

POLİMER MODİFİYE BİTÜM MODİFİKASYONUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İslam GÖKALP¹ (ORCID: 0000-0003-3198-3508)*
Hatice Merve ÇETİN¹ (ORCID: 0000-0002-8687-423X)
Yağmur ÖZİNAL¹ (ORCID: 0000-0002-8083-6494)
Hüseyin GÜNDOĞAN¹ (ORCID: 0000-0002-2046-8597)
Volkan Emre UZ¹ (ORCID: 0000-0002-9328-4756)

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Geliş / Received: 06.11.2018
Kabul / Accepted: 16.05.2019

ÖZ

Ülkemizde yol üstyapıları, dünyanın diğer birçok ülkesinde olduğu gibi çoğunlukla bitümlü karışımlar şeklinde inşa edilmektedir. Bitümlü bağlayıcıların karışım içerisindeki oranı (ağırlıkça %5-7) düşüktür ama özellikleri üstyapı bozulmaları üzerinde oldukça etkilidir. Tekrarlanan ve artan trafik yükleri ve olumsuz iklim koşulları altında saf bitüm ile imal edilen üstyapıların performansı çoğu zaman istenen seviyeye ulaşamamaktadır. Özellikle son 20-30 yılda dayanım kaygılarının yanında, sürdürülebilir üstyapılar için ekonomik ve çevresel kayıpların azaltılması da bir gereklilik haline gelmiş ve bitümlü bağlayıcılar çeşitli katkıları kullanılarak modifiye edilmeye başlanmıştır. Bu katkıları, doğal olabileceği gibi endüstriyel üretim sonrası kullanım ömrü tamamlanan atık veya ticari amaçla üretilen ürünlerde olabilmektedir. Bitüm modifikasyonunda en çok kullanılan katkı polimerlerdir. Bitümde hedeflenen özelliğin sağlanabilmesi için modifikasyonunun başarılı bir şekilde yapılması gerekir. İyi bir polimer modifikasyonu, bitüm ve bitümün karakteristik özelliklerine, modifikasyon amacına yönelik kullanılan polimere, polimer modifiye bitüm üretim koşullarına bağlıdır. Bu çalışmada, polimer modifiye bitüm modifikasyonuna etki eden parametreler üzerine bir araştırma yapılmış, ayrıca konu hakkında gerek araştırmacılar için gerekse de sektör temsilcileri için bir farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Modifikasyon, bitüm, polimer, polimer modifiye bitüm

A LITERATURE SURVEY ON PARAMETERS AFFECTING MODIFICATION OF POLYMER MODIFIED BITUMEN

ABSTRACT

Such as in many other countries, highway pavements are mostly constructed as bituminous mixtures in Turkey. The amount of bituminous binders in the mixture is low (5-7% by weight), but, the properties of the binder have great effect on pavement. The performance of pavement with virgin bitumen often does not reach the desired level under repeated and increasing traffic loads and adverse climatic conditions. Especially in the last 20-30 years, in addition to the durability concerns reducing the economic and environmental losses for sustainable pavement have become a necessity and the bituminous binders have begun to be modified using various additives. These additives can be either a natural or industrially produced waste or commercially available products. The most commonly used additives in bitumen modification are polymers. The modification of the bitumen needs to be done successfully to achieve the aim. A good polymer modification depends on the characteristics of the bitumen, the polymer used for the purpose of modification, the polymer modified bitumen

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 536 782 86 65 ; e-mail / e-posta: islamgokalp@gmail.com

production conditions. In this study, a survey on parameters affecting the polymer modified bitumen was made and it was also aimed to create an awareness for both the researchers and the sector representatives.

Keywords: Modification, bitumen, polymer, polymer modified bitumen

1. GİRİŞ

Ülkemizde karayolu üstyapıları birçok ülkede (Almanya, Amerika, Avustralya vb.) olduğu gibi çoğunlukla esnek kaplama olarak inşa edilmektedir. Bu oran ülkelere göre %90-97 arasında değişebilmektedir [1]. Esnek kaplamaları oluşturan malzemelerin kütlece %93-95'i agrega ve % 5-7'si bitümlü bağlayıcılardan ve katkılardan oluşmaktadır. Bir esnek kaplama karışımında bitümlü bağlayıcının temel görevi adezyonu sağlayarak agrega taneciklerini birbirine bağlamak ve tekrarlı ve değişken trafik yükleri altında agregaların dağılması/ayırışmasını önlemektir. Agregalar ise karışım içerisindeki içsel sürtünmeyi ve hacimsel stabiliteyi sağlamaktadır [2-4]. Her ne kadar bitümlü bağlayıcıların karışım içerisindeki ağırlıkça oranı düşük olsa da üstyapı performansı üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Bitümlü bağlayıcıların özellikleri, yol üstyapılarının tekerlek izi, yorulma ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dirençleri gibi yapısal ve fonksiyonel performansı üzerinde oldukça etkilidir. Üstyapının belirtilen konularda dirençlerinin düşük olması yol üzerinde çeşitli bozulmalara neden olur. Bu bozulmalar yol ömrünü azaltırken bakım ve onarım için harcanacak bütçelerin de artmasına sebep olmaktadır [5].

Asfalt Enstitüsünün 2015 yılında yayınladığı raporda, dünya genelinde yıllık bitüm tüketiminin yaklaşık 85 milyon ton olduğu ifade edilmiştir. Buna karşılık bitümlü bağlayıcılar olan talebin ise 87 milyon ton olduğu belirtilmiştir. Yine bu raporda tüketilen bitümlerin yaklaşık %85'inin yol üstyapı inşaatlarında bağlayıcı, %10'luk kısmının sıcak veya soğuk yalıtım malzemesi ve kalan % 5'lik kısmının da farklı amaçlar doğrultusunda kullanıldığı belirtilmiştir [6].

