

PLENTMİKS TEMEL TABAKASINDA KAZINMIŞ ASFALT KAPLAMA (RAP) KULLANIMININ LABORATUVAR DENEYLERİYLE İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE USE OF RECYCLED ASPHALT PAVEMENT (RAP) WITH PLANTMIX BASE LAYER BY LABORATORY EXPERIMENTS

**Yasin PEKYÜREK¹, Abdullah Yasin BÜYÜKASLAN², Alper TÜFEKÇİOĞLU², Furkan AKYOL²,
Hande Işık ÖZTÜRK³, Emre AKINAY⁴, Abdullah Tolga ÖZER⁵**

ÖZET

Günümüzde kazınmış asfalt kaplamanın (RAP) sürdürülebilir bir çözüm olarak yol dolgularında temel ve alttemel malzemesi olarak kullanımı giderek artmaktadır. Bununla birlikte, barındırdığı bitümlü bağlayıcı sebebiyle ekonomik olarak değerli olan RAP'ın esnek üst yapı imalatlarında temel ve alttemel olarak tek başına kullanımı, hem istenilen fiziksel ve mekanik özellikler hem de ekonomik olarak mümkün değildir. Sonuç olarak geleneksel plentmiks temel (PMT) ile kullanımı gerekmektedir. Bu çalışmada Karayolları Teknik Şartnamesi'ne (KTŞ) uygun PMT ağırlıkça farklı oranlarda RAP ile karıştırılarak mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda PMT, RAP ve üç farklı PMT + RAP karışımlarının elek analizleri, proktor deneyleri ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan çalışmalar ile değerlendirilerek esnek yol üstyapılarında PMT + RAP karışımlarının kullanılabilirliği üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: kazınmış asfalt kaplama (RAP), kaliforniya taşıma oranı (CBR), plentmiks temel (PMT), proktor deneyi

ABSTRACT

The use of recycled asphalt pavement (RAP), which is a sustainable solution, as a base and sub-base material is increasing in roadway constructions. However, the use of RAP, which is economically valuable due to the bituminous binder, as a base and sub-base in flexible pavement construction is not economically feasible. In addition, the desired physical and mechanical properties of RAP cannot replace that of traditional base and subbase. As a result, it should be used together with the traditional plant mix base (PMT). In this study, engineering properties were quantified by mixing PMT which conforms with the General Directorate of Highways Technical Specification (KTS) with RAP using different RAP/PMT ratios by weight. Sieve analyses, proctor tests, and California bearing ratio (CBR) tests of PMT, RAP, and three different PMT + RAP mixtures were performed. The results were discussed with the literature and evaluations were made on the potential use of PMT + RAP mixtures in flexible road pavements.

¹Araştırma Görevlisi, Gebze Teknik Üniversitesi, yasinpekyurek@gmail.com (Sorumlu Yazar)

²Yüksek Lisans Öğrencisi, Gebze Teknik Üniversitesi, a.buyukaslan2021@gtu.edu.tr,
alpertufekcioglu19@gmail.com,

³Öğretim Üyesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, ozturkha@metu.edu.tr

⁴Austrotherm Yalıtım Malzemeleri, emre.akinay@austrotherm.com.tr

⁵Öğretim Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi, tolgaozer@gtu.edu.tr

Keywords: *Recycled asphalt pavement (RAP), California bearing ratio (CBR), Plantmix base PMT, Proctor test*

