

Cocamide Diethanolamide Kimyasalının Bitüm Modifikasyonunda Kullanımı

Use of Cocamide Diethanolamide Chemical in Bitumen Modification

Gizem KAÇAROĞLU^{1*}, Mehmet SALTAN²

^{1,2}Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.
gizemkacaroglu07@gmail.com, mehmetaltan@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 02.07.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 02.12.2019
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.01643
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, Cocamide Diethanolamide kimyasalının bitüm modifikasyonunda kullanımı araştırılmıştır. Katkı malzemesi olarak Cocamide Diethanolamide kimyasal seçilirken kimyasal ve bitüm arasındaki sıcaklığa bağlı davranış, kimyasal yapı gibi özelliklerin benzer olması etkili olmuştur. Buna ilaveten, Cocamide Diethanolamide kimyasalının bitüm modifikasyonunda ilk kez kullanılmış olması, bu çalışmayı ayırt edici kılmaktadır. Bitümün kimyasal ile %1, %3 ve %5 katkı oranlarında, 155 °C ve 165 °C modifikasyon sıcaklıklarında, 30, 60, 90 dakika boyunca 1000 rpm karışım hızı kullanılarak birden fazla kez modifikasyonu sağlanmıştır. Bu modifikasyonlar sonucunda her biri üç numune içeren 6 adet deney seti elde edilmiştir. Farklı parametrelerin modifiye edilmiş numuneler üzerine etkileri yumuşama noktası, penetrasyon, düktilité, dönel viskozimetre deneyleri ile araştırılmıştır ve Cocamide Diethanolamide kimyasalının, bitümü yumuşattığı ve bitümün işleme sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür. Katkı oranı arttıkça karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında görülen düşüş, hem ekonomik hem de çevresel olarak fayda sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Cocamide Diethanolamide, Bitüm Modifikasyonu, Dönel Viskozimetre

Abstract

In this study, the usage of Cocamide Diethanolamide chemical for bitumen modification were investigated. When selecting Cocamide Diethanolamide chemical as the additive material, it has been effective that the properties such as behavior, chemical structure depending on the temperature between chemical and bitumen are similar. In addition, the usage of Cocamide Diethanolamide chemical for the first time in bitumen modification makes this study distinctive. Modification of bitumen with chemical was achieved more than once at the 1%, 3% and 5% additive ratios, 155 °C and 165 °C modification temperatures, using a mixing speed of 1000 rpm for 30, 60, 90 minutes. As a result of these modifications, 6 testing sets, each of them contains three sample, were obtained. The effects of different parameters on modified samples were investigated by softening point, penetration, ductility, rotational viscometer tests and it has been observed that Cocamide Diethanolamide chemical softens bitumen and lowers the processing temperature of bitumen. As the additive ratio increases, the decrease in mixing and compaction temperatures is beneficial both economically and environmentally.

Keywords: Cocamide Diethanolamide, Bitumen Modification, Rotational Viscometer

1 Giriş

Bitümlü sıcak karışımlar, oransal olarak çok az miktarda bitüm ihtiva etse de bu bağlayıcı malzeme, kaplamalardan beklenen performansın gösterilmesi açısından oldukça önemli görevler üstlenir. Bitüm, sahip olduğu özelliklerle üstyapının yük dağıtma yeteneğinin yanı sıra aşınma, deformasyon ve yorulma direnci üzerinde azımsanamayacak düzeyde etkilidir. Bitümün agregalarla karışımı sağlandığı zaman bu özelliklere bitümlü sıcak karışım da sahip olur. Karışımda kullanılan bitümlü bağlayıcıların özelliklerini kaybetmesi sonucu, karışımların performansı olumsuz etkilenir ve üstyapıda bozulmalar meydana gelir.

Bahsedilen bozulmaların oluşumunun önüne geçilebilmesi için bitümlü bağlayıcı, çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak modifiye edilir. Örneğin farklı çalışmalarda Stiren – Butadien – Stiren (SBS) polimeri ile modifiye bağlayıcıların ve bitümlü sıcak karışımların fiziksel ve mekanik özellikleri, bu polimerin kalıcı deformasyonlar üzerine etkileri ve polimer modifikasyonun tekerlek izi dayanımına etkisi incelenmiştir [1]-[3]. Ayrıca başka bir çalışmada, SBS polimerinin bitümün yaşlanmasını azaltmak adına belli bir oranda etkili olduğu ve düşük sıcaklık özelliklerini bir seviyeye kadar iyileştirebildiği gözlemlenmiştir [4]. Bir diğer polimer olan Etilen – Vinil – Asetat (EVA) ise yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi, düşük sıcaklıklarda çatlama riskini azaltmıştır [5]. 160/220

penetrasyonlu saf bitümün ve SBS katkı maddesiyle modifiye edilen bağlayıcıların işlenebilirliğinin dönel viskozimetre deneyi ile araştırıldığı başka bir çalışmada, 135 °C ve 165 °C'de bağlayıcıların viskozite değerlerinin, dolayısıyla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının arttığı görülmüştür [6].

