

Yapay Olarak Yaşlandırılmış Asfalt Karışımların Ilık Asfalt Karışımlarda Kullanılması

Jülide ÖNER

Dokuz Eylül Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca, İzmir, Türkiye
(0232) 301 70 39

Peyman Aghazadeh DOKANDARI

Dokuz Eylül Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca, İzmir, Türkiye
(0232) 301 70 38

Burak ŞENGÖZ

Dokuz Eylül Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi, Buca, İzmir, Türkiye
(0232) 301 70 72

Ali TOPAL

Dokuz Eylül Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi, Buca, İzmir, Türkiye
(0232) 301 70 40

Derya KAYA

Dokuz Eylül Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi, Buca, İzmir, Türkiye
(0232) 301 70 15

Öz

Ilık Karışım Asfalt (IKA) teknolojisi, asfalt kaplamaların geleneksel sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarda üretilmesine imkan verdiğinden, enerji korunumu ve ekonomi sağlamaktadır. IKA teknolojilerinin dünya çapında hızla gelişmesinden dolayı, bu teknolojinin daha ayrıntılı araştırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. IKA kaplama uygulamalarının laboratuvar boyutundan uygulama boyutuna geçişinin henüz çok yeni olması nedeni ile IKA katkıları kullanılarak yapılan kaplamaların servis ömrü boyunca gösterdikleri davranışlar henüz gözlem aşamasındadır. Bitümlü Sıcak Karışım'a (BSK) kıyasla daha düşük sıcaklıklarda serme ve sıkıştırma olanağı tanıyan IKA katkıları içeren kaplamalar yaşlanma etkisine daha az maruz kalmaktadır. Asfalt kaplama endüstrisi, artan çevre dostu kaplama karışımları kullanımı talebi ve hammadde fiyatları olmak üzere iki temel zorlukla karşı karşıya kalmaktadır. Geri kazanılmış asfalt kaplamalarının (RAP) kullanımı, karışımdaki agrega ve bitüm maliyetlerini azaltmak için önemli bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada, organik IKA katkı maddesi içeren asfalt karışımları ile farklı içeriklerde uzun dönem yaşlandırılmış geri kazanılmış asfalt karışımları kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Karışımların mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla Marshall stabilite ve indirekt çekme deneyleri uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonuçları, yapay olarak yaşlandırılmış asfalt karışımı içeren IKA numunelerinin saf karışımlarla benzer stabilite değerlerine sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Ilık Karışım Asfalt, Bitümlü Sıcak Karışım, Geri Kazanılmış Asfalt, Uzun Dönem Yaşlanma, Organik IKA Katkısı.

Giriş

Trafik hacmindeki ve dingil yüklerindeki artışlar, üretim hataları ve iklim koşulları, yollarda tekerlek izi oluşumu, yorulma çatlakları, düşük sıcaklık çatlakları ve suya karşı duyarlılık gibi bozulmalara sebep olmakta, bu durum da yolun öngörülen ömür ve konfor düzeyini düşürmektedir. Bitümlü bağlayıcının asfalt kaplama performansını doğrudan etkileyen en önemli özelliği, çevre ve iklim şartlarına karşı gösterdiği dayanıklılığıdır. Bitümlü bağlayıcının dayanıklılığı, sertleşmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Bitümlü bağlayıcının çeşitli nedenlerden dolayı sertleşmesi ve kırılğan hale gelmesine de “yaşlanma” veya “zamana bağlı yaşlanma” denilmektedir (Bell ve diğ., 1994). Yapılan ayrıntılı çalışmalar, yaşlanmanın iki aşamada oluştuğunu göstermektedir. Kısa dönem yaşlanma, sıcak karışımın depolanma, plente taşınma, plente karıştırılma, şantiyeye taşınma, serilme ve sıkıştırılma işlemleri sırasında; uzun dönem yaşlanma ise, yolun servis ömrü boyunca oluşmaktadır (Şengöz ve Ağar, 2005).

Son yıllarda araştırmacılar, BSK'nın yerini alacak aynı veya tercihen daha yüksek performanslı, üretim maliyetlerini azaltan, doğal kaynakları koruyan, çevreye daha az zararlı ve uygulamada daha verimli bitümlü karışımlar elde etme yolunda çalışmalar yürütmektedirler (Zaumanis ve Haritonovs, 2010). Bu çalışmalarda benimsenen en önemli yaklaşım, malzemenin üretim sıcaklığının düşürülmesidir (Newcomb, 2007). Bu nedenle araştırmacılar, ılık karışım asfaltlara yönelmişlerdir. Burada amaç, daha az enerji tüketimi ile emisyon miktarını düşürüp çevresel etkileri azaltmak, viskoziteyi düşürüp daha düşük sıcaklıklarda uygun karışım ve sıkıştırma koşullarını sağlayarak geleneksel sıcak karışım asfaltlarla en azından aynı stabilite ve daha yüksek durabilite değerlerine erişmektir.

