

Kara Yollarında Üstyapı Malzeme Çalışmaları

Adem Ahıskalı¹

Özet

Karayolları, modern ulaşım ağlarının bir arada bulunduğu elamanları bünyesinde barındıran büyük bir altyapı unsurudur. Karayollarının kendi içinde hizmet odaklı çalışmalarda aktarıma yardımcı olunan elemanlar bütünü de içermektedir. Oluşturulan bu yolların öncelikli olarak güvenlik, dayanım ve hizmet ömrünün yüksek kalitede olması istenilmektedir. Karayolları üstyapısında bulunan elamanların araç ve yolcu için daha büyük bir öneme sahiptir. Üstyapı altyapı sistemleri ile birlikte yol kaplamalarının bütünlüğüdür. Üstyapı kaplamaları, trafik yüklerini istenilen düzeyde absorbe edebilen, bunu yapar iken çevresel etkileri de koruyabilen bir karayolu yapı elemanıdır. Karayolları üstyapısında oluşabilecek birçok bakım ve onarım gerektiren uzun süreçlerde, üst yapı özelliğinin daha aktif olarak kullanıcılara (yük, yolcu ..) emniyet ve konfor sunması için iyileştirmeler gerekmektedir. İhtiyaç duyulan bu iyileştirmeler karayolu üstyapısındaki malzemelerin kalite standartlarının artırılması için yapılan deneysel çalışmalar ile alınacak sonuçlara göre bir düzenleme yapılmasıdır. Deneysel çalışmalardan alınan verilerin ışığında üst yapı malzemelerinde modern bir anlayışın devam etmesi sağlanmalıdır. Modernize edilen malzemeler için gerekli görülen geometrik çalışmalarında aynı hızla devam etmesi bu konuda bütünlük sağlayacaktır. Bütünlüğün birbirleri arasındaki uyumda buna eklendiğinde hizmet verilen ve alan için istenilenler karşılanmış olacaktır. İhtiyaçlar doğrultusunda yapı malzemelerinin hem ekonomik hem de emniyet hususunda istenileni karşılaması çalışmaların birinci dereceden önceliği olarak görülmüştür. Çevresel etki değerlendirme raporlarının, yapılan çalışmalardaki eksikliklere karşı önlem alınması gereken hususları geleceğimizin teminatı olarak uygulama gereksinimi de vardır. Geleceğe temiz bir dünya bırakmamız için karbon izi salınımını sürdürülebilirlik olarak detaylı bir şekilde aktarılması gerekmektedir.

Sonuç olarak çalışmaların yapı malzemesi, tasarım ilkeleri, geometrik standartlar, çevresel etki değerlendirilmesi gibi önemli başlıklar vardır. Bu başlıklar altında anlatılmak istenilen emniyet ve ekonomik yapıların sürdürülebilirlik önceliği taşımasıdır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kastamonu Üniversitesi, e-mail : ahiskali@kastamonu.edu.tr
Orcid ID : 0000-0002-1265-7312

1. Kaplama Malzemeleri ve Türleri

Karayollarında ulaşımı sağlayacak ana unsurlardan birisi üst yapılardır. Üst yapılarda kaplama tipine ve özelliklerine göre sınıflandırılması yapılmaktadır. Kaplama tipine göre sınıflandırılan bu yollarda yolun öncelikli olarak belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda ön hazırlıklarının yapılması sağlanır. Geometrik olarak tasarlanan yolların, üst yapı tasarımı önceden hazırlanan projedeki niceliklerine ve niteliklerine uygun bir şekilde imalat ve yerleştirme yapılır.

1.1. Asfalt Kaplamalar

Genellikle stres altında bulunan zeminlerde uygunluğu sağlayan bu tür kaplamalarda, beklenen özellik yumuşak bir yüzey ve elastik özelliklerinin yansımasıdır. Yol yapım tekniği olarak asfalt kaplamalar otoyol, otopark, açık hava alanları, pistler gibi çeşitli alanlarda kullanımı bulunmaktadır. Asfalt kaplamaların istenilen kalitede çıkabilmesi için ön hazırlıklarının yapılması gerekmektedir. Bu hazırlıkların zaman aldığı bilinse de uygulama içerisinde kolaylık sağladığı için ön hazırlığa daha fazla önem verilmektedir (Yardım & Yıldırım, 2022). Asfalt kaplamada görsel olarak örnek teşkil etmesi için şekil 1.1 de gösterilmiş olan örnektir.



