



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Plent-miks temel tabakası yapımında kazınmış asfalt kaplama (RAP) malzemesi kullanımını ve ekonomik analizi

Economic analysis of the use of reclaimed asphalt pavement (RAP) materials in plant-mix base courses

Yazar(lar) (Author(s)): Ayşegül Güneş SEFEROĞLU¹, Mehmet Tevfik SEFEROĞLU², Muhammet Vefa AKPINAR³, Muhammet ÇELİK⁴

ORCID¹: 0000-0002-1008-6456

ORCID²: 0000-0003-4677-3335

ORCID³: 0000-0001-7912-8274

ORCID⁴: 0000-0002-3998-8146

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Seferoğlu A. G., Seferoğlu M. T., Akpınar M. V. ve Çelik M., "Plent-miks temel tabakası yapımında kazınmış asfalt kaplama (RAP) malzemesi kullanımını ve ekonomik analizi", *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1327-1338, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.631698

Plant-mix Temel Tabakası Yapımında Kazınmış Asfalt Kaplama (RAP) Malzemesi Kullanımı ve Ekonomik Analizi

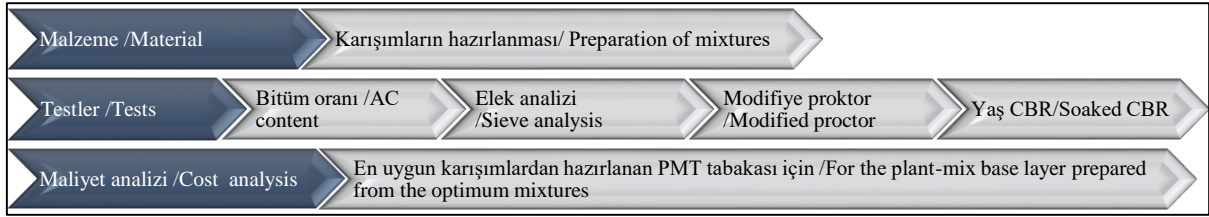
Economic Analysis of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Plant-Mix Base Courses

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kazınmış asfalt kaplama/Recycled asphalt pavement
- ❖ Geri dönüşüm/Recycling
- ❖ Filler içeriği/Filler content
- ❖ Plant-mix temel tabakası/Plant-mix base layer
- ❖ Geri dönüşüm maliyet analizi/Recycling cost analysis

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada farklı filler içeriğine sahip RAP agregası-doğal agregası (DA) karışım oranına filler içeriğinin etkisi incelenmiş ve maliyet analizi yapılmıştır. Sonuç olarak filler içeriği düşük RAP kullanılması durumunda daha yüksek oranda RAP kullanılabilirliği ve yaklaşık olarak karışımda kullanılan RAP oranı kadar malzeme maliyetlerinde azalma olduğu belirlenmiştir./ In this study, the effect of filler content on the mixing ratio of RAP with different filler content and natural aggregate (NA) was examined and cost analysis was made. As a result, it was determined that if RAP with low filler content is used, a higher rate of RAP can be used in mixtures and there is a decrease in material costs approximately as much as the RAP ratio used in the mixture



Şekil. Çalışma iş akışının şematik diyagramı / Figure. Schematic diagram of the study workflow

Amaç (Aim)

Bu çalışmada, farklı filler içeriklerine sahip RAP agregalarının DA'ya alternatif olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır./ In this study, it was aimed to examine the usability of RAP aggregates with different filler contents as an alternative to NA and to evaluate their effects.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

RAP agregalarının kullanım oranları deneysel olarak değerlendirilmiş ve karışımlar için maliyet analizi yapılmıştır. / The usage rates of RAP aggregates were examined experimentally and the optimum mixture ratio was evaluated by performing cost analysis for the mixtures.

Özgünlük (Originality)

Farklı RAP agregaları daha önce PMT tabakasında kullanılmamıştır. Bu nedenle, hem içerik hem de sonuçları bakımından orjinal bir çalışmadır./ Different RAP aggregates have not been used in the PBL. Therefore, it is an original study in terms of both content and results.

Bulgular (Findings)

RAP malzemelerinin PMT tabakalarında kullanılabilirliği ve maliyeti belirgin oranda düşürdüğü mevcut görülmüştür./ It has been observed that RAP aggregates can be used in PBLs and significantly reduce the cost.

Sonuç (Conclusion)

Düşük filler oranına sahip RAP agregasının PMT tabakası için daha yüksek oranlarda DA ikamesi olarak kullanılabilirliği ve daha düşük maliyet sağlayacağı görülmüştür. / It has been observed that the RAP aggregate with a low filler ratio can be used as a NA substitute for the PBL at higher rates and provides lower costs.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Plent-miks Temel Tabakası Yapımında Kazınmış Asfalt Kaplama (RAP) Malzemesi Kullanımı ve Ekonomik Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ayşegül Güneş SEFEROĞLU^{1*}, Mehmet Tevfik SEFEROĞLU², Muhammet Vefa AKPINAR²,
Muhammet ÇELİK³

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye
²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
³Trabzon İl AFAD Müdürlüğü, Trabzon, Türkiye

(Geliş/Received : 10.10.2019 ; Kabul/Accepted : 14.01.2020)

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Karayolu Teknik Şartnamesi (KTS) kriterlerine göre tasarımı yapılacak olan bir plent-miks temel (PMT) tabakası için kullanılabilir kazınmış asfalt kaplama (RAP) malzemesi oranlarına bağlı olarak elde edilecek mali faydaların belirlenmesidir. Tüm RAP katkılı karışımların fayda-maliyet analizleri yapılarak PMT tabakası yapımı ve malzemelerin nakliye harcamaları göz önüne alındığında, RAP malzemesinin hangi uzaklıktan getirilmesi durumunda ekonomik bir uygulama olacağı araştırılmıştır. Çalışma neticesinde RAP malzemesinin %100 oranında PMT tabakalarında kullanımının çimento takviyesi ile mümkün olduğu ve doğal agrega (DA) yerine kullanılması durumunda %16'nın üzerinde kâr sağladığı belirlenmiştir. RAP malzemesinin, PMT Tip-1 tabakası için doğal agregaya alternatif ve maliyet açısından daha ekonomik bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plent-miks temel tabakası, kazınmış asfalt kaplama, RAP, kâr, maliyet.

Economic Analysis of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Plant-Mix Base Courses

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the financial benefits to be gained based on the percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP) material suitable for use in plant-mix courses (PBCs) to be designed according to the specification of Turkey Department of Transportation. Cost analysis of all RAP mixtures were made considering the construction of the plant-mix base course and the transportation costs of the materials, it was researched that the use of RAP would be an economical application in terms of how far the RAP material was taken. As a result of the study, it has been determined that the use of 100% RAP material in PBC is possible with cement reinforcement and it provides a profit of more than 16% in terms of costs in case of using virgin aggregate (VA) instead. RAP material is an alternative to virgin aggregate and is a more economical material in terms of cost.

Keywords: Plant-mix base course, reclaimed asphalt pavement, RAP, benefit, cost.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mevcut yol üst yapısını oluşturan karayolu kaplama tabakaları, belirli bir kullanım süresinden sonra ömrünü tamamlar. Yol kaplama tabakasının çeşitli etkilerle deforme olması, kullanılamaz hale gelmesi ya da başka nedenlerle yenilenmesi, onarımı, profilinin düzeltilmesi veya uygun bir sürüş yüzeyi elde edilmesi için tabaka, kaplandığı yerden kazınarak sökülür. Elde edilen bu bitümlü malzeme, kazınmış asfalt kaplama (RAP) malzemesi olarak adlandırılır. Uygulanacak doğru işlemlerle yeniden şekillendirilerek geri kazanılması ile tekrar kullanılabilir ve daha yüksek ekonomik katma değer sağlanabilir [1].

