
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 24.10.2016 <u>Kabul/Accepted</u> 20.03.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.337271	

Yol yüzey işaretlerinde kullanılan malzemeler ve geri yansımaya özellikleri üzerine bir literatür taraması

Metin Mutlu Aydın*¹

ÖZ

Ülkemizde şehir içi ve şehirlerarası yollar inşaa edildikten kısa bir süre sonra yüzey işaretlemeleri yapılarak hizmete açılmaktadır. Bu yolların hizmete açılmasından belirli bir süre sonra bakımsızlıktan veya diğer sebeplerden dolayı yüzey işaretlemelerinin görünürlüğü azalmakta ya da kaybolmaktadır. Yol yüzeyindeki bu işaretlemeler, sürücülerin şerit kullanımı üzerinde görsel bir rehber olma özelliğinden dolayı kazaları önleme konusunda oldukça hayati bir öneme sahiptir. Ülkemizdeki şehir içi ve şehirlerarası yollarda yol yüzey işaretlemelerine ne yazık ki yeterince önem verilmemektedir. Yolların büyük bir çoğunluğunun yüzey işaretlenmesinin (yüksek kaliteli yollar hariç) ucuz olması dolayısıyla daha çok soğuk boyalar ile yapılması bu işaretlemelerin çok kısa sürede performansını kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu durum sonucunda yollarda oluşan karmaşa, şerit disiplinsizliği vb. nedenlerden dolayı birçok trafik kazası meydana gelmektedir. Hâlbuki gelişmiş ülkelerde ülkemizdeki durumun aksine soğuk boya yerine yol ve çevresel şartlara bağlı olarak en uzun dayanıma ve performansa sahip Epoxy, Methyl Methacrylate, Polyester, Termoplastik, Polyurea vb. malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, gelişmiş ülkelerde yol yüzey işaretlemelerinde aktif olarak kullanılan malzeme türlerinin özellikleri ve kullanım alanları üzerine bir literatür taraması yapılmıştır. Sonuçlar yetkililer ile paylaşılmış ve bu malzemelerin ülkemizde de kullanımı konusunda teşvik edici ve bilgilendirici bir kaynak hazırlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: yol yüzey işaretlemeleri, şerit çizgisi, geri yansımaya, yol karakteristikleri

A literature review on road surface marking materials and retroreflectivity properties

ABSTRACT

Urban and rural roads are opened to service after the application of road surface markings in Turkey. However, visibility of these roads reduce or disappear caused by the disrepair in a short time after the construction. These road surface markings have a mission to be a visual guide on behavior of lane utilization of drivers. For this reason, it has crucial importance to prevent traffic accidents. Unfortunately, the necessary importance to road surface markings are not given by the authorities in urban and rural roads of Turkey. Generally, standard road marking paint are used in all roads because of its low price and it loses retroreflectivity performance after short time. As a result of this situation chaos, lane indiscipline and many

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Yazar 1 bilgileri

traffic accidents occur in urban and rural roads. Whereas, many different road painting materials are used such as Epoxy, Methyl Methacrylate, Polyester, Thermoplastic, Polyurea etc. to obtain higher performance and resistance according to different road characteristics and environmental conditions. In the scope of this study, a general information were given about the utilization of different surface marking materials which is used in developed countries effectively. Additionally, a number of recommendations and guidance notes have been provided for road makers and decision authorities wishing to use these materials in Turkey.

Keywords: road surface markings, lane line, retroreflectivity, road characteristics