Bitüm, ham petrolün damıtılması işlemleri sonunda geride kalan değerli bir yapı malzemesidir. Ham petrolün damıtılması ile elde edilen benzin, uçak yakıtı, gaz yağı vb ürünlerin daha çok üretilmesi ve kalitelerinin artırılması noktasında ulusal ve uluslararası standartlar çerçevesinde yapılan düzenlemeler yapılmaktadır. Buna bağlı olarak petrol rafinerilerin üretim parametrelerinde bir takım değişimler ve üretim tekniklerindeki önemli iyileştirmeler yapılmaktadır. Kullanılan yeni parametreler ve uygulanan teknoloji, petrol kalıntısı olan bitümün mühendislik özelliklerinin belirgin bir şekilde değişimine (olumlu veya olumsuz yönde) neden olmaktadır [7, 8]. Gerek olumlu gerekse de olumsuz yönde bitümde kimyasal, fiziksel ve reolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler, bitümlerin modifikasyonunu gerekli kılabilir. Bitüm modifikasyonunu düzgün bir şekilde yapılmaması durumunda, istenen özelliklere sahip bağlayıcılar elde edilemeyecek, düzgün üretilmeye modifiye bitümlü bağlayıcılar ile üretilen sıcak karışımlar önemli derece uyumsuzluk ortaya çıkacak, bu sıcak karışımların kullanımı ile ömrünü tamamlayamayan, sık aralıklarla bakım ve onarım isteyen yol üstyapısı ağının oluşmasına neden olacaktır. Aynı zamanda yol üstyapısında meydana gelen bozulmalar, yol güvenlik riskini artıracak, sürüş konforunu azaltacak, olası trafik kazalarının mukabilinde ölüm ve/veya yaralanmalara sebebiyet verecektir. Bu anlamda önemli miktarlarda hem maddi hem de manevi kayıpların yaşanması kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışmada, yol üstyapı inşaatında kullanılan bitümlü bağlayıcıların çeşitli özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılacak polimer modifikasyonun başarıya ulaşmasına etki eden faktörler araştırılmıştır. Bu faktörler geniş bir literatür taraması neticesinde ortaya konulmuş, polimer modifikasyonuna etki eden temel parametreler belirlenmiş ve konu üzerinde tartışılmıştır. Ayrıca, bu çalışma ile gerek araştırmacıları gerekse de sektör temsilcilerini bilgilendirilmesi ve bitümlerin polimer modifikasyonunun hakkında farkındalık oluşturulması hedeflenmiştir.

2. BİTÜM VE ÖZELLİKLERİ

Bitüm, uçucu olmayan, yapışkan ve suya dayanıklı, doğal asfalttan (göl veya kaya) veya ham petrolün damıtılmasından elde edilen bir malzemedir. Bitüm, bilinen en eski mühendislik malzemelerinden biri olmakla beraber sahip olduğu özellikleri nedeniyle çok uzun zamandır yapıştırıcı, sızma önleyici, koruyucu, su geçirimsizlik katkısı ve yol üstyapısında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Bitüm; yüksek viskoziteli ancak viskozitesi ısıya duyarlı (ısıtıldığında yumuşayan, oda sıcaklığında veya soğuduğunda neredeyse tamamen katılaştıran) trikloretilen/tetrakloretilen gibi tolüen çözücülerde tamamen veya büyük oranda çözünebilen koloidal bir malzemedir [9]. Bitümlerin kimyasal içerikleri oldukça karmaşık ve değişken olmakla beraber temel bileşenleri dört ana grup altında incelenmektedir. Bunlar; Doygunlar (S), Asfaltlar (A), Reçineler (R) ve

POLİMER MODİFİYE BİTÜM MODİFİKASYONUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aromatiklerdir (A),. Baş harflerinden esinlenerek bu dört bileşen, bundan sonraki anlatımlarda SARA olarak anılacaktır.

Bitümlerin SARA oranları, ham petrolün kaynağına ve rafinaj işlemine göre çok büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Ayrıca, SARA oranları tayin edilirken kullanılan çözücülerinde sonuçlar üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Tablo 1’de İran’ın farklı bölgelerinden temin edilen 5 farklı bitüme ait c-hekzan ve n-heptan çözücüler kullanılarak elde edilen SARA analizleri belirtilen durum için bir örnek olarak verilmiştir [10]. Tablo 1’de verilen bitüm içeriklerinin yanı sıra farklı kaynaklardan temin edilen örnekler üzerinde yapılan analizler bitümün genel kimyasal bileşiminin, kütlece %’si olarak, karbon (82-88), hidrojen (8-11), sülfür (0-6), oksijen (0-1,5) ve nitrojenden (0-1) oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, bitümler çok az miktarlarda da olsa bazı metaller (oksit, tuz veya metal içeren organik bileşikler halinde) içeriklerinde barındırabilmektedir. Farklı bitümler birbirleri ile kıyaslandığında molekül büyüklüklerinde, aromatik özelliklerinde ve atomik yapının heterojenliğinde belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu nedenle bitümün mikro yapısı malzemenin hem fiziksel hem de reolojik özellikleri üzerinde oldukça etkilidir [5, 8, 11-17].

Tablo 1. SARA oranları

No	Doygunlar		Asfaltlenler		Reçine		Aromatikler	
	c-hekzan	n-heptan	c-hekzan	n-heptan	c-hekzan	n-heptan	c-hekzan	n-heptan
1	57,0	33,3	12,0	16,7	7,0	8,9	24,0	41,1
2	41,0	42,0	15,0	7,0	6,0	8,0	38,0	43,0
3	45,0	41,3	8,0	13,7	11,0	10,0	36,0	35,0
4	24,0	47,0	15,0	14,0	3,0	7,0	58,0	32,0
5	42,0	38,0	6,0	19,0	6,0	7,0	46,0	36,0

Doğal veya bir dizi rafineri işlemlerinden sonra üretilen bitümlü bağlayıcılar herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duymadan uzun yıllar yol üstyapısı inşaatında başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Ancak gelişen otomotiv endüstrisine paralel olarak trafiğe çıkan araçların sayısının ve trafik yüklemelerinin her geçen gün artması, güvenlik ve konfor dâhil üstyapı performans beklentilerini yükseltmiştir. Aynı zamanda, karayolunun yapım, bakım ve onarımından sorumlu idarelerin sorumlulukları altındaki yol ağı sürekli genişlerken, kaynaklarının sınırlı olması nedeni ile yollarda meydana gelebilecek bozulmaları ve dolayısıyla bakım ve onarım maliyetlerini düşürecek önlemler almaya çalışmaktadır [3, 14, 18]. Genel olarak, esnek üstyapıların servis ömrü boyunca yorulmaya, kalıcı deformasyona, yaşlanmaya ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı direncinin yüksek olması beklenir. Ancak çoğu zaman geleneksel bitümler ile inşa edilmiş bir yol üstyapısı, tekrarlanan ve artan trafik yükleri ve zorlayıcı iklim koşulları nedeniyle ömür döngüsü içerisinde beklenen performans şartlarını sağlayamamaktadır [14, 19-22]. Esnek üstyapı iskeletini oluşturan diğer bileşeni agregalardır. Agregat özellikleri, kaplamanın stabilite ve yüzey özellikleri üzerinde etkilidir ve uygun gradasyonda ve kalitede seçilmesi ile üstyapı performansı artırılabilir. Ancak, agregaları bir arada tutan ve kaplamanın trafik yükleri altında stabilitesini artıran, kaplamayı zorlu çevresel/iklimsel koşulların etkilerinden koruyan bitümlü bağlayıcının uygun seçilmesi gerekmektedir. Bitümlü bağlayıcının doğru seçilmesi, üstyapıdan arzu edilen performansın alınması açısından büyük öneme sahiptir [3, 5, 12, 14, 16, 23, 24].

