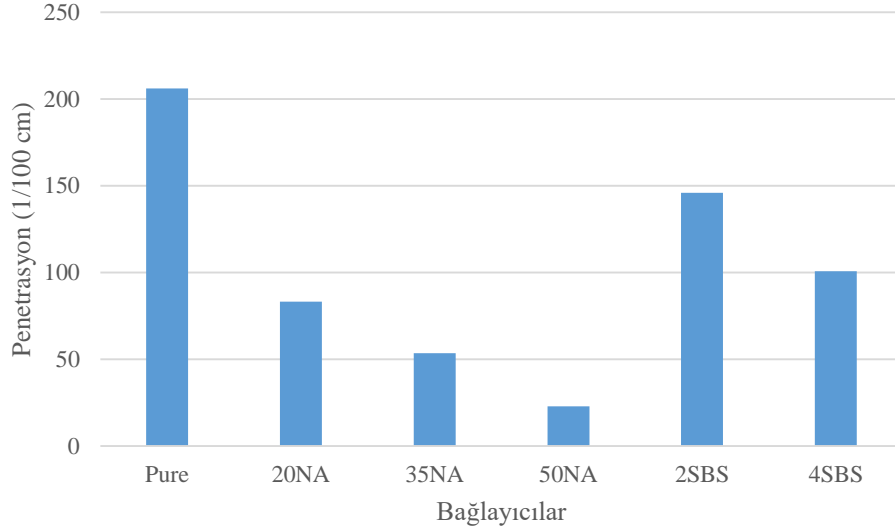
**Şekil 2.** Bağlayıcı modifikasyon aleti.

### 3. Uygulanan Deneyler ve Sonuçları

#### 3.1. Penetrasyon deneyi ve sonuçları

Bu test ASTM D5 standardına göre yapılmıştır. Belirtilen boyutlarda bir iğnenin 5 saniye boyunca 25°C'de sabit bir yük (100g) altında bitüm içine batmasına izin verilmiştir. İğne batma mesafesi (0.1 mm) penetrasyon olarak kabul edilir. Penetrasyon deneyinin sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. NA penetrasyon değerlerinde önemli bir düşüşe neden olmuştur. NA saf bağlayıcı üzerinde sertleştirici bir etkiye sahiptir. Penetrasyon değerleri ilk

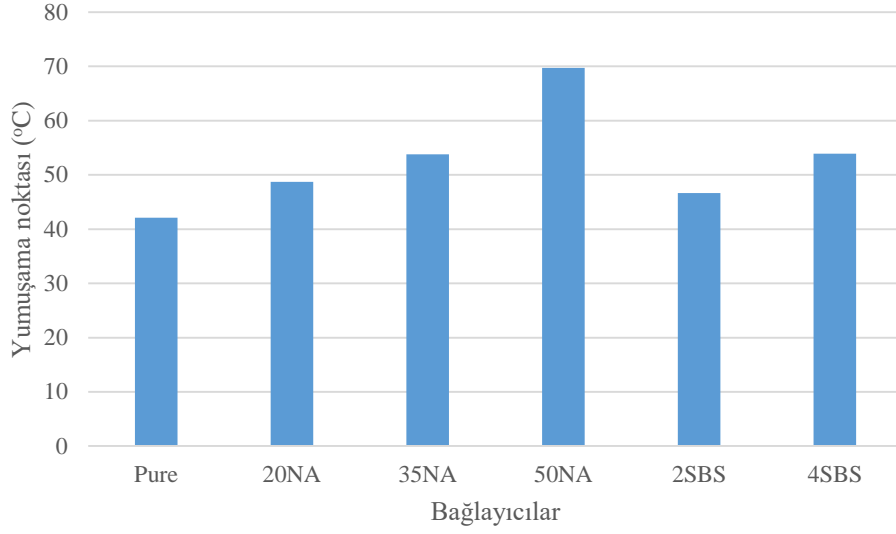
başta hızla azalır ve daha sonra NA içeriğinin artmasıyla azalmaya başlar. %20, %35 ve %50 NA modifikasyonu, saf bağlayıcının penetrasyon değerini sırasıyla %59, %74 ve %88 azaltmıştır. SBS modifikasyonunun, NA modifikasyonundaki kadar sertleştirici etkisi yoktur. %4 SBS modifikasyonu, saf bağlayıcının penetrasyonunu sadece %50 azaltmıştır. %2 ve %4 SBS ile modifiye edilmiş bağlayıcılar penetrasyon değerleri açısından, sırasıyla %10 ve %18 NA modifiye bağlayıcılara eşdeğerdir.