Şekil.1.1 Asfalt Kaplama Görünümü

(Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, 2023)

Asfalt, özellikle bitüm ile olan bağlayıcılığının sağlanmasının üzerine çeşitli eleklerden geçen agregalarında katılması sonucu oluşan üst yapı elemanlarında kullanılan bir malzemedir. Kaplamaların asfalt ile olmasının yolcu ve yük için daha emniyetli olduğu düşünülmektedir. Stres altında

bulunan zeminlerde kullanımı daha sık görülmektedir. Ancak buna aksi su ve donma çözülme olaylarında ne kadar verimli olduğu tartışılmaktadır.

Kaplama türlerinden en çok kullanılan asfaltlar, ülkemizde birçok ulaşım üst yapısında tercih edilenlerde ilk sıralarda yer almaktadır. Asfalt kaplamaların karayolları genel müdürlüğünün planetlerinde özel reçeteler ile hazırlanması ve ihtiyaç duyulan bölgeye intikali sonucunda yerleştirme sağlanmaktadır. Asfalt kaplamalarda imalatın ardından imal edilen ürünün taşımacılığı yapıp son olarak yerleştirme ve uygulama sahasındaki testleri yapılmaktadır. Buna ek olarak sonrasında bakım ve onarım uygulamalarında yer almaktadır.

1.1.1. Asfalt Kaplamalarda Deneysel Çalışmalar

Yapılan çalışmalarda özellikle bakım ve onarıma el verişsiz olan asfaltın bulunduğu yerden kaldırılarak tekrardan belirli oranlar çerçevesinde karayollarında kullanılabilirliği ölçüklendirilmiştir. Sabit olarak tutulması gereken su/çimento oranlarının ardından oluşan yayılmanın 13,6 cm geldiği ve çalışmanın diğer ana unsurları ile ilişkilendirilemediği öne sürülmüştür. Geri kazanılmış asfaltların arasındaki ve referans numunelerinin geri kazanılmış asfaltlar arasındaki ilişkisinde, eğilme ve basmada, geri kazanılmış asfaltın değersel olarak düşüş gösterdiği aktarılmıştır. Çok testten sonra elde edildiği görülen sonuçlarda geri kazanılmış asfaltların sürdürülebilirlik ve modern kentlerin yapımında ne kadar kullanılabilirliğinin üzerine ön ayak olmuştur (Gündoğdu, 2023).

Temel vurgusu, temel kurs katmanının performansını iyileştirmek için geri kazanılmış asfaltları çarpışma agregasıyla birlikte kullanma olasılığını belirlemek ve yüksek kaliteli kırılmış agrega malzemelerinin ve/veya kimyasal dengeleyici maddelerin (çimento) eklenmesinin geri kazanılmış asfaltları yol temel kurslarının bir bileşeni olarak güçlendirmek için nasıl kullanılacağını belirlemektir. Ek olarak, bu temel kurs katmanının taşıma ve geçirgenlik kapasitesi açısından kalitesini ve performansını etkili bir şekilde artırabilen en iyi optimum geri kazanılmış asfalt çarpışma agregası ve kimyasal dengeleyici madde kombinasyonlarını belirlemeyi içeriyordu (Ameen Mohammed Amen, 2022).

Çalışması yapılan bir diğer husus ise geri kazanılmış asfalt kaplama ve ksantan sakızı ile işlenmiş siltli kumun geoteknik incelenmesidir. Bu genellikle geri kazanılmış asfaltın zemin iyileştirmede kullanılabilirliği açısından ele alınmış bir deneysel çalışmadır. Geri dönüştürülmüş inşaat atığı malzemenin ve çevre dostu bir biyopolimerin yerel toprağın stabilizasyonu üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde araştırmaktadır. Geri kazanılmış asfalt

kaplamanın (RAP) ve çevre dostu biyopolimer Ksantan zambanının (XG) siltli kum (SM) doğal toprağı üzerindeki etkisini incelemek için bir laboratuvar ortamında bir dizi deney yürütüldü. Farklı kütleme sürelerinde farklı SM, RAP ve XG kombinasyonlarını içeren çeşitli numuneler hazırlandı. Bu numuneler bir dizi teste tabi tutuldu. Teste tabi olunan numuneler arasında geri kazanılmış asfaltın zemin üzerinde de iyileştirme için kullanılabilirliği ölçülmüş oldu (Bal, 2024).