3. BİTÜM MODİFİKASYONU VE AMAÇLARI

Ham petrolün doğal yapısına da bağlı olarak, saf bitümün özellikleri artan trafik yükleri ve olumsuz iklim koşulları altında üstyapı performansını çoğu zaman istenen seviyede sağlayamamaktadır. Bu nedenle, esnek üstyapılar için yapısal anlamda istenen kalitede/dayanıklılıkta bir bitümlü bağlayıcı sağlamak asfalt üreticileri için bir zorunluluk haline gelmiştir. Dayanım kaygılarının yanında hem ekonomik hem de çevresel kayıpların azaltılması sürdürülebilir üstyapılar için bir gereklilik haline gelmiş ve bitümlü bağlayıcıların çeşitli katkıları, polimerler veya değerli atıklar kullanılarak modifiye edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır [14, 25-27]. Bitümün modifiye edilmesindeki genel amaçlarından bazıları Lewandowski [12] şu şekilde sıralamıştır;

İ. GÖKALP, H. M. ÇETİN, Y. ÖZİNAL, H. GÜNDOĞAN, V. E. UZ

1. Düşük hizmet sıcaklıkları için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak;
2. Yüksek sıcaklıklarda daha katı veya sert karışımlar elde etmek ve tekerlek izi gibi kalıcı deformasyonları azaltmak;
3. Yapım, bakım ve onarım zamanında viskoziteyi düşürmek, karışımların işlenebilirliğini ve sıkışmasını iyileştirmek,
4. Karışımların dayanımını ve stabilitesini artırmak;
5. Karışımların aşınma direncini artırmak, kaplamalarda bitüm ile agrega arasında daha iyi adezyonu sağlayarak agrega kayıplarını azaltmak;
6. Kaplamalarda düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak;
7. Karışımın yorulma direncini artırmak;
8. Yüksek/yeterli akışkanlığa sahip karışımların sertleşmesini hızlandırmak,
9. Düşük performansla sahip bitümlü bağlayıcının kalitesini iyileştirmek, bu şekilde düşük performanslı bitümlü bağlayıcıların da kullanılmasına imkân sağlamak;
10. Yaşlanma ve oksitlenmeye karşı direnci artırmak, yaşlanmış bitümlü bağlayıcıların yenilenmesini/gençleşmesini sağlamak;
11. Agregalar üzerinde daha kalın bir film tabakası oluşturmak, bu şekilde aralarındaki soyulmayı azaltmak;
12. Bitümlü bağlayıcının içinde bir katkı olarak kullanılabilirliği ortaya koymak;
13. Terleme ve kuma olaylarını azaltmak;
14. Kaplamaların tabaka kalınlığını azaltmak;
15. Geliştirilmiş çatlak dolgusu sağlamak;
16. Yakıt döküntülerine karşı dayanım artışı sağlamak ve
17. Kaplamaların ömür döngü maliyetini azaltmaktır.

Geleneksel bitüm, yukarıdaki herhangi bir veya birkaç amaç doğrultusunda yetersiz özelliklere sahip olduğunda modifiye edilerek kullanılmaktadır. Modifiye edici katkıları işlevlerine göre a) Adezyonu artırıcı, (b) Plastikleştirici (c)Yapılandırıcı ve (d) Diğer karmaşık katkılar olmak üzere dört ana gruba ayırmak mümkündür. Bu katkılar ile ilgili tanımlar ve işlevler kısaca aşağıdaki gibi verilmiştir.

- **Adezyon artırıcı katkılar;** bitümün agregalar ile bağlanma özeliğini artıran katkı türleridir ve aynı zamanda kaplamanın su ve nemin zararlı etkilerine karşı korunmasını da katkı sağlar. Ayrıca bu tür katkılar, bitümlü bağlayıcılarda yaşlanma geciktirici olarak da kullanılabilir [28].
- **Plastikleştirici katkılar;** yüksek sıcaklıklar altında deformasyona sebep olan yüklere karşı stabiliteyi artırmak ve bitüme gerekli katılık kıvamını sağlamak için kullanılmaktadır.
- **Yapılandırıcı katkılar;** bitümün molekülleri arasındaki bağı yapılandırarak çapraz bağlı bitüm elde edilebilmesini sağlayan bu katkılar ile yol üstyapısı için gerekli dayanım sağlanabilmektedir.
- **Diğer karmaşık katkılar;** yol üstyapı inşaatlarında çok geniş çapta kullanılan bu tür katkılar, modifiye bitümün reolojik özelliklerini belirgin olarak iyileştirebilmekle birlikte mineral agregalar ile bağlayıcı arasındaki bağ gücünü de artırabilmektedirler [26].

Bu çalışmanın kapsamı, polimerler ile sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla, bitüm bağlayıcıların modifikasyonunda kullanılan polimerler ile ilgili bilgiler bu çalışma kapsamında kısaca verilmiştir.

4. BİTÜM MODİFİKASYONUNDA KULLANILAN POLİMERLER

Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneğinin (ASMÜD) yayınladığı raporda Türkiye’de 2015 yılında yol yapım çalışmalarında 2,73 milyon ton asfalt kullanıldığı ve bunun % 3,9’unun modifiye edilmiş asfalt olduğu belirtilmiştir [29]. Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği’nin (EAPA) Avrupa Birliği ülkelerine ait 2009 yılı verilerine baktığımızda bitüm tüketiminin yaklaşık 16,5 milyon ton olduğu ve bu miktarın yaklaşık 1,5 milyon tonluk kısmının ise polimer modifiye bitüm olduğu görülmektedir [30, 31]. İstatistiklere göre bitüm modifikasyonunda en çok kullanılan malzeme türü polimerlerdir. Avrupa’da kullanılan modifiye bitüm/bitüm oranları ile Türkiye’deki oranlar ile kıyaslandığında, iklim koşullarımızın ve trafik yüklemelerinin esnek üstyapılarımız için daha zorlayıcı olduğu göz önünde bulundurulursa, ülkemizde modifiye bitüm kullanımının önümüzdeki yıllarda hızla artacağı öngörülmektedir.

Bitüm modifikasyonunda kullanılmakta olan polimerleri dört grup altında toplamak mümkündür. Bunlar:

1. Elastomerler,
2. Termoplastik elastomerler,
3. Isı ile sertleşen (thermo-setting) plastikler ve
4. Termoplastiklerdir.

POLİMER MODİFİYE BİTÜM MODİFİKASYONUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yukarıda anılan polimerlerden en yaygın kullanılan türleri termoplastik elastomerler ve termoplastiklerdir. Bitümde modifikasyondaki kullanım hacimlerine göre sıralandığında, en çok termoplastik elastomerler türü modifiye edici malzemelerin kullanıldığı daha sonra ise termoplastik türü malzemelerin kullanıldığı görülmektedir [26].