Asfalt katkıları büyük ölçüde karışımın özelliklerini değiştirmektedirler. Oysaki bazı ılık Karışım Asfalt (IKA) katkılarının bitümde modifikasyon etkilerinin yanı sıra, daha düşük karıştırma, taşıma, uygulama ve sıkıştırma sıcaklıklarından dolayı BSK'ya kıyasla IKA'da yaşlanmadan kaynaklanan bozulmaların daha az meydana gelmesi beklenmektedir.

Asfalt kaplamaların hizmet ömürleri; trafik yükü, çevre koşulları, malzeme kalitesi, taban zemini mukavemeti, drenaj ve yapım kalitesi gibi faktörlere bağlıdır. Servise açılan kaplamalarda bir süre sonra bozulmalar artar ve kapsamlı iyileştirmelere gereksinim duyulur. Bu durumda, trafik etkileri ve güneşin ultraviyole ışınları gibi doğanın aşındırıcı şartlarına maruz kalan ve özellikle kaplama yüzeyinde özelliklerini kısmen yitirmiş eski asfalt kaplamanın yeniden kullanılması, enerji tasarrufu, ekonomi ve çevreyi koruyucu etkileri nedeniyle önem kazanmaktadır.

Servis ömürleri sonunda, yüzeyde iyileştirme yapılması amacıyla asfalt kaplama yüzeylerinden kazınan agregası ve bitümlü bağlayıcı içeren malzemenin geri dönüşüm ile sıcak karışımlarda yeniden kullanımı konusunda çalışmalar yapılmış ve bu konuda önemli adımlar atılmıştır. Günümüzde ılık karışım asfaltların avantajları ile gündeme gelmeleri, geri dönüştürülmüş malzemenin ılık karışım asfalt olarak da kullanılabilir olup olmadığının belirlenmesi ihtiyacını gündeme getirmiştir. Ancak ülkemizde ve genel olarak dünyada geri kazanılmış asfalt kaplaması (RAP) olarak kullanılacak IKA -RAP malzemesi şu an için mevcut değildir. Hizmet ömürleri sonunda IKA kaplamaları için yenilenme ihtiyacı doğacak ve IKA kaplamaların geri dönüşümü söz konusu olacaktır. Bu amaçla, çalışma kapsamında bitümlü karışımların yaşlanmasında kullanılan yöntem (AASHTO R 30) ile IKA karışımlarından yapay RAP üretilerek IKA katkılarını da içeren yapay RAP malzemesinin kullanılabilirliği ve kullanım miktarları araştırılmıştır.

Deneyel Çalışmalar

Malzemeler

Deneyel çalışmalarda TÜPRAŞ Aliğa rafinerisinden temin edilen 50/70 penetrasyon sınıfına ait bitüm kullanılmıştır. Saf bitüm üzerine geleneksel bitüm deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, bağlayıcıların işlenebilirliğinin tespitinde kullanılan ve SUPERPAVE sisteminde yer alan Brookfield Dönel Viskozimetresi (RV) ile viskozite deneyi uygulanmıştır. Deneyel çalışmaların sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

BSK ve IKA karışımlarında kullanılmak üzere seçilen agreganın kabası bazalt, incesi kalker olup, bazalt agregası Dere Beton ve Hazır Yaş Sıva Sanayi ve Ticaret A.Ş.’ne ait Aliğa taşocağından, kalker agregası ise aynı firmanın Belkahve/İzmir taşocağından temin edilmiştir. Karışımlarda kullanılacak agreganın özelliklerini belirlemek amacıyla agrega grupları üzerinde uygulanan deneyler ve sonuçları, şartname limitleri ile birlikte Tablo 2.’de sunulmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılmak üzere temin edilen agregalara ait elek çaplarına göre seçilen gradasyon değerleri ile şartname limitleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1 Saf Bitüme Ait Geleneksel Bitüm Testi Sonuçları.

Deney	ASTM Standardı	Sonuçlar	Limitler
Penetrasyon Deneyi (25°C; 0,1mm)	ASTM D5/D5M-13	55	50-70
Yumuşama Noktası (°C)	ASTM D36/D36M-12	49	46-54
Viskozite (135°C)	ASTM D4402/D4402M-13	412,5	-
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) (165°C; 5sa.)	ASTM D1754/D1754M-09	-	-
Kütle Değişimi (%)	-	0,04	0,5(maks.)
Penetrasyon Farkı (%)	ASTM D5/D5M-13	25	-
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) Sonrası Yumuşama Noktası (°C)	ASTM D36/D36M-12	54	48 (min.)
Düktilite (25°C; cm)	ASTM D113-07	100	-
Özgül Ağırlık	ASTM D70-09e1	1,03	-
Parlama Noktası (°C)	ASTM D92-12b	+260	230 (min.)

