

Reaktif Terpolimerin Bitümün Kıvamına ve Sıcaklık Duyarlılığına Etkisi

Tacettin GEÇKİL¹, Maksut SELOĞLU^{2*}

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Elazığ OSB Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Elazığ, Türkiye

¹ tacettin.geckil@inonu.edu.tr, ² mseloglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 12/12/2018;

Kabul/Accepted: 15/02/2019)

Özet: Bu çalışmada, bitüm modifikasyonunda bir katkı maddesi olarak kullanılan Reaktif Terpolimerin (Elvaloy RET) bitümlü bağlayıcıların kıvamı ve termal özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, saf B 100/150 penetrasyon sınıfı bitümlü bağlayıcısına %0,5, %0,75 ve %1 Elvaloy RET ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcıların özellikleri; penetrasyon, yumuşama noktası, kütle kaybı ve dönel viskozimetre deneyleriyle belirlenmiştir. Ayrıca, bitümlü bağlayıcıların termal duyarlılıkları, penetrasyon endeksi ve penetrasyon viskozite sayı değerleri hesaplanarak tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre Elvaloy RET katkılı bağlayıcılarda, katkısız bağlayıcılara göre penetrasyon değerlerinde azalma, yumuşama noktası ve viskozite değerlerinde ise önemli oranda artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak, yumuşak kıvamlı ve sıcaklık duyarlılığı yüksek olan bağlayıcıların Elvaloy RET ilavesiyle daha sert bir kıvama geldiği, bağlayıcı sınıfının değiştiği ve sıcaklık duyarlılığının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitüm, Modifikasyon, Elvaloy RET, Kıvam, Sıcaklık Duyarlılığı.

The Effect of Reactive Terpolymer on The Stiffness and Temperature Susceptibility of Bitumen

Abstract: In this study, the effect of Reactive Terpolymer (Elvaloy RET), which is used as an additive in bitumen modification, on the consistency and thermal properties of bituminous binders was investigated. For this purpose, modified binders were obtained by adding 0,5%, 0,75% and 1% Elvaloy RET to the pure B 100/150 penetration grading binder. The features of pure and modified binders were analyzed by penetration, softening point, mass loss and rotational viscometer tests. In addition, the thermal sensitivities of the bituminous binders were determined by calculating the penetration index and penetration viscosity number values. According to the test results penetration values were decreased in Elvaloy RET additive binders compared to pure binders, while significant increase were observed in softening point and viscosity values. As a result, it was determined that binders with soft consistency and high temperature sensitivity had a harder consistency with the addition of Elvaloy RET, binder class changed and the temperature sensitivity decreased significantly.

Key words: Bitumen, Modification, Elvaloy RET, Consistency, Temperature Susceptibility.

1. Giriş

Bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamaların performansı üzerinde önemli bir rolü olan bitümlü bağlayıcılar sıcak karışımdaki en önemli malzemedir. Karışımın ağırlıkça %5-7'sini, hacimce %13-15'ini oluşturan bağlayıcı, agrega danelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmasını önler, oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlar, kohezyonu ile karışımın stabilitesini artırır ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlar [1,2].

BSK kaplamaların ana malzemesi olan bitümlü bağlayıcı, mühendislik davranışı bakımından visko-elastik davranış gösteren termo-plastik bir malzemedir [2,3]. Bu tür malzemeler yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) elastik, düşük yükleme hızlarında (yavaş ya da duran taşıtlar) viskoz, orta yükleme hızlarında orta elastik ve viskoz davranış gösterir. Benzer şekilde, düşük sıcaklıklarda elastik davranış ve yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıklarda ise viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Asfaltın bu reolojik özelliği asfalt karışımların da visko-elastik özellik göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle yükleme süresi ve sıcaklık, asfaltın ve bitümlü sıcak karışımın rijitliğine doğrudan etki etmektedir [4, 5, 6].

İlk inşa edildiklerinde yüksek bir performansla hizmet veren BSK'da trafik, iklim ve çevre şartları altında zamanla kalıcı deformasyonlar, yorulma çatlakları, düşük sıcaklık çatlakları ve su etkisiyle soyulma gibi birçok bozulma meydana gelmektedir [7,8]. Kaplama performansını olumsuz yönde etkileyen bu bozulmalara karşı, bitümlü bağlayıcıya veya karışıma çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitüm veya karışımlar elde edilmektedir [9,10]. Modifikasyon ile genel manada, yol kaplamalarının yüksek hava sıcaklıklarında yeterli

* Sorumlu yazar: maksutseloglu@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-8070-6836, ²0000-0002-0200-8423

rijitliğe sahip olarak kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük hava sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamalara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır [11].

Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilmeleri ile genel anlamda, yol kaplamalarının yüksek hava sıcaklıklarında yeterli rijitliğe sahip olarak kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük hava sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamalara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır. Ayrıca kaplamanın, yüksek trafik yükleri altında yorulma nedeniyle oluşan çatlamlar ile su etkisiyle meydana gelen soyulmalara karşı dirençli olması ve kaplama yüzeyinde istenen düzeyde kayma direncinin elde edilerek sürüş emniyetinin artırılması da amaçlanmaktadır.

Bitüm modifikasyonunda polimer gurubu malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır [12,13]. Yapılan birçok çalışmada polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), Stiren-Butadien-Stiren (SBS), styrene-butadiene-rubber (SBR), polistiren (PS) ve etilen vinil asetat (EVA) gibi malzemeler çok kullanılmıştır. Bu katkıların bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini iyileştirerek düşük, orta ve yüksek sıcaklıklarda kaplamanın performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir [14, 15, 16].