5. POLİMER MODİFİYE BİTÜM VE ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER

Polimer modifiye bitüm (PMB), mekanik karıştırma ve/veya kimyasal bir reaksiyon sağlanarak polimerin bitüm ile karıştırılması ile elde edilen bir bitümlü bağlayıcı türüdür. Başarılı bir modifikasyon gerçekleştirilebilmesi birçok parametreye bağlıdır. Yapılan geniş çaplı araştırmalar neticesinde, başarılı ve amaca hizmet eden bir PMB için göz önünde bulundurulması gereken parametreler, bitüm ve polimerin kimyasal yapısı, bitüm ve polimerin türü, polimer/bitüm oranı, polimer parçacık boyutu ve PMB üretim/işlem koşulları vb. olduğu görülmektedir. Belirtilen bu parametrelerin her biri polimer modifiye bitüm özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [11, 13, 15, 19, 32]. Çalışmanın bu bölümünde PMB özellikleri üzerinde etkili olan bu parametrelerden, konu ile ilgili güncel ve önceki yıllarda yayımlanmış çalışmalara dayanarak yer verilecektir.

5.1. Bitümün Türü ve Kimyasal Yapısı

Bitüm esasında farklı molekül ağırlıklarına sahip hidrokarbon zincirlerinin oluşturduğu karmaşık bir karışım olup, n-heptan ve türevlerinde da çözünen (asfaltener) ve çözünmeyen (maltenler) olarak iki kısımdan oluşur. Maltenler kısmı da kendi arasında aromatikler, reçineler ve doyunlar olmak üzere üç farklı bileşeni mevcuttur. Bitüm içerisindeki bu bileşenlerin oransal değişimi, bitümün hem reolojik hem de fiziksel özelliklerine belirgin bir şekilde etki etmektedir [7, 11, 13, 33]. Her bir bitüm türü sadece temin edildiği kaynağa bağlı olarak değil, üretim işlemlerine bağlı olarak da bir birlerine göre farklı S-A-R-A içeriği ve buna bağlı olarak fiziksel ve reolojik özellikler sergilemektedir [5, 34-36]. İşte bitümün yapısındaki bu farklılıklar polimer ile bitüm arasında uyumluluk problemlerinin oluşmasına eden olabilmektedir. Uyumluluk, modifiye bitümün arzulanan özelliklere sahip olmasını sağlayan, bitümün bileşenleri ve polimer türü ile yakından ilgili bir kavramdır.

5.2. Polimer Türü

Bitüm modifikasyonunda kullanılan farklı türde endüstriyel polimerler mevcuttur. Güncel ve önceki çalışmalar incelendiğinde, bitümün çeşitli polimerler ile modifiye edilmesi ile ilgili çok sayıda araştırma görülmektedir [5, 12, 19, 23, 25, 37-42]. Polimerlerin temel karakteristik özelliklerinin bilinmesi, bitüm içerisindeki davranışının tahmin edilmesini ve kullanımları neticesinde oluşabilecek avantaj ve dezavantajların öngörülebilmesini sağlayacaktır. Tablo 2’de bazı polimer türlerinin sağladıkları avantaj ve dezavantajlar özetlenmiştir [3, 27, 43, 44].

Tablo 2. Bazı polimerlerin karakteristik özellikleri

Polimer	Avantajları	Dezavantajları	Kullanım Alanları
Polietilen (PE)	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek sıcaklık direnci, • Yaşlanma direnci, • Yüksek stabilite, • Düşük maliyetlidir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitüm içine zor yayılmakta, • Bitümde depolama stabilite problemi oluşmakta, • Daha iyi performansla sahip bitüm için yüksek oranda polimer gerektirmekte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Endüstriyel amaçlı • Kısmi üstyapı uygulamaları
Polipropilen (PP)	<ul style="list-style-type: none"> • Viskoziteye önemli bir etki yapmaz, • Yüksek yumuşama noktası sağlar, • Düşük penetrasyon sağlar, • Bitümün plastik özelliklerini iyileştirir, • Kalıcı deformasyon direncini artırır 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitüm içerisinde ayrışma, • Bitümün elastikiyet ve mekanik özelliklerinde iyileştirme yapmaz, • Düşük ısı çatlaklarına karşı düşük direnç kazandırır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ataktik PP çatı kaplamaları • İsotaktik PP ticari amaçlar için kullanılmazlar.

Etilen-vinil-asetat (EVA) Etilen-Metakrilat (EMA)	<ul style="list-style-type: none"> • Bitüm ile uyumludur, • Eşdeğer ürünlere göre viskozite üzerindeki etkisi daha azdır, • Normal sıcaklıklarda termal stabilite sağlar, • Yapışmayı artırır, • Düşük maliyetlidir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elastik geri dönmeyi iyileştirmez, • Yüksek oranda kullanımlarında bitümde jelleşmeye neden olur, • Yüksek sıcaklıklarda stabilite sorunu oluşur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çatı yalıtım işleri • Üstyapı uygulamaları
Stiren-Butadien-Stiren blok kopolimer (SBS) Stiren-izopren Stiren blok kopolimer (SIS)	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük sıcaklıkta yüksek akıcılık veya esneklik sağlar, • Yüksek sıcaklıkta daha iyi akma ve deformasyon direnci sağlar, • Kalıcı deformasyonlara karşı direnci artırır, • Yüksek yaşlanma direnci sağlar, • Daha iyi asfalt-agrega adezyonu sağlar, • Düşük miktarlarda kullanıldığında, plentte daha iyi stabilite özelliği gösterir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maliyeti yüksektir. • Düşük penetrasyon direncine sahip olmakla beraber, belirli sıcaklıklarda düşük viskoziteye sahip bitüm sağlar, • Polyefilen yapısından (çift ara tabaka yapısı) dolayı daha az ısı ve oksidasyon direnci sağlar • Yüksek sıcaklıklarda depolanması, stabilite sorunu doğurur. • Yüksek oranda aromatik, düşük oranda asfaltten içeriğine sahip bitümlerde daha uyumlu çalışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çatı yalıtım işleri • Üstyapı uygulamaları
Doğal veya atık teker lastikleri ve kauçuklar	<ul style="list-style-type: none"> • Kalıcı deformasyonlara karşı direnci artırır, • Daha yüksek uzuma sağlar, • Daha yüksek elastikiyet özelliği kazandırır, • Tekrarlı yükler altında daha dirençlidir, • Genel olarak maliyeti daha düşüktür, • Yansıma çatlaklarını azaltır, • Yorulma direncini artırır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Belirli ürünlerin kullanılmasını gerektirir, • Kaplamalarda dolgu olarak kullanıldığında düşük fiziksel dirence neden olur, • Ayrışma ve oksitlenmeye karşı oldukça duyarlı bir durumdadır, • Yüksek molekül ağırlığı nedeniyle bitümde düşük uyumluluk gösterir ve bitüm içerisinde ayrılmaya neden olur, • Homojen bir karışım için mekanik bir karışım gerektirir, ancak karıştırma işlemi uzun zaman gerektirir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Üstyapı kaplamaları