Çalışma kapsamında; Güney Afrikalı Sasol Wax firması tarafından üretilen ve “modifiye edici” veya “asfalt akış düzenleyici” olarak tariflenen organik IKA katkı maddesi Sasobit® kullanılmıştır. Fischer-Tropsch yöntemi ile kömürün karbonizasyonu sırasında elde edilen organik IKA katkısı içerisinde 40 ila 115’den daha fazla karbon atomu bulunduğu için uzun-zincir alifatik hidrokarbon olarak tanımlanır. Üretici firmaya göre erime noktası 98°C olan organik IKA katkısı, 115°C sıcaklıktaki bitümün içerisinde tamamen çözünebilmektedir (Walker, 2009). Ayrıca, karışıma eklendiği zaman homojen bir dağılım elde edilmediği gerekçesiyle bitüme eklenerek kullanılmaktadır (Estakhri ve diğ., 2010). Bitüm içine karıştırıldığında eriyen organik IKA katkısı, bitümün viskozitesini düşürüp daha akıcı olmasını sağlamaktadır (Damm, ve diğ., 2002). Erime noktasının altındaki sıcaklıklarda kafes bir yapı oluşturan FT mum kristalize olur böylelikle karışımın stabilitesini arttırmaktadır. Çalışmalar kapsamında yapılan deneyel çalışmalarda, üretici firmanın önerileri doğrultusunda organik IKA katkısı karışımın %3’ü oranında kullanılmıştır.

Tablo 2 Karışımlarda Kullanılan Agreganın Fiziksel Özellikleri.

Test	ASTM STANDARTI	Sonuçlar		Limitler
		Kalker	Bazalt	
Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı	ASTM C127-12			
Hacim		2,686	2,666	-
Kuru Yüzey Doygun		2,701	2,810	-
Zahiri		2,727	2,706	-
İnce Agreganın Özgül Ağırlığı	ASTM C128-12			
Hacim		2,687	2,652	-
Kuru Yüzey Doygun		2,703	2,770	-
Zahiri		2,732	2,688	-
Filler Özgül Ağırlığı		2,725	2,731	-
Los Angeles Aşınması(%)	ASTM C131-06	24,4	14,2	maks. 45
Yassılık İndeksi (%)	ASTM D4791-10	7,5	5,5	maks 10
Sağlamlık Yüzdesi (%)	ASTM C88-13			10-20
İnce Agreganın Köşelliliği	ASTM C1252-06	47,85	58,1	min. 40

Tablo 3 Bazalt – Kalker Agregaları İçin Seçilen Gradasyon ve Şartname Limitleri.

Test	19 – 12,5 mm (Bazalt)	12,5 – 5 mm (Bazalt)	5 – 0 mm (Kalker)	Karışım Gradasyonu (%)	Şartname Limitleri
Karışım (%)	15	45	40		
Elek No:					
(3/4) "	100	100	100	100	100
(1/2) "	35,7	100	100	90,5	83-100
(3/8) "	2,5	89	100	80,5	70-90
No.4	0,4	16	100	47,3	40-55
No.10	0,3	1,2	81	33	25-38
No.40	0,2	0,7	33	13,5	10-20
No.80	0,15	0,4	22	9	6-15
No.200	0,10	0,2	13	5,3	4-10

Deney Planı

Deneysel çalışmalarda, farklı sıcaklık ve üretim sürelerinde organik İKA katkı maddesi ile üretilen bitüm örnekleri üzerinde viskozite deneyleri uygulanmıştır. Viskozite değerlerinin sabit kaldığı üretim süre ve sıcaklığı, ilgili İKA katkısı için üretim süre ve sıcaklığı olarak belirlenmiş ve deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Üretim süre ve sıcaklığının belirlenmesinin ardından organik İKA katkılı bitüm örneklerine geleneksel bitüm deneyleri uygulanarak bağlayıcının fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Tablo 5'de uygulanan bu deneyler ve sonuçları verilmektedir.

Saf ve organik İKA katkılı bitümlerin penetrasyon değerleri birbirleri ile kıyaslandığında katkı kullanımı ile birlikte kıvamlılığın düştüğü görülmüştür. Ayrıca bitümlerde İKA katkısı kullanımı viskozitesini düşürmüştür ve böylece bitümlerin işlenebilirliği artmıştır. Bunun nedeni, organik katkının soğumasının ardından içeriğindeki parafin yapısının kristalize lateral hale gelerek bitümün sertliğini (rijitliğini) arttırmasıdır (Newcomb, 2007). Yüksek Penetrasyon İndeksi değeri, sıcaklık duyarlılığını azaltır; düşük sıcaklık çatlaklarına ve kalıcı deformasyonlara karşı direnci arttırmaktadır (Sengoz ve diğ., 2013). Yapılan deneysel çalışma sonuçları, organik İKA katkılı bitümlerin sıcaklığa karşı duyarlılığı önemli ölçüde azalttığı ve tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırdığını göstermektedir. Organik İKA katkılı bitümle asfalt karışımı hazırlanmadan önce karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi

