

Yansıma Çatlağı Oluşumu Açısından Kompozit Bir Üstyapının Performansının Belirlenmesi

Dr. Yavuz Abut

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli, Türkiye

Özet

Yansıma çatlağı oluşumu, rijit veya esnek üstyapılar üzerine inşa edilen asfalt kaplamalardaki temel bozulma tiplerinden biridir. Bu çatlaklardan su veya yabancı maddeler yol gövdesine sızarak kaplama yapısını bozar, sürüş kalitesini düşürerek yolun servis ömrünü kısaltır. Bu çalışma kapsamında, PavementDesigner.org yazılımı ile bir kompozit üstyapı tasarlanmış, yazılımdan elde edilen kesit özellikleri kullanılarak 2017 Nisan ayı itibariyle bir test yolu yapılmıştır. Sürekli gözlenen bu yolda, 2019 Eylül ayı ile ilk yansıma çatlağı gözlenmiş ve literatürdeki yansıma çatlağı hasar modelleri kullanılarak kaplamadaki toplam hasar oranı belirlenmiştir. Toplam uzunluğu 928 m olan, yapımından 2,5 yıl süre geçen ve sürekli gözlenen bu yolda yansıma çatlağı hasar oranı %6,1 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bulguların ilerleyen zamanlarda yapılması planlanan kompozit üstyapılar için bir performans göstergesi olarak kullanılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit üstyapı, yansıma çatlağı, performans dayalı tasarım

1 Giriş

Yansıma çatlağı oluşumu, rijit veya esnek üstyapılar üzerine inşa edilen asfalt kaplamalardaki temel bozulma tiplerinden biridir. Bu çatlaklardan su veya yabancı maddeler yol gövdesine sızarak kaplama yapısını bozar, sürüş kalitesini düşürerek yolun servis ömrünü kısaltır. Bu tür kaplamaların uzun dönem performansının bilinebilmesi için, ileriki dönemlerde trafik ve sıcaklık etkisi ile meydana gelebilecek olası yansıma çatlaklarının bir tahmin modeli ile belirlenmesi gerekmektedir. Bazı araştırmacılar yansıma çatlaklarını tahmin etmek için birtakım yöntemler üzerinde çalışmışlardır (Andrei v.d., 1999, Eltahan ve Lytton, 2000, Elseifi ve Al-Qadi, 2004, Bari ve Witczak, 2006). Ancak, bu modellerin kalibrasyonu için sınırlı sayıda araştırma yapılmıştır. Yansıma çatlağı ile ilgili sorunların etraflıca ele alınabilmesi için

mekanik-ampirik prosedürlerle inşa edilen test yollarında daha çok gözlem ve ölçüm yapmaya ihtiyaç vardır. Çünkü kaplamalarda kullanılan malzeme özellikleri, derzlerin yük transferi kabiliyeti, yolun sınıfı, iklim ve zemin durumu gibi parametreler yansıma çatlağı oluşumunda önemli derecelerde farklılıklar doğurmaktadır (Tsai, 2010).

Yansıma çatlakları, büyük ölçüde asfalt kaplama altındaki süreksizliklerden (çatlak veya derzler) kaynaklanmaktadır. Çatlak gelişimi, katmanlar arasındaki termal genişleme farklılıkları ve trafik yükleri ile aşağıdan yukarı doğru ilerler. Yoğun çatlakların olduğu eski bir kaplama üzerine yapılacak olan yeni bir asfalt kaplamada ara yüzeyde çatlak sönümleyici bir yapı (geosentetik, geogrid, çelik tel, vb.) kullanılmamış ise mevcut kaplamadaki çatlaklar, genellikle kaplama kalınlığının bir fonksiyonu olan bir sürenin sonunda yüzeye doğru hareket eder. Lytton, 1989'a göre, tekerlek yükünün mevcut kaplamada bir çatlaktan geçmesi o kesitte bir maksimum eğilme ve iki maksimum kayma gerilmesi olmak üzere üç kritik kesit tesirine neden olur. Çatlak hareketi arttıkça, çatlağın yüzeye doğru ilerlemesi hızlanır. Katmanlar arasındaki sıcaklık farklılıklarının rijit kaplamalarda meydana getireceği büzülme (contraction) veya kıvrılma (curling) hareketi ise, asfalt kaplamada ekstra yatay gerilmelere neden olur ve mevcut çatlakların açılma süreci hızlanır. Dolayısı ile bir yansıma çatlağının doğru bir şekilde modellenebilmesi için trafik yükleri ve sıcaklık etkileri bir arada düşünülmelidir.