Bitüm modifikasyonunda, polimerlerin yanı sıra kimyasal malzemelerin kullanımına da literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Kimyasal katkılar genellikle, soyulma önleyici malzemelerin, yüzey aktif (sürfaktan) maddelerin ve polimerlerin bir kombinasyonu şeklindedir ve bitümün agregaları kaplama yeteneğini geliştirmek, bitümü yumuşatıp viskozitesini düşürerek işlenebilirliğini artırmak ve bitümün yüzey enerjisini düşürmek amacıyla kullanılır. Kimyasal katkıların, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını 30 °C civarında düşürebildiği ve daha düşük karışım sıcaklıklarının yakıt tüketiminde azalma anlamına geldiği; böylece çevreye daha az sera gazı salınımı sağlandığı, bu durumun da daha iyi çalışma koşulları meydana getirdiği bilinmektedir [7]-[10]. Bir çalışmada mekanik aşındırma yöntemiyle nano boyuta gelecek şekilde öğütülen nano magnezyum spinel oksit (NMS) ve nano kolemanit (NK) maddelerinin kullanılmasının sıcaklık etkisi altında üstyapının performans özellikleri üzerine olumlu etkiler yarattığı görülmüştür ve bu olumlu etkilerin modifikasyonla ortaya çıkan maliyet artışını tolere edeceği çıkarımı yapılmıştır [11]. Organik esaslı magnezyum bileşiği sentezlenerek modifiye edilen bitümün agrega ile adezyonu

artmış ve soyulmaya karşı mukavemeti olumlu yönde etkilenmiştir; viskozite sonuçlarından da bitümün işlenebilirliğinin arttığı anlaşılmıştır [12]. Cecabase kimyasal yüzey aktif maddesinin kullanıldığı bir çalışmada, bu katkının da adezyonu belli bir dereceye kadar artırdığı görülmüştür. Ayrıca bitümün yüzey enerjisi katkı kullanımı ile düşürülmüştür [13]. Ayrıca Cecabase malzemesi, Sasobit katkısı ile karşılaştırıldığında, %0.4 oranına kadar Cecabase katkısının bitümün viskozitesini neredeyse hiç değiştirmedeği; ancak %4 Sasobit katkısının maksimum düzeyde karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı azalışı sağladığı görülmüştür. Bu çalışmaya göre de bağlayıcı viskozitesini etkilemediği için Cecabase malzemesinin, sadece yüzey aktif malzeme olarak rol oynadığı sonucuna varılmıştır [9]. Bunlara ilaveten organik yüzey aktif katkılar ile mikro kristalli vaksların, bitümlü sıcak karışım üretim aşamasında meydana getirecekleri sıcaklık azalışları karşılaştırılmış, bu amaçla bitüm modifikasyonu rafineride sağlanmıştır. Sonuç olarak katkı olarak her iki malzemenin kullanımının da bitümlü sıcak karışım üretim sıcaklığını 140 °C'ye kadar düşürebildiği gözlemlenmiştir [14]. Oktadesil akrilat, stiren ve maleik anhidritin kopolimerizasyonu ile hazırlanan katkı maddesinin (OASA), bitüm üzerindeki viskozite azaltıcı etkisinin incelendiği başka bir çalışmada, farklı oranlardaki katkı maddesi ve bitüm, 450-650 rpm arasında değişen karışım hızlarında, 15 dakika süreyle karıştırılmıştır. Bu katkı maddesi, bitüm viskozitesini önemli ölçüde düşürürken penetrasyonu ve düktiliteyi kayda değer şekilde artırmıştır. Böylece bitümün düşük sıcaklık performansının OASA katkısı ile arttığı çıkarımı yapılmıştır [15].

Bu çalışmada da bir yüzey aktif malzeme olan Cocamide Diethanolamide (CDEA) kimyasalı ile 50/70 penetrasyon dereceli bitümün modifikasyonu, 1000 rpm karışım hızı, 155 °C ve 165 °C modifikasyon sıcaklıkları, 30 dk, 60 dk, 90 dk modifikasyon süreleri ve %1, %3, %5 katkı oranları kullanılarak sağlanmıştır. Çalışmanın odağında, orijinal bitümün ve her biri üçer adet numunedan oluşan 6 setteki modifiye bitümlerin temel özelliklerinin incelenmesi ve farklı modifikasyon parametrelerinin kullanımının, temel özellikler üzerine etkisinin araştırılması yer almaktadır. Belirtilen farklı parametrelerin, modifikasyona olan etkileri geleneksel bitüm deneyleri (yumuşama noktası, penetrasyon, düktilite) ile araştırılmıştır. Dönel viskozimetre (RV) deneyi, katkı maddesinin bitüm viskozitesini azaltacağı öngörüldüğü için orijinal bitüm ve modifiye edilmiş bitümlerin tümünü içeren 6 deney seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu viskozite azalışıyla hem ekonomik kazanç elde edilmesi hem de çevresel bakımdan fayda sağlanması amaçlanmaktadır.