gerekmektedir. Bu amaçla, saf ve organik IKA katkılı bitümler üzerinde 135°C ve 165°C sıcaklıklarda Brookfield viskozite deneyleri uygulanmıştır. ASTM D4402/D4402-13'e göre karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tayininde kullanılan viskozite değerleri sırasıyla 170±20 mPa.s ve 280±30 mPa.s'dir. Seçilen saf bitüm ve %3 organik IKA katkısı ile hazırlanan bitümlü karışımlara ait karıştırma-sıkıştırma sıcaklık değerleri Tablo 6'da özetlenmiştir. Brookfield Viskozite deney sonucuna göre, saf bitüme kıyasla organik IKA katkısı kullanımıyla yaklaşık olarak karıştırma sıcaklığı 14 °C, sıkıştırma sıcaklığı 10 °C düştüğü gözlenmektedir.

Tablo 4 Organik IKA Katkısı İçin Üretim Süre ve Sıcaklıkları.

Üretim Süreleri (dk.)	120°C'de Organik IKA Katkı Maddesi için Viskozite Değerleri (mPa.s)
5	675
10	650
15	650
20	650
25	650
30	650
35	650
40	650

Tablo 5 Organik IKA Katkısı İçeren Bitüme Uygulanan Geleneksel Bitüm Deneyleri Sonuçları.

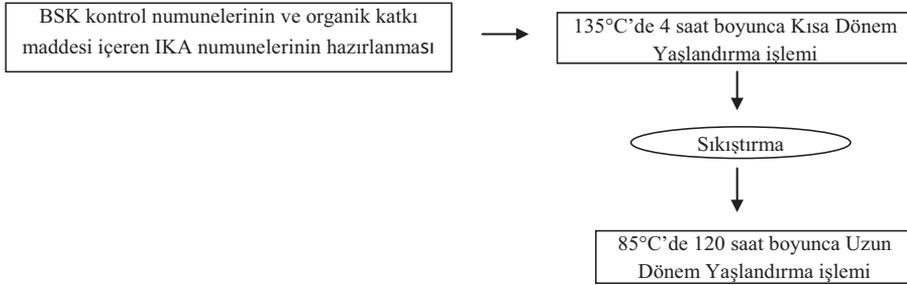
Deney Adı	Organik IKA Katkı Maddesi Oranı (%)	
	0%	3%
Penetrasyon (1/10 mm)	55	37
Yumuşama noktası (°C)	49	69
Viskozite (135°C, mPa.s)	412,5	287,5
Viskozite (165°C, mPa.s)	137,5	75
Parlama Noktası (°C)	260	260
Duktilite (25°C, cm)	100	100
Penetrasyon İndeksi (PI)	-1,20	1,95
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (165°C, 5sa.)		
Kütle değişimi (%)	0,04	0,07
Penetrasyon Farkı (%)	25	13
Yumuşama Noktası Farkı (°C)	5	4,0

Tablo 6 Saf bitüm ve organik IKA Katkılarına Ait Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıkları.

IKA Katkılar	Katkı İçeriği(%)	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)
Saf Bitüm	0	157 - 163	143 - 149
Organik Katkı Maddesi	3	144 - 149	133 - 138

Organik IKA katkı maddesiyle üretilen bitümün geleneksel bitüm deney sonuçları elde edildikten sonra uygun katkı miktarı ile belirlenen karıştırma sıkıştırma sıcaklıklarında IKA karışımları hazırlanmıştır. Farklı bitüm miktarları kullanılarak Marshall yöntemi ile hazırlanan asfalt numunelerinin optimum bitüm içerikleri saf bitüm için %4,76 organik IKA katkılı bitüm için ise %4,25 olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında farklı oranlarda kullanılacak yapay yolla yaşlandırılmış sıcak ve organik IKA katkılı asfalt kaplama numuneleri, kısa dönem ve uzun dönem yaşlandırmaya maruz bırakılarak elde edilmiştir. Saf bitüm ve organik IKA katkısı içeren karışımlar üretildikten sonra AASHTO R 30 standardına göre kısa ve uzun dönem yaşlandırma işlemi yapılarak yapay yolla yaşlandırılmış asfalt numuneleri hazırlanmıştır. Bunun için tüm numuneler 135°C sıcaklığa ayarlanmış olan havalandırılmalı etüvde 4 saat gevşek (sıkıştırılmamış) karışım olarak kısa dönem yaşlandırılmıştır. Karışımın homojen bir şekilde yaşlandırılması için her saat başı gevşek karışım etüvden çıkartılıp karıştırıldıktan sonra tekrar etüve yerleştirilmiştir. Uzun dönem yaşlandırma işlemi için kısa dönem yaşlandırma işlemi yapıldıktan sonra Marshall tokmağıyla numunenin her iki yüzeyine 75 darbe uygulanması şeklinde sıkıştırılmış numuneler standartta belirtildiği gibi 16 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra kriko yardımıyla kalıplardan çıkarılarak, 5 gün boyunca 85°C sıcaklıktaki havalandırılmalı bir etüv içerisinde bekletilmiştir. Numunelerin altında bitümün birikmesini engellemek için numuneler her gün etüvden çıkartılıp ters çevrilerek tekrar etüve konulmuştur. Şekil 1’de kısa ve uzun dönem yaşlandırma akış şeması verilmiştir.