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemizin 2015 yılına ait trafik kaza istatistikleri incelendiğinde kazaların yaklaşık olarak %34'ünün havanın karanlık olduğu saatlerde meydana geldiği görülmektedir [1]. Yapılan maliyet analizlerinden bu trafik kazalarından kaynaklı olarak oluşan maddi kayıpların ise 20 milyar TL'yi aştığı hesaplanmıştır [1]. Mevcut araştırmalardan havanın karanlık olduğu saatlerde meydana gelen kazalar üzerinde sürücülerin alkol ve uyuşturucu kullanmış olmasının etkisi, aşırı hız yapma isteği, yol bozukluklarından kaçma arzusu ve davranışı vb. birçok etken olduğu belirlenmiştir [2, 3]. Bu etkenlerden özellikle sürücülerin sınırlı görüş imkânına sahip olması, geceleyin meydana gelen kazaların başlıca sebebi olarak gösterilebilmektedir. Gece yolculuklarında sürücüler için dikkat edilmesi gereken en önemli hususların başında, sürücülerin yeterli görüş mesafesine sahip olması gelmektedir. Çünkü sürücülerin yol üzerindeki herhangi bir cismi, aracı, yayayı vb. engel ya da engelleri önceden görmesi, bu olumsuz duruma karşı daha önce tedbir almasını etkilemekte ve sürücünün kaza yapma riskini azaltmaktadır. Yol yüzey ve kenar işaretlemeleri ise sürücülerin yolculuk esnasında yeterli görüş mesafesine sahip olmasını sağlayan en önemli uyarıcılardan birisidir. Bu uyarıcılardan özellikle yol yüzey işaretlemeleri, sürücülerin şeritlerini güvenli şekilde takip ederek diğer araçlar ile arasındaki mesafeyi korumasını ve en önemlisi aracın bir şerit içerisinde düzenli hareket etmesini sağlamaktadır. Bu yüzden sürücülerin yol üzerindeki görüş mesafesinin artırılması kazaların azaltılması üzerinde anahtar bir öneme sahiptir. Yapılan araştırmalardan yol yüzey işaretlemelerine gerekli bakımın yapılmaması dolayısıyla, sürücüler için yeterli görüş mesafesinin oluşmamasının kazaların başlıca sebeplerinden birisi olduğu gözlemlenmiştir [4, 5].

Ülkemizde şehiriçi ve şehirlerarası yollar inşaa edildikten kısa bir süre sonra yol yüzey işaretlemeleri yapılarak hizmete açılmaktadır. Şehirlerarası yollarda inşaat sonrası yapılan yol yüzey işaretlemelerinin kalitesiz olması ve periyodik olarak bakım yapılmaması dolayısıyla bu işaretlemeler de belirli bir süre içerisinde etkinliğini kaybetmektedir. Şehiriçi yollarda ise sürekli devam eden altyapı çalışmaları ya da yol kenarında devam eden inşaatlar nedeniyle bu yollardaki yüzey işaretlemelerinin görünürlüğü kısa süre içerisinde azalmakta ya da kaybolmaktadır. Özetle hem şehirlerarası hem de şehiriçi yollarda bu durum üzerindeki temel sebeplerin başında, kalitesiz malzeme kullanımı ve işaretlemelerin bakımlarının düzenli yapılmaması gösterilebilir. Başta ABD, İngiltere, Avustralya olmak üzere gelişmiş ülkelerdeki şehiriçi ve şehirlerarası yollardaki yüzey işaretlemelerinin görünürlüğü incelendiğinde durumun ülkemizdeki gibi olmadığı, aksine yüksek görünürlüğe sahip yol yüzey işaretlemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Gelişmiş ülkelerdeki şehiriçi ve şehirlerarası yollarda bu yüksek çizgi görünürlüğü araçları kanalize ederek trafikte karmaşıklığı önleme, araçların yol kenarı park ettikleri yeri düzenleme ve kontrol etme, kazaları önleme vb. birçok pozitif etkiye sahiptir. Bu çalışma kapsamında, ülkemizde büyük bir sorun olan yol yüzey işaretlemelerinin görünürlüğünü araştıran çalışmalar incelenerek, bu sorunlu duruma yetkililerin, ilgili kurum ve kuruluşların dikkatini çekmek ve elde edilen bulguları özetleyerek yol gösterici bir kaynak hazırlanması amaçlanmıştır.