2 Materyal ve Yöntem

2.1 Bitüm

Modifikasyonda ve deneysel çalışmalarda kullanılan 50/70 penetrasyon dereceli bitümlü bağlayıcı, Isparta Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünden temin edilmiştir. Tablo 1'de bitümlü bağlayıcının sahip olduğu özellikler gösterilmiştir.

Tablo 1: Bitümlü bağlayıcı özellikleri

Özellik	Değer
Penetrasyon (0.1 mm)	64
Yumuşama Noktası (°C)	47.3
Düktilite, 25 °C (cm)	>100
Viskozite, 135 °C (cP)	373
Viskozite, 165 °C (cP)	106.7
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1.021

2.2 Cocamide Diethanolamide

$CH_3(CH_2)_nC(=O)N(CH_2CH_2OH)_2$ şeklinde kimyasal formüle sahip olan Cocamide Diethanolamide (CDEA), "birbiri içinde çözünmeyen iki farklı maddeyi çözünür hale getiren" anlamına gelen yüzey aktif (sümfaktan) bir malzeme olarak bilinir. Genel olarak bu diethanolamidlerin, bir asitle yoğunlaştırma reaksiyonu ile elde edildiği bilinmektedir. CDEA da hindistan cevizi yağlarından elde edilen yağ asitleri karışımının reaksiyonu ile meydana gelir ve bu karışımın suda çözünür bir türevidir. Sabunlar, şampuanlar, kozmetik ürünlerin de dâhil olduğu endüstriyel ve evsel ürünler gibi anyonik esaslı sistemlerde, viskozite artıran ve köpük stabilizasyonu sağlayan noniyonik bir maddedir [16]-[18]. CDEA kimyasalının sahip olduğu özellikler Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: CDEA kimyasalının özellikleri

Özellik	Değer
Kaynama Noktası (°C)	169-275
Erime Noktası (°C)	<10
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	0.976-0.99
pH (%1 solüsyon)	9
Parlama Noktası (°C)	93.333

2.3 Modifiye bitümlerin hazırlanması

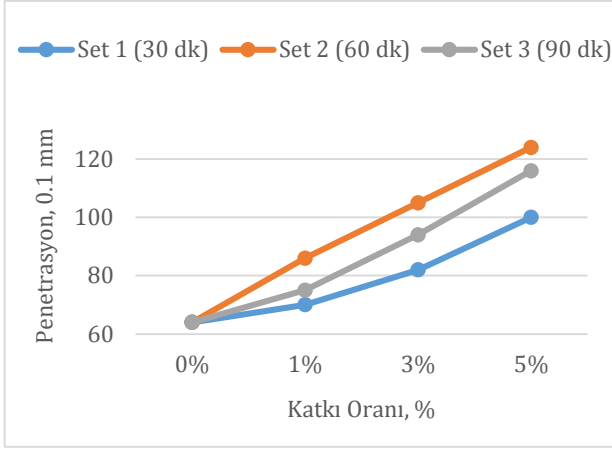
Daha önce aynı malzeme (CDEA), 3000 ve 4000 rpm karışım hızları, 165 °C modifikasyon sıcaklığı ve 90 dk modifikasyon süresi tercih edilerek sağlanan karışımlar sonucu gerçekleştirilen temel bitüm deneylerinden, tutarlı sonuçlar elde edilememesi nedeniyle farklı ve daha uygun olduğu düşünülen parametreler modifikasyonda kullanılmıştır. Modifiye bitümler, %1, %3 ve %5 oranlarında CDEA kimyasalının, 1000 rpm karışım hızında, 155 °C ve 165 °C sıcaklıklarda, 30 dk, 60 dk ve 90 dk şeklinde belirlenen süreler boyunca bitümle karıştırılması sonucu elde edilmiştir. Bu şekilde her birinde üçer adet numune bulunan 6 farklı deney seti oluşturulmuştur. Modifiye edilmiş bitümlerin hazırlanmasında sıcaklık kontrollü, yüksek devirli karıştırıcı kullanılmıştır.

Katkı maddesinin ve karışım parametrelerindeki değişikliklerin, bitüm özellikleri üzerinde meydana getirdiği etkiler penetrasyon (TS EN 1426), yumuşama noktası (Ring&Ball) (TS EN 1427), düktilite (TS EN 13589) ve dönel viskozimetre (Rotational Viscometer) (ASTM D 4402) deneyleri ile belirlenmiştir.

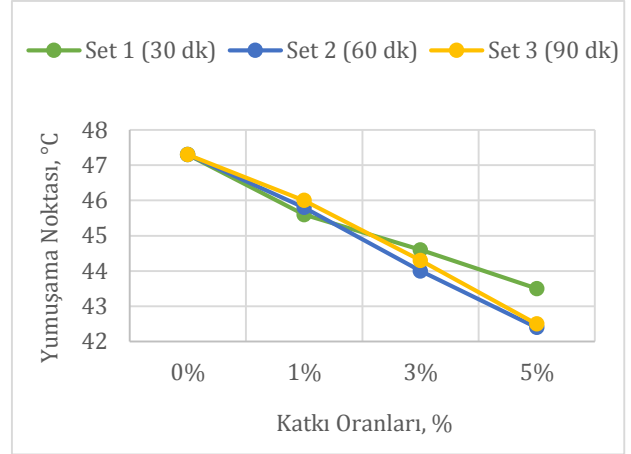
3 Sonuçlar

Karışım parametrelerinin bitümlü bağlayıcı kıvamına etkisinin belirlenmesi için öncelikle penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Penetrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar, modifikasyon sıcaklıkları (155 °C ve 165 °C) aynı iken modifikasyon sürelerinin (30, 60 ve 90 dakika) farklı olduğu deney setleri şeklinde iki adıma ayrılarak incelenmiştir. Sonuçların grafikler halinde gösterimleri Şekil 1 ve Şekil 2'de mevcuttur.