Şekil 3. Bağlayıcıların penetrasyon değerleri.

### 3.2. Yumuşama noktası deneyi ve sonuçları

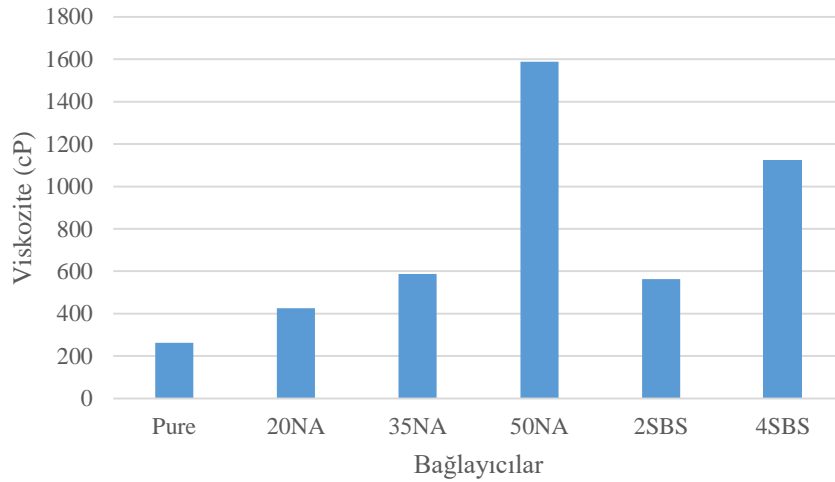
Test ASTM D36 standardına göre yapılmıştır. Saf ve modifiyeli bağlayıcıların yumuşama noktası değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Doğal asfalt modifikasyonunun yumuşama noktası üzerinde büyük etkisi vardır. %20, %35 ve %50 NA modifikasyonu, saf bağlayıcının yumuşama noktasını sırasıyla %15, %28 ve %66 artırmıştır. Doğal asfaltın %50 oranında kullanılması, yumuşama noktasında önemli bir artışa neden olmuştur. 50NA bağlayıcısı, 4SBS bağlayıcısından 15.3°C daha yüksek yumuşama noktası vermiştir. % 2 ve %4 SBS modifikasyonu, saf bağlayıcının yumuşama noktasını sırasıyla %10 ve %29 oranında artırmıştır. %2 ve %4 SBS modifikasyonunun yumuşama noktasının, sırasıyla %17 ve %33 doğal asfalt modifikasyonu ile elde edilebilir. 50NA bağlayıcısının, içinde kullanıldığı bitümlü karışım tabakalarının kalıcı deformasyona karşı direncini önemli derecede artıracığı söylenebilir.



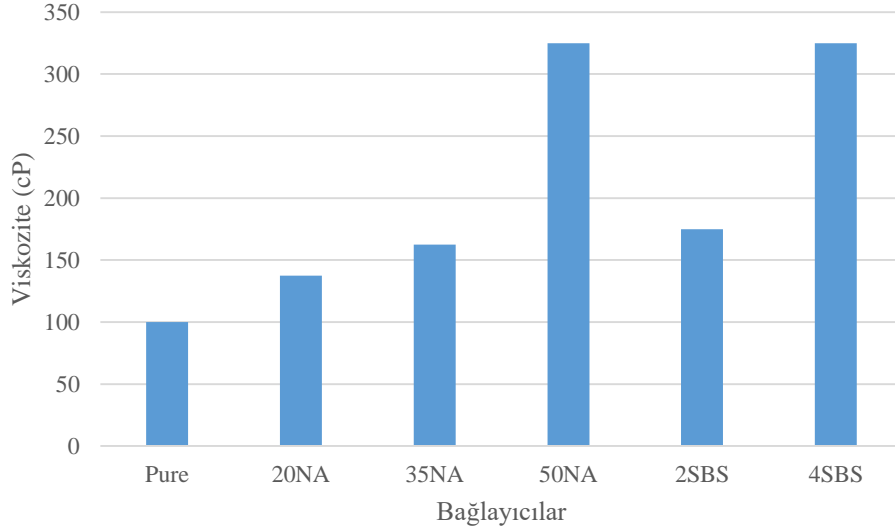
Şekil 4. Bağlayıcıların yumuşama noktaları.