Türkiye'de servis ömrünü tamamlayan veya bakım onarımı yapılacak olan asfalt kaplamalar yerinden kazınmak yerine eski kaplama üzerine yeni sıcak karışım kaplama serilmesi ya da bozulan kısmın kesilerek yamalama yapılması şeklinde iyileştirilmektedir. Bu durum da, yaya kaldırımı ile yol yüzeyi arasındaki kot farkının kapanmasına, drenaj açıklıklarının gömülmesine, altta kalan bozulmuş kaplamadaki çatlakların yeni kaplamaya yansıma çatlağı olarak sirayet etmesine ve yeni kaplama ile eski kaplama arasında soğuk derz oluşması sebebiyle yeni kaplama tabakasında sökülmele sebep olmaktadır [2].

Ülkemizde yaygın olarak uygulanmayan fakat dünyada en çok geri dönüşümü yapılan malzemelerden biri olan RAP malzemesi [3], ülkemiz gibi petrol ürünlerinin çok pahalı olduğu ve şehir içi yol kaplamalarının büyük bir çoğunluğu asfalt kaplama olan ülkelerdeki yerel

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : gnskaya61@gmail.com

yönetimler tarafından hızla uygulamaya geçilmesi gereken bir geri dönüşüm projesidir. RAP malzemesinin sürdürülebilir bir yöntem olarak kullanımının ekolojik ve ekonomik avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mevcut malzemeler yeniden kullanılarak taş ocaklarından temin edilen doğal agregaya (DA) olan talep azalacak ve doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanacaktır.
- Yeni doğal agrega malzemesinin üretim, kırma, işleme maliyetinin azaltılması ile büyük enerji tasarrufu sağlanabilecektir.
- Doğal agreganın nakliyesinden kaynaklanan trafik rahatsızlığı azalarak sera gazı salınımı da düşecektir [4].
- Kazıma çalışmaları sonucu elde edilen atık haldeki kaplama parçalarının yeniden kullanılmasıyla, bu malzemelerin oluşturacağı atık sahalarının önüne geçilebilecektir.
- Yüzey iyileştirmesi yapılacak olan asfalt kaplamanın yüzeyden kazınması ile yaşlanmış kaplama tabakasındaki çatlak ve bozulmalar giderilerek, yolun sürüş emniyeti ve konforu artırılmış olacaktır.
- Bozulan yol yüzeyi üzerine yeni bir kaplama serilmediği için özellikle şehiriçi yol kesimlerinde kaldırım yükseklikleri, drenaj kanalı girişleri ve rögar kapaklarındaki kot düzensizlikleri ortadan kaldırılmış olacaktır. Aynı zamanda özellikle köprü ve menfez gibi sanat yapılarına gelen zati yüklerin artması engellenebilecektir.
- Eski ve cilalanmış asfalt kaplamanın yüzeyden kazınması ile, yeni kaplamayla daha iyi aderans sağlayacak kaba dokulu bir yüzey elde edilecektir.
- Mevcut kaplamanın üzerine yeni kaplama yapılması halinde yansıma çatlaklarının önlenememesi sorunu eski kaplamanın kazınması ile giderilebilecektir [5].

2. LİTERATÜR ÖZETİ (LITERATURE REVIEW)

2.1. RAP Malzemesi Kullanım Oranları ve Katkı Malzemeleri (RAP Material Usage Rates and Additives)

Bağlayıcısız temel tabakalarında RAP malzemesi kullanım oranıyla ilgili KTS’nde bir kriter mevcut değildir. Yurtdışında ise RAP malzemesinin farklı oranlarda kullanımı ve kullanım oranının artırılması için kullanılabilir katkı malzemeleri ilgili yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

McGarrah [6], granüler temel tabakası kullanılan RAP karışımları üzerindeki çalışmaları neticesinde %100 RAP malzemesi ile yeterli kalitede bir temel teşkil edilemeyeceğini, bu sebeple tek başına kullanılmaması gerektiğini belirtmiştir. RAP-DA karışımlarındaki RAP içeriği arttıkça, karışımın kayma mukavemetinin gerekli seviyenin altına düştüğünü belirterek RAP içeriğinin

%25 ile sınırlandırmasını ve RAP malzemesinin DA ile plentte karıştırılması gerektiğini önermiştir.

Schaefer vd. [7], temel tabakası uygulamalarında %20-50 arasında bir RAP oranının kullanılabilirliğini belirtmiştir. Taha vd. [8], RAP malzemesinin alttemel tabakasında kullanım oranının %60, granüler temel tabakasında ise %10 ile sınırlandırılması gerektiğini belirtmiştir. Cosentino vd. [9], çalışmada, RAP içeren tüm karışımların bir miktar sünme gösterdiği sonucuna varmıştır. RAP malzemesinin karayolu temel tabakası uygulamalarında kullanılabilirliği için karışımda en fazla %25 oranında kullanılmasını önermiştir. Bennert ve Maher [10], yoğun gradasyonlu agrega temel tabakaları için RAP içeriğinin ağırlıkça %50 ile sınırlandırılması gerektiğini belirtmiştir.

Soğuk geri dönüşüm uygulamalarında karışımlara katkı maddesi ilave etme zorunluluğu yoktur. RAP malzemesinin fazla kullanılması durumunda tabakanın taşıma gücünün düşmesine bağlı olarak taşıma kapasitesinin artırılması veya kaba agregalar arası boşluğun fazla olmasına bağlı olarak permeabilitenin fazla ve dayanımın düşük olmasından ötürü bağlayıcı malzeme ilavesi yapmak mümkündür. Polimer, uçucu kül, enzimatik stabilizatörler, kireç, fiber katkılı çimento ve puzolanik çimento gibi zeminin performansını artırmak için çok çeşitli kimyasal katkı maddeleri mevcuttur [11].

Taha vd. [8], %0, %10, %20, %30 ve %100 RAP içeren RAP-DA karışımlarına kuru ağırlıkça %0, %3, %5 ve %7 oranında tip-1 puzolanik çimento karıştırarak bağlayıcılı ve bağlayıcısız bu karışımlar üzerinde sıkıştırma ve serbest basınç dayanımı testleri yürütmüşlerdir. Çalışmada RAP malzemesinin temel ve alttemel tabakalarında kullanılan DA malzemesine uygun bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla beraber, çimentoyla stabilize edilen tüm RAP-DA karışımlarında RAP oranının artırılması durumunda temel tabakası kalınlığının artırılması gerekliliği doğmuştur.

Bleakley ve Cosentino [12], RAP-kireçtaşı karışımlarının temel tabakası için stabilize edici katkı maddeleri olmadan dayanım ve sünme gereksinimlerini karşılaması için RAP malzemesinin karışımdaki oranının en çok %25 olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Maksimum %50 RAP kullanılması durumunun çimento gibi bir bağlayıcı katkı maddesi ile mümkün olabileceği belirtilmiştir. Bu durumda ağırlıkça %2-3 oranında çimento ilavesi, stabilize edilmiş RAP malzemesi için tatmin edici mukavemet ve deformasyon özellikleri verdiği belirtilmiştir.

Literatürde görüldüğü gibi RAP malzemesi temel tabakalarında %10-50 arasındaki oranlarda kullanılabilir bir malzemedir. Ülkemizde ise belirli bir standarda bağlı kalmaksızın dolgu malzemesi olarak belediyeler tarafından kullanılmaktadır. KTS’nde RAP malzemesinin kullanımıyla ilgili olarak bitümlü temel tabakalarında en fazla %25 oranında DA ile karıştırılabilir ifadesi yer almaktadır [13]. RAP malzemesi kullanımının granüler temel, PMT gibi bağlayıcısız temel tabakaları için de

uygulanması durumunda daha büyük ekonomik katma değer oluşturulması mümkündür. Fakat bu karayolu tabakalarındaki RAP malzemesi kullanım oranıyla ilgili bir kriter KTŞ'nde henüz mevcut değildir. İsfalt'ın (İstanbul asfalt fabrikaları), uygulamada kullandığı oranlar; aşınma tabakasında %10, binder tabakasında %15-20, bitümlü temel tabakasında da %35'tir [5]. Ülkemizde RAP malzemesi kullanımının az olmasının nedenleri arasında; ülkemizde büyük doğal agrega rezervlerinin olması, Türkiye'de taş ocağı açılması ve işletilmesinin çok kolay olması, çevre koruma bilincinin gelişmemiş olması, geri dönüşüm için yapılacak ilk yatırım maliyetinin fazla olması ve KTŞ'ndeki eksiklikler sayılabilmektedir.