Bu çalışmada, *PavementDesigner.org* yazılımı ile bir kompozit üstyapı tasarlanmış, yazılımdan elde edilen kesit özellikleri kullanılarak 2017 Nisan ayı itibarıyla bir test yolu yapılmıştır. 928 m uzunluk ve 1x1 olan bu kompozit üstyapıda sırasıyla Kırmataş Temel (30 cm), Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) (22 cm), HMA Binder (7 cm), HMA Aşınma (5 cm) kullanılmıştır. Sürekli gözlenen bu yolda, 2019 Eylül ayı ile ilk yansıma çatlağı gözlenmiş ve literatürdeki yansıma çatlağı hasar modelleri kullanılarak kaplamadaki toplam hasar oranı belirlenmiştir. Elde edilen bulguların ilerleyen zamanlarda yapılması planlanan kompozit üstyapılar için bir performans göstergesi olarak kullanılması hedeflenmiştir.

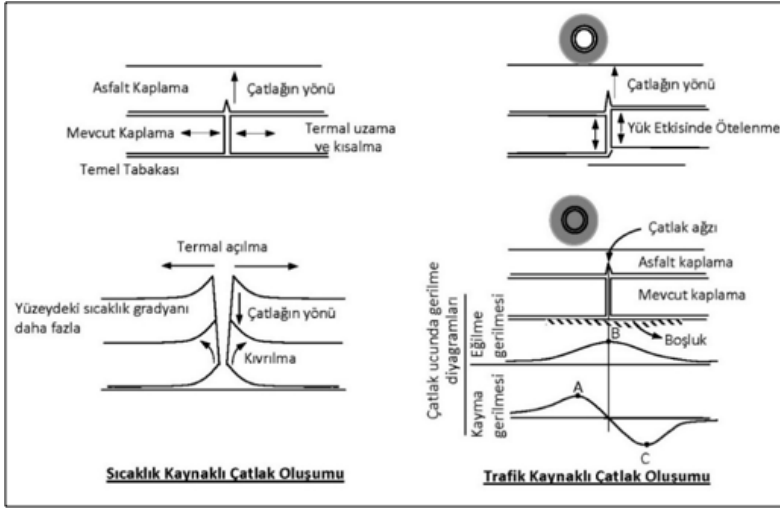
2 Yansıma Çatlağı Mekanizması

Yansıma çatlağı konusu Gary ve Martin, 1932'de bu sorunu çalıştığından bu yana, kompozit üstyapılarda ciddi bir endişe kaynağı olmuştur. O zamandan beri, bu sorunu çözmek için birçok çalışma yapılmıştır. Yansıma çatlağının analiz ve tahmininde birçok model geliştirilmiştir.

Genel olarak bunlar;

- Ampirik model
- Genişletilmiş çok katmanlı doğrusal elastik model
- Denge denklemlerine dayalı modeller
- Sonlu elemanlar ile geleneksel yorulma denklemi modeli
- Sonlu elemanlar ile kırılma mekaniği modeli
- "Crack Band Teorisi" temelli model
- Koheziv çatlama / bölge modeli
- Yerel olmayan süreklilik hasarı modeli

Yansıma çatlağı mekanizması sırasında kesitlerde oluşan kesit tesirleri ise Şekil 1'de gösterilmiştir (Nunn, 1989 ve Lytton, 1989).