Şekil 1 Kısa ve uzun dönem yaşlandırma akış şeması.

Mekanik Özellikler

Yapılan deneysel çalışmada elde edilen bitümlü karışımların laboratuvar koşullarındaki mekanik özellikleri, “Marshall Aletini Kullanarak Bitümlü Karışımların Plastik Akmaya Karşı Direnci İçin Standart Deney Yöntemi (ASTM D-1559)” ile tespit edilmiştir (Önal ve Kahramangil, 1993). Karıştırma işleminin ardından elde edilen bitüm-agrega karışımı, Marshall kompaktörüne yerleştirilerek, her iki yüzüne de Karayolları Teknik Şartnamesi’nde (KTS) belirtilen Aşınma Tabakası Tip-1 için 75’er darbe uygulanır. Marshall cihazının yükleme hızı 50,8 mm/dak. olmalıdır. Deney, cihaz ekranındaki stabilite ve akma değerleri sabit hale gelene kadar devam eder. Deney sonunda stabilite ve akma okumaları yapılarak veriler kaydedilir.

Marshall tasarım yöntemine göre sıkıştırılan numunelerin trafik yükleri altında gösterecekleri performans özelliklerini tayin etmek için gerilme-birim şekil değiştirme davranışını bilmek gerekmektedir. Bu sebeple asfalt kaplamaların rijitliğini belirlemek için indirekt çekme mukavemeti (ITS) değerleri hesaplanmalıdır. Marshall cihazının yükleme hızı indirekt çekme deneyine göre belirlendiği için yükleme hızı 51 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Asfalt kaplamaların çekme gerilmelerini belirleyen ITS değeri (kPa) aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur.

$$S_t = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D}$$

S_t = İndirekt çekme mukavemeti (ITS), kPa

P = Uygulanan maksimum yük, N

T = Numunenin kalınlığı, mm

D = Numunenin çapı, mm

Deney Sonuçları ve Değerlendirmeler

Asfalt kaplamaların, trafik yükü, çevre koşulları, malzeme kalitesi, taban zemini mukavemeti, drenaj ve yapım kalitesi gibi faktörlere bağlı olan ömürleri vardır. Asfalt kaplamaların ömürleri rutin bakım çalışmaları ile uzatılabilir. Ancak bir süre sonra kaplamadaki bozulmalar artar ve daha kapsamlı iyileştirmelere gereksinim duyulur. Bu durumda, trafik etkileri ve güneşin ultraviyole ışınları gibi doğanın aşındırıcı şartlarına maruz kalan ve özellikle kaplama yüzeyinde özelliklerini kısmen yitirmiş eski asfalt kaplamanın yeniden kullanılması; doğal kaynakların verimli kullanımı, enerji tasarrufu, ekonomi ve çevreyi koruyucu etkileri nedeniyle önem kazanmaktadır.

Asfalt kaplamalar servis ömürleri sonunda, yüzey iyileştirmesi yapılması amacıyla asfalt yüzeyinden kazanmakta ve agrega ve bitümlü bağlayıcı içeren geri dönüştürülmüş malzemenin asfalt karışımlarında yeniden kullanımı söz konusudur. Günümüzde İKA'ların avantajları nedeni ile gündeme gelmeleri, İKA'ların da geri dönüştürülerek kullanılabilir olup olmadığının belirlenmesi ihtiyacını gündeme getirmiştir. Henüz ülkemizde İKA kaplama uygulamasına geçilmediği için İKA katkılarıyla üretilen geri kazanılmış asfalt kaplamaları temin edilememektedir. Bu yüzden kısa ve uzun dönem yaşlandırma işlemleriyle geri kazanılmış İKA ve BSK karışımları, karışımın %30, %40, %50, %75 ve %100'ünü oluşturacak şekilde ılık ve sıcak asfalt karışımlarında kullanılmışlardır.

Karışımın gradasyonu (geri kazanılmış agreganın %30, %40, %50, %75 ve %100 ve yeni agreganın %70, %60, %50 ve %25), Tip 1 ile ifade edilen aşınma tabakası gradasyonunun limit değerlerine uygun olmalıdır. Aşınma tabakası için uygun görülen şartname limitleri ve karışımın gradasyonu Tablo 7'de verilmiştir.