2.2. RAP Malzemesi Kullanım Maliyeti (RAP Material Usage Cost)

RAP malzemesi kullanımı, karışım maliyetini büyük ölçüde azaltır. RAP kullanımı, karışım için gereken doğal malzeme miktarını ve bu malzemelerin çıkarılması, işlenmesi ve taşınması için gereken enerjiyi azaltarak doğal kaynakları da korur. Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyar ton asfalt üretimi için 1,425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm tüketilmekte, sökülün asfaltın oluşturduğu atık yığınları doğaya kontrolsüz olarak terk edilmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl yaklaşık 500 milyon ton asfalt üretiminin yaklaşık %15'ini sökülmiş asfaltın geri kazanılması ile elde etmekte ve yılda 300 milyon \$ tasarruf sağlanmaktadır [1].

Franke ve Ksaibati [14] çalışmasında sıcak asfalt karışım, stabilize yollar ve temel tabakası olmak üzere 3 farklı karayolu uygulaması için RAP kullanımının maliyet açısından sağlayacağı faydaları araştırmıştır. Yapılan maliyet analizine dayanarak, karışıma katılacak her bir ton RAP malzemesi için sıcak karışımlarda %40,87, stabilize yollarda %17,07 ve temel tabakalarında %15,71 kâr edildiği belirtilmiştir.

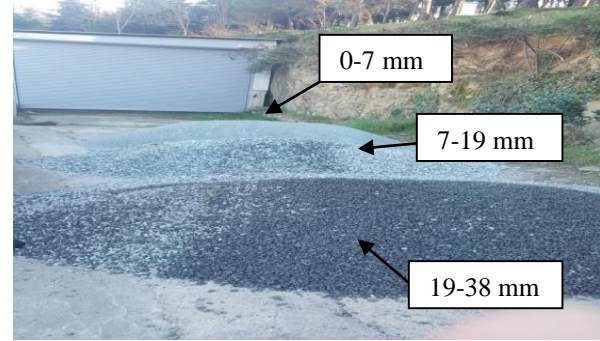
Andreen vd. [15] çalışmasında malzeme maliyetleri göz önüne alındığında, %20 oranında RAP malzemesi içeren temel tabakasının ton başına maliyetinin, tamamı doğal agregadan yapılan temel tabakasına kıyasla 15,71 \$ daha ucuza mâl edildiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada farklı oranlarda RAP malzemesi ile taş ocağından elde edilen doğal agregalardan hazırlanan karışımlara %1, %2 ve %3 oranlarında puzolanik çimento takviyesi yapıldıktan sonra KTŞ kriterlerine göre PMT tabakasında kullanılabilir RAP/DA/çimento karışımları yapılan yaş CBR testleri doğrultusunda belirlenmiştir. Kullanılabilir oranlar belirlendikten sonra PMT Tip-1 temel tabakası tasarımı için RAP oranı/maliyet analizi yapılarak RAP kullanımının sağlayacağı kâr oranları tespit edilmiştir.

3. YÖNTEM (METHOD)

3.1. Malzemeler (Materials)

Çalışmada PMT tabakası tasarımı için farklı RAP, DA ve çimento oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Kullanılan DA malzemesi 0-7 mm, 7-19 mm, 19-38 mm olmak üzere üç farklı boyuttadır (Şekil 1).



Şekil 1. Depolanmış haldeki farklı boyutlardaki DA malzemesi (VA material of different sizes stored)

RAP malzemesi Trabzon ili Fatih Mahallesi'nde bulunan bir şehir içi yolun aşınma tabakasından Trabzon Belediyesi bünyesinde bulunan özel kazıma aracı ile belirli derinlikte kazınmıştır (Şekil 2). Kazıma yol üzerine yapılan araştırmalar, yolun 3 yıldır kullanıldığını ve yer yer bozulmaların (kopma, sökülme, timsah sırtı çatlaklar) başladığını, bu yüzden aşınma tabakasının değişmesi gerekliliğini göstermiştir. Malzeme yoldan kazınırken, kazı makinesi, yolu 5 cm kalınlığında ve ortalama %3-4 eğimle kazacak şekilde ayarlanmıştır. Aracın hızı 10-12 km/sa olarak belirlenmiştir. Elde edilen RAP malzemesi en büyük tane boyutu 25 mm olacak şekilde bir eleme işleminden geçirilmiş olup, ilave bir kırma işlemine tabi tutulmamıştır.

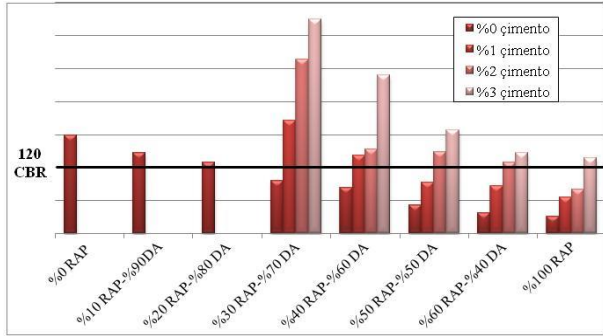


Şekil 2. RAP malzemesinin elde edilmesi ve depolanması (Obtaining and storing of RAP material)

RAP-DA karışımlarındaki RAP malzemesi oranındaki artışın, karışımların yaş CBR değerini düşürmesi nedeniyle karışımlara CEM IV/A 32,5 R puzolanik çimento stabilizatör katkı malzemesi olarak eklenmiştir [16]. Puzolanik çimentonun Portland çimentosuna kıyasla daha ucuz bir malzeme olması seçime dikkate alınmıştır.

3.2. Karışımların Hazırlanması (Preparation of the Mixtures)

KTŞ'nde PMT Tip-I tabakası malzeme karışımları için gerekli olan kriterler; belirtilen gradasyonun sağlanması ve minimum yaş CBR değerinin 120'nin üzerinde olmasıdır. Bu sebeple, PMT Tip-1 tabakası için hazırlanan RAP-DA ve RAP-DA-çimento karışımlarına elek analizi testi TS 3530 EN 933-1'e [17] göre yapılarak gradasyon eğrilerinin PMT tabakası Tip-1 alt ve üst limitleri içerisinde olduğu görülmüştür. AASHTO T-193'e göre [18] çimento takviyeli ve takviyesiz tüm karışımlar üzerinde yapılan yaş CBR testi sonuçları Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Karışımların yaş CBR testi sonuçları (The soaked CBR test results of the mixtures)

Şekil 3'te %10 ve %20 RAP oranındaki RAP-DA karışımlarının KTŞ'nde PMT tip-1 için belirtilen minimum 120 yaş CBR kriterini sağladığı görülmektedir. Bu oranlar için çimento takviyesine gerek duyulmamış, çimento takviyesine %30 RAP karışımından başlanmıştır. RAP-DA karışım numunelerinde kuru ağırlıkça %1, %2 ve %3 olmak üzere üç farklı çimento içeriği kullanılmıştır. Karışımlardaki RAP oranı artarken CBR değeri azalmış, fakat çimento içeriğindeki artış CBR değerlerinin artmasına sebep olmuştur.