Şekil 1. Sıcaklık farklılıkları ve trafik yükünün neden olduğu kesit tesirleri (Nunn, 1989 ve Lytton, 1989).

Paris'in çatlak büyüme yasası, asphalt gibi doğrusal olmayan viskoelastik malzemelerdeki çatlak yayılımı ve gerilme yoğunluğu faktörleri ile malzeme yorulma özelliklerini arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılabilir. Paris'in yasası matematiksel olarak şöyle ifade edilir (Anderson, 1995):

$$\frac{dc}{dN} = AK^n \quad (1)$$

Burada,

dc/dN : Yük döngüsü başına çatlak ilerlemesi

K : Gerilme yoğunluğu faktörü

A, n : Deneysel olarak tespit edilen malzeme sabitleri

Denklem 1 temel alınarak yürütülen bir çalışmada (Owusu-Antwi, 1998), kompozit bir kaplamadaki kabul edilebilir yansıma çatlama oranı, trafik yükü ve sıcaklık değişimi baz alınarak denklem 2-7'de sırasıyla verilmiştir.

Kabul edilebilir dingil yükü tekrerrü;

$$N_i = \frac{h_{OL}}{10^{-12} K_C^{2.4}} \quad (2)$$

Gerilme yoğunluğu faktörü;

$$K_C = \left[\frac{JE}{(1 - \mu^2)} \right]^{0.5} \quad (3)$$

Sıcaklık etkisinde J-integral;

$$J = \left(-1.459 + \frac{7.176}{h_{OL}} + 0.129h_{PCC} + 0.002145k \right) 10^4 [S\alpha(\Delta T)]^2 \quad (4)$$

Tek dingil yükü etkisinde J-integral;

$$J = 0.01P^2 \left(-0.048 + \frac{1.648}{h_{OL}} + 0.00641h_{PCC} + 0.000279k \right) \quad (5)$$

Toplam hasar;

$$DAMTOT = 0.0132 \sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{AGE}{N_{temp}} (8.79 + 0.000795 * FI * AGE) \quad (6)$$

Yansıma çatlakları oranı;

$$\%RCRACKS = \frac{100 * DAMTOT^{1.9}}{DAMTOT^{1.9} + 1} \quad (7)$$

Bu denklemlerde;

N_1 : Kabul edilebilir dingil yükü tekrerrü, N_{temp} : Kabul edilebilir sıcaklık tekrerrü, K_c : Kritik gerilme yoğunluğu faktörü, J : J-integral, P : Standart dingil yükü (kN), E : Asfalt kaplama esneklik modülü (MPa), μ : Asfalt kaplama Poisson oranı, h_{OL} : Asfalt kaplama kalınlığı (mm), h_{PCC} : Beton kaplama kalınlığı (mm), k : Taban zemini esneklik modülü (MPa), S : İki derz arasındaki mesafe (m), α : Betonun ısı genleşme katsayısı ($1/^\circ C$), ΔT : Maks. ort. aylık sıcaklık – Min. ort. aylık sıcaklık ($^\circ C$), $DAMTOT$: Toplam hasar, n_i : Kaplamadan geçen dingil yükü tekrerrü, AGE : Kaplamanın yaşı (yıl), FI : Don indeksi, $\%RCRACKS$: Yansıma çatlakları oranı (%)

3 Test Yolu

3.1 Yolum Yapısal Tasarımı

Çalışmanın birinci aşamasında, Kocaeli ili, İzmit ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve Şekil 2’de koordinatları verilen 928 m (1x1) uzunluğundaki Bağımsızlık Caddesi güzergahında yapılması hedeflenen kompozit üstyapının tasarımı ele alınmıştır. Kompozit kaplamada 20 yıllık proje süresi içerisinde yaklaşık 50 milyon Eşdeğer Dingil Yükü Tekerrür Sayısı (EDYTS) ve günlük ortalama olarak ta 1.000 adet kamyon geçişinin olacağı hesaplanmıştır.