Tablo 2’de görüleceği üzere farklı türlerde birçok polimer bitüm modifikasyonunda kullanılmakta ve bitümün farklı performanslarını iyileştirmektedir. Bu nedenle, bir modifikasyon yapılmadan önce kullanım amacı net olarak ortaya konmalıdır. Belirlenen amaç doğrultusunda seçilen polimer ile modifiye edilen bitüm, üstyapının yapısal ve fonksiyonel özellikleri üzerinde etkili olacaktır Tablo 2’den de açıkça görülebilmektedir.

5.3. Polimer Miktarı

Bitüm modifikasyonunda kullanılacak polimer miktarının doğru belirlenmesi için bitümün temel karakteristik özellikleri ve kimyasal yapısı bilinmesi gerekmektedir. Gereğinden fazla miktarda polimerin kullanılması durumunda polimer bitüm ile tamamen kimyasal reaksiyona girmeyecek veya çözünmeyecektir. Gereğinden az kullanılması ise istenen performansın elde edilememesine neden olacaktır [14, 19, 30, 39, 45-48]. Her iki durumda da bitüm modifikasyonu amacına ulaşmayacak, zaman, enerji, malzeme, işgücü kaybı oluşacak ve çevreye zarar verilmiş olacaktır [3, 27, 49, 50]. Belirtilen nedenlerden ötürü, modifikasyonda kullanılacak polimerin miktarının optimize edilmesi gerekmektedir [51]. Optimum polimer oranında yapılmayan bitümlü bağlayıcılar, kimyasal açıdan da farklı iki baskın fazda bulunabilirler. Bunlardan biri bitüm baskın faz diğeri ise polimer baskın fazdır. Bitüm fazla kullanılması neticesinde bitüm baskın faz ortaya çıkabiliyorken, polimer oranının uygun seviyenin üzerinde olması ile de polimer baskın faza sahip PMB oluşabilme ihtimali yüksektir. Genel olarak polimer miktarı, kullanılan polimer türüne bağlı olarak bitümün ağırlıkça %2’si ile %10’u aralığında değişmektedir. Ancak gerek güncel gerekse de önceki yıllara ait çalışmalar incelendiğinde, en çok kullanılan oranın %5 ile %6 gibi dar bir aralıkta olduğu görülmektedir. Son yıllarda polimer üretim teknolojisindeki gelişmeler neticesinde, kullanılan polimer oranı bitümün ağırlıkça %2 ile %3’ü oranına kadar inmiştir [33, 52]. Bazı durumlarda fiber, nano boyutta parçacıklar polimerler bitümün ağırlıkça %10-30 oranlarında bitümle birlikte kullanılabilir [53].

POLİMER MODİFİYE BİTÜM MODİFİKASYONUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

5.4. Polimerin Molekül Ağırlığı

Polimerleri tanıırken molekül ağırlığı kavramını iyi anlamak gerekir, öyle ki sentetik ya da doğal fark etmeksizin, polimerlerin çeşitli özellikleri molekül ağırlığıyla doğrudan ilişkilidir. Polimerleri diğer malzemelerden farklı kılan fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler, molekül ağırlığının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Mukavemet gibi birçok önemli mekanik özellik, büyük oranda molekül ağırlığına bağlıdır [54]. Bitüm modifikasyonunda kullanılan polimerlerin, molekül ağırlıkları kaynağına bağlı olarak değişmektedir. Bitüm modifikasyonunda, birbirine yakın molekül ağırlıklarına sahip uyumlu polimerlerin kullanılması tercih edilmelidir. Birbirleri ile yakın molekül ağırlığına sahip malzemeler kullanılarak yapılan modifikasyonlar, bitüm ile polimerlerin daha homojen karışmasını sağlayacak ve molekül ağırlık farklarından kaynaklı ayrışmaların da önüne geçilmiş olunacaktır. Bitüm ve polimerin farklı molekül ağırlıklarına sahip olması, yer çekimi etkisi altında bir kaptaki iki farklı malzeme oluşumuna neden olabilecektir. Polimer molekül ağırlığı bitümünkine daha ağır olması durumunda statik konuma depolama sahalarında tutulan bitümlerde de çokça karşılandığı üzere çökelmeler meydana gelmekte, ağır olan polimerin yer çekim kuvvetleri altında çökmekte hafif kalan bitümün de yüzeyde kalmaktadır. Bitümün molekül ağırlıklarının fazla olması durumunda ise polimerin yüzeyde toplanma eğiliminin olacaktır.

5.5. PMB Üretim/İşlem Koşulları

PMB üretim / işlem koşulları bu çalışma kapsamında iki alt başlıkta incelenmiştir. Bunlar; kavramsal olarak sıcaklık, karıştırma hızı ve süresidir. Çalışmanın bu bölümün bu iki konu üzerinde durulacaktır.

5.5.1. Sıcaklık

Bitüm sıcaklığa duyarlı bir malzemedir. PMB üretimi, sadece bitümün akışkan olduğu sıcaklıklarda gerçekleşmeyebilir. Aynı zamanda ilgili polimerin, kimyasal reaksiyon verebileceği veya bitümde olduğu gibi eriyebileceği sıcaklık değerlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Öyle ki, 140-150 °C'de akıcı formu yakalayan saf bitüm, 180 °C kimyasal bir reaksiyon veya fiziki anlamda sıvılaşıp bitüm ile daha kolay karışabilecek bir polimerin en az 180 °C sıcaklığında başarılı bir modifikasyon verebileceği göz ardı edilmemelidir. Modifikasyon sıcaklığı kullanılacak bitüm ve polimerin yapısına ve tank sistemine bağlı olarak belirlenmelidir. Belirlenen sıcaklık değerleri, bitümün ve polimerin doğal yapısını bozacak yükseklikte olmamalı, aynı zamanda birbirleri ile reaksiyonuna veya birbirleri içerisinde dağılmasını engelleyecek kadar düşük olmamalıdır [20, 41, 44, 55]. Örneğin, Danimarka Yol Enstitüsü tarafından yapılan bir çalışmada (Wegan, 2001) bitümün polimer modifikasyon işlemleri 160-180 ve 200 °C sıcaklıklarda yapılmış ve mikroskop incelemesine tabi tutulmuştur. Bu gözlemler, 180 °C'de polimerlerin bitüm içerisinde yüksek oranda şiştiğini, 200 °C'de ise homojen olmayan bir polimer fazının oluştuğunu göstermiştir. Bu nedenlerden dolayı, polimer ile bitüm karıştırma sıcaklığının 160-180 °C aralığından bir değer ile yapılması önerilmiştir. Ayrıca, seçilen sıcaklıklar gerek polimerlerin yapısında gerekse bitümün yapısında mevcut olan temel malzemelerin kaybolmasına neden olmamalıdır [33].