4. MALİYET ANALİZİ (COST ANALYSIS)

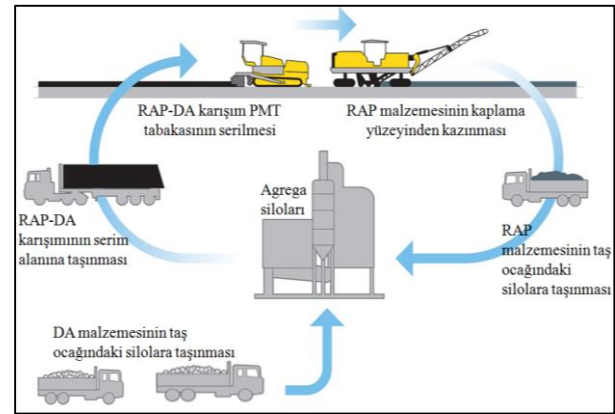
Bir PMT tabakası için yapılacak maliyet hesaplarında maliyeti oluşturan kalemler; malzeme maliyetleri, malzemelerin taşınma maliyetleri ve tabaka yapım maliyetleridir. Bu çalışmada, RAP malzemesinin kazıma maliyeti, zaten yol yüzeyinden kazınıp atık sahalarına boşaltılacağı için fazladan bir kazı maliyeti oluşturmadığı, malzeme için de para ödenmediği için malzeme maliyetinin olmadığı hesaba katılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada hazırlanan karışımların silodan-serim alanına taşıma maliyetlerinin taşınan karışım ne olursa olsun mesafeye bağlı olarak aynı olması sebebiyle taşıma

maliyetleri hesaplara katılmamıştır. Hesaba katılan taşıma maliyetleri yalnızca RAP malzemesinin kazıma alanından-siloya, çimentonun da temin noktasından-siloya olan maliyetler olarak hesaplanmış ve tutarlara dâhil edilmiştir.

Tasarımı yapılacak olan PMT tabakası uzunluğu 1 km, kalınlığı 20 cm, genişliği ise 8 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Taşıma maliyeti hesaplamalarında taş ocağı-silo arası mesafe 150 m ve çimento temin noktası-silo arası mesafe 5 km olarak dikkate alınmıştır.

4.1. Malzemelerin Taşıma Maliyetleri (Transportation Costs of Materials)

RAP-DA-çimento karışım malzemesi ile yapılacak yeni bir PMT tabakası için malzemelerin taşınma maliyetleri; DA'nın ocaktan siloya taşınması, RAP malzemesinin kazındığı alandan siloya taşınması, çimentonun taş ocağına en yakın noktadan temin edilip siloya taşınması ve silo bantlarından daha önceden belirlenen oranlarda geçerek kamyonlara yüklenip PMT tabakası yapım alanına taşınması kalemlerinden oluşmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. PMT tabakası yapımı için malzemelerin taşınması (Transportation of materials for PBC construction) [19]

Bu çalışma kapsamında yapılan malzeme taşıma maliyetleri hesaplamalarında karışım malzemelerinin serim alanına taşınma maliyeti hesaplara katılmamıştır. Bunun sebebi RAP malzemesi kullanılsın ya da kullanılsın doğal agreganın serim alanına taşınacak olmasından ötürü ekstra bir maliyet doğurmayacak oluşudur.

4.1.1. %100 DA malzemesinin ocaktan konkasöre taşınma maliyeti (The transportation cost of 100% VA material from quarry to crusher)

Taş ocağından elde edilen DA malzemesi konkasöre götürülüp belirlenen gradasyonlara ayrılarak silolarda depolanmak üzere şantiye sahasına getirilir. DA'nın ocaktan konkasöre getirilmesi için gereken nakliye ücreti; taşıma mesafesinin ortalama 150 m olması durumunda PMT tabakası yapımı için gereken poz birim fiyatına dâhildir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) KGM/6100/3 pozuna göre PMT tabakası yapımında (kırılmış ve elenmiş ocak taşıyla) ocak-

konkasör arası mesafenin 150 m'den fazla 10 km'den az olması durumunda taşıma bedeli Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanır. 10 km'den daha fazla taşıma bedelleri için ise Eşitlik 2 kullanılır [20].

$$F = A \times 1,25 \times 0,00017 \times K \times \sqrt{M} - 0,0026 \times K \quad (1)$$

$$F = A \times 1,25 \times K \times (0,0007 \times M + 0,01) - 0,0026 \times K \quad (2)$$

Burada; F mali tutar (TL/ton), M ortalama taşıma mesafesi (m), K motorlu araçlara ait taşıma katsayısı ve A güçlük katsayısıdır.

4.1.2. Çimento ve RAP malzemesinin siloya taşınma maliyetleri (Transportation costs of cement and RAP materials to the silo)

PMT tabakası için kullanılan çimento, CEM IV 32,5 R puzolanik çimento olarak belirlenmiştir. Kazıdan başka inşaat malzemelerinin taşınmasına ilişkin pozlar için KGM tarafından kullanılan iki poz vardır [21, 22]. Bunlar eşitlikleri ile birlikte Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Kazıdan başka inşaat malzemelerinin taşınmasına ilişkin pozlar ve tanımları (Poses and definitions related to transportation of construction materials other than excavation)

Rayiç No	Tanımları	
KGM 07.005/K	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması ≤ 10 km	$F = A \times 1,25 \times K \times 0,00017 \times M^{1/2}$
	F	Tutar (TL)
	M	Ortalama taşıma mesafesi (m)
	K	Motorlu araçlara ait taşıma katsayısı
	A	Güçlük katsayısı
KGM 07.006/K	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması > 10 km	$F = A \times 1,25 \times K \times (0,0007 \times M + 0,01)$
	F	Tutar (TL)
	M	Ortalama taşıma mesafesi (km)
	K	Motorlu araçlara ait taşıma katsayısı
	A	Güçlük katsayısı

K=196 olup rayiç cetvelinde yazılı olan (poz no: 02.017) her cins ve tonajda motorlu araca ait taşıma katsayısıdır.

M= Taşıma yolu üzerinden ölçülen mesafeler esas alınarak hesaplanan ortalama taşıma mesafesidir.

“Güçlük katsayısı (A) güç şartlar altında yapılacak taşımalarda taşıma yollarının özelliklerini, iklimi ve taşımamın o bölgenin ticari nakliyesinin yoğun olduğu zamana rastlaması gibi faktörlerden birinin veya birkaçının aynı anda olması halinde ayrıca işin özelliğine bağlı olarak ilk keşif sırasında veya ihaleden önce olmak üzere idarece yetkili makamlarca tespit edilen A katsayısı 1 (dâhil) - 3 (dâhil) arasında bir değerdir. Kolay şartlar altında yapılan çalışmalardan 1'den küçük de tespit edilebilir. Eğer ilk keşif veya ihaleden önce A için bir değer tespit edilmemişse A=1 alınarak uygulama yapılmaktadır” [21]. Çalışmada güçlük katsayısı değeri “1” olarak alınmıştır.

4.2. PMT tabakası yapımı birim fiyatları (Unit prices for PBC construction)

KGM tarafından 1 ton kırılmış ve elenmiş ocak taşıyla PMT tabakası yapımı için gerekli gradasyonda malzemelerin hazırlanmasından arazöz ile sulanmasına kadar malzemelerin miktarları Çizelge 2'deki KGM/6100/3 pozunda gösterilmektedir. Ocak-konkasör arası ortalama 150 m'den fazla mesafeye taşıma, agreganın plent sahasına, suyun iş başına ve plente, karışımın ise serilme yerine taşınma maliyeti birim fiyata dâhil değildir.