1. GİRİŞ

Son yıllarda doğal kaynakların korunması amacıyla ve ekonomiye katkısı dolayısıyla sürdürülebilir çözüm odaklı uygulamalar hızla artmaktadır. Pek çok meslek grubunda görülmekte olan bu çözümler özellikle inşaat mühendisliğinde ve alt dallarında oldukça yaygındır (Gürer vd., 2004). Yol üstyapılarında sürdürülebilir çözümlere sıklıkla rastlandığı gibi yol dolgularında da bu tür uygulamaların artışı göze çarpmaktadır (Seferoğlu vd., 2020; Kır ve Kır, 2022; Mariyappan vd., 2023). Asfalt beton kaplamaları, genellikle 30 yıllık sınırlı bir süre dayanacak şekilde tasarlanıp inşa edilmektedir. Kullanım ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kazınarak dolgu alanlarına kontrolsüz bir şekilde depolanmasının hem olumsuz çevresel etkiye sahiptir hem de ekonomik değeri olan malzemenin kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca dünya genelinde taş, agrega vb. doğal kaynakların da azaldığı bilinmekte ve üretimi yüksek gaz emisyonu salınmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda da ham maddelerin üretim maliyetlerinde artışa sebep olmaktadır (Ryloka-Polak vd., 2022). Ülkemiz gibi petrol kaynakları sınırlı ülkeler, bitümlü bağlayıcıların üretiminde dışa bağımlıdır. Bu nedenle yeni üretilecek karışımlarda, kazınmış asfalt kaplamanın (RAP) kullanımı ekonomik ve teknik açıdan büyük önem arz etmektedir (Güngör vd., 2008). Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ, 2013), yeniden yapılacak bitümlü sıcak karışım (BSK) imalatında RAP kullanımını ağırlıkça %25 ile sınırlandırmaktadır. Daha yüksek oranda kullanıma dair birçok başarılı akademik çalışma ve saha uygulaması olsa da çoğunlukla %10-20 oranında RAP kullanıldığı bilinmektedir (Zaumanis ve Mallick, 2015). Fakat KTŞ’de RAP malzemesinin alttemel ve temelde kullanılması ile ilgili herhangi bir kriter mevcut değildir. Virginia DOT tarafından 2014 yılında, kazınmış asfalt kaplamaların temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılabilmesi için bir fizibilite raporu hazırlanmıştır (Hoppe vd., 2015). Hiçbir kimyasal stabilizatöre ihtiyaç duyulmadan RAP’ın alttemel ve temelde kullanılmasının çevresel problem doğurmadığı ortaya konmuştur. Colorado DOT da spesifik gradasyon limitleri içinde kalan ve dayanımı olan RAP’ın granüler malzeme olarak temelde kullanılabilirliğini raporlamıştır (Locander, 2009). Mariyappan vd.’nin (2023) hazırladığı literatür taramasında, alttemel ve temel katmanlarında kullanılan RAP malzemesinin doğal agrega gibi eklenebildiği veya çimento ve uçucu kül gibi katkı maddeleri ile karıştırılarak kullanılabilirdiği veya geocell ile sınırlandırılarak kullanılabilirdiği raporlanmıştır. Bu kullanımlarda tabakanın dinamik yükler altında tekerlek izinde oturma veya yorulma çatlağına dayanımının arttığı görülmüştür.

Literatürde RAP malzemesinin alttemel ve temel katmanlarında kullanımıyla ilgili pek çok deneysel ve uygulama çalışması mevcuttur. Bu çalışma kapsamında ve literatür taramasında herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan RAP’ın granüler malzeme gibi kullanımına odaklanılmıştır. Mariyappan vd. (2023) RAP’ın esnek üst yapı uygulamalarında kullanımını hem sürdürülebilirlik açısından hem de mühendislik parametreleri açısından değerlendirebilmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sözü edilen çalışmada RAP’ın temel ve alttemel tabakasında kullanımı da inceleme konusu olmuştur. Gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda RAP malzemesinin temel ve alttemel tabakası içerisinde yüzdesel olarak artmasının karışımların Kaliforniya taşıma oranı (CBR) gibi bazı parametrelerinde düşüşe yol açtığını, RAP kullanımının %15 ile sınırlandırılması gerektiğini belirtmiştir. McGarrah 2007 yılında yapmış olduğu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri’nde yıllık olarak çok yüksek miktarlarda kazınmış asfalt malzemesi oluştuğunu, bu malzemenin sıcak asfalt karışımlarda kullanımının %20 ile sınırlandırıldığını ve geriye kalan malzemenin katı atık sahalarına boşaltıldığını belirtmiştir. Bu sebeple RAP’ın sıcak karışımlarda olduğu gibi temel ve alttemel tabakalarında da kullanımının araştırıldığını ve kendi çalışmasının bu amaca yönelik olduğunu ifade etmiştir. Farklı yerlerden kazınan RAP malzemelerinin birbirlerinden çok farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olabileceğini ve her malzemenin kendi içerisinde deneylere tabi tutulması gerektiğini vurgulamıştır. ABD’nin çeşitli bölgelerinde yaptığı çalışmalar neticesinde RAP’ın yüzdesel artışının karışımların genel mühendislik özelliklerinde ve özellikle CBR değerindeki düşüş nedeniyle RAP yüzdesinin %25 ile sınırlandırılmasını önermiştir. Maher (1997) RAP’ın temel ve alttemel uygulamalarındaki fizibilitesini değerlendirmek amacıyla bir dizi laboratuvar deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu deneylerde RAP ile kullanılacak granüler malzemenin etüvde kurutulduğunu ancak RAP’ın içerdiği bağlayıcının etüvde kurutulduğunda yumuşayarak agrega ve tavaya yapıştığını; bu sebeple 24 saat boyunca açık havada kurutulmasını, ardından da kısa aralıklarla ısıtılmasını önermiştir. 2005 yılında daha gerçekleştirilen kapsamlı laboratuvar deneylerinin sonucunda bir rapor yayınlamıştır (Maher ve Bennert, 2005). Bu çalışmada RAP içeriğinin karışımın mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. RAP yüzdesi arttıkça karışımın permeabilitesinin düştüğünü ve RAP içeriğinin %0’dan %25’e arttırıldığında CBR değerinde %75’e yakın düşüş gözlemlendiğini belirtmiştir. Mousa vd. (2021) yukarıdaki çalışmaların bir