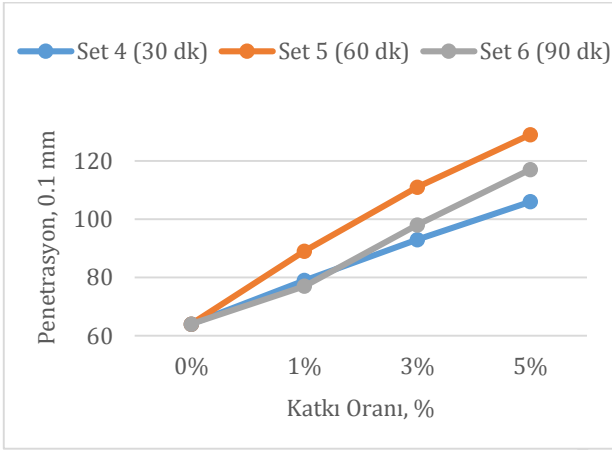
Şekil 1'de verilen grafiğe göre, diğer karışım parametreleri aynı iken, süre ve katkı oranlarındaki artış, her set için penetrasyon değerlerinde sürekli bir artışa sebep olmuştur. En yüksek katkı oranında ve aynı şartlarda, en fazla sertlik azalışını veren süre 60 dakikadır.



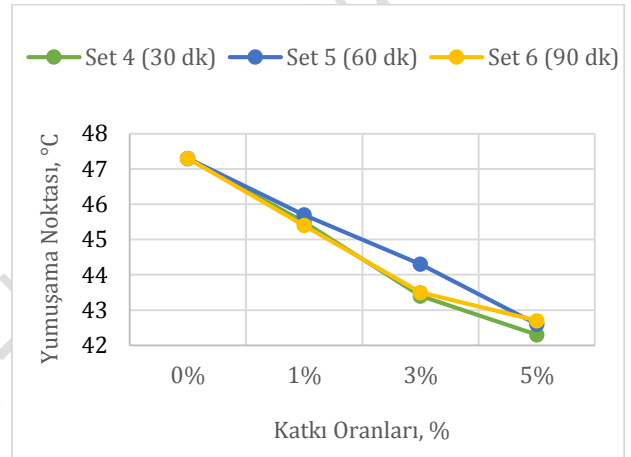
Şekil 1: 1000 rpm karışım hızı ve 155 °C modifikasyon sıcaklığı için penetrasyon değerleri



Şekil 3: 1000 rpm karışım hızı ve 155 °C modifikasyon sıcaklığı için yumuşama noktası değerleri



Şekil 2: 1000 rpm karışım hızı ve 165 °C modifikasyon sıcaklığı için penetrasyon değerleri



Şekil 4: 1000 rpm karışım hızı ve 165 °C modifikasyon sıcaklığı için yumuşama noktası değerleri

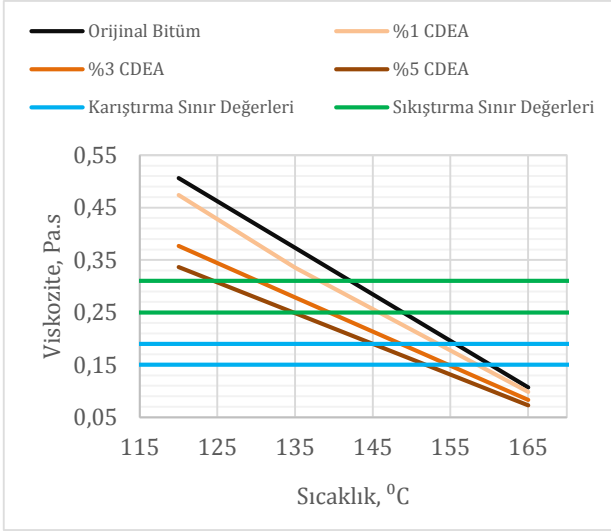
Penetrasyon değerlerindeki artış, Şekil 2'de verilen setler için de geçerlidir. %1 katkı oranında, 30 ve 90 dakika modifikasyon süreleri için penetrasyon artışı oldukça yakındır; ancak 60 dakikada tüm oranlarda penetrasyon artışı oldukça farklıdır. En yüksek katkı oranında ve aynı şartlarda, en fazla sertlik azalışını veren sürenin 60 dakika olduğu görülmektedir.