Çevreye verilen zararların, nihayetinde insan ve işçi sağlığını tehdit edeceği bilinciyle yola çıkılarak, yol yapımında kullanılan beton ve asfalt kaplamaların; ham maddeden, yola serimine kadar olan süreçteki çevreye olan zararlı etkileri karşılaştırılmıştır. Son zamanlarda yaygınlaştırılması için üzerinde birçok araştırma, çalışma ve deneme yolları yapılan beton kaplamalı yollar, ülkemizde hala en çok tercih edilen kaplama çeşidi olan bitümlü sıcak karışımlar (BSK) kaplamalı asfalt yollar ile çevreye verdikleri zararlar açısından karşılaştırılmıştır. Beton ve asfalt kaplamalı yolların ocaktan başlayan ve atık hale gelene kadar olan yolculuğundaki üretim, nakliye, uygulama, bakım gibi aşamalarda ortaya açığa çıkan karbondioksit eşdeğeri ve partiküler madde emisyon faktörleri kullanılmıştır. Yüksek taşıma gücü sayesinde aynı trafik yükünde asfalt kaplamalara göre daha az kaplama kalınlığı gerektirir. Yüksek mikro dokusu sayesinde daha kısa fren mesafesi sağlar ve yüksek kayma direnimi sayesinde daha düşük su kızığı etkisine sahiptir. Özellikle ülkemizde yük taşımacılığının %90 oranında karayolu ile yapılması nedeniyle asfalt kaplamalı yollarda sıkça görülen kalıcı deformasyonlar (tekerlek izi, ondülasyon, yığılma vb.) beton yollarda gözlenmez (Özırmak, 2019).

1.2. Beton Kaplamalar

Beton kaplamaların olduğu karayolu üst yapılarında ihtiyacın genellikle dayanıklı olmasını ve emniyetli bir şekilde malzemelerin uzun kullanım süresine sahip olması istenmektedir. 1950 yılında kurulmuş Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğundaki otoyolların tamamı Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalıdır. Bu sebeple ülkemizde asfalt yol yapımına dair belirgin bir tecrübe mevcuttur. Ayrıca ucuz bitüm de sağlanabilmiştir. Bunun da etkisi ile tüm karayolları düşünüldüğünde; günümüzde beton kaplamalı yolların oranı sadece %6'dır. Açık renkli olduklarından özellikle güneşli havalarda göz kamaşmasına sebep olabilir, bunun yaşanmaması için betona boya karıştırılabilirse de maliyeti etkilediğinden kullanımı çok yaygın değildir. Derzli donatılı ve derzli donatısız uygulamalarda derzler ve drenaj amaçlı açılan ince kanallar sebebiyle tekerlek gürültüsü yapabilir, sarsıntıya sebep olabilir Kayma demiri yerleştirilirken, dokulu yüzey oluşturulurken ve derz kesimi yapılırken ince işçilik ve zamana ihtiyaç duyulması. Trafik

altında çalışmaya uygun değillerdir, bakım - onarım sırasında servis yolu gerektirebilir. Yolun trafiğe açılması için beton kaplamanın belirli bir dayanıma ulaşması beklenmelidir. Bakım - onarım çalışmaları uzun süreli ve maliyetlidir. Altyapı çalışmaları için kaplamanın kırılması gereklidir (Kozak, 2011). Beton yol kaplamasına örnek olarak şekil 1.2 de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Beton Kaplamalı Yol

Beton yolların kullanımı dayanıklılık önceliği ile yapılması ve üstyapı elemanı tercihlerinden asfalt kaplamaya nispeten daha az kullanılmaktadır. Konfor ve emniyet konularında diğer kaplamalardan farklı olarak daha az sıklıkla kullanımı tercih edilir. Beton yollar, asfalt yollarda kullanılan asfalt betonu aksine çimento betonu kullanılarak yapılmış yollardır. Aslında bu tür yollara adını veren yolun kaplaması olan betondur. Bu kaplamalar hafif, orta ve ağır trafik yoğunluğu olan yollarda kullanılabilir. Kaplamaların genel özelliği olarak, betonun buradaki görevi de üzerine gelen tekerlek yüklerini tabana yaymak ve tabanın deforme olmasına engel olmaktır. Beton için harmanlar şeklinde sahaya vagonlar veya kamyonlar ile getirilen malzemelerin plentte kullanılması yanı sıra hazır beton da kullanılır. Döküm alanına çağırılan hazır beton mikseri, servis yolu olmadığı sürece, düzenlenen taban zemini üzerinde gideceğinden, tesviyesi iyi yapılmayan veya iyice sıkılaştırılmayan tabanda bozukluklara sebep olabilir (Özırmak, 2019).