### 3.3. Dönel viskozite deneyi ve sonuçları

Test ASTM D4402 standardına göre Brookfield DV-III dönel viskozimetre aletiyle yapılmıştır. Bağlayıcıların viskozite değerlerinin 135°C ve 165°C'deki değişimleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Saf bitümün viskozitesi, NA içeriğinin artmasıyla birlikte önemli ölçüde artmaktadır. Bununla birlikte, 3000 cP viskozite değeri, en yüksek NA içeriğinde bile aşılmamıştır. Bu nedenle, %50 NA modifiyeli bağlayıcının kullanımında işlenebilirlik problemi yoktur. Viskozite artışı, %35 NA içeriğinden sonra daha belirgindir. 135°C'deki viskozite değerleri, sırasıyla %20, %35 ve %50 NA kullanımında saf bağlayıcı viskozitesine kıyasla 1.62, 2.24 ve 6.06 kat artmıştır. %2 SBS ve %4 SBS'nin viskozite değerleri, 135°C'de %30 NA ve %43 NA ile elde edilebilir. Bu oranlar 165°C'de %33 NA ve %50 NA olarak belirlenmiştir. SBS modifikasyonu ile aynı viskoziteyi sağlayacak NA miktarı, 165°C için 135°C'ye kıyasla daha yüksektir. Bu, NA modifikasyonunun SBS modifikasyonu kadar sıcaklık direnci olmadığını göstermektedir. Saf bağlayıcı ile %50 NA kullanımının, herhangi bir işlenebilirlik problemi olmadan kalıcı deformasyona direnç açısından %4 SBS modifikasyonuna kıyasla daha iyi veya aynı performans gösterebileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. 135°C'de bağlayıcıların viskoziteleri.



Şekil 6. 165°C'de bağlayıcıların viskoziteleri

### 3.4. Sıcaklık hassasiyetinin değerlendirilmesi

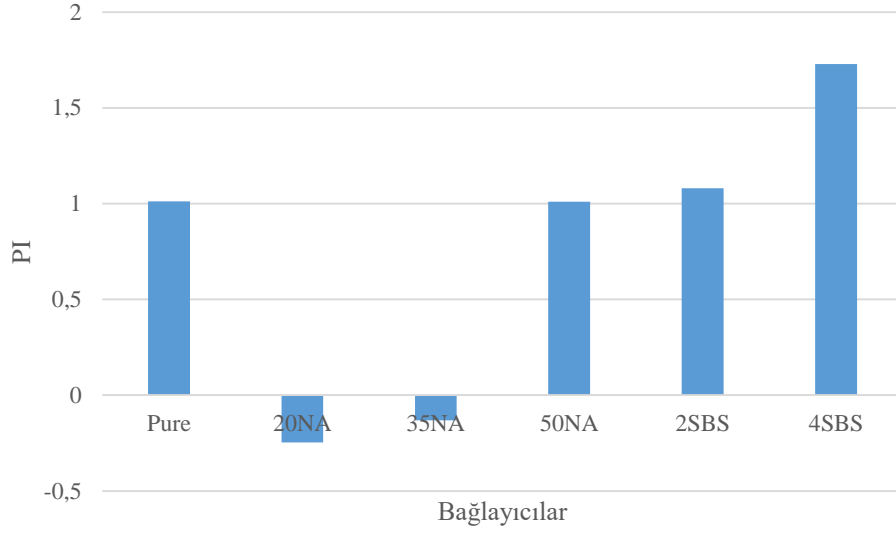
Saf ve modifiye bağlayıcıların sıcaklık hassasiyeti Penetrasyon indeksi (PI), Penetration Viscosity Number (PVN) ve Viscosity Temperature Susceptibility (VTS) ile değerlendirilmiştir.