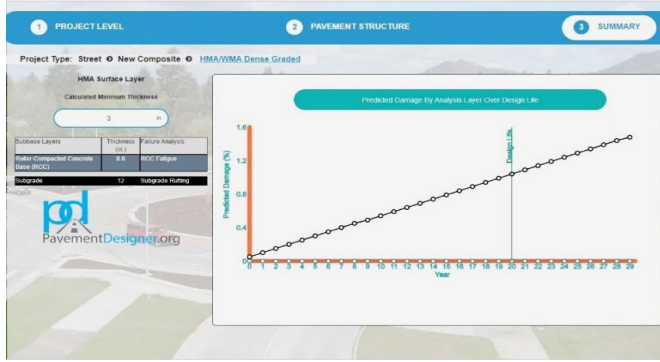
Şekil 2. Bağımsızlık Caddesi koordinatları

Kesit tasarımı, PCAPave’in altyapısı ile çalışan ve PavementDesigner.org sitesinde yer alan toolbox yardımıyla yapılmıştır. Tasarım ve hasar modelinde kullanılan parametreler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Tasarım ve hasar modelinde kullanılan parametreler

PARAMETRE	SEÇİLEN DEĞERLER
Proje Süresi (Yıl)	20
20 yıllık Eşdeğer Dingil Yükü Tekerrür Sayısı (EDYTS)	50.000.000
Günlük Ortalama Kamyon Sayısı (Major Arterial)	1.000
Ağır taşıt trafiği artış oranı (%)	2
Yön dağılımı (%) (1 x 1)	50
Tasarım şeridi dağılımı (%)	100
P, Standart dingil yükü (kN)	80
E, Asfalt kaplama esneklik modülü (MPa)	2.757
μ , Asfalt kaplama Poisson oranı	0,35
Eb, Betonun esneklik modülü (MPa)	27.579
μ_b , Betonun Poisson oranı	0,15
Betonun eğilme dayanımı (MPa)	4,5
k, Taban zemini esneklik modülü (MPa)	69
μ_z , Zeminin Poisson oranı	0,4
Rijit temel kalınlığı (mm)	300
S, İki derz arasındaki mesafe (m)	10
α , Betonun ısı genleşme katsayısı (1/°C)	10 ⁻⁵
Maksimum ort. aylık sıcaklık (°C) (Kocaeli İli)	Ağustos 29,7
Minimum ort. aylık sıcaklık (°C) (Kocaeli İli)	Ocak 3,1
FI, Don indeksi (Kocaeli İli)	100

Programdan elde edilen verilere göre, kompozit üstyapıda taban zemininden yukarıya doğru sırasıyla Kırmataş Temel (30 cm), Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) (22 cm) ve Asfalt (7,5 cm) kullanılmasının uygun olabileceği görülmektedir (Şekil 3). Zamana bağlı tahmini hasar grafiğine bakıldığında ise 20 yıllık periyot içerisinde üstyapıda herhangi bir yapısal hasar meydana gelmediği, Kırmataş Temel düzeyinde ise yaklaşık %1 oranında yapısal hasar oranının gözlenebileceği tahmin edilmiştir. Bu hasar oranı 928 m uzunluktaki bir yol için 20 yılda yaklaşık olarak 9 m'lik bir kesimi ifade etmektedir.