1.2.1. Beton Yollar Üzerine Deneysel Çalışmalar

Beton üretmek için gereken gerekli olan en önemli bağlayıcı malzeme Portland çimentosudur. Portland çimentosu çimentosunun küresel iklim değişikliğine değişikliği üzerinde önemli ölçüde bir katkıda etkisi bulunmaktadır, var çünkü 1 ton çimento üretimi üretmek yaklaşık 1000 m³ metreküp karbondioksit üretmektedir üretiyor. Geopolimer beton, alüminosilikatların alüminosilikatların alkali aktivasyonu aktivasyonu yoluyla üretilir ve amorf ile yarı kristal bir yapıya sahiptir. Geçirgen bir beton kaplama kaplamalar, yüzey akıntıyı akışını toprağa sızmadan önce emer, depolar ve

altta altında yatan bir taş rezervuara rezervuar sahip olabilir bulunabilir. Bu çalışma, uygun bir karışım miktarı miktarları geliştirerek geliştirilerek ve ayrıca geopolimer geçirimli geçirgen betonun karakteristiklerini özelliklerinin belirleyerek belirlenerek, geopolimer her geçirgen iki beton malzemenin üretmek bir için arada kullanılarak, her iki malzemenin sahip olduğu iyi özellikler özelliklerinden nedeniyle yararlanılarak her geopolimer iki geçirimli malzemeyi beton birlikte üretilmesi kullanmayı amaçlamaktadır amaçlanmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda iri agrega içeren geopolimer beton karışımlarının karışımının geliştirilmesini de amaçlamaktadır (Abdulmjeed, 2022).

Polipropilen liflerin betonun dayanıklılığını artırabileceğini göstermektedir. Gerçekleştirilen araştırma, liflerin beton karışımlarında kullanılmasının çatlama ve deformasyon risklerini azalttığını ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, bu tür eklemeler, yol kaplamalarının ömrünü de uzatmaktadır. Beton kaplamalarda suyun etkisi önemlidir. Su geçirimsizliğini azaltan katkı maddeleri kullanmak, beton yapının uzun ömürlü olmasında yardımcı olmaktadır. Özellikle, suyun penetrasyonunu önleyen ve donma-çözülme döngülerinin etkilerini azaltan katkı maddeleri üzerine yapılan araştırmalar, dayanıklılık konusunda önemli veriler sunmaktadır. (Küleççi & Çullu, 2021). (Tuğrul Tunç, 2020).

Kaldırımlar, ulaşımı, ekonomik kalkınmayı ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesini desteklemek için sivil altyapının temel bir bileşeni olarak işlev görür. Sürekli artan yol mesafeleri ve ortaya çıkan işlevsel gereksinimlerle, daha önce çalışmış olan basit prosedürler ve kümülatif ancak yöntemsiz personel deneyimi artık kaldırım ağlarının sürekli genişlemesini yönetmemektedir. Ek olarak, büyük kaldırım ağlarını tatmin edici durumda tutmaya yönelik geleneksel yaklaşımlar kaçınılmaz olarak önemli bütçe ve çevresel yüklerle yol açmaktadır. Bu, karar vericilerin dengelemesi gereken sürdürülebilirliğin çok boyutlu sütunları (çevre, toplum ve ekonomi) arasındaki gerginlikleri daha da kötüleştirilmektedir. Sonuç olarak, etkili ve verimli bir kaldırım yönetim sistemi geliştirmek için kritik bir kısımdır. Bu tezdeki araştırma, sürdürülebilir kaldırım yönetimi için metodolojik bir karar destek çerçevesi önermekte ve bunu birkaç yeni yeşil kaldırım teknolojisinde (örneğin yerinde geri dönüşüm, kauçuklaştırılmış asfalt, ılık karışım asfalt ve düşük gürültülü gözenekli asfalt kaldırım) uygulamaktadır. Tüm çerçeve, proje düzeyi ve ağ düzeyi olmak üzere iki genel karar düzeyinden oluşmaktadır. İki karar düzeyi sistem sınırlarında farklılık gösterse de rakipler arasında optimum alternatiflerin seçimine yönelik aynı nihai prensipleri paylaşırlar. Bu çalışmayla belirlenen sürdürülebilirlik hedefleri yalnızca en iyi yol kaplaması faydasını elde etmekle kalmayıp, aynı zamanda alınan her karardan kaynaklanan ekoloji üzerindeki