2. YOL YÜZEY İŞARETLEMELERİ (ROAD SURFACE MARKINGS)

Yol yüzey işaretlemeler, sürücülerin şerit kullanımı üzerinde görsel bir rehber olma özelliğinden dolayı oldukça önemli bir role sahiptir. Genel olarak yol yüzey çizgilerinin çoğu, kuru yüzey koşullarında istenilen görşelliği sağlayarak, sürücülerin şerit seçim ve

kullanımında uyarıcı olarak etkin bir görev alabilmektedir. Fakat bu malzemelerin görseelliği özellikle ıslak ve gece koşulları altında oldukça azalmaktadır [6]. Çünkü yol yüzeyinin ıslak olması durumunda bu işaretlemeler su ile kaplanmakta ve görseelliğinde kısmi ya da tamamen azalma görülebilmektedir [7]. Bu durumun sebebi ise su birikintisi üzerine gelen ışığın işaretlemeye ulaşmadan dağılması ve yüzey işaretlemesinden tamamen geri yansımak yerine göreceli şekilde (kısmi) yansımasıdır. Bu geri yansıma özelliğinin değişmesi sonucu ise ne yazık ki sürücüler için daha kısa görüş uzunluğu oluşmaktadır [8].

İyi yol yüzey işaretlemeleri, araçların güvenli şekilde yolculuk yapabilmeleri için oldukça önemlidir. Yol yüzey işaretlemelerini etkin şekilde yönetmek (bakım) ise oldukça zor bir işlemdir. Son 20 yıllık süreçte Dünyada yüzey işaretlemelerinin performansını görsel yöntemlerle belirlemeye yönelik birçok çalışma yürütülmüştür [9-21]. Örneğin Schnell vd. [9] çalışmasında, üç tür işaretleme tipinin performansını incelemiştir. Bunlar düz, desenli ve yağışlı havada yansıyan işaretleme tipleridir. Schnell vd. [9] bu üç tür işaretleme tipinin yanı sıra üç farklı yol yüzey durumu için de (kuru, nemli (ıslak) ve su kaplı yol yüzeyi) aynı araştırmayı gerçekleştirmiş ve aynı test aracını kullanan 19 farklı sürücünün (11 erkek ve 8 kadın) bu üç durumda ne kadar uzağı gördüklerini retroreflektometre (geri yansıma ölçüm) cihazı ile ölçmüştür (Aynı zamanda göz izleme yöntemi de kullanmıştır). Yapılan ölçümler ile yüzey işaretlemelerinin performansı ASTM [22] standartlarına göre incelenmiştir (ASTM E1710 (kuru), ASTM E2177 (Nemli Yüzey), ASTM E2176 (Su kaplı yüzey)). Çalışma sonucu her üç işaretleme tipi içinde en uzak mesafeye ilişkin görüş uzunluğunun kuru yüzey için olduğu belirlenmiştir. Çalışma ile ayrıca ıslak yüzeyde gözün daha sabit olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bir diğer çalışmada ise Aktan ve Schnell [10] büyük boncuklu kalıcı yüzey kaplamalarının gece görünürlüğünü iki desenli tür ile (yüksek indeksli boncuklar ve karışık yüksek indeksli boncuklar) kuru, ıslak ve simule yağmur koşulları için inceleyerek karşılaştırmıştır. Analizlerden, karışık yüksek indeksli boncukların üç koşul içerisinde en iyi performansı verdiği gözlemlenmiştir. Çalışma ile büyük boncuklu kalıcı yüzey kaplamalarının, büyük boncuklu kalıcı yüzey işaretlemeleri ile ıslak yüzey ve yağmurlu hava için karşılaştırılabileceği belirlenmiştir. Çalışma

sonuçlarından ayrıca, kuru koşullar için en kötü performansı büyük boncuklu kalıcı yüzey kaplamalarının verdiği saptanmıştır. Texas Ulaştırma Departmanı (TxDOT) [24] tarafından desteklenen bir başka çalışmada ise Carlson vd. [11, 12] geniş aralıklı yüzey işaretlemelerinin performansını kuru ve ıslak koşullar için incelemiştir. Çalışmada, yükseltilmiş kaplama işaretlemelerine (RRPMs) ek olarak su bazlı trafik boyası, termoplastik, dayanıklı bant, epoxy, polyurea ve methyl methacrylate içeren farklı yol yüzey işaretlemeleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca işaret genişliklerinin 10,2 (4,02 inç) ile 15,2 (5,98 inç) cm olması ile plastik şerit işaretlemelerinin ıslak kaplama yüzeyi durumundaki görünürlüğü de incelenmiştir.