KGM/6100/3 pozunda agregalar için belirtilen elek numaraları taş ocağından PMT tabakası için temin edilen 0-7 mm, 7-19 mm ve 19-38 mm boyutlarındaki agregalar için verilmemektedir. Bu boyutlardaki ocak taşından kırılmış elenmiş agregalar hazırlanması için de bir poza rastlanmamıştır. Fakat KGM'de yapım işleri ekipleri tarafından keşfe çıkılarak agregalar için özel pozlar hazırlanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan 0-7 mm, 7-19 mm ve 19-38 mm ocak taşından kırılmış ve elenmiş agregalar hazırlanması için özel bir poz hazırlanarak 2017 birim fiyatları KGM/6100/3 pozundaki birim fiyat listesinden yaklaşık olarak hesap edilmiştir. Kaba taneli agreganın ince taneli agregaya göre daha ucuz olması göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen agregalar birim fiyatları ve özel hazırlanan poz numaraları Çizelge 3'teki gibi yapılmıştır.

Çizelge 2. KGM/6100/3 pozlu analizi (Analysis of KGM /6100/3 pose) [20]

Rayiç No	Tanımı	2017 Birim Fiyat (TL/ton)	Miktar
KGM/4101/B	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 37,5 mm (1 1/2")'lik agrega hazırlanması	16,62	0,239
KGM/4102/B	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1") ve 19 mm (3/4")'lik agrega hazırlanması	18,58	0,239
KGM/4105/B	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 12,5 mm (1/2") ve 9,5 mm (3/8")'lik agrega hazırlanması	21,06	0,239
KGM/4107/B	Ocak taşından kırılmış ve elenmiş 4,75 mm (No.4) ve daha küçük agrega hazırlanması	22,28	0,24
KGM/4465/3	Plent-miks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	4,59	1
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	0,05	1
KGM/4466/5	Plent-miks alttemel ve temel karışımlarının elektronik duyargalı finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	9,94	1
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	8,86	0,01

Çizelge 3. Belirlenen özel pozlar ile PMT yapım maliyeti hesabında kullanılan veriler (Data used in the calculation of PBC construction cost with identified special poses)

Rayiç No	Tanımı	Birim	Miktar	2017 Birim Fiyat (TL)
Özel poz/1	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 37,5 mm ve 19 mm'lik agrega hazırlanması	ton	1	17,5
Özel poz/2	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm ve 7 mm'lik agrega hazırlanması	ton	1	20,0
Özel poz/3	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 7 mm ve daha küçük agrega hazırlanması	ton	1	22,0
Özel poz/4	Kaplama yüzeyinden 0-25 mm'lik RAP malzemesinin hazırlanması	ton	1	0
04.011/1C	Puzolanik çimento (torbalı) (TS EN 197-1 CEM IV/A 32,5 R)	ton	1	150,0
KGM/4465/3	Plent-miks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	ton	1	4,59
KGM/4466/5	Malzemenin kantar ile tartılması	ton	1	0,05
KGM/4269	Plent-miks alttemel ve temel karışımlarının elektronik duyargalı finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	ton	1	9,94
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	ton	1	8,86

Agrega ocağı ile konkasör arası mesafe 150 m'ye kadar taşınması fiyata dâhildir.

KGM/6100/3 pozuna göre yapılan bir PMT tabakasının yapım maliyeti, belirlediğimiz özel pozlara göre yapılan PMT tabakasından daha ucuz olmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan DA malzemesinin ince tane içeriğinin fazla olması malzeme birim fiyatlarını arttırmıştır. Fakat daha fazla ince tane boyutunda malzeme kullanılarak daha iyi kalitede bir PMT tabakası teşkil edilmiştir.

4.3. PMT tabakası için RAP-DA-çimento karışımları malzeme miktarları (Material quantities of RAP-NA-cement mixtures for PBC)

DA, RAP ve çimento malzemeleri ocaktaki silolara hesaplanan gradasyonlarda ayrı ayrı yerleştirildikten

sonra DA-RAP-çimento oranına göre gereken ağırlıktaki malzemenin gereken gradasyonlarından alınmak üzere sisteme ağırlık verileri girilerek bantlardan gelen malzemeler plente yüklenerek harmanlanır. PMT tabakası için yapılan çalışmalarda KTŞ'nin yaş CBR ve gradasyon limitlerini sağlayan RAP-DA ve RAP-DA-çimento karışımları ve bu karışımlar için plente yüklenecek malzemelerin tane boyutlarının karıştırılma oranları Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4. Eleklerden alınan malzeme miktarı ve cinsleri (Amount and types of material taken from sieves)

Karışımlar	Elek açıklıkları (mm)			
	19-38	7-19	0-25	0-7
	%DA	%DA	%RAP	%DA
% 100 DA	26	30	0	44
%10 RAP - %90 DA	24	26	10	40
%20 RAP - %80 DA	24	22	20	34
% 30 RAP - % 70 DA - %1 çimento	18	18	30	34
% 30 RAP - % 70 DA - %2 çimento	18	18	30	34
% 30 RAP - % 70 DA - %3 çimento	18	18	30	34
%40 RAP - %60 DA - %1 çimento	15	17	40	28
%40 RAP - %60 DA - %2 çimento	15	17	40	28
%40 RAP - %60 DA - %3 çimento	15	17	40	28
%50 RAP - %50 DA - %2 çimento	13	13	50	24
%50 RAP - %50 DA - %3 çimento	13	13	50	24
%60 RAP - %70 DA - %2 çimento	11	11	60	18
%60 RAP - %40 DA - %3 çimento	11	11	60	18
% 100 RAP - %3 çimento	0	0	100	0

Çizelge 5. 1 km uzunluğundaki PMT tabakasında kullanılacak malzeme miktarları (Amount of material to be used in 1 km long PBC)

Malzeme	Genişlik (m)	Uzunluk (m)	Kalınlık (m)	γ_{kmaks} (t/m ³)	Toplam malzeme miktarı (ton)
% 100 DA	8	1000	0,20	2,23	3.568
% 10 RAP - % 90 DA				2,181	3.489,6
% 20 RAP - % 80 DA				2,15	3.440
% 30 RAP - % 70 DA - %1 çimento				2,178	3.484,8
% 30 RAP - % 70 DA - %2 çimento				2,184	3.494,4
% 30 RAP - % 70 DA - %3 çimento				2,21	3.536
%40 RAP - %60 DA - %1 çimento				2,141	3.425,6
%40 RAP - %60 DA - %2 çimento				2,158	3.452,8
%40 RAP - %60 DA - %3 çimento				2,176	3.481,6
%50 RAP - %50 DA - %2 çimento				2,138	3.420,8
%50 RAP - %50 DA - %3 çimento				2,142	3.427,2
%60 RAP - %40 DA - %2 çimento				2,064	3.302,4
%60 RAP - %40 DA - %3 çimento				2,100	3.360,0
% 100 RAP - %3 çimento				2,092	3.347,2

Yapılacak PMT tabaka kesitinin boyutları, kullanılacak malzemelerin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (γ_{kmaks}) ve toplam malzeme miktarları Çizelge 5'te gösterilmektedir.

4.3.1. Karışımlardan hazırlanan PMT tabakasının maliyet analizi (Cost analysis of PBC prepared from mixtures)

%100 DA malzemesinden serilecek bir PMT tabakası için malzeme temininden arazözle sıkıştırmaya kadar malzemenin boyutlarına göre kullanım oranlarına göre yapılan maliyet hesabına, karışımın konkasörden serim alanına olan taşıma maliyeti dâhil değildir. Ocak-konkasör arası mesafenin 150 m'den az olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla ocak-konkasör nakliye masrafı PMT tabakası yapım fiyatına dâhildir. Çizelge

5'te yapılan hesaba göre 1 km yol için PMT tabakasında kullanılacak toplam %100 DA ağırlığı 3.568 ton'dur. Hesaplarda miktarlar bu ağırlığa göre belirlenmiştir.