Bu çalışmada Reaktif Terpolimerler, yapısı itibarıyla bağlayıcının sıcaklık hassasiyetine, kıvamına ve dolayısıyla tekerlek izi direncine etkisi araştırılmıştır.

Dupont ve Chevron'un 1990'lı yıllarda üretmeye başladıkları terpolimerler (Elvaloy RET), geliştirilerek binder tabakasında bitüm modifikasyonunda kullanılmaya başlanmıştır. Elvaloy RET, küçük bir miktar bitümde modifiye katkı olarak kullanıldığı zaman elastomerik özelliklerini geliştirdiği bu çalışmada görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda ve de ısıtılınca viskoelastik kıvamda olan ve yumuşak halde bulunan bu polimer düşük sıcaklıklarda katı hale geçmektedir [17].

Katz çalışmasında, birçok elastomerin ve plastomerin aksine bitüme az bir oranda Elvaloy Terpolimerinin ilavesiyle hazırlanan modifiye karışımların 1991'den beri uzun dönem durabilitede mükemmel sonuçlar gösterdiğini ve yüksek trafik yükleri altında zor deforme olduğunu, tekerlek izi oluşumunu önemli ölçüde azalttığını ve sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı olduğunu ifade etmiştir [18].

Önceki bazı çalışmalarda, bitümün sıcaklığa karşı hassasiyetini azaltmak ve üst yapının hizmet ömrünü artırmak amacıyla Elvaloy RET ve Elvaloy AC bitüme ilave edilerek modifiye bitümler hazırlanmıştır. Bu çalışmaların sonuçlarına göre saf bitümlü bağlayıcıya kıyasla modifiye bağlayıcıların penetrasyon değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin arttığı, duktilite değerlerinin de azaldığı görülmüştür [19].

Güngör ve arkadaşları polimer modifiye bitümlerin bitümün kıvamına ve sıcaklık duyarlılığına etkisinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmasında; Kırıkkale rafinerisine ait bitümlerde SBS katkılı modifiye bitümlerin düşük sıcaklık performansının genellikle bir sınıf azaldığını, Elvaloy RET katkılı bitümlerde ise çok az bir azalma olduğu ve çoğunlukla ana bitüm sınıfıyla aynı performans sınıfı içerisinde kaldığı sonucuna varmıştır. Batman rafineri bitümünden SBS ve Elvaloy RET katkı malzemesi ile üretilen modifiye bitümlerin performans sınıfının en az bir, çoğunlukla ise iki sınıf azaldığı yani düşük sıcaklık performansının kötüleştiğini tespit etmiştir [20].

Lavin, bitüm modifikasyonunda %1-2 oranda Elvaloy RET kullanarak test bölgesi Gürcistan Ulaştırma Departmanında (GDOT) kaplamanın binder tabakasında uygulama yapmış ve Elvaloy RET kullanımıyla Superpave karışım dizaynıyla hazırladığı modifiye karışımlarda performans sınıfı yüksek sıcaklık değerinde bir sınıf artma sağladığını tespit etmiştir. Böylelikle daha yüksek sıcaklığa sahip olan bölgelerde Elvaloy RET kimyasal reaktörünün bitüm modifikasyonunda kullanım alanı artmıştır [21].

Bu çalışmada Elvaloy RET'in bitüm kıvamına ve sıcaklık hassasiyetine etkisini belirlemek amacıyla, saf ve modifiye bitümler sırasıyla penetrasyon, yumuşama noktası ve dönel viskozimetre deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışmada ayrıca bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin ölçüsü olan penetrasyon endeksi (PI) ve penetrasyon viskozite sayı değerleri (PVN) penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri kullanılarak hesaplanmış ve bütün sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak Batman Tüpraş rafinerisinden temin edilen B 100/150 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Bağlayıcının fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Katkı maddesi olarak, Dupont firması tarafından temin edilen bir polimer türü olan reaktif terpolimer (Elvaloy RET) kullanılmıştır. Elvaloy RET'in genel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmada, modifiye bağlayıcı elde etmek amacıyla yumuşak kıvamlı saf B 100/150 bağlayıcısına ağırlıkça (%0,5, %0,75 ve %1,0) oranlarda Elvaloy RET ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Bu bağlayıcılar sırasıyla B100/150 SAF, B100/150+%0,5ELV, B100/150+%0,75ELV ve B100/150+%1,0ELV ile kodlanarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Bağlayıcının fiziksel özellikleri

| Özellikler | Deney Standardı | B 100/150 | |
|--|-----------------|-----------|-----------------|
| | | Sonuç | Şartname Sınırı |
| Özgül Ağırlık (gr/cm ³), 25 °C | TS 1087 | 1,032 | 1,0-1,1 |
| Düktilite (cm), 25 °C | TS 119 | >100 | min. 100 |
| Penetrasyon (0,1 mm), 100gr, 5 sn, 25 °C | EN 1426 | 146,8 | 100-150 |
| Yumuşama Noktası (°C) | EN 1427 | 45,45 | 39-47 |
| Penetrasyon İndeksi (PI) | - | 0,714 | - |
| Parlama Noktası (°C) | EN 22719 | 312 | min. 230 |

Homojen bir bağlayıcı-Elvaloy RET karışımı elde etmek amacıyla, 185°C'ye gelene kadar ısıtılan ve karıştırıcıda bekletilen saf bitüme belirlenen oranlarda Elvaloy RET ilave edilerek hazırlanan modifiye karışımlara katalizör olarak %0,25 oranda süper fosforik asit enjekte edilerek Şekil 1'de verilen bir karıştırıcı ile 500 devir/dakika hızda 2 saat karıştırılmıştır.