Şekil 3. Üstyapı kalınlıkları ve zamana bağlı tahmini hasar grafiği

3.2 Yolun Yapılması, Gözlenmesi ve Performansının Değerlendirilmesi

2017 yılı Nisan ayı başında yapımına başlanan üstyapı inşaatı, 1 aylık bir süre içerisinde tamamlanmıştır. Eski kaplama kaldırılarak yer yer derin dolgu imalatları ile zemin güçlendirilmiş, birkaç kesimde genişletme çalışması yapılmıştır. PavementDesigner.org ile elde edilen kesitler aynen kullanılmış, ancak yansıma çatlaklarının yüzeye doğru ilerleme süresinin daha uzun bir periyotta gerçekleşmesi ve görece daha uzun bir süre ile yolun sürekli gözlemlenebilmesi amacıyla en üst tabakada 5 cm kalınlığında Aşınma ilavesi yapılmıştır. Dolayısıyla nihai kaplama kalınlıkları Şekil 4'teki gibi belirlenmiştir.

(5 cm) Aşınma (ASFALT)
(7 cm) Binder (ASFALT)
(22 cm) Silindire Sıkıştırılmış Beton (SSB)
(30 cm) Kırmataş Alttemel

Şekil 4. Proje üstyapı kalınlıkları

Taban zemininde gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra, SSB iki seferde (11cm + 11cm) serilip sıkıştırılmıştır. 24 saat sonra kesitin 1/3'üne kadar 10'ar m aralıklarla enine derzler oluşturulmuştur. Son aşamada ise bitmiş kaplama üzerine bitüm bazlı yapıştırıcı emülsiyonlar tatbik edilerek, sırasıyla Binder ve Aşınma tabakaları uygulanmıştır (Şekil 5).



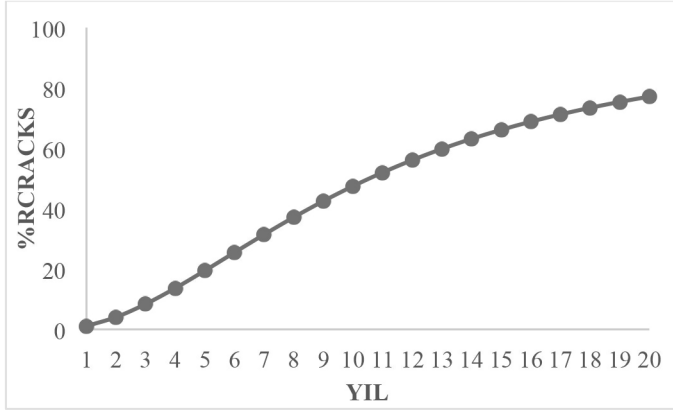
Şekil 5. Yol katmanlarının yapımı ve yolun güncel durumu

Yansıma çatlaklarının zamana bağlı değişimini gözlemleyebilmek için, derz bölgelerinde gerilme sönümleyici bir mekanizma veya ara yüzey kullanılmamıştır. Sürekli gözlenen yol yüzeyinde 2019 yılı Eylül Ayı içerisinde ilk yansıma çatlağının geliştiği tespit edilmiştir (Şekil 6). Yaklaşık 2,5 yıl süre içerisinde kaplama üzerinden geçen trafik yükleri ve sıcaklık değişimlerinin neden olduğu bu yansıma çatlağı hasarı için, literatürdeki hasar modelleri kullanılarak genel bir yaklaşımla kaplamadaki hasar oranı tahmin edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 6. İlk yansımaya çatlağının oluştuğu yer

Yolun trafiğe açıldığı günden bu yana geçen 2,5 yıl süre zarfında ilk yansımaya çatlağının oluşması için kaplamanın proje toplam dingil yükü kapasitesinin %12,5'u (2,5 yıl / 20 yıl) kadar etkiye maruz kaldığı kabul edilirse, kaplamada 6.250.000 EDYTS'lik (50.000.000 x 0,125) bir trafik gerçekleştiği doğrusal bir ilişkide tahmin edilebilir. *Denklem (2-7)* yardımıyla kaplamada, mevcut durumda %6,1 oranında yansımaya çatlağı hasarı tespit edilebilmektedir. Benzeri bir durum ilerleyen yıllarda Şekil 7'de verilen ilişki gibi olmaktadır. Burada kaplamadaki yansımaya çatlaklarının ilerleme hızının ilk 10 yıla kadar hızlı geliştiği, bu yıldan sonra ise bu hızın yavaşlayarak devam ettiği görülmektedir.