benzerini Mısır'da gerçekleştirmiştir. Değerlendirmeleri sonucunda RAP'ın hem temel hem de alttemel tabakası için elverişli bir malzeme olduğunu ve %60'a kadar RAP'ın alttemel olarak kullanılabileceği, temel için de %20 oranı ile sınırlandırılması gerektiğini ortaya koymuştur. Literatürde görüldüğü üzere RAP kullanımının genellikle %25 oranı ile sınırlandırılması önerilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, KTŞ plentmiks temel (PMT) tabakası gradasyon limitleri içinde kalarak, granüler malzeme olarak muhtelif miktarlarda RAP kullanımı araştırılmıştır. Literatürde önerilen sınırın biraz üzeri %30 ve önerilen limit aralığında %20 ve %10 oranında RAP ihtiva eden karışımlar üretilerek, fiziksel ve performans deneyleri ile temel tabakasında kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Çalışmada kullanılan PMT malzemesi İstanbul Arnavutköy'deki ariyet ocağından temin edilmiştir (Şekil 1a). RAP malzemesi de İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından muhtelif yollardan kazınmış malzemeden temin edilmiştir (Şekil 1b). Her iki malzeme de laboratuvar etüvünde kurutulmuştur. PMT 105 °C'de, RAP ise içerdiği bağlayıcının yumuşayıp agrega ve tavaya yapışmasının önlenmesi amacıyla 75 °C'de kurutulup 2 saat oda sıcaklığında soğumaya bırakıldıktan sonra fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ağırlıkça %90 PMT - %10 RAP, %80 PMT - %20 RAP ve %70 PMT - %30 RAP ihtiva eden karışımlar laboratuvar ortamında kürekle karıştırılarak homojenize edilerek hazırlanmıştır. Deneyler için numuneler hazırlanan karışımlardan ASTM C 33'e uygun olarak çeyrekleme tekniği ile alınmıştır.