Çalışma sonuçlarından yükseltilmiş kaplama işaretlemeleri için gece ve ıslak yüzey için görüş mesafesi 168 metre olarak ölçülmüştür ki bu değer test edilen diğer malzemelere göre 61 metre daha uzun olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca, dayanıklı bantların yükseltilmiş kaplama işaretlemeleri (RRPMs) dışındaki diğer malzemelere göre daha iyi performans verdiği de gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarından 10,2 cm genişliğindeki şerit çizgilerinin 15,2 cm genişliğindeki şerit çizgilerine göre %30 daha uzun mesafeyi görmeyi sağladığı belirlenmiştir.

Yol yüzey işaretlemelerinin kullanımı işaretleme türlerine göre önemli değişiklikler göstermektedir. Bu işaretlemeler enine, boyuna, sembol, kelime veya özel işaretlemeler olabilmektedir. Burada özellikle boyuna doğrultudaki işaretlemelerin, araçların şerit kullanımı üzerinde etkili olması oldukça önemlidir. Boyuna doğrultudaki işaretlemeler; yol eksen işaretlemeleri, kenar işaretlemeleri ve şerit çizgileri olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan yol eksen işaretlemeleri karşıdan gelen trafik akımlarını ayırmada kullanılır ve sürekli (sarı (ABD'de) veya beyaz renklindedir). Kenar işaretlemeleri bir sürekli şerit çizgisi ya da sürekli ve kesikli çizgilerin birleşiminden oluşmaktadır. Şerit çizgileri ise beyaz veya sarı renkli olmakta ve şeridin kenarını göstermektedir. Şerit çizgileri sollamaya izin verilmeyen bölgeler dışında sürekli olarak kesikli çizgilerden oluşmaktadır. Ayrıca noktalı beyaz çizgiler şerit birleşimlerini göstermek için kullanılmaktadır. Yol yüzey işaretlemelerinin görünürlüğü birçok parametreden etkilenmektedir. Yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre bu

faktörler ana ve diğer parametreler olmak üzere Tablo 1’de verilen şekilde özetlenmiştir [24-26].

Yol yüzey işaretlemelerinin görünürlüğü üzerinde etkili olan anahtar parametreler ve bunların görünürlük üzerinde nasıl bir etkisinin olduğu ise Tablo 2’de detaylı olarak açıklanmaktadır [25].

Tablo 1. Yol yüzey işaretlemelerinin görünürlüğü üzerinde etkili olan ana ve diğer parametreler (Effective main and different parameters on visibility of road surface markings) [24-26]

Ana Parametreler	Diğer Parametreleri
Kaplama işaretleme geri yansımaları	Kaplamanın aşınması
Kaplama yüzey malzemesi	Kaplama işaretleme açısının bozulması
Araç türü	Yol eksen çizgisinin bulunması
Araç ön farı	Şeritler arasındaki yanıl ayırıcılar
Sokak aydınlatması	İşaretlemede geri yansımaya alanının mevcudiyeti
Kenar çizgilerinin varlığı	Ön cam iletimi
Geniş boyuna işaretlemeler	Sürücünün çalışma yükü
Yükseltilmiş yüzey işaretlemelerinin varlığı	Sürücü dikkati
Sürücü yaşı	Ufuk çizgisi/Gökyüzü parlaklığı
Sürücünün algı süresi	Atmosferik iletkenlik
Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT)	Hava koşulları

Tablo 2. Yol yüzey işaretlemelerinin görünürlüğünü etkileyen anahtar parametreler (Key parameters on visibility of road surface markings) [25]