Tablo 2. Elvaloy RET polimerinin genel özellikleri

| Özellikler | Deney standardı | Sonuçlar |
|--|-----------------|---------------|
| Moleküler yapısı | | Doğrusal |
| Özgül ağırlık | ASTM D-792 | 0,94 |
| Fiziksel hali | | Toz tanecikli |
| Hacim özgül ağırlık (g/cm ³) | | 0,557 |
| Akış katsayısı (g/10min) | ASTM D-1238 | 8 |
| Erime noktası (°C) | ASTM D-3418 | 72 |

Bu süreçte bağlayıcı ile Elvaloy RET arasında kimyasal reaksiyon gerçekleşmiştir. Çalışmada %1,25 ve daha yüksek oranda katkı, karışım yüzeyinde topaklanma oluşturduğu ve homojen bir dağılım sergilemediği için kullanılmamıştır. Ayrıca jel oluşumu riski nedeni ile karışımın performansını olumsuz etkileyeceği de bazı çalışmalarda belirtilmiştir [22]. Bu nedenle çalışmada %1'den fazla katkı bitüme ilave edilmemiştir. Elde edilen modifiye bağlayıcıların özellikleri incelenerek, saf B100/150 bağlayıcısı ile kıyaslanmış ve Elvaloy RET'in bitümlü bağlayıcı özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

**Şekil 1.** Modifiye bitüm karıştırıcısı

2.1. Penetrasyon Deneyi

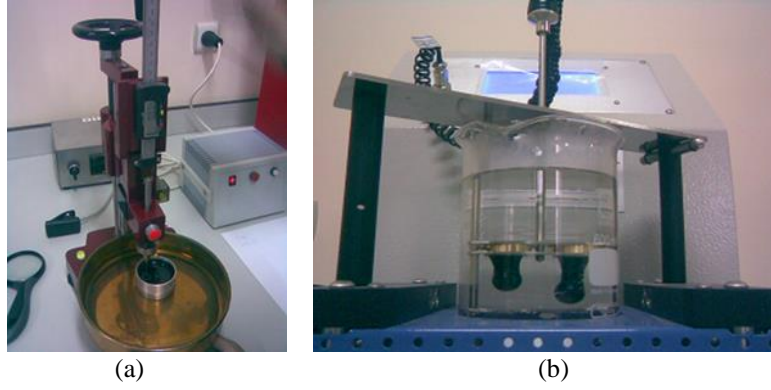
Penetrasyon deneyi, EN 1426 standardına göre bitümlü bağlayıcıların sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Standart penetrasyon, 100 gr ağırlığındaki bir iğnenin 25°C sıcaklıkta ve 5 saniye süreyle bitüm içerisinde kat ettiği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyon birimi 10⁻¹ mm'dir. Bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değeri kıvamla ters orantılıdır. Penetrasyon deney aleti Şekil 2.a'da gösterilmiştir.

Deneye tabi tutulacak bitümlü bağlayıcı numunesi TS EN 58'e göre alınır ve ısıtılarak numune kabına aktarılır. Numuneler 5-30°C ortam sıcaklığı olan bir yerde 60-90 dakika soğumaya bırakılır. Sonra numune

kapları aktarma kabının içine konularak sabit sıcaklıktaki su banyosuna yerleştirilir ve 1-1,5 saat bekletilir. İçinde numune kabı bulunan aktarma kabı Penetrasyon cihazının tablası üzerine konur. Numune üzerinde kabın kenarına ve birbirine 1 cm'den daha yakın olmayan noktalardan en az 3 okuma yapılır. Okumaların aritmetik ortalaması tamsayıya yuvarlanarak penetrasyon değeri olarak alınır.

2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

Yumuşama noktası deneyi bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıklara karşı direncini ölçmek amacıyla yapılmaktadır. Yumuşama noktası, TS EN 1427 standardına göre üzerine bir bilye yerleştirilmiş olan bitümlü bağlayıcının belirli bir hızda ısıtılması sonucunda sıcaklığın artması ile yumuşamış bağlayıcının tabana temas ettiği andaki sıcaklıktır. Yumuşama noktası deney aleti Şekil 2.b'de gösterilmiştir.

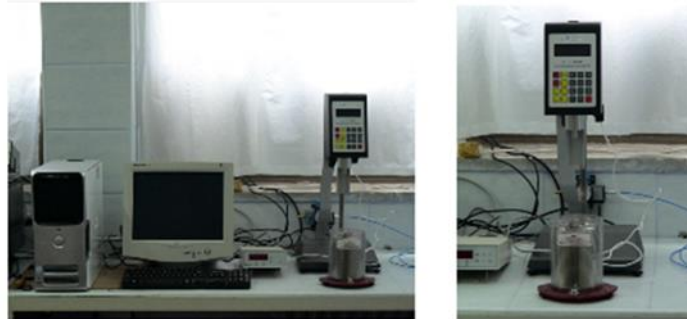


Şekil 2. Penetrasyon deney aleti (a)-yumuşama noktası deney aleti (b)

Yumuşama noktası cam kabına 5°C'lik saf su konur. İçinde numune bulunan halka suyun içine sarkıtılır. Daha sonra bilye ve termometre su dolu beher içine konur. Ardından bilye halka üzerine numunenin ortasına yerleştirilir. Su sıcaklığı dakikada 5°C artacak şekilde beher ısıtılmaya başlanır. Halka içindeki bitümlü maddenin cam kabın dibine temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık yumuşama noktası değeridir. Yumuşama noktası tayini iki numune ile yapılır ve iki değer aritmetik ortalaması alınır.