T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından basılan Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabında verilen bilgiler doğrultusunda, karışıma ilave edilecek yeni asfalt miktarı aşağıdaki Formül ile bulunmaktadır. Beş farklı oranda yapay yolla yaşlandırılmış asfalt kaplamasıyla hazırlanan (%30, %40, %50, %75 ve %100) sıcak ve orta sıcaklıktaki asfalt kaplamaları için karışıma eklenmesi gereken yeni bitüm %'si aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanarak Tablo 8'de sunulmaktadır.

$$Pr = Pc - (Pa * Pp)$$

Burada:

Pr = Karışıma eklenmesi gereken yeni bitüm %'si

Pa = Kazılmış malzemedeki bitüm %'si (Kazılmış malzemenin %'si olarak)

Pc = Karışımındaki toplam bitüm %'si

Pp = Kazılmış malzemenin toplam karışımındaki %'si

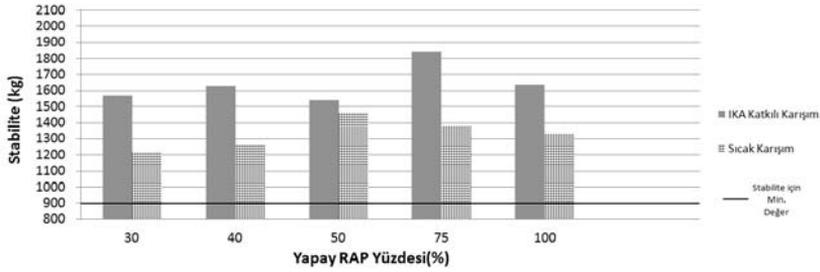
Farklı bitüm miktarları kullanılarak Marshall yöntemi ile hazırlanan asfalt numunelerinin optimum bitüm içerikleri saf bitüm için %4,76 organik IKA katkılı bitüm için ise %4,25 olarak belirlendiği önceki bölümlerde belirtilmiştir. Yapay yolla yaşlandırılmış IKA ve BSK kaplamasından elde edilmiş bitüm içeriği ile birlikte, Tablo 7’de sunulan gradasyon miktarları ve Tablo 8’de hesaplanmış yeni eklenmesi gereken bitüm içerikleri de göz önüne alınarak farklı RAP içerikleriyle (%30, %40, %50, %75 ve %100) önceden belirlenen uygun karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında asfalt numuneleri hazırlanmıştır. Optimum oranda yapay yolla yaşlandırılmış asfalt kaplaması miktarını tespit edebilmek amacıyla hazırlanan numuneler Marshall stabilite deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’te sırası ile farklı RAP (yapay yolla yaşlandırılmış asfalt karışımı) içeren asfalt numunelerinin stabilite, akma ve hava boşluğu %’leri gösterilmektedir. Farklı oranlarda yapay RAP içeren sıcak ve ılık karışım asfalt numunelerinin stabilite değerleri incelendiğinde, numunelerin tamamının şartname minimum değerlerini sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte, en yüksek stabilite değeri organik IKA katkısı ile hazırlanan ve %75 yapay RAP içeren numune ile sağlanmıştır. Farklı oranlarda yapay RAP içeren BSK numuneleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde, %50 yapay RAP içeren BSK numunesinin en yüksek stabilite değerine sahip olduğu da sonuçlar arasındadır. BSK ve IKA karışımlarının, yapay RAP ile birlikte değerlendirilmeleri için yalnızca stabilite yönünden değil akma ve boşluk parametreleri açısından da incelenmeleri gerekmektedir. Şekil 3 incelendiğinde, farklı oranlarda yapay RAP içeren bütün asfalt numunelerinin akma sınır değerleri içerisinde olduğu görülmektedir. Tüm yapay RAP ilavelerinde, sıcak karışım numunelerinin akma değerleri ılık karışımlara kıyasla daha yüksektir. Bunun sebebi organik IKA katkısının bitüm içerisinde kristalize bir yapı oluşturarak, karışımı servis ömrü boyunca saha sert hale getirmesidir.

Tablo 8 Saf Bitüm ve Organik IKA Katkısıyla Hazırlanan Asfalt Karışımlarına Eklenmesi Gereken Yeni Bitüm %’lerinin Tayini.