Penetrasyon indeksi değeri, asfalt bağlayıcıların sıcaklık değişikliklerine tepkisinin nicel bir boyutunu temsil eder. Penetrasyon indeksi değerlerindeki azalma, sıcaklık duyarlılığındaki artışın bir göstergesidir [9]. Bitümlü bağlayıcının termal hassasiyetini belirlemek için, penetrasyon indeksi (PI), bağlayıcının yumuşama noktası ve standart penetrasyon testi sonuçları kullanılarak belirlenir. Penetrasyon indeksi değerini elde etmek için penetrasyon ve yumuşama noktası ile ilişkili klasik bir yaklaşım Formül 1'de gösterildiği gibi verilmiştir [10].

$$\text{Penetrasyon indeksi (PI)} = \frac{1952 - 500 \log(\text{Pen}25) - 20 \text{ SP}}{50 \log(\text{Pen}25) - \text{SP} - 120} \quad (1)$$

Formülde, P25 değeri 25°C'de bitüm penetrasyonunu temsil ederken SP bitümün yumuşama noktası sıcaklığını gösterir.

Şekil 7'de bağlayıcıların PI değerlerinin değişimi verilmiştir. 4% SBS kullanımı saf bağlayıcının PI değerini %71 artırmaktadır. 2SBS bağlayıcısı saf bağlayıcıya çok yakın PI değerine sahip olmuştur. Bunun yanı sıra doğal asfaltın kullanımı bağlayıcıların PI değerini azaltmıştır. Bu azalışın etkisi yüksek %50 NA içeriğinde gözlenmemiştir. En büyük azalış 20NA bağlayıcısında görülürken, 50NA bağlayıcısı saf bağlayıcıya çok yakın PI değeri vermiştir. PI değerleri ve sıcaklık hassasiyeti arasında ters orantı olduğu düşünüldüğünde, 20NA bağlayıcısının en yüksek sıcaklık hassasiyetine sahipken 4SBS bağlayıcısı en düşük sıcaklık hassasiyetine sahip olmuştur.



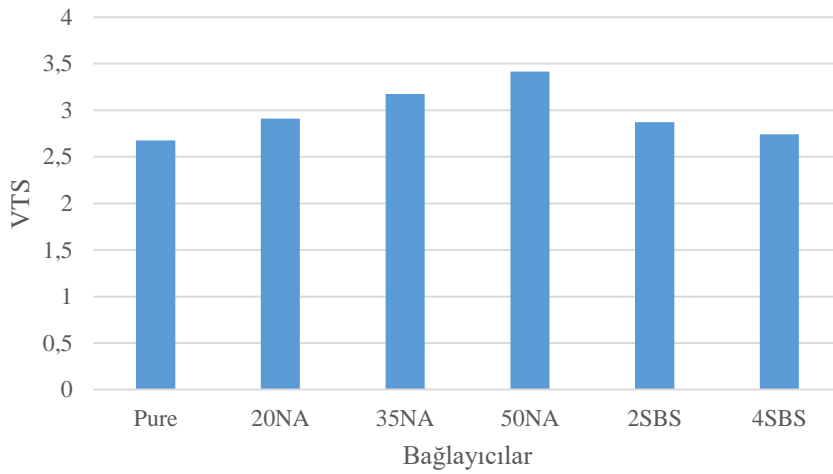
**Şekil 7.** Bağlayıcıların PI değerleri.

Bir bağlayıcının yüksek sıcaklık duyarlılığı, sıcaklık değişimi ile birlikte hızlı bir viskozite değişimi anlamına gelir. Viskozite-Sıcaklık Duyarlılığını (VTS) hesaplamak için Formül 2 kullanılmaktadır [11].

$$VTS = \frac{\log \log (V1) - \log \log (V2)}{\log (T2) - \log (T1)} \quad (2)$$

Formülde, T1 ve T2 bilinen noktalardaki bağlayıcı sıcaklıkları (Kelvin) iken V1 ve V2 bilinen noktalardaki ilgili bağlayıcı viskoziteleridir (cP).

Şekil 8'de bağlayıcıların VTS değerleri verilmiştir. Buradaki değerler 135°C ve 165°C'deki viskozite değerlerine göre hesaplanmıştır. VTS değerleri ile sıcaklık hassasiyeti arasında doğru orantı mevcuttur. Her bir katkı içeriğinin artışı VTS değerlerini artırmakta ve daha yüksek bir sıcaklık hassasiyetine neden olmaktadır. VTS değerleri dikkate alındığında modifiye bağlayıcılar içinde sıcaklık hassasiyeti en iyi olan 4SBS iken sıcaklık hassasiyeti en kötü olan 50NA bağlayıcısı olmuştur. Saf bağlayıcıya %50 NA eklenmesi VTS değerini %27 artırmıştır. 20NA ve 2SBS bağlayıcıları benzer VTS değerleri vermiştir.