2.3. Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi

Dönel viskozimetre deneyi, asfaltın sıcak karışım tesisinde ne derece işlenebilirliğe ve pompalanabilirliğe sahip olduğunun tespiti için yüksek sıcaklıklardaki akıcılığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bazı asfalt birimleri bu ölçüme "Brookfield viskozitesi" demektedir (Şekil 3). Deney, ASTM D4402 standardına göre yapılmaktadır. RV değeri, asfalt numunesi içinde 20 devir/dakika hızla döndürülen silindirik bir milin sabit bir sıcaklıkta kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenmektedir [23].



Şekil 3. Brookfield viskozimetresi

Deneye tabi tutulacak asfalt numune etüvde 150°C'nin altındaki bir sıcaklıkta ısıtılarak, deney kabının içerisine 8-11gr arasında dökülür. Kap, önceden ısıtılmış sıcaklık kontrollü bir taşıyıcıya yerleştirilir. Deney parametreleri sisteme girildikten sonra, silindirik mil cihaza takılarak kaptaki asfalt içerisine daldırılır. Milin dönme hızı 20rpm olarak ayarlanır ve cihaz çalıştırılır. Hedef sıcaklıktaki viskozite okumaları sabitleşmeye başladığı anda deney sonuçları kaydedilir. Bağlayıcının 135°C sıcaklıkta ölçülen dönel viskozite değerinin 3000cP'i aşmaması istenmektedir [24].

Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenebilmesi için RV deneyinin 135°C ve 165°C sıcaklıkta yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bu iki sıcaklıkta belirlenen viskozite değerleri, viskozite-sıcaklık grafiğinde işaretlenerek karıştırma ve sıkıştırma için tavsiye edilen viskozite değerlerini sağlayacak sıcaklık aralıkları belirlenmektedir. Karıştırma için 170±20cP, sıkıştırma için 280±30cP viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerlerinin kullanılması tavsiye edilmiştir [25].

2.4. Dönel İnce Film Etüvü Deneyi (RTFOT)

Asfaltın karıştırma ve yapım sırasındaki kısa süreli yaşlanmasını tespit etmek için uygulanan deney, AASHTO T240 veya ASTM D2872 standartlarına göre yapılmaktadır. Deneyde, asfaltın bünyesinde sıcaklık ve havanın etkisiyle oluşan uçucu madde kaybının tespit edilmesi amaçlanmaktadır [2]. Şekil 4'te gösterilen deney aleti, 163°C'lik ısıya sahip bir etüv, etüvün içerisine silindir cam şişeleri yerleştirmek için monte edilmiş dönen tablası bulunan bir taşıyıcı ve şişelere hava püskürtmeye yarayan bir hava üfleyici parçaya sahiptir.



Şekil 4. Dönel ince film etüvü (RTFOT) aleti

Deneyde kullanılacak 8 adet şişenin her birinin içine 35±0,5 gram asfalt numunesi doldurularak dönen tabla üzerine yerleştirilir ve tabla dakikada 15 devir yapacak şekilde 75 dakika süreyle 163 °C'lik deney sıcaklığında döndürülür. Dönme esnasında şişelere akışı 4000±200 ml/dakika olacak şekilde hava püskürtülür. Sıcaklık, dönme hareketi ve hava üfleme etkisiyle asfalt bağlayıcının yaşlanması sağlanmaktadır. Deneyden sonra, bağlayıcıda oluşan kütle kaybı Formül 1 ile hesaplanır [23].

$$\text{Kütle Kaybı, \%} = \frac{(\text{İlk kütle} - \text{Son kütle})}{\text{İlk kütle}} \times 100 \quad (1)$$

Kütle kaybı; asfalt bağlayıcı içerisindeki uçucu maddelerin kaybindan ibaret olup asfaltın taşıma, depolama, ısıtılma ve kaplamanın inşası esnasındaki sertleşmesinin bir göstergesidir. Bağlayıcı kütle kaybının en fazla %1,0 olması istenir [2].

2.5. Bitümlü Bağlayıcıların Sıcaklık Hassasiyeti

2.5.1. Penetrasyon İndeksi (PI) Yöntemi

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını tespit etmek amacıyla genellikle Penetrasyon İndeksi (PI) değeri kullanılmaktadır. PI, standart penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları kullanılarak Formül 2 ve 3 ile belirlenmektedir.

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25} \quad (2)$$

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (3)$$

Formüldeki P_{25} , bitümün 25°C sıcaklıktaki penetrasyon değerini, T_{YN} ise yumuşama noktası değerini göstermektedir. Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları arttıkça PI değerleri azalmaktadır. Penetrasyon İndeksi değerinin -2'den küçük olması bitümün ısıya çok duyarlı olduğunu, +2'den büyük olması ise ısıya karşı az duyarlı olduğunu göstermektedir [26]. Daha yüksek PI'ye sahip bitüm içeren asfalt karışımları, düşük sıcaklıktaki çatlamaya ve kalıcı deformasyona karşı daha dirençlidir [27].