DA-RAP karışımından serilecek bir PMT tabakası için malzeme temininden arazözle sıkıştırmaya kadar yapılan maliyet hesabına, karışımın konkasörden serim alanına olan taşıma maliyeti dâhil değildir. Ocak-konkasör arası mesafenin 150 m'den az olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla ocak-konkasör nakliye masrafı PMT tabakası yapım fiyatına dâhildir. RAP malzemesinin kazıma alanından siloya taşıma maliyeti Çizelge 1'de verilen hesaba göre analize dâhil edilerek RAP malzemesinin kazındığı yerden siloya taşınması için gereken taşıma maliyetinin hesabında kullanılmıştır. Kazıma alanı ile silo arasındaki mesafenin 50 km olduğu

ve dolayısıyla 10 km'den uzak mesafe olması sebebiyle 07.006/K pozundaki eşitlikten faydalanılmıştır.

DA-RAP-çimento karışımından serilecek bir PMT tabakası için malzeme temininden arazözle sıkıştırmaya kadar 1 ton malzemenin boyutlarına göre kullanım oranlarına göre yapılan maliyet hesapları yapılmıştır. Bu hesaplarda, karışımın konkasörden serim alanına olan taşıma maliyeti dâhil değildir. Ocak-konkasör arası mesafenin 150 m'den az olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla ocak-konkasör nakliye masrafı PMT tabakası yapım fiyatına dâhildir. RAP malzemesinin

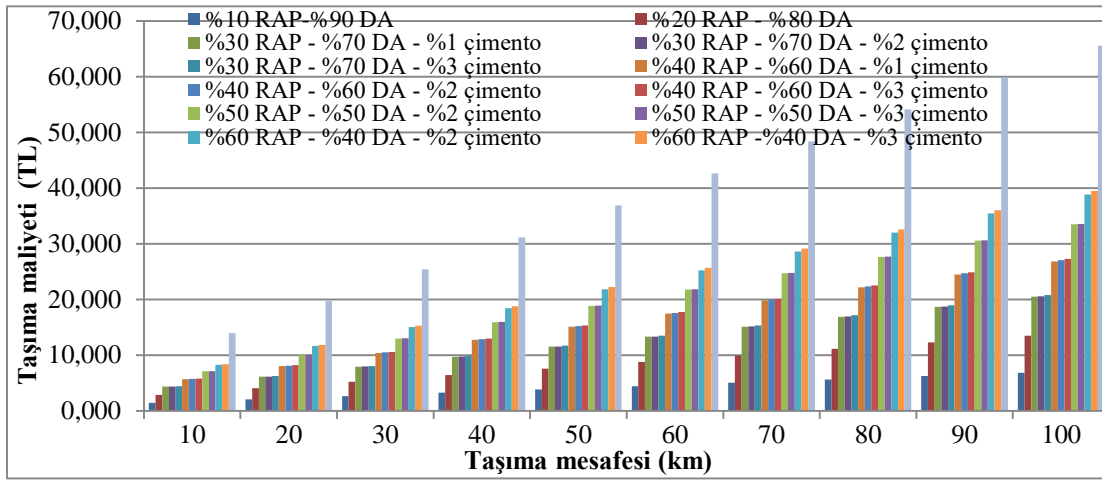
kazıma alanından siloya ve çimentonun da temin noktasından siloya taşıma maliyetinin hesabı Çizelge 1'e göre hesaba katılmıştır. Kazıma yeri ile silo arasındaki mesafenin ortalama 50 km olduğu ve dolayısıyla 10 km'den uzak mesafe olması sebebiyle 07.006/K pozundaki eşitlikten faydalanılmıştır. Çimentonun kolay temin edilebilir bir malzeme olması sebebiyle silo civarındaki yaklaşık 5 km mesafe içinde bir noktadan temin edilebileceği düşünülerek hesap yapılmıştır. Temin noktasından siloya olan mesafe 5 km olarak alınması sebebiyle 07.005/K pozunu kullanarak maliyet hesaplanmıştır. Tüm karışımların, RAP malzemesinin

Çizelge 6. RAP malzemelerinin farklı mesafelere bağlı taşıma maliyetleri (Transportation costs of RAP materials at different distances)

Karışımlar	%10 RAP - %90 DA	%20 RAP - %80 DA	%30 RAP - %70 DA - %1 çimento	%30 RAP - %70 DA - %2 çimento	%30 RAP - %70 DA - %3 çimento	%40 RAP - %60 DA - %1 çimento	%40 RAP - %60 DA - %2 çimento	%40 RAP - %60 DA - %3 çimento	%50 RAP - %50 DA - %2 çimento	%50 RAP - %50 DA - %3 çimento	%60 RAP - %40 DA - %2 çimento	%60 RAP - %40 DA - %3 çimento	%100 RAP - %3 çimento
RAP ağırlığı (ton)	349	688	1.045	1.048	1.060	1.370	1.381	1.392	1.710	1.713	1.981	2.016	3.347
Taşıma mesafesi (km)	RAP malzemesi taşıma maliyetleri (kazıma alanından siloya) (TL)												
10	1.453	2.865	4.354	4.366	4.418	5.707	5.752	5.800	7.123	7.137	8.252	8.396	13.941
20	2.051	4.045	6.147	6.164	6.237	8.057	8.120	8.188	10.057	10.075	11.650	11.854	19.681
30	2.650	5.225	7.940	7.961	8.056	10.406	10.489	10.577	12.990	13.014	15.049	15.311	25.421
40	3.248	6.405	9.733	9.759	9.876	12.756	12.858	12.965	15.923	15.953	18.447	18.768	31.162
50	3.847	7.585	11.525	11.557	11.695	15.106	15.226	15.353	18.857	18.892	21.845	22.226	36.902
60	4.445	8.765	13.318	13.355	13.514	17.456	17.595	17.742	21.790	21.831	25.243	25.683	42.643
70	5.044	9.945	15.111	15.153	15.333	19.806	19.964	20.130	24.723	24.770	28.641	29.141	48.383
80	5.642	11.124	16.904	16.951	17.153	22.156	22.332	22.518	27.657	27.708	32.039	32.598	54.124
90	6.241	12.304	18.697	18.749	18.972	24.506	24.701	24.907	30.590	30.647	35.438	36.056	59.864
100	6.839	13.484	20.490	20.547	20.791	26.856	27.069	27.295	33.523	33.586	38.836	39.513	65.605

10-100 km uzaklıktan temin edilmesi durumunda meydana getireceği taşıma maliyetleri Çizelge 6'da ve grafiksel olarak da Şekil 5'te gösterilmektedir.

katsayısı "1" olarak alınmıştır. Arazi şartları düşünüldüğünde bu katsayının daha düşük alınabileceği ve bu durumda taşıma maliyetlerinin düşeceği aşıkârdır.



Şekil 5. Karışımların farklı mesafelere bağlı taşıma maliyetleri (Transportation costs of blends at different distances)

RAP malzemesi kullanım oranı arttıkça taşıma maliyeti de lineer bir şekilde artmaktadır. Karışımda %10 RAP kullanılması durumunda 100 km mesafeye taşıma maliyeti %100 RAP karışımının taşıma maliyetinin yaklaşık 1/10'udur. Yapılan hesaplamalarda güçlük

KTŞ'nin PMT Tip-1 tabakası için belirttiği yaş CBR ve gradasyon kriterlerini karşılayan tüm karışımların yapılacak olan 1 km'lik PMT tabakası için yapım, RAP malzemesinin ve çimentonun siloya taşınma maliyeti dâhil toplam tutarı, çimento temin noktasının silonun 5

Çizelge 7. Malzemelerin siloya taşınma ve PMT yapım maliyetleri dâhil toplam maliyetler (Total costs including material transportation to silo and PBC construction)