etkileri en aza indirmek için de tasarlanmıştır. Sürdürülebilir yol kaplaması yönetimini iki karar alma düzeyinde gerçekleştirmek için, çerçevede çeşitli sürdürülebilir değerlendirme, entegrasyon ve optimizasyon teknikleri geliştirilmiş ve birbirine bağlanmıştır. Proje düzeyinde, yol kaplamasıyla ilgili yaşam döngüsü sürdürülebilirlik göstergeleri (örneğin, çevresel etki, maliyet ve performans) belirlenip değerlendirildikten sonra, alternatiflerin nihai belirlenmesini desteklemek için entegrasyon yöntemi ilk olarak tek boyutlu entegrasyon (yani, maliyet-fayda entegrasyonu) geliştirilerek gerçekleştirildi ve eko-verimlilik kavramının çok boyutlu entegrasyon olarak uygulanmasıyla (yani, eko-verimlilik entegrasyonu) daha da iyileştirildi. Bahsedilmiş olan konularda varılan ortak görüş, yapılan çalışmalar neticesinde alınmıştır (Cao, 2019).

2. Tasarım İlkeleri

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamaları, güvenli ve konforlu bir ulaşım sağlamak amacıyla belirli tasarım ilkelerine dayanarak geliştirilir. Bu ilkeler, yolun geometrik standartları, malzeme seçimi ve yapı tasarımı gibi unsurları kapsar.

Geometrik Standartlar

- Yol tasarımında geometrik standartlar, yolun güvenli ve konforlu bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu standartlar arasında:
- Görüş Mesafesi: Taşıtların güvenli bir şekilde hareket edebilmesi için yeterli görüş mesafesinin sağlanması gerekir. Bu, sürücülerin yol koşullarını zamanında değerlendirmelerine olanak tanır.
- Yatay ve Dikey Eğriler: Yolun yatay ve dikey eğrileri, sürüş konforunu etkileyen önemli faktörlerdir. Dönüş yarıçapları ve eğim oranları, yolun sınıfına göre optimize edilmelidir.

Kaplama Malzemeleri

- Kaplama malzemeleri, yolun dayanıklılığını ve performansını etkileyen bir diğer önemli unsurdur. Farklı kaplama türleri şunlardır:
- Asfalt Kaplama: Genellikle yüksek trafik yüklerine dayanıklıdır ve hızlı bir inşa sürecine sahiptir.
- Beton Kaplama: Uzun ömürlüdür ve ağır taşıt trafiğine karşı daha dirençlidir.
- Stabilize ve Toprak Yollar: Daha düşük maliyetli seçeneklerdir ancak bakım gereksinimleri daha yüksektir.

Tasarım Süreci

- Yol tasarım süreci, aşağıdaki adımları içerir:
- Trafik Tahmini: Gelecekteki trafik miktarının tahmin edilmesi, yol kapasitesinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir.
- Ekonomik Analiz: Yolun inşası ve bakım maliyetleri göz önünde bulundurularak en ekonomik çözümün belirlenmesi gereklidir.
- Çevresel Etkiler: Yol tasarımında çevresel faktörlerin de dikkate alınması, sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Güvenlik İlkeleri

- Yol tasarımında güvenlik ilkeleri, kazaların önlenmesi için uygulanmalıdır. Bu ilkeler arasında:
- Şev Eğimi: Yüksek şev eğimleri, araçların yoldan çıkma riskini artırabilir; bu nedenle daha yatık şev eğimleri tercih edilmelidir.
- Drenaj Sistemleri: Su birikintilerini önlemek için etkili drenaj sistemlerinin tasarlanması gereklidir.

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarının tasarımı, çok sayıda faktörü dikkate alarak gerçekleştirilmelidir. Geometrik standartlar, kaplama malzemeleri ve güvenlik ilkeleri, yolun işlevselliğini artırmak için titizlikle uygulanmalıdır. Bu tasarım ilkeleri, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla sürekli olarak güncellenmeli ve iyileştirilmelidir.

(Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005). (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). (Alkan & Komut, 2023).