Şekil 7. Yansımaya çatlak hasarının yıllara göre değişimi

4 Sonuçlar

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre,

- Trafik yükü 50.000.000 EDYTS olan bir güzergahta *PavementDesigner.org* ile tasarlanan yol için taban zemininden yukarıya doğru sırasıyla Kırmataş Temel (30 cm), Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) (22 cm) ve Asfalt (7,5 cm) kullanılmasının uygun olabileceği tespit edilmiştir. Zamana bağlı tahmini hasar grafiğine bakıldığında, 20 yıllık periyot içerisinde üstyapıda herhangi bir yapısal hasar meydana gelmediği, Kırmataş Temel düzeyinde ise yaklaşık %1 oranında yapısal hasar oranının gözlenebileceği tahmin edilmiştir. Bu hasar oranı 928 m uzunluktaki bir yol için 20 yılda yaklaşık 9 m'lik bir kesimi ifade etmektedir.
- Yansımaya çatlak bazında bir performans değerlendirmesi yapılması durumunda ise, kaplama yüzeyindeki yansımaya çatlak sayısı o kaplamadaki hasar durumu ile ilişkilendirilerek dingil yükü ve sıcaklık etkilerine göre yansımaya çatlak yönünden hasar oranları belirlenebilmektedir. Bu çalışmada yapımından 2,5 yıl bir süre geçen ve sürekli gözlenen bu yolda yansımaya çatlak hasar oranı %6,1 olarak tespit edilmiştir.
- Literatürdeki hasar modelleri kullanılarak, ilerleyen yıllarda gelişecek olan diğer yansımaya çatlakları için yıllara göre bir değişim grafiği elde edilmiştir. Burada kaplamadaki yansımaya çatlaklarının ilerleme hızının ilk 10 yıla kadar hızlı geliştiği, bu yıldan sonra ise bu hızın yavaşlayarak devam ettiği görülmektedir. Zamanla gelişecek olan diğer yansımaya çatlak oranları grafik üzerinde kalibre edilerek, bakım ve onarım stratejileri önceden tahmin edilebilecektir.

Kaynaklar

- Anderson, T. L. Fracture Mechanics, Fundamentals and Applications. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 1995.
- Andrei, D., M. Witczak, and M. Mirza, *Development of a Revised Predictive Model for the Dynamic (Complex) Modulus of Asphalt Mixtures*, NCHRP 1-37 A Inter Team Report, University of Maryland, 1999.
- Bari, J. and M. Witczak, Development of a New Revised Version of the Witczak E* Predictive Model for Hot Mix Asphalt Mixtures, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 75, pp. 381-423, 2006.
- Elseifi, M. and I. Al-Qadi, A Simplified Overlay Design Model against Reflective Cracking Utilizing Service Life Prediction, *Road Materials and Pavement Design*, vol. 5, pp. 169–192, 2004.
- Eltahan, A. and R. Lytton, Mechanistic-Empirical Approach for Modeling Reflection Cracking, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1730, pp. 132-138, 2000.
- Gary, B. E., G. E. Martin, Resurfacing with Bituminous Types of Surfaces, *Proceedings of Highway Research Board, National Research Council*, vol. 12, pp. 177-192, 1932.
<https://www.pavementdesigner.org/>
- Lytton, R. L. Use of Geotextiles for Reinforcement and Strain Relief in Asphalt Concrete. In *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 8, 1989, pp. 217-237.
- Nunn, M., An Investigation of Reflection Cracking in Composite Pavements in the United Kingdom, *Proceedings of 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control*, Liege, Belgium, 1989, pp. 146-153.
- Tsai F., Prediction of Reflection Cracking in Hot Mix Asphalt Overlays, A Dissertation of Doctor of Philosophy, Texas A&M University, December 2010.