2.5.2. Penetrasyon Viskozite Sayısı (PVN) Yöntemi

Sıcaklık duyarlılığının bir ölçüsü olarak PI yerine penetrasyon viskozite sayısı (PVN) terimi de kullanılmıştır. Bitümün sıcaklığa duyarlılığı penetrasyon ve viskozite değerlerine dayandırılarak belirlenmiştir. PVN ve PI değerleri, değerlendirme şekli nedeniyle çoğu bitüm türü için sayısal olarak özdeş olmalıdır [28]. PVN'yi hesaplamak için Formül 4 kullanılmaktadır [29,30];

$$PV = -1.5 \times \left[\frac{4.258 - 0.7967 \times \log(Pen_{25}) - \log(V)}{0.7951 - 0.1858 \times \log(Pen_{25})} \right] \quad (4)$$

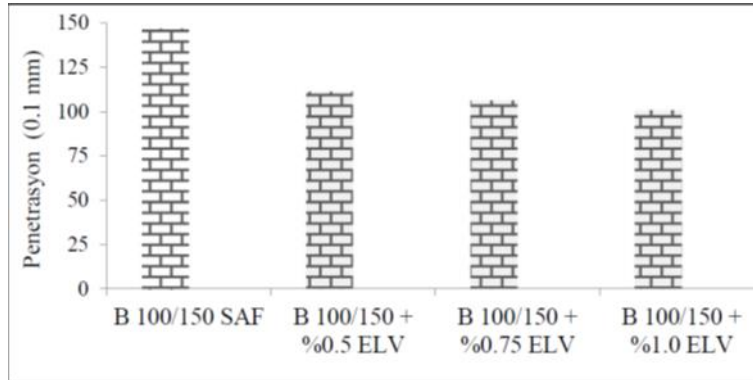
Burada, Pen_{25} 25°C'de penetrasyon ve V, modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş bitümler için 135°C'de kinematik viskozitedir.

Normal olarak bitümlerin PVN değerleri +0,5 ile -2,0 arasında olur ve +1 ve -1 arası iyi kabul edilir. PI'ye benzer şekilde, düşük PVN değerleri, bitümlerin sıcaklık duyarlılığının yüksek olduğunu gösterir [30].

3. Deneysel Sonuçları

3.1. Penetrasyon Deneysel Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanan penetrasyon deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.

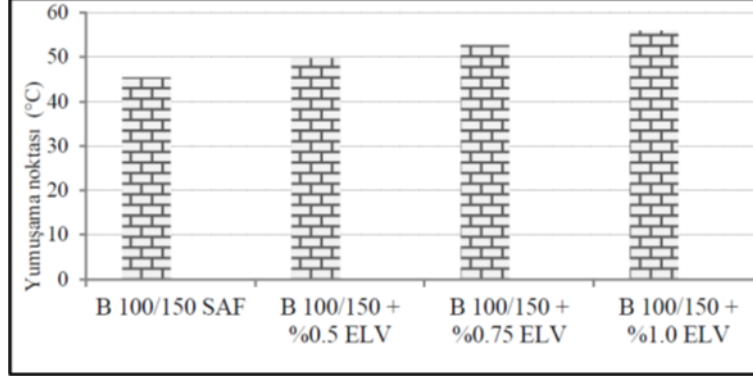


Şekil 5. Bağlayıcıların penetrasyon değişimi

Şekil 5'te görüldüğü üzere saf B100/150 bağlayıcısına Elvaloy RET ilave edilmesi ile penetrasyon değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalma saf bağlayıcıya göre sırasıyla %24,3, %27,7 ve %31,3 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum Elvaloy RET ilavesiyle bağlayıcıların daha sert kıvama geldiğini, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin düştüğünü ve bağlayıcı penetrasyon sınıfının değiştiğini göstermektedir. Ayrıca daha soğuk iklimlerde kullanılan yumuşak kıvamlı bağlayıcıların farklı Elvaloy RET ilavesi ile sıcak bölgelerde daha uzun kullanım ömrüne sahip olabileceğini ifade etmek mümkündür.

3.2. Yumuşama Noktası Deneyi Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanan yumuşama noktası deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.

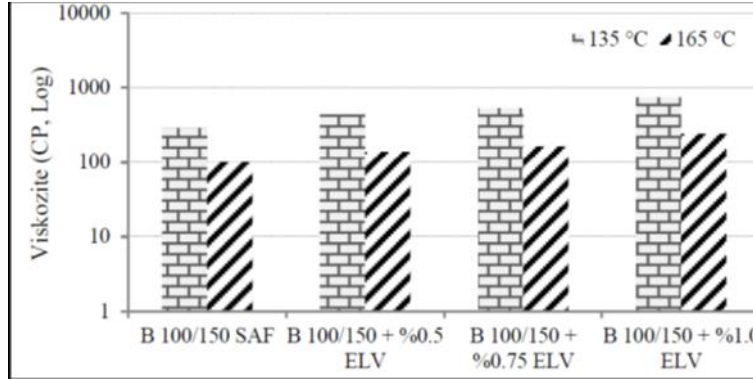


Şekil 6. Bağlayıcıların yumuşama noktası değişimi

Şekil 6'da saf bağlayıcıya Elvaloy RET ilave edilmesi ile bağlayıcının yumuşama noktası değerlerinde önemli artışlar olduğu görülmektedir. Bu artış miktarlarının da saf bitüme göre sırasıyla %9,6, %15,9 ve %23,1 seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların yüksek sıcaklık direncinin önemli oranda arttığını ve daha sıcak bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