Parametre	Yüzey İşaretlerinin Görünürlüğüne Etkisi
İşaret geri yansımaları (Retroreflektivitesi)	Yol yüzey işareti geri yansımadaki artış sürücünün gördüğü uzunluğu arttıracaktır.
Yol yüzey malzemesi	Yeni asfalt yol yüzey işaretlemeleri için en iyi parlaklık kontrastlığını ve en iyi görünürlüğü sağlar. Yaşlı beton ve asfalt görünürlüğü azaltmaktadır.
Araç tipi	Genellikle araç farı ve sürücü göz hizasının kaplamadan yüksek olması daha iyi görünürlük sağlamaktadır.
Araç farı	Yeni araç farları görünürlüğü arttırmaktadır.
Yol aydınlatması	Yol üzerindeki aydınlatmalar görünürlüğü arttırmaktadır.
Kenar şerit çizgilerinin varlığı	Kenar çizgilerinin eklenmesi işaretlemelerin görünürlüğünü arttırmaktadır.
Geniş boyuna işaretler	Çizgi kalınlığının artması işaretlemelerin görünürlük mesafesini arttırmaktadır.
Yükseltilmiş kaplama işaretinin varlığı	Diğer işaret türlerine göre daha uzun mesafelerden görünebilmektedir. Ayrıca işaretlemelerin görülmesindeki algı süresini azaltmaktadır.
Sürücü yaşı	Yaşlı sürücülerin görsel performansı genellikle düşüktür ve genç bir sürücüye göre aynı uzaklıktaki işareti görebilmek için daha fazla geri yansımaya gerek duyarlar.
Algı süresi	Uzun ön izleme süresi sürücülere daha fazla konfor sağlamaktadır.

3. YOL YÜZEY İŞARETLEMELERİNDE KULLANILAN MALZEMELER (ROAD SURFACE MARKINGS MATERIALS)

Yol kenarı ve yol yüzey işaretlemelerinin yönetimi, ulaşım altyapısı ve trafik güvenliği için oldukça önem teşkil etmektedir. Çünkü yol yüzey işaretlemeleri trafik kazalarını azaltma, şerit disiplinini sağlama vb. birçok olumlu etkiye sahiptir. Fakat yol yüzey işaretlemelerinin yönetiminde karşılaşılan en büyük sorun, yol yüzey işaretlemelerinin ömrüdür. Bu işaretlemeler ortalama 1-8 yıl arasında değişen faydalı ömre sahiptir. Bazı özel malzeme kullanımı ile trafik ve çevresel koşullarda bu süre, daha da uzayabilmektedir. Yol yüzey kaplamalarının

performansını etkileyen birçok sayısal parametre bulunmaktadır. Bunlardan işaretlemelerin genişliği, uzunluğu ve kalınlığı kolaylıkla ölçülebilmektedir. Geri yansımaya özelliğinin performansı ise özellikle gece koşullarında oldukça önem teşkil etmesine rağmen sayısal olarak basit standart yöntemlerle ölçülebilmektedir. Yol yüzey işaretlemelerinin performansı temel olarak görsel ve dayanım parametreleri olarak iki ana kategoriye ayrılarak incelenebilmektedir. Her bir kategoriye ait ana parametreler Tablo 3’te verilen şekilde özetlenmiştir [27].

Tablo 3. Yol yüzey işaretlemelerinin performansını etkileyen parametreler (Effective parameters on performance of road surface markings) [27]

Görsel Faktörler	Dayanım Faktörleri
Zıtlık	İşaretin malzemesi
Geri yansıma özelliği	İşaretin kalınlığı (kenar veya merkez)
Kaplama yüzeyi	Kaplama tipi
Kaplama rengi	Kaplama yüzeyi
İşaret rengi	Trafik hacmi
İşaret tipi	Hava durumu
İşaret boyutları	Bakım aktiviteleri
Araç far tipi	İşaretin konumu (kenar veya merkez)
Bakış geometrisi	Yol geometrisi (yatay kurba, dalgalı alanlar vb.)
Ortamın aydınlatma koşulları	