Şekil 1. (a) Plentmiks Temel Malzemesi, (b) Kazınmış Asfalt Malzemesi

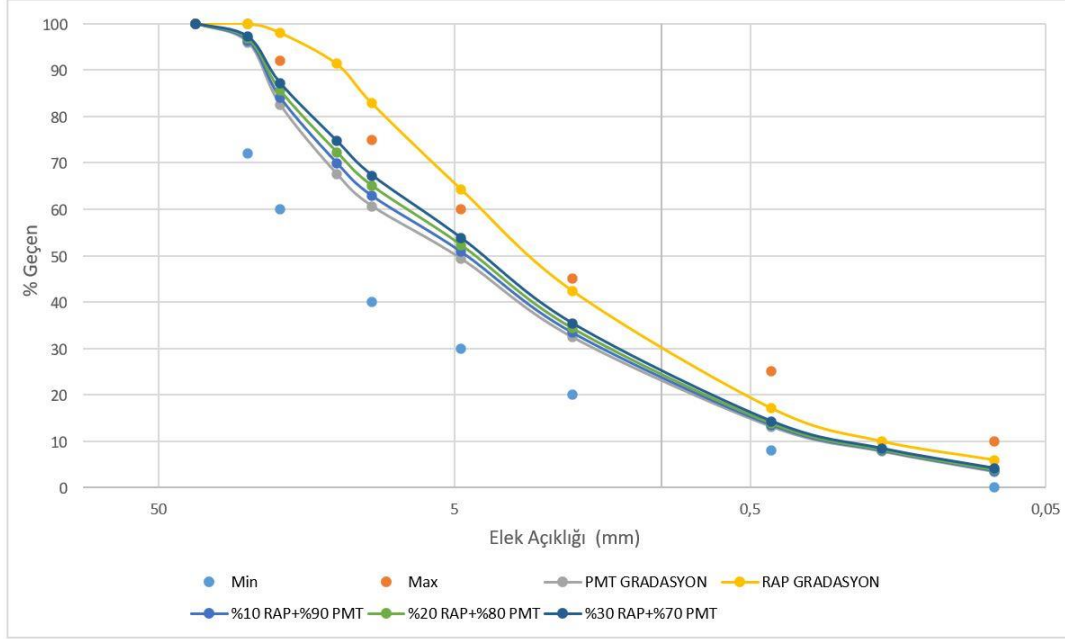
2.2. Laboratuvar Deneyleri

PMT, RAP ve üç farklı karışımın fiziksel ve performans özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla elek analizi, özgül ağırlık, proktor ve kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyleri gerçekleştirilmiştir. ASTM C136'ya uygun olarak PMT, RAP ve üç ayrı karışım malzemesi için elek analizleri yapılmıştır. RAP malzemesi elek analizinden geçirilmeden önce ASTM D6307'ye uygun olarak yakma yöntemi ile bitümlü bağlayıcı ihtivası belirlenmiştir. PMT malzemesine RAP malzemesinin farklı oranlarda katılmasının özgül ağırlığa etkisini saptayabilmek adına PMT, RAP ve üç ayrı karışıma ASTM D2041'e uygun olarak test edilmiştir. Malzemelerin ve karışımların optimum su muhtevalarının ve maksimum birim hacim ağırlıklarının hesaplanması amacıyla ASTM D1557'ye uygun olarak modifiye proktor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Nispi taşıma değerlerini tespit etmek amacıyla optimum su muhtevaları baz alınarak sıkıştırılan PMT, RAP ve karışım malzemelerine ASTM D1883'e uygun olarak kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi uygulanmıştır. Laboratuvar deneylerinin sonuçları değerlendirme kısmında sunulurken, mevcut literatür ile kıyaslanmıştır.

3. DEĞERLENDİRME

Yapılan elek analizleri sonucunda PMT ve karışım malzemelerinin KTŞ'ye (2013) uygun dane çapı dağılımına sahip olduğu, RAP malzemesinin dane çapı dağılımının ise bazı bölgelerde maksimum şartlarını sağlamadığı gözlemlenmiştir (Şekil 2). Ağırlıkça %4,65 oranında bitümlü bağlayıcı ihtiva eden RAP malzemesinin kazındıktan sonra iyi derecelendirilemediği görülmüştür. Çalışmanın laboratuvar ortamında saha şartlarını yansıması için RAP malzemesi tekrar kırılmayarak, temin edildiği gibi kullanılmıştır. Bundan hareketle RAP

malzemesinin tek başına esnek üst yapılarında temel ve alttemel olarak kullanımının sakıncalı olduğu, ancak belirli yüzdelerdeki karışımlarla PMT ile kullanımının uygun olacağı söylenebilir.



Şekil 2. Elek Analizi Deneyi Sonucunda Elde Edilen Dane Çapı Dağılımı Eğrisi

Mousa vd.,2021'nin Mısır özelinde yaptığı çalışmalarda da bu eğriye benzer eğrilerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Buna göre karışımdaki RAP oranının artmasıyla KTS'nin granülometrik sınırlarına yaklaşıldığı, daha az miktarlarda kullanıldığı zaman ise istenilen aralığın sağlandığı görülmüştür. Bu açıdan her üç karışım da arzu edilen değer aralıklarında kalmış ve temel-alttemel malzemesi olarak kullanımının gradasyon açısından uygun olduğu görülmüştür. Tablo 1'de %100 PMT, %100 RAP ve PMT-RAP karışımlarına ait dane özellikleri sunulmuştur.