5.5.2. Karıştırma hızı ve süresi

Modifikasyonda etkili olan diğer bir parametre, karıştırma hızı ve süresidir. Karıştırma işlemi yüksek hızlı karıştırıcılar ile yapılmaktadır. Yine modifiye bitüm ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde karıştırma hızı dakikada 600 ile 5000 devir arasında değişirken karıştırma süresi 2 dakika ile 4 saat arasında değişebilmektedir [5, 16, 22, 23, 38, 39, 42, 43, 51, 56].

Bitüm ile polimer arasında uyumluluk sadece kimyevi olmamaktadır. Koloidal bir yapıya sahip bitüm içerisinde polimerin fiziki olarak da homojen yayılabilmesi sağlanmalıdır. Bu koşulu sağlamak, belirlenen sıcaklıkta karıştırma devir sayısının ve süresinin doğru şekilde belirlenmesini gerektirir. Yukarıda verilen bu parametrelerin, uygun seçilmemeleri sonucunda modifiye bitümün kısa ve/veya uzun dönem performansını olumsuz yönde etkileyen birçok bozulma gözlenebilmekte, hatta modifiye bitüm performansı modifiye edilememiş bitüme oranla daha kötü duruma da gelebilmektedir. Dolayısıyla yukarıda anılan parametrelerin dikkatli bir şekilde tayin edilmesi, standartlar çerçevesinde bir işlem den geçirilmesi gerekmektedir.

İ. GÖKALP, H. M. ÇETİN, Y. ÖZİNAL, H. GÜNDOĞAN, V. E. UZ

Gerek bitüm türü gerekse polimer türlerini bir değişken olarak kullanan gerekse de PMB üretim/işlem koşullarını farklılaştırarak birçok çalışmaya literatürde kendisine yer bulmuştur. Yapılan çalışmalardan bazıları modifikasyon parametreleri özelinde Tablo 3’de özetlenmiştir. Tablo 3’de görüleceği üzere, araştırmacılar bitüm modifikasyonuna etkili olduğu bilinen parametreler üzerinde analizler yapmışlar ve bu parametrelerin PMB özellikleri üzerine etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu parametrelerin doğru seçilmesi, yapısal ve fonksiyonel açıdan uzun yıllar hizmet verebilecek üstyapıların imal edilmesini sağlayacaktır, ilgili yol ağına sahip yerel ve genel yönetimler ekonomik kaynaklarını koruyabileceklerdir. Aynı zamanda, bozulmamış yollar konforlu sürüş sağlarken, yol bozulmalarından kaynaklı olası trafik kazalarının da önüne geçilmiş olacaktır. Bu şekilde, vatandaşın hem can hem de mal güvenliği sağlanmış olacak, maddi ve manevi kaybın kısmen de olsa önüne geçilmiş olacaktır.

Tablo 3. Bazı çalışmalar için polimer modifikasyon parametreleri

Referans	Polimer		Bitüm Sınıfı	Modifikasyon Karıştırma		
	Tür	Oran (Bitüm Ağırlığınca)		Sıcaklık (°C)	Hız (devir)	Süre (dak)
Al-Abdul Wahhab, et al. [57]	HDPE, LDPE, PP ve SBS	% 2-6	64-22 (PG)	160	5000	60
Singh, et al. [44]	Farklı çeşitte SBS ve Elvaloy	SBS %3-7 Elv: %1,8	80-100, 60-70 (dmm)	180	4000	120
					600	120
Pérez-Lepe, et al. [19]	SBS, HDPE, LDPE, Etilenpropilen-dien terpolimer (EPDM)	% 5	60/70, 150/200 (dmm)	180	1200	-
Lu and Isacsson [40]	İki farklı bağ yapılarında SBS	%3, 6, 9	180-85 (dmm) aralığında beş farklı kaynaktan bitüm	180	125	120
Munera and Ossa [51]	SBS, Polietilen wax (PW), Öğütülmüş tekerlek kauçuğu (CR)	%3, 6, 9, 15	80/100 (dmm)	180	2000	120 (SBS ve CR)
						45 (PW)
Isacsson and Lu [58]	SEBS, EVA ve Etilen butyl acrylate (EBA)	% 3, 6, 9	180-85 (dmm) aralığında üç farklı kaynaktan bitüm	180	125	120
Sengoz and Isikyakar [48]	SBS, EVA	% 2, 6 (SBS) % 3,7 (EVA)	50/70 (dmm)	180-185	1100	120
					125	
Topal [21]	Farklı tür Plastomerik polimerler	% 0,5-7	50/70 (dmm)	180-185	1100 1250	120
Rossi, et al. [59]	SBS, SBS+ Polifosforik asit (PPA)	%4,5 (SBS) % 0,2 (PPA)	90/130 (dmm)	180	6000	30
					300	120
Yılmaz, et al. [17]	İki tür SBS, SEBS	%2-6	160/220 (dmm)	180	1000	60
Yılmaz, et al. [60]	SBS, Gilsonit	%9-11 (Gilsonit) %3-5 (SBS)	160/220 (dmm)	180	1000	60
Yılmaz and Kök [4]	SBS	%2-6	100/150 (dmm)	170	500	90

*POLİMER MODİFİYE BITÜM MODİFİKASYONUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI***6. SONUÇLAR**

Bu çalışma kapsamında, bitüm-polimer modifikasyonuna etki eden parametreler üzerine bir literatür araştırması yapılmış gerek araştırmacılar için gerekse de sektör temsilcileri için bir bitüm modifikasyonuna etki eden parametreler hakkında bir farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bitüm ve karakteristik özellikleri, bitüm modifikasyonu ve amaçları açık bir şekilde ortaya konmaya çalışılmıştır. Bitüm modifikasyonunda en yaygın kullanılan katkı olan polimerlere yer verilen bu çalışmada PMB ve özelliklerine etki eden parametreler güncel ve önceki yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ışığı altında detaylıca incelenmiştir.

