

Mekanistik-Ampirik Kaplama Dizayn Metodu Uygulanmasının Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Önemi

**Kemal ARMAĞAN¹, Şebnem S. KARAHANÇER², Ekinhan ERİŞKİN²,
Buket ÇAPALI², Fatma DEMİR², Serdal TERZİ², Mehmet SALTAN²**

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh.Bölümü, Eskişehir

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh.Bölümü, Isparta

Özet

Dünyada artan karayolu ulaşım ağı ve trafikteki taşıt sayısına bağlı olarak, karayolu üstyapısında kullanılan esnek üstyapıların performansının artırılarak sürdürülebilir hale getirilmesi önem kazanmıştır. Karayolu taşımacılığının ülkemizde çok yaygın olarak kullanılması, karayolu inşasının maliyetli olması ve düzenli bakım-onarım çalışmalarına ihtiyaç duyması, mevcut karayolu ağının bakım-onarım maliyetlerini düşürmeyi, yeni yapılacak yolların ömürlerinin uzun, bakım onarım maliyetlerinin ise düşük olmasını zorunlu hale getirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) bu problemi mekanistik ve ampirik metotlarını birleştirip 1993 yılında mekanistik-ampirik yöntemleri kullanmaya başlayarak çözmüştür. 2004 yılında yayınlanan kılavuzla mevcut dizayn verileri yerlerini (Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu)MAKDK ile kalibre edilen ulusal veriler almıştır. ABD’de 2011 yılında Darwin-ME adında sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz yapabilen bir yazılım geliştirilmiş ve karayolu üstyapı analizleri bu yazılımla yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde ABD’deki bazı eyaletler, bu yazılımla ulusal verileri kendi eyaletlerinin verilerine kalibre ederek eyaletsel karayolu üstyapısı dizayn kriterlerini belirlemişlerdir. Bu kalibrasyonu uygulayan ABD’deki eyaletler karayolu yıllık bakım onarım faaliyetlerinde %1'lere varan kazançlar elde etmiştir. Bu oran az gibi görünmekle beraber BSK(Bitümlü Sıcak Karışım) kaplama ömrünün 20 yıl olduğu düşünüldüğünde toplamda %20'lere varan kazançlar elde edilebilmektedir. Ülkemizde 2015 verilerine göre otoyolların bakım çalışmaları için 168.428.556 TL harcanmış, devlet yolları içinse yol bakım onarım ve kar mücadelesi için 488.905.047 TL harcama yapılmıştır. Yeni yapılacak yollarda bu metodun kullanımının yol performansını artırmasına bağlı olarak bakım onarım süreleri ve maliyetlerindeki azalma ile yıllık toplam bakım onarım faaliyetlerine ayırdığımız bütçeyi göz önüne aldığımızda, Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu (MAKDM) kullanımının karayolu kaplamalarında performans sürekliliği, ülke kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilir kalkınma açısından önemi ortaya çıkmaktadır.

Anahtar kelime: Sürdürülebilirlik, sürdürülebilir ulaşım, mekanistik ampirik dizayn metodu...