Tablo 1. Dane, Sıkışabilirlik ve Mukavemet Özellikleri

PMT (%)	RAP (%)	Maks. Dane Çapı (D _{max}) (mm)	D ₅₀ (mm)	Üniformluk Katsayısı, C _u	Derecelenme Katsayısı, C _c	Modifiye P. (γ _{kuru,max}) (kN/m ³)	Modifiye P. (W _{opt} (%))	CBR (%)
100	0	37,5	4,80	30,16	1,21	23,40	4,60	122
0	100	25,0	3,50	25,00	1,24	20,70	5,50	24
90	10	37,5	4,75	29,84	1,15	23,20	5,15	69
80	20	37,5	4,85	29,52	1,11	22,58	5,20	66
70	30	37,5	4,90	28,75	1,04	22,27	5,35	48

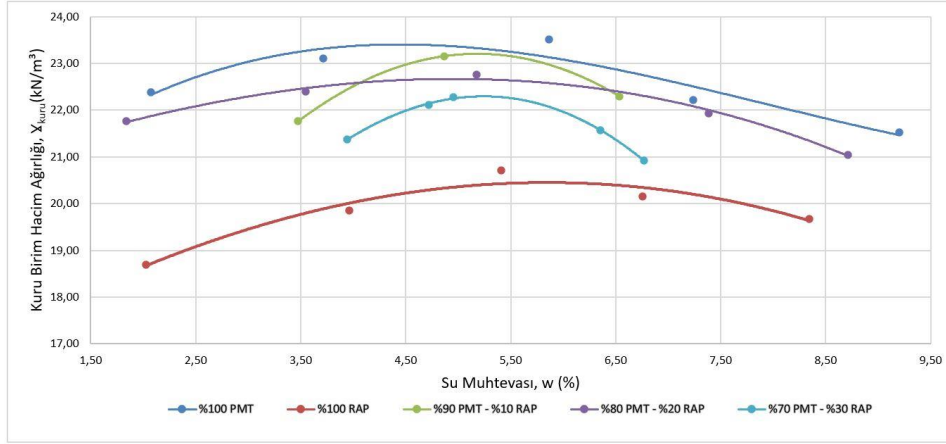
PMT, RAP ve üç farklı PMT-RAP karışımının Tablo 2'de özgül ağırlık değerleri sunulmuştur. Beklenildiği üzere RAP'ın karışım içinde ağırlıkça yüzdesi arttıkça özgül ağırlık değerlerinde azalma olmuştur. Bunun nedeni de bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığının yaklaşık 1,00 olmasıdır.

Tablo 2. Piknometre Deney Sonuçları

	PMT	RAP	%90 PMT - %10 RAP	%80 PMT - %20 RAP	%70 PMT - %30 RAP
Özgül Ağırlık, G _s	2,665	2,562	2,655	2,645	2,634

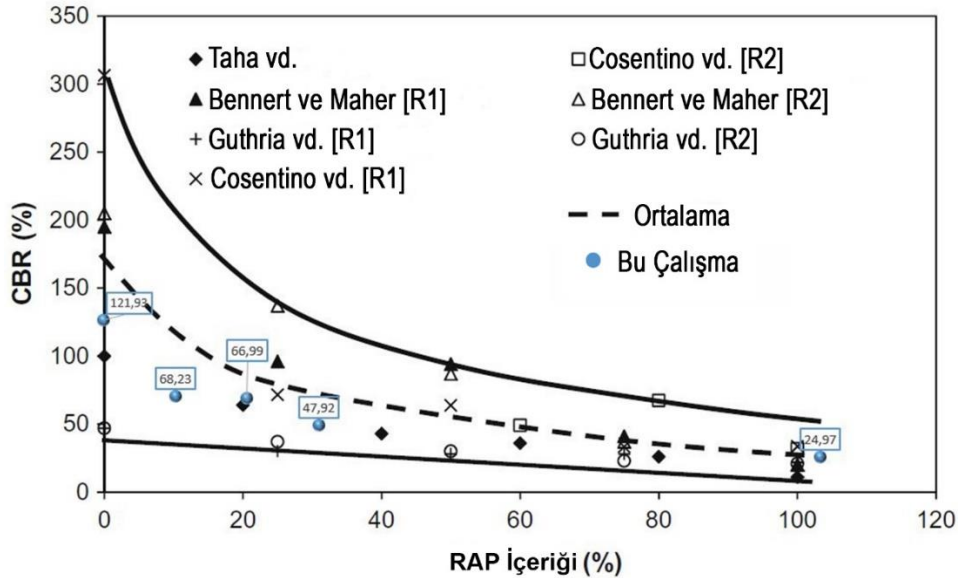
Modifiye proktor kompaksiyon eğrileri Şekil 3'te ve deney sonuçları Tablo 1'de özetlenmiştir. %100 PMT içeriğinin bulunduğu deneyde kuru birim hacim ağırlığı 23,40 kN/m³ olarak saptanmıştır. %100 RAP içeriğinin bulunduğu deneylerde ise bu değer 20,70 kN/m³ olarak belirlenmiştir. RAP yüzdesinin artırılması modifiye proktor deneylerinde kuru birim hacim ağırlığında azalmaya sebep olmuştur. Optimum su muhtevası değeri