3.3. Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi Sonuçları

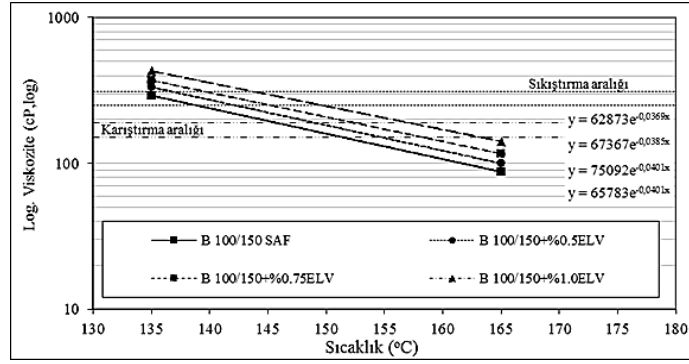
Saf ve modifiye bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için, bağlayıcılar 140°C ısıtılarak viskozimetre kabına yaklaşık 11 gr. dökülmüştür. Kap cihaza yerleştirildikten ve No:27 silindirik mili takıldıktan sonra deney, dönme hızı 20 devir/dakika hızla yapılmıştır. Bağlayıcıların 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki ortalama viskozite değerleri arasındaki ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir.



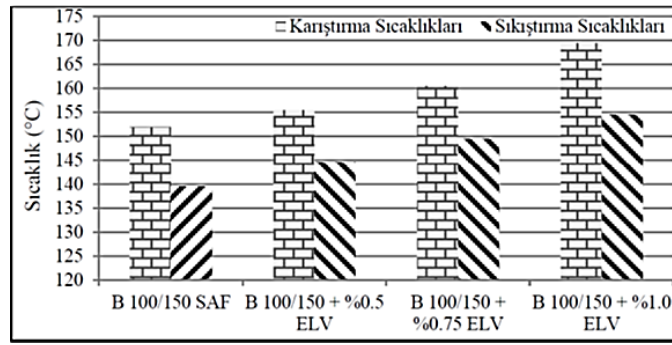
Şekil 7. Bağlayıcıların viskozite değişimi

Deney sonucuna göre B 100/150 bağlayıcısının 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki viskozite değerleri sırasıyla 287,5 ve 100 cP olarak bulunmuştur. Bu bağlayıcıya Elvaloy RET ilavesi ile viskozite değerlerinde hem 135°C sıcaklıkta hem de 165°C sıcaklıkta katkı oranı arttıkça viskozite değerleri buna paralel olarak artış göstermiştir.

Çalışmada, bağlayıcıların 135°C ve 165°C'deki viskozitelerinden yararlanılarak karışım için gerekli olan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için viskozite-sıcaklık grafiği çizilerek Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu grafik yardımıyla bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları bulunarak arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık değişimi



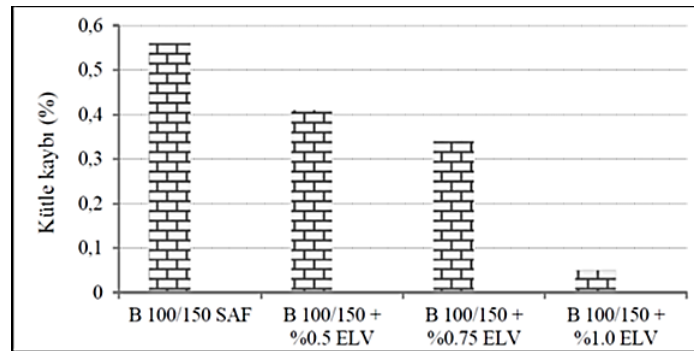
Şekil 9. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları değişimi

Deney sonucuna göre B 100/150 bağlayıcısının ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı sırasıyla 152°C ve $139,5^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir. Ancak Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların karıştırma sıcaklıklarında B 100/150 bağlayıcısına göre sırasıyla %2,3, %5,6 ve %11,5; sıkıştırma sıcaklıklarında ise yaklaşık sırasıyla %3,6, %7,2 ve %10,8 oranında bir artış meydana gelmiştir.

Bu verilere göre, bağlayıcıya Elvaloy RET ilave edilmesiyle katkı miktarına bağlı olarak, elde edilen modifiye bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin önemli ölçüde düşürdüğü ve bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiği tespit edilmiştir. Bu durumda modifiye bağlayıcıların plentte ısıtılması esnasında Elvaloy RET oranına bağlı olarak saf bağlayıcıya göre daha fazla enerjinin harcanmasına sebep olacaktır.

3.4. Dönel İnce Film Etüvü Deney Sonuçları

Deney sonucunda, bağlayıcıların kütle kayıpları tespit edilmiş ve katkı oranı değişimi ile kütle kaybı arasındaki ilişki Şekil 10'da gösterilmiştir.



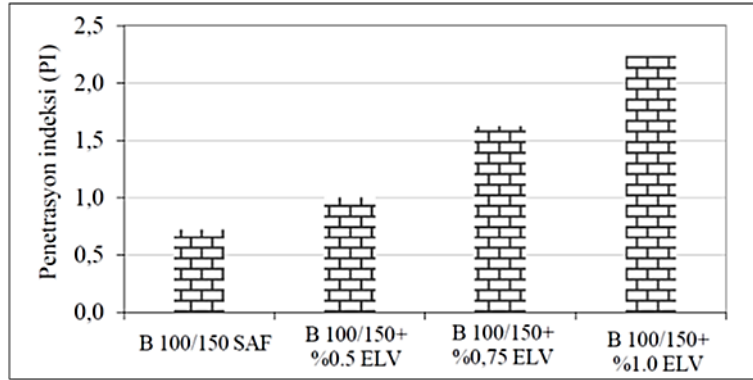
Şekil 10. Bağlayıcıların kütle kaybı değişimi

Deney sonuçlarına göre, Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların kütle kayıpları katkı oranının artmasına bağlı olarak azalış göstermiştir. Bu azalış miktarı saf bağlayıcıya göre sırasıyla %26,8, %39,3 ve %91,1 oranında olmuştur. Şekil 10’da görüldüğü üzere bağlayıcılarda Elvaloy RET’in modifiye katkı olarak kullanılması ile kaplamalarda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri olan bağlayıcı sertleşmesinin olumsuz etkilerinin ortadan kalktığı, dolayısıyla bağlayıcının elastikiyetinde bir azalma olmadığı görülmüştür.