Karışım	RAP kazıma alanı-silo arası mesafe (km)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Toplam Tutar (TL)									
%100 DA	155.814,0									
%10 RAP - %90 DA	146.760	147.358	147.957	148.555	149.154	149.752	150.351	150.949	151.548	152.146
%20 RAP - %80 DA	138.814	139.994	141.174	142.354	143.534	144.713	145.893	147.073	148.253	149.433
%30 RAP - %70 DA - %1 çimento	140.999	142.791	144.584	146.377	148.170	149.963	151.756	153.549	155.342	157.135
%30 RAP - %70 DA - %2 çimento	146.774	148.572	150.370	152.168	153.966	155.763	157.561	159.359	161.157	162.955
%30 RAP - %70 DA - %3 çimento	153.973	155.792	157.611	159.431	161.250	163.069	164.888	166.708	168.527	170.346
%40 RAP - %60 DA - %1 çimento	133.025	135.375	137.725	140.075	142.425	144.774	147.124	149.474	151.824	154.174
%40 RAP - %60 DA - %2 çimento	139.404	141.773	144.141	146.510	148.878	151.247	153.616	155.984	158.353	160.722
%40 RAP - %60 DA - %3 çimento	145.934	148.322	150.711	153.099	155.488	157.876	160.264	162.653	165.041	167.430
%50 RAP - %50 DA - %2 çimento	117.994	120.927	123.861	126.794	129.727	132.661	135.594	138.527	141.461	144.394
%50 RAP - %50 DA - %3 çimento	138.124	141.063	144.002	146.941	149.879	152.818	155.757	158.696	161.635	164.574
%60 RAP - %40 DA - %2 çimento	122.543	125.941	129.339	132.737	136.135	139.534	142.932	146.330	149.728	153.126
%60 RAP - %40 DA - %3 çimento	129.860	133.317	136.775	140.232	143.690	147.147	150.605	154.062	157.520	160.977
%100 RAP - %3 çimento	107.880	113.620	119.361	125.101	130.841	136.582	142.322	148.063	153.803	159.544

km civarında olması ve kazıma alanı-silo arası mesafenin 10-100 km arasında değişmesi durumunda Çizelge 7'de gösterilmektedir.

Çizelge 7'ye göre tamamı ocak malzemesinden (%100 DA ile) serilecek 1 km uzunluğundaki bir PMT tabakası için konkasör-serim alanı taşıma maliyeti hariç toplam tutar yaklaşık 155.814,0 TL olarak belirlenmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi %10 RAP-%90 DA, %20 RAP-%80 DA, %40 RAP-%60 DA-%1 çimento, %50 RAP-%50 DA-%2 çimento ve %60 RAP-%40 DA-%2 çimento oranlarında hazırlanan karışımların toplam maliyeti, RAP malzemesinin 100 km uzaklıktan temin edilmesi durumunda bile %100 DA malzemesinden yapılacak bir PMT tabakasına göre daha ekonomik olmaktadır.

Çizelge 7'de, karışımda kullanılan çimento miktarının artması ve dolayısıyla siloya olan taşıma maliyetinin artmasından ötürü karışımın ekonomik kazanımını belirgin biçimde düşürdüğü görülmektedir. Örneğin %30 RAP-%70 DA-%1 çimento karışımı 90 km'ye kadar ekonomik bir alternatif olurken %30 RAP-%70 DA-%3 çimento karışımı sadece 20 km'ye kadar RAP taşınması durumunda ekonomiktir. %30 RAP-%70 DA-%1 çimento karışımının toplam maliyetinin %100 DA malzemesinden yapılacak bir PMT tabakasının kine kıyasla %0,08 gibi bir zarar ettirdiği görülmektedir. Bu denli ufak bir farkın RAP kullanımının çevresel avantajları düşünüldüğünde kabul edilebilir olduğu düşünülmelidir.

%100 RAP-%3 çimento karışımının kullanılması durumunda RAP malzemesinin kazıma alanından siloya taşıma maliyetinin 90 km'nin üzerindeki bir uzaklıktan temini durumunda toplam maliyeti %100 DA malzemesinden yapılacak bir PMT tabakasının üzerine çıkarttığı görülmektedir. Fakat karışımda DA kullanılmaması nedeniyle malzemelerin taş ocağındaki

silolara taşınarak DA ile silolarda karıştırılma gereksinimi kalmadığı için RAP malzemesinin serim alanına en yakın yerdeki bir siloya taşınması taşıma maliyetini düşürecektir. RAP-DA-çimento malzemeleri siloda karıştırıldıktan sonra malzemelerin serim alanına taşıma maliyetleri de göz önüne alınırsa hem siloya taşıma maliyeti hem de serim alanına taşıma maliyetleri olacaktır. Bu sebeple silonun serim yerine yakın olması kazıma alanı-silo, silo-serim alanı malzeme taşıma maliyetlerinde belirgin bir azalma oluşturacaktır. Bu durumda da %100 RAP-%3 çimento malzemelerinin karışımından yapılacak bir PMT tabakasının toplam maliyeti %100 DA ile yapılan PMT tabakasından daha ekonomik olabilecektir.

%100 DA ile yapılan PMT tabakasını dikkate alarak, PMT tabakasında RAP malzemesi veya RAP-çimento karışımı kullanmanın sağlayacağı kâr veya zarar miktarları ve oranları Çizelge 8'de sunulmuştur. RAP malzemesinin kazıma alanından-siloya olan uzaklığı 50 km, çimentonun siloya uzaklığı ise ortalama 5 km olarak hesaba katılmıştır.

Çizelge 8'de görüldüğü gibi çimento takviyesiz karışımlarda RAP malzemesinin karışımdaki kullanım oranının artmasıyla birlikte sağlanan kâr artmaktadır. Karışımdaki çimento oranının artması ise kâr oranını düşürmektedir. En büyük kâr oranı %50 RAP-%50 DA-%2 çimento karışımından elde edilmiştir (%16,74). Sonraki sırada ise %100 RAP-%3 çimento karışımı gelmektedir (%16,2). RAP malzemesinin kazı alanının siloya olan taşıma mesafesinin 50 km olarak, çimentonun temin edildiği noktanın siloya olan uzaklığının da 5 km olarak baz alındığında daha kısa mesafelerde bu taşıma maliyetinin azalmasından ötürü kâr oranının artacağı aşikârdır. Bu sebeple serim alanına yakın bölgelere silo yapılması ve karışımların orada hazırlanması taşıma masraflarını düşürerek RAP kullanımının sağlayacağı

Çizelge 8. PMT tabakasında RAP/çimento kullanımından sağlanan kâr oranları (Profit rates from the usage of RAP/cement mixtures in PBC)

Malzeme	Tutar (TL/km)	Kâr (+) / Zarar (-) miktarı (TL)	Kâr oranı
%100 DA	155.814	0	%0
%10 RAP-%90 DA	149.154	+6.659	%4,27
%20 RAP-%80 DA	143.534	+12.280	%7,88
%30 RAP-%70 DA-%1 çimento	148.170	+7.643	%4,90
%30 RAP-%70 DA-%2 çimento	153.966	+1.847	%1,19
%30 RAP-%70 DA-%3 çimento	161.250	-5.436	-%3,49
%40 RAP-%60 DA-%1 çimento	142.425	+13.389	%8,59
%40 RAP-%60 DA-%2 çimento	148.878	+6.935	%4,45
%40 RAP-%60 DA-%3 çimento	155.488	+0.325	%0,21
%50 RAP-%50 DA-%2 çimento	129.727	+26.086	%16,74
%50 RAP-%50 DA-%3 çimento	149.879	+5.934	%3,81
%60 RAP-%40 DA-%2 çimento	136.135	+19.678	%12,63
%60 RAP-%40 DA-%3 çimento	143.690	+12.123	%7,78
%100 RAP-%3 çimento	130.841	+25.167	%16,2

kârı atarak ekonomiklik sıralamasında ilk sırayı alabilecektir. Ayrıca bozulan asfalt kaplamalar yeni kaplama serilmesi için yerinden kazınarak atık sahalarına taşınmaktadır. Dolayısıyla yine bir taşıma maliyeti oluşturmaktadır. Zaten taşıma maliyeti oluşturacak RAP malzemesinin atık sahasına olan taşıma mesafesi siloya olan mesafeden çıkarılarak daha doğru ve daha karlı bir hesap yapılması mümkün olmaktadır.