Sürücülerin güvenliğini, konforunu arttırmak ve maliyeti azaltmak amacıyla son yıllarda özellikle başta ABD olmak üzere birçok ülkede yeni yol yüzey işaretleme malzemeleri geliştirilmiş olup bu malzemeler yetkililerce etkin şekilde kullanılmaktadır. Güney Karolayna/Amerika'da yürütülen bir çalışmada ABD, Porto Riko ve Kolombiya'da faaliyet gösteren ulaşım kuruluşlarının yol yüzey işaretleme malzemelerinde etkin olarak kullandıkları malzemeler bir anket çalışması yapılarak belirlenmiştir. 29 farklı şirket üzerinde yapılan bu ankete ait sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir [27].

Tablo 4. Yol yüzey işaretleme malzemeleri ve genel kullanımı (Road surface marking materials and general utilization) [28]

İşaretleme Malzemesi	Genel (%)	Şehirler Arası (%)
Su Bazlı Boya	90	38
Çözücü Bazlı Boya	38	3
Bant	66	21
Termoplastik	76	34
Epoxy	55	28
Diğer	10	10

Tablo 5'te ise yol yüzey işaretleme malzemelerinde kullanılan sarı ve beyaz renkli malzemelerin servis ömrü ve maliyetleri karşılaştırılmıştır [6]. Tablodan da görüldüğü üzere su bazlı boyalar kurulum ve maliyet açısından en ucuz olmasına

rağmen servis ömrü en az olan yol yüzey işaretleme tipidir. Dolayısıyla da bu tür boyalar sürekli bakım gerektirmektedir. Tablodan ayrıca sarı ve beyaz renkli yüzey işaretleme için kurulum maliyetlerinin aynı olmasına rağmen bakım maliyetlerinin aynı tür yol yüzey işaretleme için farklı olduğu görülmektedir.

3.1. Malzemeler (Materials)

Su Bazlı Boyalar: Kaplama yüzey işaretleme olarak en çok kullanılan malzemelerden birisidir. Fiyat olarak diğerlerine göre daha uygundur ve çevre dostudur. Genellikle hareket eden bir kamyon üzerinden yol yüzeyine püskürtülerek uygulanır. Çizgi kalınlığı araç hızına göre değişmektedir. Kalın su bazlı boyalar, cam boncuklar içermektedir ki bunlar ıslak ve geceleyin görsellik için daha etkilidir. Kaplama yüzeyi gibi görev yapmakta olup oldukça kolay aşınmaktadır. Özellikle, yüksek trafik hacminin olduğu yerlerde görselliğinde çok hızlı şekilde azalma görülmektedir. Bu sebepten dolayı bu boyalar geçici olarak ya da trafik yoğunluğunun az olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Kısa servis ömürlerinden dolayı birçok yetkili kurum, düzenli ölçüm ile yenilemek yerine belirli zaman dilimlerinde yeniden uygulama tercihinde bulunmaktadır [27].

Termoplastik Malzemeler: Termoplastik boyalar uygun fiyatı ve uzun süre dayanım göstermesi sebebiyle yaygın olarak kullanılan yüzey işaretleme malzemeleridir. Çevre dostudur ve farklı şekillerde uygulanabilirler. Yenilenmesi esnasında eskisini sökmeye gerek yoktur. Asfalt kaplamalarda iyi performans göstermesine rağmen beton yollarda efektif değildir. Beton kaplamalarda çatlama yoluyla aşınma ve geri yansıma özelliğinde kayıp gözlemlenmektedir [27].