%100 PMT için %4,6 olarak belirlenmiştir. RAP yüzdesinin artması bu değeri %5-5,5 aralığına yükseltmiştir. PMT malzemesinin düşük yüzdelerde RAP ile kullanmanın maksimum kuru birim hacim ağırlığında büyük değişikliklere sebep olmadığı görülmüştür (Tablo 1).



Şekil 3. Modifiye Proktor Deneyi Kompaksiyon Eğrileri

CBR deneyi sonuçları Tablo 1’de özetlenmiştir. %100 PMT için CBR değeri KTŞ’nin PMT Tip-I tabakası için belirlediği minimum KTŞ değeri olan 120’den yüksek olarak 122 olarak saptanmıştır. KTŞ’nin alttemel tabakası için CBR’nin minimum değerini 50 olarak belirtmiştir. Deney sonuçlarında %10 ve %20 RAP içerikli karışımların sırasıyla 69 ve 66’lık CBR değerlerine sahip olduğu ve istenilen şartı sağladıkları, %30 RAP içeriğine sahip karışımın ise bu şartı sağlamadığı gözlemlenmiştir (Tablo 1).



Şekil 4. RAP içeriğinin CBR değerine etkisi (Thakur ve Han, 2015)

Şekil 4’te RAP içeriğinin CBR değerine etkisi araştıran bazı sonuçlar gösterilmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırıldığında benzer trendler elde edildiği görülmüştür. Bütün çalışmalarda RAP yüzdesinin artmasının CBR değerini belirgin oranda düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bundan hareketle RAP malzemesinin PMT ile kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemli bir çözüm olmasıyla birlikte bazı mühendislik özelliklerini olumsuz etkilediği göz önünde bulundurulması gerektiği söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Sonuç olarak literatürdeki çalışmalarda da gözlemlendiği üzere RAP malzemesinin esnek üst yapı dolgularında gerekli fiziksel ve mekanik gereksinimleri sağlamadığı için temel ve alttemel olarak tek başına kullanılmayacağı ancak hem sürdürülebilir hem de ekonomik bir çözüm olması açısından PMT gibi bazı