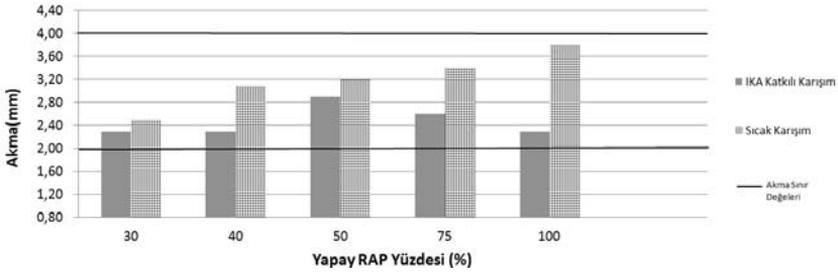
Bitüm	Yapay RAP İçeriği (%)	Pc (%)	Pa (%)	Pr (%)
Saf	30	4,76	4,76	3,33
	40			2,86
	50			2,38
	75			1,19
	100			0
Organik IKA katkılı	30	4,25	4,25	2,98
	40			2,55
	50			2,13
	75			1,06
	100			0

Tablo 7 Karışım Gradasyonu Ve Şartname Limitleri.

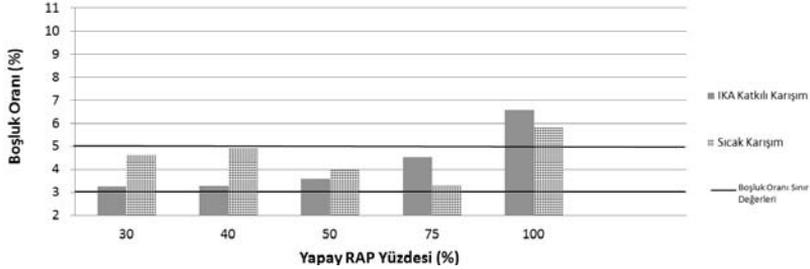
Elek No.	Şartname limitleri	Geçen (%)	Kalan (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Kalan (gr.)	Farklar (gr.)	Yapay Geri kazanılmış agrega (RAP) ve Yeni agrega oranları								
							%30 RAP Agr. (gr.)	%70 Yeni Agr. (gr.)	%40 RAP Agr. (gr.)	%60 Yeni Agr. (gr.)	%50 RAP Agr. (gr.)	%50 Yeni Agr. (gr.)	%75 RAP Agr. (gr.)	%25 Yeni Agr. (gr.)	%100 RAP Agr. (gr.)
3/4"	100	100				0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0	0
1/2"	83-100	90,5	9,5	9,5	109,25	109,25	32,78	76,47	43,7	65,55	54,63	54,63	81,94	27,31	109,25
3/8"	70-90	80,5	10	19,5	224,25	115	34,5	80,5	46	69	57,50	57,50	86,25	28,75	115
No.4	40-55	47,3	33,2	52,7	606,05	381,8	114,54	267,26	152,72	229,08	190,90	190,90	286,35	95,45	381,8
No.10	25-38	33	14,3	67	770,5	164,45	49,335	115,115	65,78	98,67	82,23	82,23	123,34	41,11	164,45
No.40	10-20	13,5	19,5	86,5	994,75	224,25	67,28	156,97	89,7	134,55	112,13	112,13	168,19	56,06	224,25
No.80	6-15	9	4,5	91	1046,5	51,75	15,53	36,22	20,7	31,05	25,88	25,88	38,81	12,94	51,75
No.200	4-10	5,3	3,7	94,7	1089,05	42,55	12,77	29,78	17,02	25,53	21,28	21,28	31,91	10,64	42,55
Filler	-	-	5,3	100	1150	60,95	18,29	42,66	24,38	36,57	30,48	30,48	45,71	15,24	60,95



Şekil 2 Farklı RAP içeriklerindeki sıcak ve ılık karışım asfaltların stabiliteyi.



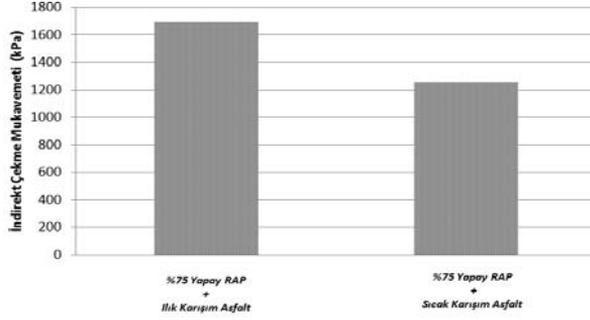
Şekil 3 Farklı RAP içeriklerindeki sıcak ve ılık karışım asfaltların akma değerleri.



Şekil 4 Farklı RAP içeriklerindeki sıcak ve ılık karışım asfaltların hava boşluğu yüzdeleri.

Şekil 4'te sunulduğu gibi IKA'lara farklı oranlarda yapay RAP ilavesinin hava boşluğu üzerindeki etkisi incelendiğinde, RAP etkisi ile hava boşluk oranları artmıştır. %100 oranında yapay RAP kullanılarak hazırlanmış sıcak ve ılık karışım asfalt numunelerinin hava boşluğu sınır değerlerini aştığı ve limitler dışında kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi yaşlanmış bitümün adezyon ve kohezyon özelliğinin azalmasıdır. Saf bitüm ve organik IKA katkısı ile hazırlanan numunelere maksimum %75 oranında yapay RAP ilavesiyle şartnamede hava boşlukları için belirtilen sınır koşullarını sağladığı görülmüştür. Marshall stabilite, akma ve boşluk sınır değerleri beraber göz önüne alındığında, sıcak ve ılık karışımında optimum kullanılması gereken yapay RAP miktarının %75 olduğu belirlenmiştir.