Giriş: Yarının dünyasında sadece daha fazla insan olmayacak, daha yüksek hayat standardı isteyen daha fazla insan olacaktır. Yüksek hayat standardı beklentisi ile kentlerin nüfusu arttıkça ekonomik, sosyal ve çevresel refah gittikçe azalacaktır (Sevginer ve diğ., 2011). Çin'deki bazı şehirlerde olduğu gibi kontrolsüz gelişme, endüstriyel ve ulaşım kaynaklı zararlı emisyon salınımları nedeniyle toplumsal yaşamı tehdit eder boyutlara gelebilmektedir. Gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakmak ve ekonomik gelişmeyi hedeflerken kaynakların verimli kullanımını sağlamak sürdürülebilir bir gelecek için büyük önem arz etmektedir. Dünyada ve ülkemizde karayolu ulaşımı kullanımındaki artış, artan taşıt sayısı, karayolu ulaşımının pahalı bir ulaşım türü olması ve diğer ulaşım türlerine göre daha fazla çevresel zararının olması nedenleriyle karayolu yatırımlarının yapımı ve bakım-onarım çalışmaları titizlikle ele alınması gereken konulardan biri olmaktadır. Karayolu yatırımları ile ilgili ülkemizde karayolu üstyapısı dizaynında Bitümlü Sıcak Karışım(BSK) kullanımının artmakta olması, bu karışımda kullanılan bağlayıcının büyük çoğunluğunun ithal ve pahalı olması, karayolu yapımı sırasında açığa çıkan zararlı emisyonlar, karayolunun performansındaki düşüşten kaynaklı çevresel etkilerdeki artışlar ile bakım-onarım maliyetlerinin getirdiği hem ekonomik hem de çevresel etkiler nedeniyle bu yatırımların daha planlama aşamasındayken fayda-maliyet analizleri ile ömür döngüsü analizlerinin yapılmasının sürdürülebilirlik açısından önemi ortaya çıkmaktadır. ABD özellikle karayolu maliyetlerini kontrol altına alma ve performansını iyileştirme konularında ciddi çalışmalar yapmış ve bunun için AASHTO tarafından MAKDM geliştirilmiştir. Bu metot sayesinde karayollarının daha planlama aşamasındayken hangi bozulma türlerine maruz kalabileceği hesaplanabilirken aynı zamanda karayolu üstyapısının hangi zaman diliminde performansının ne duruma geleceği önceden belirlenerek bakım-onarım sürelerine daha planlama aşamasında karar verilebilmektedir. Bu sayede sürdürülebilir bir ulaştırma yatırım planlaması yapabilmektedirler.

1.Sürdürülebilirlik ve Türkiye'nin Sürdürülebilirlik Hedefi

Sürdürülebilirlik daimi olma yeteneği olarak adlandırılabilir. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılı tanımına göre: "İnsanlık, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılama yeteneğine sahiptir." Sürdürülebilir kalkınma ise ekonomik büyüme ve refah seviyesini yükseltme çabalarını, çevreyi ve yeryüzündeki tüm insanların yaşam kalitesini koruyarak gerçekleştirme yöntemidir(Yüksel).

Kalkınma Bakanlığı tarafından sürdürülebilir kalkınmayı merkeze alan bir yaklaşımla hazırlanan ve 2014-2018 yıllarını kapsayan 10.Kalkınma Planı'nın hedef ve politikaları dört ana başlıkta toplanmıştır.

"*Nitelikli insan, güçlü toplum*" başlığı altında birey ve toplum için kalkınma yaklaşımının uygulanması ve gelişmişliğin toplumun farklı kesimlerinde yaygınlaştırılması,

"*Yaşanabilir mekanlar, sürdürülebilir çevre*" başlığı altında çevreye duyarlı yaklaşımların sosyoekonomik faydalarının artırılarak şehir ve kırsal alanlarda yaşam kalitesinin sürdürülebilir bir şekilde yükseltilmesi ile bölgesel gelişmişlik farklarının azaltılması,

“Yenilikçi üretim, istikrarlı yüksek büyüme” başlığı altında üretimde yapısal dönüşüme ve refahın artışı,

“Kalkınma için uluslararası işbirliği” başlığı altında ise kalkınmada uluslararası dinamiklerinin güçlendirilmesi, bilgi ve birikiminin ihtiyacı olan ülkelerle paylaşılması ve uluslararası işbirliğinde ekonomik, sosyal ve kültürel ilişkilerin sürdürülebilir ve güçlü bir zemine kavuşturulabilmesi için ulusal idari ve beşeri kapasitenin daha üst seviyelere çıkarılması temel amaçlar olarak belirlenmiştir (Sağlık, 2014; T.C.Kalkınma Bakanlığı, 2011).

Bu amaçlara paralel olarak çeşitli devlet kurumlarımızın birçok ulusal ve uluslararası projede yer alması sürdürülebilirlik hedeflerimize ulaşmak açısından umut verici gelişmeler olarak değerlendirilmektedir. KGM ve çeşitli üniversitelerimizde gerçekleştirilmiş olan ve devam eden ulaştırma projelerinin de sürdürülebilir kalkınmada ülkemize ciddi kazanımlar sağlayacağı düşünülmektedir.

2.Ulaştırmanın Sürdürülebilir Kalkınmadaki Yeri ve Sürdürülebilirlik Üzerine Etkileri

Sürdürülebilir ulaşım, çevreye kendisini yenileyebilme kapasitesinin ötesinde zarar vermeyen, ekonomik olarak tutarlı, sosyal olarak hakça ve siyasi olarak sorumlu ve hesap verebilir olması gereklidir. Ayrıca, yeni yatırımlara geçilmeden önce eldeki ulaştırma altyapısının en fazla ve en iyi kullanımını temin edilmesine dayanır (Çelik, 2009).