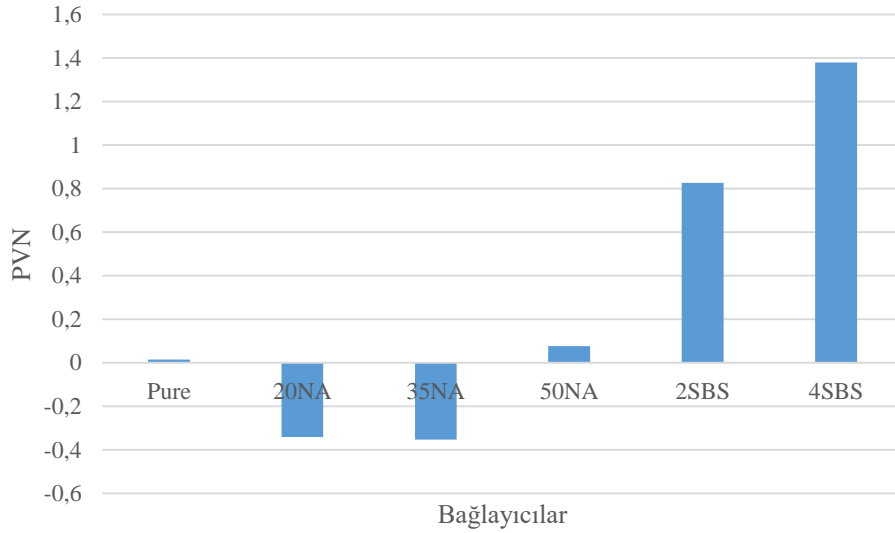
**Şekil 8.** Bağlayıcıların VTS değerleri.

Penetrasyon-Viskozite Sayısı (PVN), asfalt bağlayıcı ile düşük sıcaklık çatlama performansı arasında ampirik bir ilişkidir. PVN yöntemi, bir asfalt bağlayıcısının sıcaklık duyarlılığını ölçmek ve düşük sıcaklıkta çatlama önleme yeteneğini tahmin etmek için kullanılır. Daha düşük PVN değerleri daha yüksek sıcaklık duyarlılığını gösterir ve daha düşük sıcaklık duyarlılığına sahip bağlayıcılar içeren asfalt karışımları çatlama karşı daha dayanıklıdır [7]. Asfalt bağlayıcısının PVN değeri aşağıdaki Formül 3 kullanılarak hesaplanabilir [12].

$$PVN = -1.5 \frac{4.258 - 0.7967 \log P25 - \log V}{0.795 - 0.1858 \log P25} \quad (3)$$

Formülde, P25 değeri bağlayıcının 25°C'deki penetrasyonunu, V değeri bağlayıcının 135°C'deki viskozitesini (cP) temsil eder.

Şekil 9'da bağlayıcıların PVN değerleri verilmiştir. PVN değerlerinin yüksek olması PI değerlerinde olduğu gibi düşük sıcaklık hassasiyetine işaret etmektedir. Bu bağlamda 4% SBS modifiyeli bağlayıcı sıcaklık hassasiyeti en düşük bağlayıcı olarak görülmektedir. 20NA ve 35NA bağlayıcıları saf bağlayıcıdan daha kötü sıcaklık hassasiyeti göstermiştir. Yüksek oranda (%50) NA kullanımı PVN eğilimini tersine çevirmiştir. 50NA bağlayıcısı saf bağlayıcının 0.01 olan PVN değerini 0.07'ye çıkarmıştır.