malzemeler ile belirli oranlarda kullanılabilceği söylenebilir. KTŞ'nin belirttiği minimum şartların sağlanması amacıyla ve literatürdeki çalışmalar ile beraber değerlendirilmesiyle temel ve alttemel tabakalarında RAP içeriğinin %25 ile sınırlandırılması önerilebilir. Son olarak altı çizilmesi gereken bir noktada bitümlü bağlayıcılar arasındaki gradasyon farklılıkları nedeniyle RAP'ın tutarsız bir malzeme olmasıdır ve performans üzerinde olumlu veya olumsuz etkileri olabilir. RAP kullanımının yaygınlaştırılarak daha ekonomik ve sürdürülebilir etki yaratılabilmesi için ülkemizde daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bennert, T., Maher, A., (2005), The Development of a Performance Specification For Granular Base and Subbase Material, Report, New Jersey Department of Transportation.
- Bennert, T., Papp, W.J. Jr., Maher, A., Gucunski, N., (2000), Utilization of Construction And Demolition Debris Under Traffic-Type Loading in Base And Subbase Applications. Transportation Research Record.
- Cosentino, P.J., Kalajian, E.H., Bleakley, A.M., Diouf, B.S., Misilo, T.J., Petersen, A.J., Sajjadi, A.M., (2012), Improving The Properties of Reclaimed Asphalt Pavement For Roadway Base Applications, Final report, Florida Institute of Technology, Civil Engineering Department.
- Cosentino, P.J., Kalajian, E.H., Shieh, C.S., Mathurin, W.J.K., Gomez, F.A., Cleary, E.D., Treeratkoorn, A., (2003) Developing Specifications For Using Recycled Asphalt Pavement as Base, Subbase or General Fill Materials, Phase II, Final report, Florida Institute of Technology, Civil Engineering Department, 2003.
- Guthrie, W.S., Cooley, D., Eggett, D.L., (2007), Effects Of Reclaimed Asphalt Pavement On Mechanical Properties of Base Materials, Transportation Research Record, No. 2005, p. 44–52.
- Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S. ve Dost, Y., (2008), “Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı”, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, Ankara.
- Gürer, C., Akbulut, H., Kurklu, G., (2004), “İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi”, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Hoppe, E. J., Lane, D.S., Fitch, G.M., Shetty, S. (2015), Feasibility of reclaimed asphalt pavement (rap) use as road base and subbase material. Virginia Centre for Transportation Innovation and Research, Final Report VCTIR 15-R692015), USA.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2013), “Karayolu Teknik Şartnamesi”, Ankara.
- Kır, D., Kır, Y., “Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama Malzemesinin Betonda Kullanımı Üzerine Bir Araştırma”, Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 5(1):81-91.
- Locander, R. R. (2009), “Analysis of using reclaimed asphalt pavement (RAP) as a base course material (No. CDOT-2009-5)”, Colorado Department of Transportation, DTD Applied Research and Innovation Branch.
- Mousa, E., El-Badawy, S., Azam, A., (2021) “Evaluation of reclaimed asphalt pavement as base/subbase material in Egypt”, Transportation Geotechnics Journal, 26.
- Maher, M.H., Gucunski, N., Papp Jr., W.J., (1997), “Recycled Asphalt Pavement As A Base And Sub-Base Material”, Testing Soil Mixed with Waste or Recycled Materials, ASTM STP 1275, Mark A. Wasemiller, Keith B. Hodinott, Eds., American Society for Testing and Materials.
- Maher, A., Bennert, T. (2005), “The Development of a Performance Specification for Granular Base and Subbase Material”, Center for Advanced Infrastructure & Transportation (CAIT) Rutgers, The State University Piscataway
- Mariyappan, R., Palammal, J. S., & Balu, S. (2023), “Sustainable use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in pavement applications—a review”, Environmental Science and Pollution Research, 30(16), 45587-45606.
- McGarrah, E. J., (2007), “Evaluation of Current Practices of Reclaimed Asphalt Pavement/Virgin Aggregate as Base Course Material”, University of Washington, Seattle
- Rytko-Polak, I., Komala, W., Białowiec, A. (2022), “The Reuse of Biomass and Industrial Waste in Biocomposite Construction Materials for Decreasing Natural Resource Use and Mitigating the Environmental Impact of the Construction Industry: A Review”, Materials, 15(12), 4078.
- Seferoğlu A. G., Seferoğlu M. T., Akpınar M. V., Çelik M., (2020) “Plent-miks temel tabakası yapımında kazınmış asfalt kaplama (RAP) malzemesi kullanımı ve ekonomik analizi”, Politeknik Dergisi, 23(4): 1327-1338.
- Taha, R., Ali, G., Basma, A., Al-Turk, O., (1999), Evaluation of Reclaimed Asphalt Pavement Aggregate in Road Bases And Subbase. Transportation Research Record, No. 1652, pp. 264–269.

- Thakur, J.K., Han, J., (2015), "Recent Development of Recycled Asphalt Pavement (RAP) Bases Treated for Roadway Applications", *Transportation Infrastructure Geotechnology Journal*, 2:68–86.
- Zaumanis, M., & Mallick, R. B. (2015). Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant-produced pavements: state of the art. *International Journal of Pavement Engineering*, 16(1), 39-55.