Sürdürülebilir kalkınma, “insanların temel gereksinmelerine duyarlı, eşitlikçi bir toplumda herkes için güvenli ve tatmin edici bir maddi gelecek sağlamaktır.” şeklinde tanımlanabilir. Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik verimliliği, eşitliği ve çevresel güvenliği arttırmak için ulaştırma sistemimizde önemli değişikliklerin yapılmasını gerektirir (Gerçek, 2005).

Sürdürülebilir ulaşım sistemi;

- nesiller arasındaki dengeyi koruyarak, hem insan hem de çevre sağlığını gözetip bireylerin ve toplumun temel erişim ihtiyaçlarını güvenli bir şekilde karşılar;
- ucuzdur, etkin çalışır, farklı seçenekler sunar ve canlı bir ekonomiyi destekler;
- emisyonları ve atıkları gezegenin dengeleyebileceği düzeyde tutar, yenilenemez kaynakların tüketimini azaltır;
- yenilenebilir kaynakların tüketimini sürdürülebilir seviyede tutacak şekilde kısıtlar, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü ön planda tutar;
- arazi kullanımını ve ses oluşumunu kısıtlar (Sevginer ve diğ., 2011).

Ulaştırmanın sürdürülebilirlik üzerine etkileri en geniş anlamda Tablo 1’deki gibi üç ana başlık altında toplanabilmektedir (Gerçek, 2005).

Tablo 1 Ulaştırmanın Sürdürülebilirlik Üzerine Etkileri (Gerçek, 2005).

EKONOMİK	SOSYAL	ÇEVRESEL
Tıkanıklık	Eşitsizlik	Hava ve su kirliliği
Hareketlilik kısıtları	Hareketlilik dezavantajları	Doğal yaşam alanlarının kaybı
Kaza hasarları	Sağlığa etkileri	Hidrolojik etkiler
Altyapı maliyetleri	Toplumsal etkileşim	Yenilenemez doğal kaynakların tüketilmesi
Tüketici maliyetleri	Toplumsal yaşanabilirlik	
Yenilenemez doğal kaynakların tüketilmesi	Estetik	

Dünyada sürdürülebilir ulaştırma için yapılan birçok örnek uygulama vardır. Amsterdam'daki Solaroad Bisiklet Yolu ile Kore İleri Teknoloji Araştırma Enstitüsü tarafından üretilen karayolundaki araçları seyir halindeyken de şarj edebilen elektrikli otomobil yolu bu alanda ciddi tasarruf sağlanabilecek ve CO₂ salınımını ciddi oranlarda azaltabilecek uygulamalardandır (Karaşahin, 2014).

Bir karayolu için karbon ayak izi gömülü (yapım malzemeleri ve faaliyetleri) ve operasyonel (proje ömrü boyunca bir karayolunda oluşan emisyon) olmak üzere iki sınıfa ayrılabilmektedir. Bir karayolu projesinin karbon ayak izi ise, yapı malzemelerinin üretimi için hammadde kazısı, malzemeleri araziye taşınması, plant ekipmanları, elektrik ve yakıt tüketimi, atık yönetimi kaynaklı toplam CO₂ emisyonudur (Karaşahin, 2014).