Bu çalışma ile bir bitüm modifikasyonunda, (1) Bitümün türü ve kaynağının, (2) Polimer türünün, miktarının ve kimyasal yapısının ve (3) PMB üretiminde seçilen sıcaklık, hız ve süre gibi üretim koşullarının, PMB arzu edilen özelliklere sahip olmasında oldukça önemli olduğu ortaya konulmuştur. Bir bitümün doğru bir polimer ile uygun sıcaklıkta, karıştırma hızında ve süresinde modifiye edilmesi üstyapı için büyük öneme sahip olduğu görülmektedir. Zira bu parametreler göz önüne alınmadan üretilen polimer modifiye bitüm ve kullanıldığı üstyapı uzun ömürlü olmayacak ve ilgili kurumlara önemli bir ekonomik kayıp olarak geri dönecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında, sektörün paydaşlarında olan Karayolları Genel Müdürlüğü'ne bağlı 5. Bölge Müdürlüğü, AR-GE Başmühendisliği personellerine, Asfalt Müteahhitleri Derneği sekreterliğine, Adana ve Mersin illerinde faaliyet gösteren firmalara, çalışanlarına ve yetkililerine paylaştıkları bilgi ve tecrübelerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] ASMUD. Karayolu ağının kaplama tipine göre oranı. <http://www.asmud.org.tr/> (erişim tarihi: 14.08.2017).
- [2] LIU, L., XIAO, F., ZHANG, H., AMIRKHANDAN, S. "Rheological characteristics of alternative modified binders," *Construction and Building Materials*, 144, 442-450, 2017.
- [3] SIENKIEWICZ, M., BORZĘDOWSKA-LABUDA, K., WOJTKIEWICZ, A. JANIK, H., "Development of methods improving storage stability of bitumen modified with ground tire rubber: A review," *Fuel Processing Technology*, 159, 272-279, 2017.
- [4] YILMAZ , M., KOK, B. V. "Stiren-Butadien-Stiren modifiyeli bitümlü bağlayıcıların superpave sistemine göre yüksek sıcaklık performans seviyesinin ve işlenebilirliğinin belirlenmesi," *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ* 23:4, 811-819, 2008.
- [5] GIAVARINI, C. "Polymer-modified bitumen," *Developments in Petroleum Science*, 40, 381-400, 1994.
- [6] ASPHALT INSTITUTE, *The Bitumen Industry - A Global Perspective (Production, chemistry, use, specification and occupational exposure)*, Asphalt Institute, USA, 2015.
- [7] İSFALT, *Asfalt ve Uygulamaları*, 1 ed. İstanbul: İSFALT, 2001.
- [8] PLUG, C., DE BONDT, A., ROOS, H. "Performance of bitumen 70/100 obtained from different suppliers," presented at the 5th European Asphalt Technology Association Conference, Germany, 2013.
- [9] LESUEUR, D. "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.
- [10] VAKILINEZHAD, G., SOLTANI, B. KIANINASAB, K., MANSOURI, G. A. "Investigation on the Existence of Diamondoids in South-West Iranian Crude Oils," *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 1, 1, 65-74, 2005.
- [11] ISACSSON U., ZENG, H. "Relationships between bitumen chemistry and low temperature behaviour of asphalt," *Construction and Building Materials*, 11, 83-91, 1997.
- [12] LEWANDOWSKI, L. "Polymer modification of paving asphalt binders," *Rubber Chemistry and Technology*, 67, 447-480, 1994.
- [13] NEVES, J., CORREIA DIOGO, A., DE PICADO SANTOS, L. "Bituminous Binders and Mixtures," in *Materials for Construction and Civil Engineering: Science, Processing, and Design*, M. C. Gonçalves and F. Margarido, Eds., ed Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 237-271.

- [14] ONER, J., SENGOZ, B. RIJA, S. F., TOPAL, A. "Investigation of the rheological properties of elastomeric polymer-modified bitumen using warm-mix asphalt additives," Road Materials and Pavement Design, 18, 1049-1066, 2017.
- [15] SAĞLIK A., ÖZTÜRK E., "Türkiye'de üretilen sathi kaplamalarda kullanılan bitümlerin performans sınıflarının belirlenmesi " Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29, 4, 689-698, 2014.
- [16] YILDIRIM, Y. "Polymer modified asphalt binders," Construction and Building Materials, 21, 66-72, 2007.
- [17] YILMAZ, M., KÖK, B. V., KULOĞLU, N. ALATAŞ, T. "Elastomer türü polimerler ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların depolama stabiliteilerinin ve reolojik özelliklerinin," Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,, 15, 67-77, 2013.
- [18] GİRİŞ, Ü. "Esnek üstyapılar ile rijit üstyapıların teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması," Yüksek Lisans Texi, Civil Engineering, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [19] PÉREZ-LEPE, A. MARTINEZ-BOZA, F., GALLEGOS, C., GONZÁLEZ, O., MUNOZ, M., SANTAMARIA, A. "Influence of the processing conditions on the rheological behaviour of polymer-modified bitumen," Fuel, 82, 1339-1348, 2003.
- [20] SENGOZ, B. TOPAL, A. ISIKYAKAR G., "Morphology and image analysis of polymer modified bitumens," Construction and Building Materials, 23, 1986-1992, 2009
- [21] TOPAL, A. "Evaluation of the properties and microstructure of elastomeric polymer modified bitumens," Fuel Processing Technology, 91, 45-51, 2010.
- [22] TOPAL, A., YILMAZ, M., KOK, B. V. KULOGLU, N., SENGOZ, B. "Evaluation of rheological and image properties of styrene-butadiene-styrene and ethylene-vinyl acetate polymer modified bitumens," Journal of Applied Polymer Science, 122, 3122-3132, 2011.
- [23] PYSHYEV, S., GUNKA, V., GRYSSENKO, Y., BRATYCHAK M. "Polymer Modified Bitumen," Chemistry & Chemical Technology, 631-636, 2016.
- [24] SENGOZ B., ISIKYAKAR, G. "Analysis of styrene-butadiene-styrene polymer modified bitumen using fluorescent microscopy and conventional test methods," Journal of Hazardous Materials, 150, 424-432, 2008.
- [25] BLANCO, R., RODRÍGUEZ, R., GARCÍA-GARDUÑO, M. CASTAÑO, V. "Rheological properties of styrene-butadiene copolymer-reinforced asphalt," Journal of Applied Polymer Science, 61, 1493-1501, 1996.
- [26] MCNALLY, T. "1 - Introduction to polymer modified bitumen (PmB)," in Polymer Modified Bitumen, ed: Woodhead Publishing, 1-21. 2011.
- [27] NAVARRO, F., PARTAL, P., MARTINEZ-BOZA, F., GALLEGOS, C. "Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens," Fuel, 83, 2041-2049, 2004.
- [28] YU, J. Y. Z., FENG, G., ZHANG H. L., "9 - Ageing of polymer modified bitumen (PMB) A2 - McNally, Tony," in Polymer Modified Bitumen, ed: Woodhead Publishing, 264-297, 2011.
- [29] ASMÜD. Türkiye'de son 5 yılda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi. <http://www.asmud.org.tr/> (erişim tarihi: 14.08.2017).
- [30] ZHU, J., BIRGISSON, B., KRINGOS, N. "Polymer modification of bitumen: Advances and challenges," European Polymer Journal, 54, 18-38, 2014.
- [31] EAPA. Consumption of bitumen in the road industry "http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2016/AIF_2015_v6.pdf" (erişim tarihi: 14.08.2017).
- [32] SALAMONE, J. C. Polymeric Materials Encyclopedia: CRC Press 1996.
- [33] SHI, H., XU, T., ZHOU, P., JIANG, R. "Combustion properties of saturates, aromatics, resins, and asphaltenes in asphalt binder," Construction and Building Materials, 136, 515-523, 2017.
- [34] BISSADA, K. A., TAN, J., SZYMCZYK E., DARNELL, M., MEI, M. "Group-type characterization of crude oil and bitumen. Part I: Enhanced separation and quantification of saturates, aromatics, resins and asphaltenes (SARA)," Organic geochemistry, 95, 21-28, 2016.
- [35] CARBOGNANI, L., ROA-FUENTES, L., DIAZ, L., LOPEZ-LINARES, F., VASQUEZ, A., PEREIRA-ALMA, P., HAGHIGAT, P. MAINI, B. B. , SPENCER, R. J. "Monitoring bitumen upgrading, bitumen recovery, and characterization of core extracts by hydrocarbon group-type SARA analysis," Petroleum Science and Technology, 28, 632-645, 2010.
- [36] FIROOZIFAR, S. H., FOROUTAN, S., FOROUTAN, S. "The effect of asphaltene on thermal properties of bitumen," Chemical Engineering Research and Design, 89, 2044-2048, 2011.
- [37] AIREY, G. D., "Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens ☆," Fuel, 82, 1709-1719, 2003.