3.5. Bitümlü Bağlayıcıların Sıcaklık Hassasiyeti

3.5.1. Penetrasyon İndeksi (PI) Yöntemi Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri Formül 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 11’de verilmiştir.

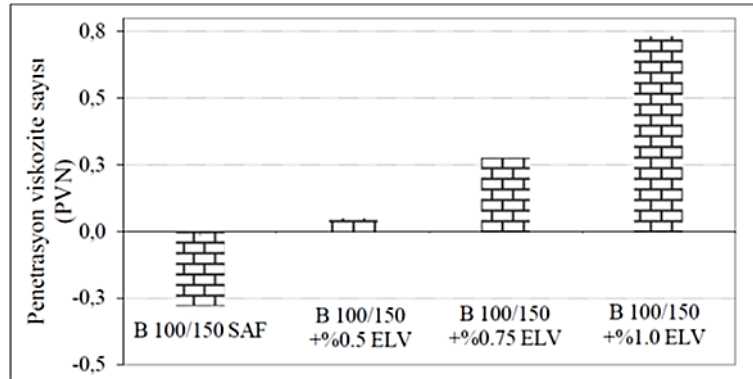


Şekil 11. Bağlayıcıların PI değişimi

Şekil 11’e göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin bir ölçüsü olan PI değerlerinde sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Saf ve modifiye bağlayıcıların PI değerleri sırasıyla 0,714, 0,995, 1,615 ve 2,228 olarak elde edilmiştir. Bu durum, Elvaloy RET kullanılmasıyla bağlayıcının daha sert kıvama geldiğini ve daha yüksek ve düşük sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca bu özellik ile kaplamalarda karşılaşılan tekerlek izi ve kuma gibi daha çok sıcaklığa bağlı bozulmaların önlenmesi mümkün olabilecektir.

3.5.2. Penetrasyon Viskozite Sayısı (PVN) Yöntemi Sonuçları

Saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri Formül 4 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Bağlayıcıların PVN değişimi

Şekil 12’de, Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların PVN değerlerinde sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Saf ve modifiye bağlayıcıların PVN değerleri sırasıyla -0,279, 0,046, 0,274 ve 0,730 olarak elde edilmiştir. Bu görünüş PI değerleri ile PVN değerlerinin tüm modifiye bağlayıcılar için paralellik gösterdiğini ifade etmektedir. PI ve PVN değerleri dikkate alındığında Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin düştüğü görülmektedir. Bu durum bağlayıcıların sıcaklığa karşı duyarlılığını azalttığını yani bu bağlayıcıların daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Elvaloy RET’in bitümlerin kıvamı ve sıcaklık hassasiyetlerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Penetrasyon deneyi sonuçlarına göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcılar daha sert bir kıvama gelmiş ve bağlayıcının penetrasyon sınıfı değişmiştir. En etkili değişim %1,0 Elvaloy RET ilavesi ile olmuştur. Penetrasyon değerindeki azalmaya bağlı olarak bağlayıcıların daha sert bir kıvama gelmesiyle sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin azalabileceği ve sıcak bölgelerde daha uzun kullanım ömrüne sahip olabileceği görülmüştür.
- Yumuşama noktası deneyine göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri düşmüş ve sıcaklığa daha dirençli bir hale gelmiştir. Dolayısıyla; Elvaloy RET oranının artması, bağlayıcının yüksek sıcaklıkta daha rijit davranış sergileyeceğini göstermiştir. Bu nedenle bağlayıcıların daha sert (katı) duruma geldikleri ve bu özellikleri ile daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilecekleri görülmüştür.
- RV sonuçlarına göre Elvaloy RET oranına bağlı olarak karışımların viskozite değerlerinde önemli artış meydana gelmiştir. Bu artışlar 135°C ve 165°C sıcaklıklar için en fazla %1,0 Elvaloy RET ilavesiyle olmuştur. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da benzer şekilde artış göstermiştir. Bu, bağlayıcıların Elvaloy RET ilavesi ile daha sert bir kıvama geldiğini ve sıcaklık hassasiyetinin azaldığını ancak yapım aşamasında daha fazla enerji gereksinimi olabileceğini göstermektedir.
- RTFOT sonuçlarına göre Elvaloy RET ilavesi ile bağlayıcıların kütle kayıpları azalmıştır. Bu durum neticesinde; kaplamalarda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri olan bağlayıcı sertleşmesinin olumsuz etkilerinin ortadan kalktığı, dolayısıyla bağlayıcının elastikiyetinde bir azalma olmadığı görülmüştür.
- PI ve PVN sonuçlarına göre Elvaloy RET ilavesi ile yüksek sıcaklık hassasiyetine sahip bağlayıcıların bu hassasiyetlerinin çok önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Bu artış; Elvaloy RET kullanılması ile bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiğini, daha yüksek ve düşük sıcaklığa sahip iklim bölgelerinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, Elvaloy RET ilavesi ile daha yumuşak kıvamlı bağlayıcıların daha sert bir kıvama geldiği, sıcaklık hassasiyetlerinin düştüğü, bağlayıcı sınıfının değişebildiği ve bu sebeple kaplamalarda meydana gelen tekerlek izi oluşumlarını önlemek veya azaltabilmek için Elvaloy RET’in bir katkı maddesi olarak kullanılması durumunda faydalı olabileceği ve iyi bir performans göstereceği söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] Lavin, P.G., 2003, Asphalt Pavements, Spon Pres, London and New York, 444p.
- [2] Tunç, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınevi, İstanbul, 840s.
- [3] McGennis, R.B., Anderson, R.M., Kennedy, T.W., Solaimanian, M., 1995, Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis, Publication No. FHWA-SA-95-003, 172p.
- [4] Uluçaylı, M., 1998, Superpave ve Fransız Bitüm Şartnameleri, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, s.118-129.
- [5] Whiteoak, D., Read, J., 2003, The Shell Bitumen Handbook, Thomas Telford Lti., London, 464p.
- [6] Abbas, A.R., 2004, Simulation of the Micromechanical Behavior of Asphalt Mixtures Using the Discrete Element Method, Doctor of Philosophy in Civil Engineering Washington State University, 180p.
- [7] Carreau, P.J., Bousmina, M., Bonniot, F., 2000, The Viscoelastic Properties of Polymer-Modified Asphalt, The Canadian Journal of Chemical Engineering, V.78, No.3, pp. 495-502.
- [8] Yousefi, A.A., Ait-Kadi, A., Roy, C., 2000, Composite Asphalt Binders: Effect of Modified RPE on Asphalt, Journal of Materials in Civil Engineering, V.12, No. 2, 113-123.
- [9] Asfalt ve Uygulamaları, 2001, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT Bilimsel Yayın No:1, İstanbul, 280s.
- [10] Eribol, S., Orhan, F., Önal, M.A., 2002, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şube Müdürlüğü, 94s.