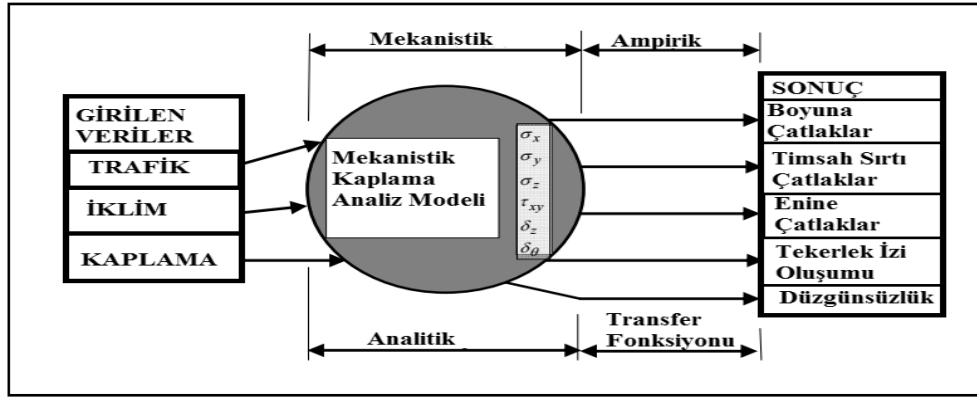
Sera gazlarının salınımı konusunda Cancun ve Kyoto protokollerinden sonra 2016 yılında Kyoto protokolünde imzası olmayan ABD de dahil olmak üzere 175 ülkenin katılımıyla Paris anlaşması kabul edilmiştir. Bu anlaşma ile yüzyılın sonunda küresel ısınma değerini 2 derecenin altına indirmek hedeflenmiştir. Türkiye, fosil yakıt tüketimine bağlı karbon salınımı konusunda 1990 yılında 127 milyon ton CO₂ salınımı yaparken yılda % 3.9 artışla 2014 yılında bu değer 307 mt CO₂ olmuş, Paris anlaşması çerçevesinde de 2030 yılı için öngörülen 1.175 mt CO₂ salınımı yerine %21 azaltarak yılda % 4.2 artışla 929 mt CO₂ salınımını sağlayacağını taahhüt etmiştir (Uluslararası Enerji Ajansı, 2016; Kozakoğlu, 2015).

3.Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu

Amerika'da AASHTO tarafından 1960 yılının sonlarına doğru başlatılıp 1970 yılı başlarında tamamlanan AASHTO yol deneyleri sonunda, AASHTO proje komitesi tarafından 'AASHTO Rijit ve Esnek Üstyapıların Projelendirilmesi Geçici Rehberi' çıkarılmıştır ve daha sonra 1972, 1981 ve 1986 yıllarında revize edilmiştir. Bu çalışmalar 1993'e kadar AASHTO'nun yol tasarım rehberinde ampirik (deneysel) yöntemler olarak yer almış; fakat 1993'ten sonra AASHTO mekanistik ampirik yöntemlere yönelik çalışmalar yapıp yine bu yönde araştırmaları desteklenmiştir. Sadece ampirik (deneysel) yöntemler yol tasarımı açısından yetersiz kalmaktadır. Çünkü arazi koşullarının laboratuvar

ortamında oluşturulması mümkün değildir. Yolun performansına etki eden birçok faktör mevcuttur (Trafik yükü, çevresel faktörler, malzeme, vb.). Bundan dolayı yol tasarımı ve analizi karmaşık hale gelmektedir. Ampirik yöntemlerin yanında mekanistik olarak yol tasarımı ve dizaynının desteklenmesiyle daha sağlıklı sonuçların alınabileceği tahmin edilmektedir. Özellikle son on yıldır bu yönde çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Mekanistik tasarım için literatürde kabul gören; sayısal yöntemler, sonlu elemanlar yöntemidir. Çünkü yol dizaynını etkileyen birçok parametre mevcuttur. Bütün bu karmaşık parametrelerin çözümü, bunları kolaylıkla modelleyebilen sonlu elemanlarla mümkün olabilmektedir. Bu yöntemle yaklaşık çözümler elde edilmesine rağmen, herhangi bir elemanı tanımlamak ve özelliklerini doğru şekilde tayin etmek sonlu elemanlar yöntemiyle mümkün olabilmektedir (T.C.Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2008; Özcanan ve diğ., 2014; Özgan ve diğ., 2010).

Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğüne ait ilk üstyapı projelendirme rehberi 1969 yılında yayımlanan, karayolları esnek üstyapı projelendirmesine ait fenni şartnamedir. KGM tarafından 1971 de ‘ Karayolu Esnek Üstyapılarını Projelendirme Kuralları’ adlı teknik bültenle AASHTO metodu kullanılmaya başlanmış, 1984 yılında Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi’nin basımı ile bu metot resmîyet kazanmış ve ülkemizde AASHTO metodu uygulanmaya başlamıştır. 1984-2002 yılları arasındaki dönemlerde ise takviye projelendirmesindeki eksiklikler, uygulamadan kaynaklanan aksaklıklar ve taşıt eşdeğerlik faktörleri revize edilmiştir. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi 2008 de ise AASHTO 93 projelendirme kriterleri esas alınmış ve Mekanistik-Ampirik Dizayn Metoduna geçiş için ön hazırlıklar yapılmıştır (T.C.Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2008; Özcanan ve diğ., 2014; Özgan ve diğ., 2010).