Yumuşama noktası deneylerinden elde edilen sonuçlar, yine aynı şekilde iki adıma ayrılarak incelenmiştir. Yumuşama noktası deneylerinin sonuçlarının grafikler halinde gösterimleri Şekil 3 ve Şekil 4'te mevcuttur. Şekil 3'te verilen grafiğe göre, diğer karışım parametreleri aynı iken, süre ve katkı oranlarındaki artışın, her set için yumuşama noktası sıcaklıklarında sürekli bir düşüşe sebep olduğu söylenebilir. Ayrıca en yüksek katkı oranında ve aynı şartlarda, en fazla sıcaklık azalışını veren süre 60 dakikadır.

Şekil 4'te ise yumuşama noktası değerlerinde mevcut olan düşüşün yanı sıra 30 ve 90 dakikalık karışım sürelerinin kullanıldığı setler için, tüm oranlarda yumuşama noktası değerlerinin birbirlerine yakın seyrettiği görülmektedir. En yüksek katkı oranında ve aynı şartlarda, en fazla sıcaklık azalışını veren süre 30 dakikadır.

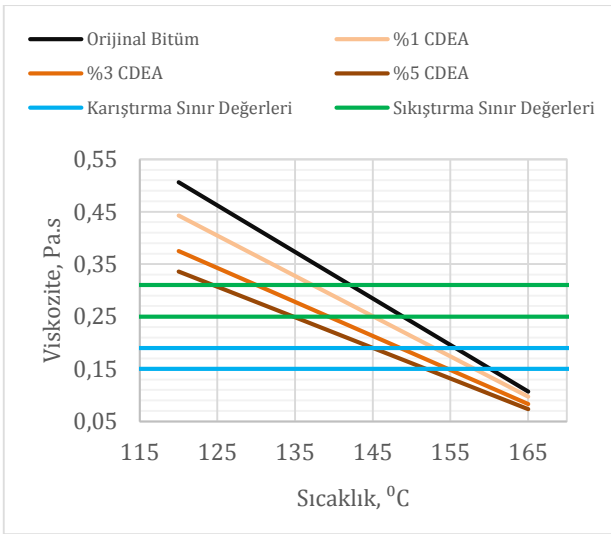
Cocamide Diethanolamide kimyasalının, her deney setinde %1, %3 ve %5 oranlarında kullanıldığı tüm numuneler için gerçekleştirilen düktilite deneylerinde, orijinal bitüm ve tüm modifiye bitüm numuneleri, 25 °C sıcaklıkta şartname sınır değeri olan 100 cm'yi geçecek şekilde kopmadan uzama göstermiştir.

Bu aşamadan sonra, orijinal bitümün ve 6 setteki bitüm numunelerinin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları ile sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla dönel viskozimetre deneyi uygulanmıştır. Deneylerde 135 °C ve 165 °C olmak üzere iki ayrı sıcaklık değeri kullanılmıştır. Tüm setler için hem karıştırma/sıkıştırma sıcaklıklarında katkı oranının artırılmasıyla düşüş meydana geldiği ve bu düşüşün en fazla hissedildiği oranın %5 katkı oranı olduğu görülmüştür. Bu düşüşler, CDEA ile modifiye edilmiş bitümlerin işlenebilirliğinin, orijinal bitümlere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Her deney setinde, katkı oranlarının artışı ile görülen viskozite azalışının orijinal bitümle kıyaslandığı grafikler Şekil 5 - 10'da görülmektedir. Karıştırma sıcaklık aralıklarında ve sıkıştırma sıcaklık aralıklarında mevcut olan düşüş, grafiklerde bariz şekilde görülebilmektedir.



Şekil 5: Set 1 (1000 rpm, 155 °C, 30 dk) dönel viskozimetre deneyi sonuçları

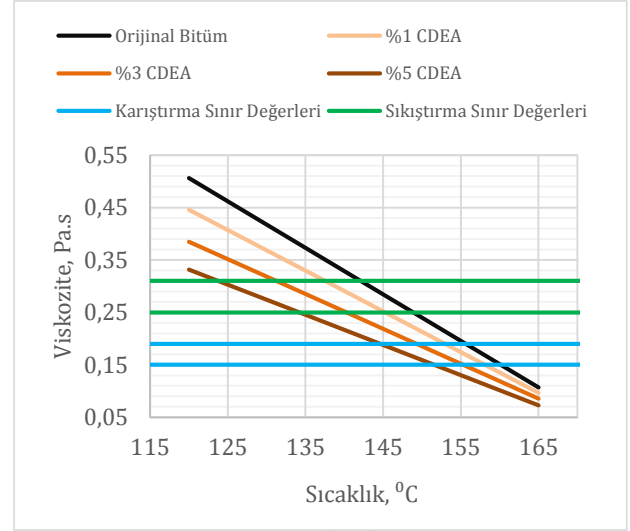
Buna göre karıştırma sıcaklıkları, orijinal bitüm için 157.9 °C, %1 CDEA katkısı için 155.9 °C, %3 CDEA katkısı için 151.6 °C ve %5 CDEA katkısı için 148.4 °C'dir. Sıkıştırma sıcaklıkları ise orijinal bitüm için 145.5 °C, %1 CDEA katkısı için 142 °C, %3 CDEA katkısı için 134.8 °C ve %5 CDEA katkısı için 129.6 °C'dir.