- [11] Birliker, R.Y., 1998, Bitümlü Karışımlara Eklenebilecek Katkılar ile Bu Tip Bitümlü Karışımların Davranışlarının Araştırılması ve Bir Yorulma Eğrisi Tahmin Modeli, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 208s.
- [12] Isacson, U., Lu, X., 1995, Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens-State of the Art, *Materials and Structures*,28,139-159.
- [13] Iqbal, M.H., 2004, Influence of Polymer Type and Structure on Polymer Modification of Saudi Asphalt, Master of Science Degree, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudia Arabia, 142p.
- [14] Whiteoak, D., Read, J., 2003, *The Shell Bitumen Handbook*, Thomas Telford Lti., London, 464p.
- [15] Airey, G.D., 2003, Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, *Fuel*, 82:14, pp. 1709-1719.
- [16] Khattak, M.J., Baladi, G.Y., 1998, Engineering Properties of Polymer – Modified Asphalt Mixtures, *Transportation Research Record*, Vol.1638, pp. 12-22.
- [17] Terrel, R.L., 1989. ‘‘Asphalt Modifiers,’’ A User Manual for Additives and Modifiers in Hot Mix Asphalt, National Asphalt Pavement Association, Lanham, Maryland.
- [18] Katz, G., Ghana Institution of Engineers (GhIE), Generated 26 October, 2014.
- [19] Seloğlu, M.,2015, Reaktif Terpolimerin Bitümlü Sıcak Karışım Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 130s.
- [20] A. G. Güngör, A. Sağlık, F. Orhan ve E. A. Öztürk, 2009. Polimer Modifiye Bitümlerin Süperpave Performans Sınıflarının Belirlenmesi, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara.
- [21] Patrick Lavin, 2003. Binder Performance. *Asphalt Contractor*, September.
- [22] M. Jasso, R. Hampl, O. Vacin, D. Bakos, L. Zanzotto, Rheology of conventional asphalt modified with SBS, Elvaloy and polyphosphoric acid, *Fuel Process. Technol.* 140 (2015) 172-179.
- [23] Zaniewski, J.P., Pumphrey, M.E., 2004, Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, West Virginia University, Morgantown, 109p.
- [24] Warren, R.S., McGennis, R.B., Bahia, H.U., 1994, Superpave Asphalt Binder Test Methods an Illustrated Overview, National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHWA-SA-94-068, Asphalt Institute, Lexington, 164p.
- [25] Yildirim, Y., Solaimanian, M., Kennedy, T.W., 2000, Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt Concrete, Report No. 1250-5, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, Austin, 99p.
- [26] Koral, A.F., 2012, Aynı Performans Seviyesine Sahip Bağlayıcılarla Hazırlanan Bitümlü Sıcak Karışımların Kalıcı Deformasyona Karşı Dayanımlarının ve Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [27] Firoozifar, S.H., Foroutan, S., Foroutan, S.,2011, The effect of asphaltene on thermal properties of bitumen. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(10), pp. 2044-2048.
- [28] Yusoff, NIM, Shaw, M.T., Airey, G.D., 2011, Modeling the linear viscoelastic rheological properties of bituminous binders. *Construction and Building Materials*, Vol. 25, pp. 2171-2189.
- [29] Jones, R.,1990, Modifiers for asphalt concrete. Air Force Engineering & Services Center, Tyndall Air Force Pure, Report No. ESL-TR-88-32.
- [30] Wang, D., Wayoe, H.T., Anderson, K.O., 1992, Low temperature properties of asphalt cements and mixtures used in the C-SHRP lamont test road in Alberta. R.No. ABTR/RD/RR-92/02. University of Alberta.