Şekil 2 Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu (Coree ve diğ., 2005)

Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu (MEPDM), karayolu üstyapısının ömrünü kısaltacak, servis kabiliyetini azaltacak bozulmaların tasarım aşamasında görülmesini sağlamaktadır. Üstyapıda bozulmaya neden olabilecek çevresel şartlar ve iklim verilerinin dikkate alındığı, malzeme karakteristiklerinin ve kaplama kalınlıklarının modellenerek

üstyapı ömrü boyunca oluşabilecek bozulmaların Şekil 2'deki gibi daha tasarım aşamasında modellenmesine olanak sağlayan bu metodun ülkemizde uygulanmaya başlanmasıyla ülke ekonomisine ciddi katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

4.Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodunun Sürdürülebilir Ulaşımındaki Önemi

Sürdürülebilir bir üstyapı, özel mühendislik hedefleri sınırlandırılmamış ölçekte, temel insan ihtiyaçlarını karşılayan, kaynakları etkin kullanan ve çevresel eko sistemi koruyan bir üstyapı anlamına gelmektedir. Sürdürülebilirlik bugünün teknolojisiyle ekonomik ve sosyal faydaları artırırken çevresel etkileri minimize etmek için fırsatlar bulmak anlamına gelmektedir. Hali hazırda yaşam döngü maliyet analizi (Life cycle cost analysis – LCCA) üstyapı dizayn ömrü boyunca mevcut ve gelecekte beklenen ekonomik etkileri göz önünde bulunduran bir sistemdir. Buna ek olarak üstyapının sürdürülebilirliğini değerlendiren birçok yaklaşım ortaya çıkmaktadır ve çok kısa zamanda uygulama için de mevcut olacaktır (FHWA, 2011).

Kaplama yönetimi(pavement managment), sürdürülebilirliği etkileyen çevresel etkilerden en önemli ikisi olan küresel ısınma(ve ilgili enerji kullanımını) ile kaynak kullanımını (toplam, asfalt, çimento, kireç, çelik ve diğer kaynakları daha az derecede etkilemektedir) konusunda kesin bir etkiye sahip olabilir. Petrol kaynaklı yakıtların nakliye sektöründeki kullanımının azaltılmasından kaynaklanan küresel ısınmaya bağlı azalmalar, fotokimyasal duman, karasal toksisite, su zehirliliği, insan sağlığı ve kaynak tükenmesi üzerinde de olumlu etkilere sahip olacaktır. Ayrıca etanol bazlı yakıt kullanımındaki düşüşler, arazi kullanımı, su kullanımı ve gıda fiyatlarındaki artışlar yoluyla insan sağlığı gibi diğer kategorilerde de olumlu etkilere sahip olacaktır (Jarvey ve diğ., 2014)

Geçmişte üstyapının yalnızca performansı ve maliyeti değerlendirilmekte, üstyapı seçiminde çevresel etkiler geniş kapsamda incelenmeye başlanmış durumdaydı. Üstyapıların Yaşam Döngü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment - LCA) LCCA'da olduğu gibi maliyetlerin hesaplanmasına benzer şekilde, sera gazı emisyonu, enerji kirliliği, su kullanımı gibi çevresel etkileri hesaplayan bir prosedürdür. Ancak maliyetlerin minimize edilmesi yerine, LCA'nın temeli çevresel etkileri minimize etmeye ve üstyapıyı daha sürdürülebilir hale getirmeye dayanmaktadır. Ancak, muhtemelen LCA'da da oluşacak olan, LCCA'daki problem, farklı üstyapı alternatiflerinin performansının tahmininde basit ve güvenilir bir prosedürün bulunmamasıdır. Bunun yerine, firmalar geçmişe dayalı standart rehabilitasyon yöntemlerine ve LCA ve LCCA'daki programlarına bağlı tasarım yapmaktadır. Bu da üstyapı dizaynının gerçek performansını yeterince yansıtmamaktadır (FHWA, 2011).

Üstyapının gerçek davranışını modelleyebilmek için MAKDM kullanılırken elde edilen sonuçlar Greenroads gibi Sürdürülebilirlik derecelendirme sistemi yada PaLATE gibi kaplamanın çevresel ve ekonomik etkilerinin değerlendirilebildiği yazılımlarda veri olarak kullanılmaktadır.