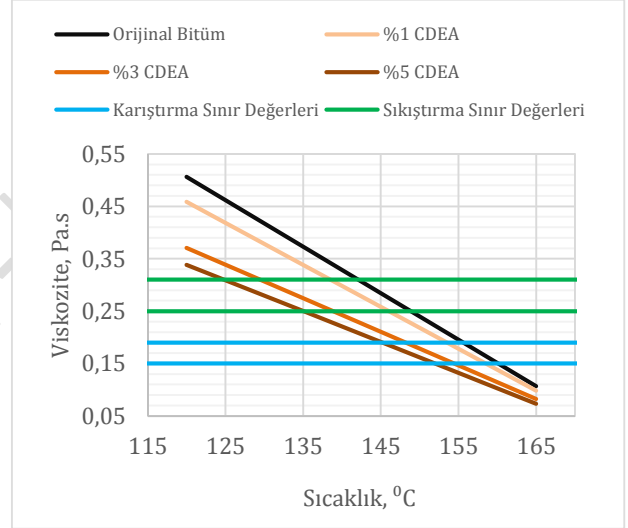
Şekil 6: Set 2 (1000 rpm, 155 °C, 60 dk) dönel viskozimetre deneyi sonuçları

Set 2 için ise Şekil 6'da verilen grafiğe göre karıştırma sıcaklıkları, %1 CDEA katkısı için 155.5 °C, %3 CDEA katkısı için 151.6 °C ve %5 CDEA katkısı için 148.5 °C olarak okunmuştur. Sıkıştırma sıcaklıkları, %1 CDEA katkısı için 141.2 °C, %3 CDEA katkısı için 134.7 °C ve %5 CDEA katkısı için 129.6 °C'dir.

Şekil 7'de görülen grafiğe göre karıştırma sıcaklıkları, %1 CDEA katkısı için 155.5 °C, %3 CDEA katkısı için 152.3 °C ve %5 CDEA katkısı için 148.1 °C'dir. Sıkıştırma sıcaklıkları %1 CDEA katkısı için 141.4 °C, %3 CDEA katkısı için 135.8 °C ve %5 CDEA katkısı için 129 °C'dir.



Şekil 7: Set 3 (1000 rpm, 155 °C, 90 dk) dönel viskozimetre deneyi sonuçları



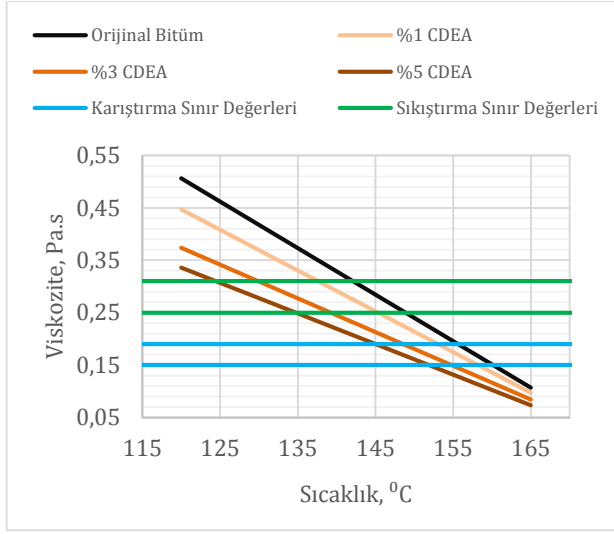
Şekil 8: Set 4 (1000 rpm, 165 °C, 30 dk) dönel viskozimetre deneyi sonuçları

Şekil 8'den Set 4 için karıştırma sıcaklıkları, %1 CDEA katkısında 156.1 °C, %3 CDEA katkısında 151.3 °C ve %5 CDEA katkısında ise 148.6 °C olarak okunmuştur. Sıkıştırma sıcaklıkları da %1 CDEA katkısı için 142.3 °C, %3 CDEA katkısı için 134.2 °C ve %5 CDEA katkısı için 130 °C şeklinde belirlenmiştir.

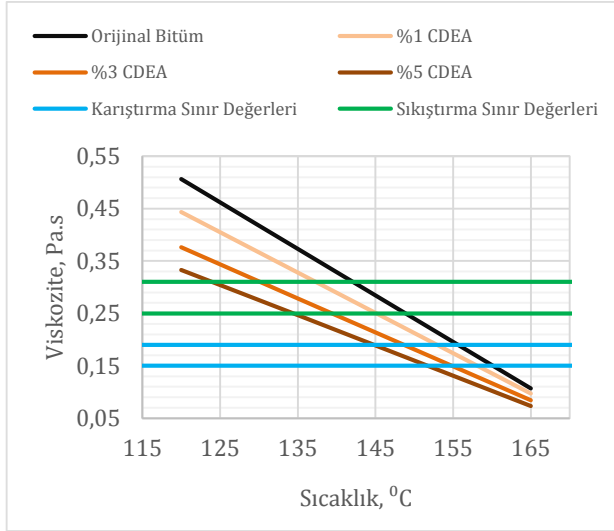
Set 5 dönel viskozimetre sonuçlarının gösterildiği Şekil 9'da karıştırma sıcaklıkları, %1 CDEA katkısında 155.6 °C, %3 CDEA katkısında 151.7 °C ve %5 CDEA katkısında ise 148.4 °C olarak belirlenmiştir. Sıkıştırma sıcaklıkları ise %1 CDEA katkısı için 141.5 °C, %3 CDEA katkısı için 134.6 °C ve %5 CDEA katkısı için 129.6 °C'dir.