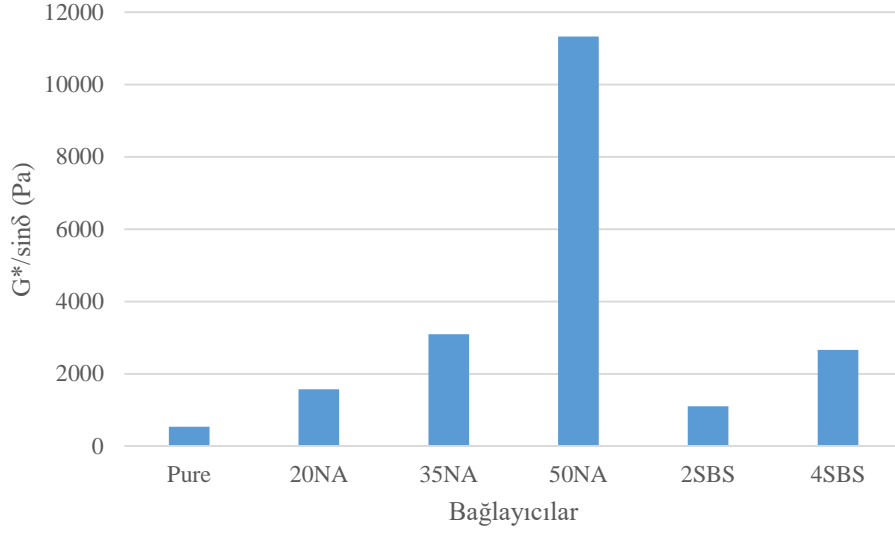


Şekil 9. Bağlayıcıların PVN değerleri.

### 3.5. Dinamik kayma reometresi deneyi ve sonuçları

Deney AASHTO T315 standardına uygun olarak yapılmıştır. Saf ve modifiye bağlayıcılara 64°C'de 1.59 Hz kesme hızında DSR deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Katkı kullanımı saf bağlayıcının tekerlek izi parametresini ( $G^*/\sin\delta$ ) artırmıştır. 4SBS bağlayıcısı saf bağlayıcıdan 4.9 kat daha fazla tekerlek izi parametresi vermiştir. NA modifiyeli bağlayıcılarda katkı içeriğinin artması ile tekerlek izi parametresi önemli derecede artmaktadır. VTS değeri en düşük olan 50NA bağlayıcısının tekerlek izi parametresi 4SBS bağlayıcısının tekerlek izi parametresinin 4.3 katı çıkmıştır. Sıcaklık hassasiyeti bakımından iyi bir performans sergileyemeyen NA katkılı bağlayıcılar, kalıcı deformasyon direnci bakımından önemli bir iyileşme sağlamaktadır. Sıcaklık farklılıklarının fazla olmadığı bölgelerde NA modifiyeli bağlayıcılarla üretilen kaplamaların ağır trafik koşullarına iyi bir şekilde direnç gösterebileceği tespit edilmiştir.





Şekil 10. Bağlayıcıların tekerlek izi parametreleri.

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Irak'ın Zaho bölgesinden çıkarılan doğal asfalt (NA) ile modifiye edilen bitümünün özellikleri araştırılmıştır. NA modifiyeli bağlayıcıların özellikleri, SBS modifiyeli bağlayıcılar ile karşılaştırılmıştır.

Saf bitüme NA ilavesi penetrasyon değerlerinde önemli bir düşüşe neden olmuştur. SBS modifikasyonunun, NA modifikasyonundaki kadar sertleştirici etkisi yoktur. Doğal asfalt modifikasyonunun yumuşama noktası üzerinde büyük etkisi vardır. %20, %35 ve %50 NA modifikasyonu, saf bağlayıcının yumuşama noktasını sırasıyla %15, %28 ve %66 artırmıştır. %50 NA modifiyeli bağlayıcı, %4 SBS modifikasyonundan 15.3°C daha yüksek yumuşama noktası vermiştir. Saf bitümün viskozitesi, NA içeriğinin artmasıyla birlikte önemli ölçüde artmıştır. %2 SBS ve %4 SBS'nin 135°C'deki viskozite değerleri, %30 NA ve %43 NA ile elde edilebilmektedir. PI, PVN ve VTS değerlerinin her üçüne göre de %4 SBS modifiyeli bağlayıcı sıcaklık duyarlılığı en düşük bağlayıcı olmuştur. Bunun yanı sıra doğal asfaltın kullanımı sıcaklık hassasiyeti bakımından kabul edilebilir sınırlar içinde kalınmasını temin etse de SBS modifikasyonu kadar başarılı olamamış hatta PI ve PVN değerlerine göre %20 ve %35 NA kullanımı saf bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini kötüleştirmiştir. VTS değerleri dikkate alındığında modifiye bağlayıcılar içinde sıcaklık hassasiyeti en iyi olan 4SBS iken sıcaklık hassasiyeti en kötü olan 50NA bağlayıcısı olmuştur. 20NA ve 2SBS bağlayıcıları benzer VTS değerleri vermiştir. DSR deney sonuçlarına göre %4 SBS modifiyeli bağlayıcı saf bağlayıcıdan 4.9 kat daha fazla tekerlek izi parametresi vermiştir. NA modifiyeli bağlayıcılarda katkı içeriğinin artmasıyla tekerlek izi parametresi önemli derecede artmaktadır. %50 NA modifiyeli bağlayıcının tekerlek izi parametresi %4 SBS modifiyeli bağlayıcının tekerlek izi parametresinin 4.3 katı çıkmıştır.