Greenroads Derecelendirme Sistemi

Bu derecelendirme sistemi University of Washington tarafından, yol tasarım ve yapım projelerinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilebilmesi için aşağıdaki ölçütlere göre puanlanmasını içermektedir. Bu sistem;

- Proje gereksinimleri—zorunlu;
Çevre ve su, yapılabirlik ve özkaynak, yapım uygulamaları, malzeme çeşidi ve kaynakları, kaplama teknolojileri ile
- İdari gereksinimler olarak ölçüt ve puanlamaya ayrılmıştır.

Buna göre 37 zorunlu alt ölçüt 5 ana ölçütte toplanmış, ilaveten isteğe bağlı kullanılabilir 10 kredi puanı tanımlanmıştır. Burada başta malzeme çeşidi ve kaynakları kısmı olmak üzere proje gereksinimleri kısmında LCA sonuçları kullanılmaktadır. Bu sistemi kullanarak yapılan bazı araştırmalardan ağır taşıt trafiği için MAKDM programı kaplama dizaynı konusundaki genel geçer kabul ve güvenilirlik özelliğinden dolayı tercih edilmiştir (Huang ve diğ., 2014; Mukherjee, 2014)

PALATE – Çevresel ve Ekonomik Etki Değerlendirme Aracı

Çevresel ve Ekonomik Etkiler için Kaplama Ömür Döngü Değerlendirme Aracı (Pavement Life-cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects - PaLATE) yol yapımında ömür döngü maliyetleri ve çevresel etkiler için değerlendirme ve karar verme aracı olarak kullanılmaktadır.

MAKDM ve AASHTO Pavement – ME Dizayn yazılımının ortaya çıkmasıyla birlikte farklı üstyapı alternatifleri için performans tahmini mümkün olmuştur. Bu şu anlama gelmektedir: geçmişte mühendislerin farklı tasarım özelliklerinden dolayı performans değişimini tahmin etmek için yalnızca karar verme yöntemini kullanmalarına karşın, günümüzde üstyapı mühendisleri geniş bir analiz periyodunda (örn. 50 yıl) performans tahmini için Pavement-ME ile bir çok farklı üstyapıyı modelleyebilmekte ve o üstyapıdaki gelişmelere göre bozulmaları tahmin edebilmekle birlikte her bir dizayn için gereken rehabilitasyon yöntemini eşleştirebilmektedir. Daha sonra, bu bilgi ile tasarımcı hangi üstyapı dizaynının en iyi performans, düşük maliyet ve daha az çevresel etkiye sahip olduğunu belirlemek için, başlangıç ve rehabilitasyon maliyetlerini ve farklı üstyapı dizaynlarının sürdürülebilirlik etkilerini (küresel ısınma potansiyeli, asitleştirme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli gibi) hesaplayabilmektedir (Mack, 2012).

MAKDM kullanımı üstyapının performansını sürekli olarak istenen seviye üzerinde tutulmasını sağlamaktadır. Üstyapının performansının iyi olması sürdürülebilirlik açısından da işletme maliyeti, yakıt tüketimi, lastik aşınma maliyeti, araç bakım-onarım maliyetleri gibi birçok kazanımı beraberinde getirmektedir.

MAKDM kullanılarak inşa edilen karayolu kaplamaları proje ömürleri boyunca maruz kalacağı etkiler önceden dikkate alındığı için proje ömürlerince ihtiyaç duyulacak bakım

onarım maliyetlerinde ciddi kazanımlar elde edilmektedir. ABD’de Iowa eyaleti için yapılan bir çalışma da MAKDM ’ne göre kalibrasyon çalışması yapılması halinde bakım onarım maliyetlerinde %1 oranında yıllık kazançlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu oran düşük gibi görünse de proje ömrü 20 yıl olan bir BSK kaplamada toplamda %20’lik bir kazanç anlamına gelmektedir (Ceylan ve diğ., 2014)

Üstyapı performansının belirlenmesinde kullanılan değerlerden biri de düzgünsüzlüktür (IRI). 1 km’lik yoldaki toplam ondülasyon miktarının metre(m) cinsinden değeri olarak tanımlanabilecek bu değer yol yapım şartnamelerinde belirli sınırlar içerisinde olması istenmektedir.