Son olarak Set 6 için Şekil 10'da verilen grafiğe göre karıştırma sıcaklıkları, %1 CDEA katkısı için 155.5 °C, %3 CDEA katkısı için 151.8 °C ve %5 CDEA katkısı için 148.3 °C'dir. Sıkıştırma sıcaklıklarının ise %1 CDEA katkısı için 141.2 °C, %3 CDEA katkısı için 134.8 °C ve %5 CDEA katkısı için 129.2 °C olduğu görülmektedir. Tüm deney setlerinde, en yüksek katkı oranı olan %5 için, karıştırma sıcaklıkları yaklaşık olarak %6; sıkıştırma sıcaklıkları ise yaklaşık olarak %11 oranında azalış

göstermiştir. İşlenebilirliğin bu şekilde artmış olması, daha düşük sıcaklıklarda çalışılmasına imkân verdiğinden, CDEA ile modifikasyon sonucu üstyapı inşa maliyeti ve harcanan enerji azalacaktır.



Şekil 9: Set 5 (1000 rpm, 165 °C, 60 dk) döneel viskozimetre deneyi sonuçları



Şekil 10: Set 6 (1000 rpm, 165 °C, 90 dk) döneel viskozimetre deneyi sonuçları

50/70 penetrasyon dereceli bitümün CDEA ile modifikasyonu, bitümün kıvamı üzerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Tüm numuneler üzerinde gerçekleştirilen penetrasyon deneylerinde, en yüksek katkı oranı için penetrasyon değerlerinin neredeyse %100 oranında arttığı görülmüştür. CDEA oranının artmasıyla penetrasyon değerinin, orijinal bitüme göre arttığı ve bu artışın, karışım parametrelerindeki değişikliklerden etkilenmediği açıktır. Numuneler üzerine uygulanan yumuşama noktası deneylerinde, her deney seti için CDEA oranının artmasıyla yumuşama noktası sıcaklığı, orijinal bitüme göre azalmış ve bu azalış, yine karışım parametrelerindeki değişikliklerden etkilenmemiştir. Bu durumda yumuşama noktası ve penetrasyon deneylerinin sonuçları birbirleriyle tutarlıdır. Bu tutarlılık göz önüne alınırsa CDEA ile modifiye edilmiş bitümlerin soğuk iklimli bölgeler için uygun olduğu söylenebilir. Buna ilaveten, 1000 rpm karışım hızı, 155 °C modifikasyon sıcaklığı, 60 dk modifikasyon süresi

ve %5 katkı oranı için hem en yüksek penetrasyon hem de en düşük yumuşama noktası değerleri elde edilerek tutarlılık sağlanmış olması dolayısıyla, bu parametrelerin birlikte kullanımının uygun olduğu şeklinde değerlendirme yapılmıştır. Ancak 1000 rpm karışım hızı, 165 °C modifikasyon sıcaklığı, %5 katkı oranı için, en yüksek penetrasyon değerinin 60 dk modifikasyon süresi; en düşük yumuşama noktası değerinin ise 30 dk modifikasyon süresi ile elde edilmesi, bu parametrelerin birlikte kullanımının uygun olmadığını düşündürmüştür. Düktilite deneylerinin sonuçlarına göre orijinal bitüm ve tüm modifiye bitüm numuneleri, 25 °C sıcaklıkta şartname sınır değeri olan 100 cm'yi geçecek şekilde kopmadan uzama göstermiştir. Orijinal bitüm ve modifiye bitümler üzerinde gerçekleştirilen döneel viskozimetre deneylerine göre, orijinal bitümle kıyaslandığında, tüm setlerde en yüksek katkı oranı olan %5 CDEA ile modifiye edilen numunelerin, karıştırma sıcaklığını ve sıkıştırma sıcaklığını en fazla oranda azalttığı görülmektedir. Yine %5 CDEA katkılı numunelerin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıklarında görülen belirgin azalışlar dikkat çekmektedir. Bu azalışlar, enerjiden kazancın arttığı ve maliyette azalma görüleceği anlamına gelmektedir. CDEA ile modifikasyonun bitümlü bağlayıcılara kazandırdığı daha yüksek akışkanlık özelliği sayesinde, bitümlerin daha düşük sıcaklıklarda sıvı hale geleceği ve böylece bitümlerin ısıtılması, karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması esnasında çevreye salınan sera gazlarında azalma görüleceği açıktır. Ayrıca yüzey aktif malzeme olan CDEA kimyasalının, kendisiyle aynı özelliğe sahip diğer katkı maddeleriyle gerçekleştirilen çalışmalarda gibi performans göstereceği ve bitüm ile agregalar arasındaki adezyonu geliştireceği beklenmektedir. Bu avantajların yanı sıra, CDEA katkı oranının artması sonucu bitümün yumuşaması nedeniyle, daha yüksek oranlarda malzeme kullanımının, soyulma direnci üzerinde olumsuz etki meydana getireceği öngörülmektedir.