Sonuçlarda dikkati çeken husus; karışımlarda çimento oranının artmasının maliyeti arttırması olmuştur. %2 çimento katkılı karışımların çoğu %100 DA ile yapılan PMT tabakası yerine 100 km için ekonomik bir çözüm olarak görünürken %3 çimento kullanımı tüm karışımlar için ekonomik olmamıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION and RECOMMENDATIONS)

Kazınmış asfalt kaplama (RAP) malzemelerinin PMT Tip-1 tabakasında çimento takviyeli ve takviyesiz olarak kullanım oranlarına bağlı, malzeme maliyeti, malzemelerin taşıma maliyetleri ve temel tabakası yapım maliyeti dâhil toplam tutarların araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Düşük çimento ve yüksek RAP oranındaki karışımların toplam maliyeti, tamamı %100 DA malzemesinden teşkil edilecek bir PMT tabakasından daha ekonomik olmaktadır.
2. Temel tabakası yapılacak karışımdaki RAP oranı arttıkça malzeme nakliyesinden doğan taşıma maliyeti de lineer bir şekilde artmaktadır.
3. Karışımlarda kullanılan çimento miktarının artması ve dolayısıyla siloya taşıma maliyetinin artması nedeni ile çimento takviyesi RAP malzemesi kullanımından sağlanacak ekonomik kazanımını belirgin biçimde düşürmektedir.
4. RAP malzemesinden yapılan temel tabakaları için maliyetin büyük kısmını oluşturan kalem, RAP malzemesinin kazı alanından doğal agreganın bulunduğu taş ocağındaki siloya taşınması olmuştur. Temel tabakası serim alanına yakın bir noktaya silo yapılması ve karışımların orada hazırlanması taşıma masraflarını düşürüp RAP kullanımının sağlayacağı kârı arttırarak ekonomiklik sıralamasında %100 RAP kullanımı ilk sırayı alabilecektir.

Bu çalışma ülkemiz karayollarının tamamına yakınının bitümlü sıcak kaplama tabakasıyla yapılmış olmasından dolayı yeniden yapım veya yerinden kaldırma gibi işlemler neticesinde elde edilen asfalt kaplama atıklarının (RAP) yeniden kullanımını teşvik etmek amacıyla yürütülmüştür. Yapılan çalışma neticesinde RAP malzemesinin PMT Tip-1 tabakasında kullanılabileceği ve yüksek oranlarda (\geq %50) kullanımının puzzolanik çimento takviyesiyle mümkün olduğu belirlenmiştir. RAP malzemesi kullanımı, doğal agregaya olan ihtiyacı azaltarak malzeme maliyetlerinde azalmaya sebep

olmaktadır. Fakat bu malzemelerin temin edildikleri noktalara veya malzeme silolarına uzaklıklarından kaynaklanan nakliye maliyetlerinin de zarar ettirmeyecek şekilde hesaplanması gerekmektedir. İşte bu noktada çalışmamız gerek KGM ve gerekse belediyelere, atık malzemelerin geri dönüşümünü sağlarken, malzeme, nakliye ve yapımın kar ettirecek olan RAP malzemesi kullanımının mümkün olduğunu göstermek ve kullanımını teşvik etmek için bir rehber niteliğindedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Oruç Ş., Yılmaz B. and Mazlum M.S., “Geri Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1): 87-93, (2018).
- [2] <http://www.singemat.com.tr/tr/CevreArge/AsfaltGeriKazanimi>, “Simge Mat A.Ş. Asfalt geri kazanımı”, (2018).
- [3] Kaya B., “Bitümlü karışımların geri dönüşümü, çevresel etkileri ve maliyet analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
- [4] Carswell I., Nicholls J.C., Elliot R.C., Harris J. and Strickland D., “Feasibility of recycling thin surfacing back into thin surfacing systems”, *Transport Research Laboratory (TRL) Report TRL645*, Wokingham, UK, (2005).
- [5] Arapoğlu A.S., “Bozulmuş asfalt kaplamaların geri dönüşümü ve maliyet analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2014).
- [6] McGarrah E.J., “Evaluation of current practices of reclaimed asphalt pavement/virgin aggregate as base course material”, Final Report No: WA-RD 713.1, *Washington State Department of Transportation*, Washington DC, A.B.D., (2007).
- [7] Schaefer V., Stevens L., White D. and Ceylan H., “Design guide for improved quality of roadway subgrades and subbases”, Final Report No: IHRB Project TR-525, Iowa Highway Research Board, *Iowa Department of Transportation*, A.B.D., (2008).
- [8] Taha R., Ali G., Basma A. and Al-Turk O., “Evaluation of reclaimed asphalt pavement aggregate in road bases and subbases”, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1652(1): 264-269, (1999).
- [9] Cosentino P. J., Kalajian E. H., Bleakley A. M., Diouf B.S., Misilo T.J., Petersen A.J. and Sajjadi A.M., “Improving the properties of reclaimed asphalt pavement for roadway base applications”, Final Report

- No: FL/DOT/BDK81 97702, *Florida Department of Transportation*, A.B.D., (2012).
- [10] Bennert T., and Maher A., “The Development of a Performance Specification for Granular Base and Subbase Material”, Final Report No: FHWA-NJ-2005-003, *Federal Highway Administration*, Washington DC., A.B.D., (2005).
- [11] Seferoğlu A.G., Seferoğlu M.T. and Akpınar M.V., “Türkiye’de geri dönüşüm asfalt kaplamaların (RAP) bağlayıcısız temel tabakalarında kullanılabilirliği ve şartname gereksinimleri”, *Yapı Dünyası*, 254: 21-26, (2017).
- [12] Bleakley A.M., and Cosentino P.J., “Improving properties of reclaimed asphalt pavement for 484 Roadway base applications through blending and chemical stabilization”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 486(2335): 20-28, (2013).
- [13] Karayolu Teknik Şartnamesi (KTS), Kısım 402: Temel, *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, (2013).
- [14] Franke R. and Ksaibati K.A., “Methodology for cost-benefit analysis of recycled asphalt pavement (RAP) in various highway applications”, *International Journal of Pavement Engineering*, 16(7): 660-666, (2015). DOI: 10.1080/10298436.2014.943217
- [15] Andreen B., Rocheville H. and Ksaibati K.A., “Methodology for cost/benefit analysis of recycled asphalt pavement (RAP) in various highway applications”, *Transportation Research Board (TRB) 2012 Annual Meeting*, (2011).
- [16] Seferoğlu A.G., Seferoğlu M.T. and Akpınar M.V., “Experimental study on cement-treated and untreated RAP blended bases: Cyclic plate loading test”, *Construction and building materials*, 182: 580-587, (2018). DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.160
- [17] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), TS 3530 EN 933-1: Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-Elleme metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2015).
- [18] AASHTO T 193, Standard method of test for the California bearing ratio, The American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, (2013).
- [19] <http://applications.dynapac.com/soil/millingrecycling/>, “Milling recycling”, (2017).
- [20] <http://www.birimfiyat.net/kgm-6100-3-plent-miks-temel-yapilmasi-kirilmis-ve-elenmis-ocak-tasi-ile>, “Plent-miks temel yapılması”, (2017).
- [21] <http://www.birimfiyat.net/07.005-k-kazidan-baska-insaat-malzemesinin-tasinmasi-10-000-m.ye-kadar>, “1000 m’ye kadar kazıdan başka inşaat malzemelerinin taşınması”, (2017).
- [22] <http://www.birimfiyat.net/07.006-k-kazidan-baska-ins.malzemesinin-tasinmasi-10000-mt>, “Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması”, (2017).