Aracın yakıt tüketiminde azalma, yol iyileştirmelerinin teknik ve ekonomik değerlendirmelerinde göz önüne alınması gereken ana faydalardan biridir. Yapılan bir araştırmada kaplama düzgünsüzlüğünde (IRI) 1 m / km azalmanın binek otomobillerin yakıt tüketiminde %3'lük bir düşüşe neden olacağını göstermiştir. Yakıt tüketimindeki bu azalma, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 255 milyon araç tarafından her yıl tüketilen 200 milyar galonun yılda yaklaşık 6 milyar galonunun tasarrufu anlamına gelmektedir. 2013'te ortalama ABD yakıt fiyatı yaklaşık 4 \$ / galon olduğu düşünüldüğünde, bu yaklaşık 24 milyar dolar tasarruf anlamına gelmektedir (Chatti ve Zaabar, 2014).

Chatti ve Zaabar (2014) kaplama düzgünsüzlüğünde 1 m / km (63.4 in / mil) azalmanın binek otomobiller için lastik aşınmasında yaklaşık yüzde 1'lik bir düşüşe neden olacağını göstermiştir. Yaptıkları araştırmaya göre binek otomobilin yıllık ortalama yolculuğunun 24.000 km (15.000 mil) ve lastik ortalama fiyatı 100 \$ olduğu varsayılarak 255 milyon araç için lastik maliyeti yılda yaklaşık 32.1 milyar dolara mal olmakta bu nedenle, IRI'de 1 m / km'lik bir azalma yılda 321 milyon dolar tasarruf sağlamaktadır.

Chatti ve Zaabar (2014) tarafından yol yüzey özelliklerinin araç bakım ve onarım maliyetlerine etkisini belirlemek için yapılan bir araştırmada, kaplama düzgünsüzlüğünün 3m/km 'ye kadar etkisinin olmadığı belirlenmiştir. IRI değerinin 4m/km olması durumunda otomobil ve ağır taşıtların bakım-onarım maliyetleri %10 oranında, 5m/km olması durumunda ise otomobil bakım-onarım maliyeti %40 oranında etkilenirken ağır taşıtlarda bu oran %50'lere ulaşabildiği belirlenmiştir.

5.Sonuç

Yapılan araştırmalardan görüleceği üzere yol performansının sürdürülebilirlik üzerine ciddi etkileri olmaktadır. Dünya da çevresel ve ekonomik zararların azaltılabileceği uygulamaların önemi her geçen gün artmaktadır. Ulaştırma tipi olarak ülkemizde karayolunun ağırlıklı olarak kullanılıyor olması, karayolu üstyapısında BSK kaplamaların ülkemizde yaygınlaşmaya başlamış olması ve bu kaplamada kullanılan bağlayıcı olan bitümün büyük çoğunluğunu ithal ediyor olmamız...vb. nedenleri ile bu kaplamaların bakımı büyük önem arz etmektedir. BSK kaplamaların bakım onarım çalışmaları ile

performans ve ömürleri iyileştirilebilmektedir. MAKDM, BSK kaplamalarda meydana gelebilecek bozulma türü ve performans değerlerinde meydana gelebilecek düşüşleri daha yapım aşamasında belirleyebiliyor oluşu gerekli tedbirlerin daha yapım aşamasında alınabilmesine olanak sağlamaktadır. Mevcut yolların bu metotla analizi sonucunda mevcut yolların o anki ve gelecekteki performanslarına dair veriler elde edilebilmesi mevcut yolların bakım onarım etkinliğini de ciddi oranlarda arttırabilmekte ve kaplama ömrünü uzatabilmektedir. Karayolu kaplamaları söz konusu olduğunda kaplamada oluşan bozulmaların ne kadar kısa sürede bakım onarımı yapılırsa, bakım onarım maliyetleride o oranda düşük olmaktadır. Bu durumda MAKDM sayesinde bozulmanın türü, yeri, miktarı gibi bilgilerin önceden bilinmesi bakım onarım maliyetlerinde büyük kazançlar sağladığı gibi kaplamaların performansının düşmesini önlemeye yardımcı olması ve üstyapının ömrünü uzatması da ciddi faydalarındandır. Ayrıca sürdürülebilirlik analizleri yapabilmek için kullanılan puanlama sistemleri, yazılımlar ve analiz yöntemlerinin kaplama ömrü boyunca kaplamada oluşabilecek performans değişikliklerine ait doğru ve güvenilir verilere ihtiyaç duyması MAKDM'nin önemini daha belirgin olarak ortaya koymaktadır. Bu durum sadece kaplama bakım-onarım maliyetlerinden değil, CO₂ salınımı, yakıt tüketimi, lastik aşınma maliyeti, araç bakım-onarım maliyetleri...vb. maliyetlerden de kazançlar sağlamaktadır. Bu nedenle gelecek nesillere daha yaşanabilir bir ülke bırakmanın yanı sıra ülke ekonomik kaynaklarımızın da daha verimli kullanımı açısından bakıldığında sürdürülebilir uygulamalar daha fazla önem kazanmaktadır. Bu araştırma ile Paris Anlaşması'ndaki 2030 hedeflerimize ulaşabilmemiz ve sürdürülebilir bir gelecek için, MAKDM'nin ülkemizde kullanımı ile karayolu kaplamalarımızın daha verimli kullanımı ve sürdürülebilirlik bakımından ciddi kazanımlar sağlanacağı ortaya konmuştur.