4 Kaynaklar

- [1] Yılmaz M, Kök BV. "Effects of ferrochromium slag with neat and polymer modified binders in hot bituminous mix". *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, Vol. 16, 310-318, 2009.
- [2] Khodaii A, Mehrara A. "Evaluation of permanent deformation of unmodified and sbs modified asphalt mixtures using dynamic creep test". *Construction and Building Materials*, 23(7), 2586-2592, 2009.
- [3] Özen H. "Rutting evaluation of hydrated lime and sbs modified asphalt mixtures for laboratory and field compacted samples". *Construction and Building Materials*, 25(2), 756-765, 2011.
- [4] Eribol S, Orhan F. "Elastomerlerle modifiye edilmiş bitümlerin özellikleri". 4. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 25-26 Kasım 2004.
- [5] Gonzalez O, Munoz ME, Santamaria A, Garcia-Morales M, Navarro FJ, Partal P. "Rheology and stability of bitumen/eva blends". *European Polymer Journal*, 40(10), 2365-2372, 2004.
- [6] Alataş T, Kizirgil ME. "Saf ve polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının döneel viskozimetre deneyi ile belirlenmesi". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28(3), 249-256, 2012.
- [7] Rubio MC, Martínez G, Baena L, Moreno, F. "Warm mix asphalt: an overview". *Journal of Cleaner Production*, 24, 76-84, 2012.

- [8] European Asphalt Pavement Association, "The use of warm mix asphalt – EAPA position paper". Brussels, Belgium, EAPA, 2010.
- [9] Silva HMRDD, Oliveira J, Ferreira CI, Pereira PA. "Assessment of the performance of warm mix asphalts in road pavements" *International Journal of Pavement Research and Technology*, 3(3), 119-127, 2010.
- [10] Silva HMRDD, Oliveira J, Ferreira CIG, Peralta EJF. "Evaluation of the rheological behaviour of warm mix asphalt (WMA) modified binders". *7th International RILEM Symposium on Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials (ATCBM09)*, 661-673, 2009.
- [11] Öcal A, Gürü M, Karacasu M. "Nano magnezyum spinel ve kolemanit ile bitümün performans özelliklerinin geliştirilmesi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3), 939-951, 2018.
- [12] Arslan D, Gürü M, Çubuk MK. "Improvement of hot mix asphalt performance in cold regions by organic-based synthetic compounds". *Cold Regions Science and Technology*, 85, 250-255, 2013.
- [13] Kakar MR, Hamzah MO, Akhtar MN, Woodward D. "Surface free energy and moisture susceptibility evaluation of asphalt binders modified with surfactant-based chemical additive". *Journal of Cleaner Production*, 112, 2342-2353, 2016.
- [14] Pérez-Martínez M, Moreno-Navarro F, Martín-Marín J, Ríos-Losada C, Rubio-Gámez MC. "Analysis of cleaner technologies based on waxes and surfactant additives in road construction". *Journal of Cleaner Production*, 65, 374-379, 2014.
- [15] Li R, Wang C, Wang P, Pei J. "Preparation of a novel flow improver and its viscosity-reducing effect on bitumen". *Fuel*, 181, 935-941, 2016.
- [16] Fiume MM, Heldreth B, Bergfeld WF, Belsito DV, Hill RA, Klaassen CD, ... Snyder PW. "Safety assessment of diethanolamides as used in cosmetics". *International Journal of Toxicology*, 32(3), 36S-58S, 2013.
- [17] Aalto-Korte K, Pesonen M, Kuuliala O, Suuronen K. "Occupational allergic contact dermatitis caused by coconut fatty acids diethanolamide". *Contact Dermatitis*, 70(3), 169-174, 2014.
- [18] Badaoui A, Amsler E, Raison-Peyron N, Vigan M, Pecquet C, Frances C, Soria A. "An outbreak of contact allergy to cocamide diethanolamide?". *Contact Dermatitis*, 72(6), 407-409, 2015.
- [19] Türk Standartları Enstitüsü. "Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – İğne Batma Derinliği Tayini". Ankara, Türkiye, TS EN 1426, 2015.
- [20] Türk Standartları Enstitüsü. "Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – Yumuşama Noktası Tayini – Halka ve Bilye Yöntemi". Ankara, Türkiye, TS EN 1427, 2015.
- [21] Türk Standartları Enstitüsü. "Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – İşlem Görmüş Bitümlerin Çekme Özelliklerinin Duktometre Metoduyla Tayini". Ankara, Türkiye, TS EN 13589, 2009.
- [22] ASTM International. "Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer". West Conshohocken, PA, ASTM D4402 / D4402M-13, 2013.