3. Uygulama Yöntemleri

Karayolu üst yapı kaplamalarının uygulanması, çeşitli aşamaları ve yöntemleri içermektedir. Bu süreç, yol projesinin hazırlanmasından başlayarak inşaat aşamasına kadar uzanan bir dizi adımı kapsamaktadır.

Proje Hazırlığı

- Yol yapım süreci, öncelikle proje hazırlığı ile başlar. Bu aşamada gerçekleştirilen çalışmalar şunlardır:
- Yol Güzergahının Etüdü: Yolun geçeceği arazinin belirlenmesi için yapılan ilk etüt çalışmalarıdır. Bu aşamada, alternatif güzergahlar değerlendirilir ve en uygun olanı seçilir.

- Kesin Güzergahın Aplikasyonu: Seçilen güzergah üzerinde detaylı ölçümler yapılır ve haritalar oluşturulur. Bu süreçte poligon ağları kurulur ve halihazır haritalar çıkarılır.
- Hacim Hesapları ve Maliyet Analizi: Toprak işleri için hacim hesapları yapılır ve yol maliyetleri belirlenir.

İnşaat Aşaması

- Yol yapımının inşaat aşaması, aşağıdaki temel adımları içerir:
- Şev Kazıklarının Çakılması: Yol yapımında, şevlerin stabilizasyonu için kazıklar çakılır.
- Alt Yapının İnşası: Bu aşamada toprak işleri, drenaj sistemleri ve sanat yapıları (menfez, köprü, viyadük vb.) inşa edilir. Alt yapı, yolun dayanıklılığını artırmak için kritik öneme sahiptir.
- Üst Yapının Yapılması: Alt temel, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakası gibi üst yapı elemanları oluşturulur. Asfalt veya beton kaplama gibi malzemeler kullanılarak yol yüzeyi tamamlanır.
- Yol Aksesuarlarının Montajı: Şerit çizgileri, bordürler ve oto korkuluklar gibi aksesuarlar eklenerek yolun işlevselliği artırılır.

Performans İzleme

- Kaplama uygulamalarından sonra yol performansının izlenmesi önemlidir:
- Düzgünlük Ölçümü: Uluslararası Düzgünlük İndeksi (IRI) gibi ölçüm yöntemleri kullanılarak yol yüzeyinin düzgünlüğü değerlendirilir.
- Güvenlik Analizleri: Yol güvenliğini sağlamak için çeşitli güvenlik standartları kontrol edilir.

Karayolu üst yapı kaplamalarının uygulanması, titiz bir planlama ve çeşitli aşamaların entegrasyonunu gerektirir. Proje hazırlığından inşaat aşamasına kadar her adımın dikkatlice yönetilmesi, yolun uzun ömürlü ve güvenli olmasını sağlar. Farklı kaplama yöntemlerinin seçimi ise yolun kullanım amacına ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005). (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016).

4. Çevresel ve Ekonomik Etkiler

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarının çevresel ve ekonomik etkileri, projelerin planlama, uygulama ve işletme aşamalarında dikkate alınması gereken önemli unsurlardır. Bu etkilerin değerlendirilmesi, sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturmak için kritik öneme sahiptir.

4.1 Çevresel Etkiler

Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED), bir projenin çevre üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerini belirlemek amacıyla yapılan sistematik bir süreçtir. ÇED süreci, aşağıdaki unsurları içerir:

Doğal Ortam Üzerindeki Etkiler: Yol yapımı, doğal habitatların tahrip olmasına, su kaynaklarının kirlenmesine ve biyoçeşitliliğin azalmasına yol açabilir. Projeler, bu etkilerin en aza indirilmesi için önlemler içermelidir.

Hava Kalitesi: İnşaat süreci sırasında ortaya çıkan toz ve emisyonlar, hava kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, inşaat sırasında hava kirliliğini azaltmaya yönelik önlemler alınmalıdır.

Gürültü Kirliliği: Yol trafiği ve inşaat faaliyetleri gürültü kirliliğine neden olabilir. Gürültü seviyelerinin kontrol altına alınması için ses yalıtım yöntemleri uygulanmalıdır.

Toprak ve Su Kirliliği: Proje alanındaki toprak ve su kaynakları, inşaat malzemeleri ve atıkların yanlış yönetimi sonucunda kirlenebilir. Bu nedenle, etkili atık yönetim sistemleri kurulmalıdır.