6.Referanslar

Sevginer C., Bilge E., Demir Ö., Gezer U. Y. (2011) Sürdürülebilir Ulaşım İçin Çözüm Önerisi: Taksiye Yönelik Araç Platformu, 9.Ulaştırma Kongresi, İstanbul.

Yüksel H., Sürdürülebilirlik Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Sağlık A. (2014) Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları, 3.Karayolu Ulusal Kongresi, Ankara.

T.C.Kalkınma Bakanlığı (2013) 10.Kalkınma Planı, Ankara.

Çelik H. M. (2009) Sürdürülebilir Ulaşım ve Türkiye Kentleri Ulaştırma Sorunları, 1.TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, İzmir.

Gerçek H. (2005) Sürdürülebilirlik Açısından İstanbul'da Ulaştırmanın Bugünü ve Geleceği, 6. Ulaştırma Kongresi, İstanbul.

Karavaşin M.(2014) Sürdürülebilir Karayolu Projeleri.<<Yeşil Yollar>>, 3.Karayolu Ulusal Kongresi, Ankara.

Uluslararası Enerji Ajansı (2016) CO₂ Emissions From Fuel Combustion Highlights (2016 edition), 2016 istatistikleri.

Kozakoğlu C. (2015) 10 grafikte BM İklim Değişikliği Konferansı ve Türkiye, BBC Türkçe Ekonomi.

T.C.Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (2008) Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi.

Özcanan S., Akpınar M.V. (2014) Esnek Üstyapılarda Kritik Tekerlek ve Aks Konfigürasyonların Mekanistik Analizlere Göre Tespit Edilmesi, İMO Teknik Dergi, 6625-6654, Yazı 413.

Özgan E., Serin S., Ertürk S., Hastürk C., Metin E. (2010) Karayolu Esnek Üstyapısının Projelendirilmesi, MYO-OS 2010- Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, Düzce.

Coree B., Ceylan H., Harrington D. (2005) Implementing the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: Implementation Plan, IOWA State Üniversitesi, ABD.

Federal Highway Administration (FHWA) (2011) Life- Cycle Cost Analysis Software, Website of the FHWA Office of Asset Management, Washington, ABD.

Harvey J., Wang T., Lea J. (2014) Application of LCA Results to Network-Level Highway Pavement Management, Chapter 2, Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements, Springer.

Huang Y., Parry T. (2014) Pavement Life Cycle Assessment, Chapter 1, Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements, Springer.

Mukherjee A., Cass D. (2014) The Product Process Service Life Cycle Assessment Framework to Estimate GHG Emissions for Highways, Chapter 3, Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements, Springer.

Mack J., Ulm F.J., Gregory J., Kirchain R., Akbarian M., Swei O., Wildnauer M., (2012) Designing Sustainable Concrete Pavements using the Pavement-ME Mechanistic Empirical Pavement Design and Life Cycle Analysis, International Conference on Long-Life Concrete Pavement, Seattle, Washington, ABD.

Ceylan H., Kim S., Gopalakrishnan K., Kaya O. (2014) Local Calibration of AASHTO Pavement ME Design, The 2014 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Madison, WI, ABD.

Chatti K., Zaabar I. (2014) Effect of Pavement Surface Conditions on Sustainable Transport, Chapter 6, Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements, Springer.