Sıcaklık hassasiyeti bakımından kabul edilebilir sınırlar içinde kalan ancak SBS modifikasyonuna göre iyi bir performans sergileyemeyen NA katkılı bağlayıcılar, kalıcı deformasyon direnci bakımından önemli bir iyileşme sağlamaktadır. Sıcaklık farklılıklarının fazla olmadığı bölgelerde NA modifiyeli bağlayıcılarla üretilen kaplamaların ağır trafik koşullarına iyi bir şekilde direnç gösterebileceği ve ayrıca önemli ekonomik kazanç sağlayacağı tespit edilmiştir.

#### Teşekkür

Yazarlar, MF.19.17 numaralı Performans Projesine verdikleri destek için Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder. B. V. K., fikir sahibi, Y.E. deneyleri gerçekleştirdi B. V. K. ve M.Y. sonuçları yorumladı, Y.E., makaleyi yazdı.

### Kaynaklar

- [1] Meyer RF, Witt W. Definition and world resources of natural bitumens. U.S. Geological Survey Bulletin 1990; 1-14.
- [2] Shi X, Cai L, Xu W, Fan J, Wang X. Effects of nano-silica and rock asphalt on rheological properties of modified bitumen. Constr Build Mater 2018; 161: 705-714.
- [3] He R, Zheng S, Chen H, Kuang D. Investigation of the physical and rheological properties of Trinidad lake asphalt modified bitumen. Constr Build Mater 2019; 203: 734-739.
- [4] Huang W, Xu G. Anti-rutting performance analysis of asphalt mixture with different natural asphalt. Blucher Mechanical Engineering Proceedings 2012; 1(1): 4755-4759.
- [5] Aflaki S, Tabatabaee N. Proposals for modification of Iranian bitumen to meet the climatic requirements of Iran. Constr Build Mater 2009; 23: 2141-2150.
- [6] Ameri M, Mansourian A, Ashani SS, Yadollahi G. Technical study on the Iranian Gilsonite as an additive for modification of asphalt binders used in pavement construction. Constr Build Mater 2010; 25: 1379-1387.
- [7] Erdoğan Yamaç Ö, Yılmaz M, Kök B.V. Effects of the combined use of styrene-butadiene-styrene and gilsonite in bitumen modification on the stiffness and thermal sensitivity of bitumens. Turkish Journal of Science and Technology 2018; 13(1): 77-85.
- [8] Kök BV, Yılmaz M, Guler M. Evaluation of high temperature performance of SBS+ Gilsonite modified binder. Fuel 2011; 90(10): 3093-3099.
- [9] Erkuş Y, Kök B.V, Yılmaz M. Effects of graphite on rheological and conventional properties of bituminous binders. International Journal of Pavement Research and Technology 2017; 10(4): 315-321.
- [10] Saoula S, Soudani K, Haddadi S, Munoz ME, Santamaria A. Analysis of the rheological behavior of aging bitumen and predicting the risk of permanent deformation of asphalt. Materials Sciences and Applications 2013; 4: 312-318.
- [11] Rasmussen RO, Lytton RL, Chang GK. Method to predict temperature susceptibility of an asphalt binder. Journal of Materials in Civil Engineering 2002; 14(3): 246-252.
- [12] McLeod NW. Asphalt cements: pen-vis number and its application to moduli of stiffness. J Test Eval 1976; 4(4): 275-282.