POLİMER MODİFİYE BİTÜM MODİFİKASYONUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

- [38] BAKER, R. E. "Polymer modified bitumen," *Indian Highways*, 26:1, 85-94, 1998.
- [39] BULATOVIĆ, V., REK, O. V. MARKOVIĆ, K. J., "Polymer modified bitumen," *Materials research innovations*, 16, 1-6, 2012.
- [40] LU, X., ISACSSON, U. "Influence of styrene-butadiene-styrene polymer modification on bitumen viscosity," *Fuel*, 76, 1353-1359, 1997.
- [41] LU, X., ISACSSON, U., EKBLAD, J. "Rheological properties of SEBS, EVA and EBA polymer modified bitumens," *Materials and Structures*, 32, 131-139, 1999.
- [42] POLACCO, G., BERLINCIONI, S., BIONDI, D., STASTNA, J., ZANZOTTO, L. "Asphalt modification with different polyethylene-based polymers," *European Polymer Journal*, 41, 2831-2844, 2005.
- [43] BECKER, Y., MENDEZ, M. P., RODRIGUEZ, Y. "Polymer modified asphalt," in *Vision tecnologica*, 9, 39-50, 2001.
- [44] SINGH, S. K., KUMAR, Y., RAVINDRANATH, S. S. "Thermal degradation of SBS in bitumen during storage: Influence of temperature, SBS concentration, polymer type and base bitumen," *Polymer Degradation and Stability*, 147, 64-75, 2018.
- [45] GALLEGOS, C., GARCÍA-MORALES, M. "7 - Rheology of polymer-modified bitumens A2 - McNally, Tony," in *Polymer Modified Bitumen*, ed: Woodhead Publishing, , 197-237, 2011.
- [46] GOLZAR, K., JALALI-ARANI, A. NEMATOLLAHI, M. "Statistical investigation on physical-mechanical properties of base and polymer modified bitumen using Artificial Neural Network," *Construction and Building Materials*, 37, 822-831, 2012.
- [47] GONZÁLEZ, V., MARTÍNEZ-BOZA, F., GALLEGOS, C. PÉREZ-LEPE, A., PÁEZ A. "A study into the processing of bitumen modified with tire crumb rubber and polymeric additives," *Fuel processing technology*, 95, 137-143, 2012.
- [48] SENGOZ, B., ISIKYAKAR, G. "Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen," *Construction and Building Materials*, 22, 1897-1905, 2008.
- [49] BALAGUERA, A., CARVAJAL, G. I., ALBERTÍ, J., FULLANA-I-PALMER, P. "Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review," *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 37-48, 2018.
- [50] KALIA, S., THAKUR, K., CELLI, A., KIECHEL, M. A., SCHAUER, C. L. "Surface modification of plant fibers using environment friendly methods for their application in polymer composites, textile industry and antimicrobial activities: A review," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1, 97-112, 2013.
- [51] MUNERA, J. C., OSSA, E. A. "Polymer modified bitumen: Optimization and selection," *Materials & Design* 62, 91-97, 2014.
- [52] KALANTAR, Z. N., KARIM, M. R., MAHREZ, A. "A review of using waste and virgin polymer in pavement," *Construction and Building Materials*, 33, 55-62, 2012.
- [53] KU, H., WANG, H., PATTARACHAIYAKOOP, N. TRADA, M. "A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites," *Composites Part B: Engineering*, 42, 856-873, 2011.
- [54] KARADUMAN, N. "Polimer Molekül Ağırlığı," <http://kbyapikimyasallari.com/polimer-molekul-agirligi/2018>, (erişim tarihi: 21.07.2018)
- [55] NIVITHA, M. R., MURALI KRISHNAN, J. "What is Transition Temperature for Bitumen and How to Measure It?," *Transportation in Developing Economies*, 2:3, 1-8, 2016.
- [56] WEGAN, V. "Effect of Design Parameters on Polymer Modified Bituminous Mixtures," *Danish Road Institute*, 35 sayfa, 2001.
- [57] AL-ABDUL WAHHAB, H., DALHAT, M. HABIB, M. "Storage stability and high-temperature performance of asphalt binder modified with recycled plastic," *Road Materials and Pavement Design*, 18, 1117-1134, 2017.
- [58] ISACSSON, U., LU, X. "Characterization of bitumens modified with SEBS, EVA and EBA polymers," *Journal of Materials Science*, 34, 3737-3745, 1999.
- [59] ROSSI, C. O., SPADAFORA A., TELTAYEV, B., IZMAILOVA, G., AMERBAYEV, Y., BORTOLOTTI, V. "Polymer modified bitumen: Rheological properties and structural characterization," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 480, 390-397, 2015.
- [60] YILMAZ, M., KÖK, B.V., YAMAÇ, Ö. E. "Determination of rheological properties of polymer and natural asphalts modified binders after storage stability test," *Sigma*, 33, 157-165, 2015.