Sıcak ve ılık karışımlar için elde edilen optimum yapay RAP içeriği (%75) kullanılarak hazırlanan karışımların İndirekt çekme mukavemeti özellikleri de incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 5'de sunulduğu gibidir.



Şekil 5 Optimum yapay RAP içeriğinde BSK ve IKA indirekt çekme mukavemetleri.

Şekil 5 incelendiğinde; optimum RAP içeriğinde hazırlanan numuneler arasında organik IKA katkısı içeren asfalt karışımı ITS yönünden en yüksek değeri vermiştir. ITS değerinin yüksek oluşu, numunelerin daha sert olduğunun bir göstergesidir. Bir diğer ifade ile ITS değeri yüksek olan asfalt kaplamaların çatlaklara karşı daha az duyarlı olduğunu göstermektedir. Deneysel çalışma sonuçları, optimum %75 yapay RAP ilavesi ile organik IKA katkısı içeren bitümlü bağlayıcı kullanılarak üretilen IKA'ların mekanik özellikler açısından, BSK'lara alternatif olabileceğini göstermektedir.

Sonuçlar

Asfalt kaplamalar trafik yükü ve çevresel faktörlere bağlı olarak belli bir hizmet ömrüne sahiptir. Bu hizmet ömrü ne kadar uzun ise, üstyapı kaplaması bir o kadar ekonomik olacaktır. Mühendislik ekonomisi açısından, bir yapının sadece ilk yapım maliyetinin az olmasını dikkate almaktansa, yapının hizmet süresince göstereceği performans ve buna bağlı olarak bakım ve onarım giderleri de önemli bir ölçüt olarak dikkate alınmalıdır. Enerji tüketimi açısından, IKA teknolojilerinin ilk yapım maliyetleri BSK'lardan daha az olmaktadır. Ancak bu tür teknolojilerin hizmet ömrü açısından BSK'lara göre ne kadar ekonomik olduklarını araştırmak gereklidir. Bu çalışma kapsamında, yapay IKA RAP üretilerek IKA katkısının, asfalt kaplamaların geri dönüşümüne etkisi incelenmiştir. Sonuçlar BSK'lar (kontrol) karışımları ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışma sonuçları, optimum %75 yapay RAP ilavesi ile organik IKA katkısı içeren bitümlü bağlayıcı kullanılarak üretilen IKA'ların mekanik özellikler açısından, BSK'lara alternatif olabileceğini göstermektedir. IKA katkılarının daha düşük uygulama sıcaklarında asfalt üretimine imkan vermesi, yaşlanma açısından en büyük avantajı oluşturmakta olup dolayısıyla yapay RAP olarak IKA karışımlarında kullanıldığında da daha iyi sonuçlar vermektedir. Farklı tipteki IKA katkılarıyla hazırlanan RAP malzemesinin IKA karışımları üzerine etkileri konusunda daha ayrıntılı araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- Bell, C. A., Sosnovske, D. and Wieder J. A. (1994) Aging, Binder Validation. SHRP A-384 Report, National Research Council, Washington D.C.
- Damm, K. W., Abraham, J., Butz, T., Hildebrand, G. ve Riebeschl, G. (2002). Asphalt Flow Improvers As 'Intelligent Fillers' For Hot Asphalts - A New Chapter In Asphalt Technology. Journal of Applied Asphalt Binder Technology, pp. 36-69.
- Estakhri, C., Button, J. ve Alvarez, A. E. (2010). Field And Laboratory Investigation Of Warm Mix Asphalt In Texas. Texas Department Of Transportation.
- Newcomb, D. (2007) An Introduction to Warm-Mix Asphalt. Report, Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association.
- Önal, A.M. ve Kahramangil, M. (1993). Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı. Ankara: KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Basım Evi.
- Sengoz, B. ve Agar, E. (2005) Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi. itüdergisi/d mühendislik, İstanbul, Cilt:4, Sayı:1, pp. 71–82.
- Sengoz, B., Topal A. ve Gorkem, C. (2013). Evaluation Of Natural Zeolite As Warm Mix Asphalt Additive And Its Comparison With Other Warm Mix Additives. Construction and Building Materials, 43,pp. 242–252.
- Walker, D. (2009). Gaining Experience with Warm Mix Asphalt, The Magazine of the Asphalt Institute.
- Zaumanis, M. and Haritonovs, V. (2010) Research on Properties of Warm Mix Asphalt. Scientific Journal of Riga Technical University Construction Science, 11, pp. 77–84.