4.2 Ekonomik Etkiler

Karayolu projelerinin ekonomik etkileri hem doğrudan hem de dolaylı olarak toplum üzerinde önemli sonuçlar doğurabilir:

Yatırım Maliyetleri: Karayolu yapım maliyetleri yüksek olabilir; bu nedenle projelerin finansal sürdürülebilirliği sağlanmalıdır. Ekonomik analizler, projenin maliyetini ve beklenen faydalarını değerlendirmek için kullanılmalıdır.

İstihdam: Yol yapım projeleri, yerel iş gücüne istihdam sağlayarak ekonomik büyümeye katkıda bulunur. Ancak, bu istihdamın sürdürülebilir olması için proje sonrası iş olanaklarının da sağlanması önemlidir.

Ticaret ve Ulaşım Kolaylığı: Gelişmiş karayolu altyapısı, ticaretin artmasına ve ulaşım maliyetlerinin düşmesine yardımcı olur. Bu durum, bölgesel ekonomik kalkınmayı destekler.

Bakım Maliyetleri: Yol kaplamalarının uzun ömürlü olması, bakım maliyetlerini azaltır. Ancak tasarım hataları veya düşük kaliteli malzeme kullanımı, uzun vadede yüksek onarım maliyetlerine yol açabilir.

Karayollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarının çevresel ve ekonomik etkileri, projelerin başarısı için kritik öneme sahiptir. ÇED süreçleri aracılığıyla çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve önlenmesi gereken durumların belirlenmesi sağlanmalıdır. Ayrıca, ekonomik analizler ile projelerin sürdürülebilirliği artırılmalı ve yerel ekonomilere katkı sağlanmalıdır. Bu yaklaşım hem çevre koruma hem de ekonomik kalkınma hedeflerinin dengelenmesine yardımcı olacaktır (Şengün, Öztürk, & Yaman, 2020) ([htt](#)) (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

5. Gelişen Teknolojik Atılımlar

Karayolları uygulamaları için geliştirilen birçok ürün ve malzemenin yanı sıra arge çalışmalarında alınan sonuçlar sahada daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Kara yollarında ulaştırma üst yapı kaplamaları, teknolojik gelişmelerin etkisiyle sürekli olarak evrim geçirmektedir. Bu gelişmeler, hem yol güvenliğini artırmakta hem de sürdürülebilir ulaşım çözümleri sunmaktadır. Aşağıda, bu alandaki önemli teknolojik yenilikler ve uygulama yöntemleri özetlenmiştir.

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)

Akıllı ulaşım sistemleri, yol altyapısının yönetiminde ve trafik güvenliğinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, GPS ve kablosuz teknolojiler kullanarak karayolu ağı ile araçlar arasında etkileşim sağlar. Özellikle otoyollarda buzlanma, yol kapanması gibi durumları önceden bildiren sistemler, kazaların azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Yüksek Performanslı Malzemeler

Geleneksel asfalt karışımları, artan trafik yükleri ve değişen zemin koşulları karşısında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, yüksek performanslı malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır:

Polimer Modifiye Bitüm (PMB): Bu tür bitümler, asfalt kaplamaların dayanıklılığını artırmakta ve sıcaklık değişimlerine karşı hassasiyetini azaltmaktadır.

Taş Mastik Asfalt (SMA): Özellikle ağır trafikli yollarda kullanılan SMA, yüksek kayma direnci ve dayanıklılık sunarak uzun ömürlü kaplama çözümleri sağlamaktadır.

Mekanistik-Ampirik Tasarım Yöntemleri

Mekanistik-ampirik tasarım (M-E) yöntemleri, yol üst yapısının daha gerçekçi ve sürdürülebilir bir şekilde tasarlanmasını sağlamaktadır. Bu yöntemler, zemin, malzeme ve iklim koşullarını dikkate alarak yol performansını optimize eder. ABD’de geliştirilen MEPDG (Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Rehberi), bu alandaki en önemli referanslardan biridir.

Çevre Dostu Uygulamalar

Gelişen teknolojilerle birlikte çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmektedir. Yeni asfalt üretim süreçleri ile emisyonların kontrol altına alınması sağlanmakta; ayrıca erozyon kontrolü ve peyzaj çalışmaları ile çevreye duyarlı projeler geliştirilmekte.

Otomatik Kontrol Sistemleri

Yol yapımında kullanılan ekipmanlar artık otomatik kontrol sistemleri ile donatılmaktadır. Bu sistemler, inşaat sürecinin kalitesini artırmakta ve çevreye olan etkileri minimize etmektedir. Ayrıca, bu ekipmanların verimliliği artırılarak maliyetlerin düşürülmesi sağlanmaktadır.

Kara yollarında ulaştırma üst yapı kaplamalarında gelişen teknolojiler hem yol güvenliğini artırmakta hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Akıllı ulaşım sistemlerinin entegrasyonu, yüksek performanslı malzemelerin kullanımı ve mekanistik-ampirik tasarım yöntemlerinin benimsenmesi, gelecekte daha güvenli ve dayanıklı karayolu altyapıları oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu yenilikler hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli faydalar sağlayacaktır.

Kaynakça

- (tarih yok). <https://www.ekolekspertiz.com.tr/karayollarinda-yapim-kriterleri-cvreleri-yuksek-frekansli-hasar-turleri-ve-oneriler/> adresinden alındı
- Abdulmjeed, R. (2022, Haziran). Design And Mechanical Properties Of Geopolymer Pervious Concrete Pavement Cured By Ambient Condition. *Doktora Tezi*. Gaziantep: Hasan Kalyoncu University Institute Of Graduate Studies.
- Alkan , M. A., & Komut, M. (2023). *KARAYOLLARI ESNEK ÜSTYAPILAR REHABİLİTASYON TASARIM REHBERİ*. Ankara: ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME DAİRESİ BAŞKANLIĞI ÜSTYAPI GELİŞTİRME ŞUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ.
- Ameen Mohammed Amen, R. (2022). THE USES OF MILLED RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) BLENDED WITH. *Yüksek Lisans Tezi*. Şanlıurfa: Harran University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü. (2023). *Asfalt Geri Dönüşüm Yöntemleri ve Uygulama Rehberi*. Ankara: T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. <https://asfamak.com/>: <https://asfamak.com/sicak-asfalt-uygulamasi/> adresinden alındı
- Bal, H. (2024, Ocak). GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT AND XANTHAN GUM TREATED SILTY SAND. *Yüksek Lisans Tezi*. Gaziantep: REPUBLIC OF TÜRKİYE GAZİANTEP UNIVERSITY.
- Cao, R. (2019, December). Development of a multi-dimensional life cycle analysis framework towards sustainable pavement management on project and network levels. *Doktora Tezi*. The Hong Kong Polytechnic University .
- Çevre, Şchircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022, Temmuz Cuma). ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ YÖNETMELİĞİ. (31907). ResmiGazete.<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/07/20220729-2.htm> adresinden alındı
- Gündoğdu, S. (2023, Ağustos). Geri kazanılmış asfalt kaplamadan elde edilen agregaların çimento esaslı harçların davranışı üzerindeki etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*. Yalova: Yalova Üniversitesi Lisansüstü eğitim Enstitüsü Ulaştırma Mühendislik Anabilim Dalı .
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2005). *Karayolu Tasarımı El Kitabı*. Bayındırlık ve İskan Başkanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2016). *Karayolu Tasarım El Kitabı*. Karayolları Genel Müdürlüğü.

- Kozak, M. (2011). Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması. *TEKNOLOJİK ARAŞTIRMALAR*, 7(1), 89-99. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi.
- Külekcı, G., & Çullu, M. (2021). The investigation of mechanical properties of polypropylene fiber-reinforced composites produced with the use of alternative wastes. *24(3)*, 1171-1180. Politeknik Dergisi. doi:10.2339/politeknik.777832
- Özırmak, A. (2019, Nisasn). BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE. *Yüksek Lisans Tezi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı.
- Şengün, E., Öztürk, H. I., & Yaman, İ. Ö. (2020). Mekanistik-Ampirik ve Geleneksel Beton Yol Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Afyon-Emirdağ Deneme Kesimi. 10251-10274 . *Teknik Dergi*. doi:10.18400-tekderg.565709-1267841
- Tuğrul Tunç, E. (2020). Effect of Aggregates with Different Physical Properties on Concrete Strength for Different Water to Cement Ratio and Different Cement Content. *Research Article*, 20, 487-497. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. doi: 10.35414/akufemubid.668948
- Yardımlı, M. S., & Yıldırım, S. A. (2022, Ekim 24-26). Kazınmış Asfalt Kaplamaların Asfalt Üretiminde Yeniden Kullanımı. *Türkiye’de katı Atık yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, (s. 155-166). İstanbul.