Önceden Şekillendirilmiş Şerit Bantları: Fabrikada içerisine cam boncuklar entegre edilerek üretilmektedir. Yeni şerit bantları standart işaretleme malzemelerine göre başlangıçta daha fazla geri yansıma özelliğine sahiptir. Fiyatlarından dolayı gerekli yerlerde ve sınırlı şekilde uygulanmaktadır. Bu şeritler genellikle beton yollar ya da trafik hacminin yoğun olduğu yol kesimlerinde kullanılır. Yol yüzeyine iki şekilde uygulanır. Bunlar; gömme ve kaplamadır. Gömme yöntemi yeni yol yüzeyinde uygulanmaktadır. Kaplama yöntemi ise var olan yol yüzeylerine

uygulanmaktadır. Kaplama tipinde şerit bantları bağlayıcı bir malzeme ile yol yüzeyine yapıştırılmaktadır [23]. Bu şeritler genellikle 4 ila 8 yıl arasında bir servis ömrüne sahiptir ve bu süre yol ve çevre koşullarına göre değişiklik gösterebilmektedir [27].

Epoxy: Epoxy boyalar hem asfalt hem de beton kaplamalar için iyi bir adezyona sahip dayanıklı malzemelerdir. Bunlar iki farklı malzemenin uygulama esnasında karıştırılmasıyla oluşmaktadır. İlk bileşen reçine, boya maddesi, genişletici ve astar boyadır. İkinci bileşen ise boyanın yerleşme ve kurummasını hızlandıran katalizör maddedir. Cam boncuklar bazen ilk bileşen olarak hazırlanır ve boya henüz kurumamışken üzerine uygulanır. Epoxy boyalar maliyeti yüksek ve 2 ila 4 yıl arasında servis ömrüne sahiptir. Bu boyalar zaman içerisinde yaşlandıkça ve yoğun ultraviyole ışınlarına maruz kaldıkça rengini kaybetmektedirler. Yetkililer bu

boya türünü daha çok beton yollarda, dayanım ve maliyetinden dolayı trafik akımının yüksek olduğu yol yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Bu boyalar özel ekipmanlar kullanılarak hareket eden bir kamyon üzerinde belirli bir sıcaklıkta karıştırılarak yol yüzeyine püskürtme ile uygulanmaktadırlar [27].

Diğer Malzemeler (Methyl Methacrylate, Polyurea): Methyl methacrylate diğer dayanıklı yol yüzey işaretleme malzemelerinden birisidir. Kullanım alanı oldukça sınırlıdır. Uygulanması diğerlerine göre oldukça kolaydır. Beton ve asfalt kaplamaya kolaylıkla bağlanmaktadır. Polyurea ise yeni, yüksek dayanıma sahip, beton ve asfalt kaplamaya kolaylıkla yapışabilen bir kaplama boyama türüdür. Uygulanması diğerlerine göre özel ekipmanlar gerektirdiği ve yüksek maliyete sahip olduğu için henüz kullanımı çok yaygın değildir [27].

Tablo 5. Yol yüzey işaretlemelerinin maliyeti ve ömrü (Cost and service life of road surface markings) [6]

Malzemenin Türü	Yol İşaretlemeleri Kurulum Maliyeti (TL/Metre)		Yol İşaretlemeleri Hizmet Ömrü (Ay)		Yol İşaretlemeleri Bakım Maliyeti (TL/Metre/Yıl)	
	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Beyaz Renk						
Su bazlı boya	0,7	0,2-2,4	10,4	3,1-17,7	0,9	0,1-9,3
Epoxy	3,1	1,0-7,9	23,0	5,9-40,1	1,7	0,2-16,2
Methyl Methacrylate	14,9	8,5-18,6	14,4	6,8-22,0	12,4	4,6-32,9
Methyl Methacrylate-Desenli	17,6	13,7-21,4	21,0	7,6-34,3	10,0	4,8-33,7
Polyester	1,6	0,6-3,7	24,7	16,9-32,6	0,7	0,2-2,56
Desenli bant	28,4	18,3-37,8	27,4	13,8-41,0	12,4	5,4-32,9
Termoplastik	3,9	1,0-10,4	26,2	12,1-40,3	1,7	0,2-10,2
Termoplastik-Desenli	10,6	4,3-15,9	23,8	11,1-36,6	5,4	1,3-17,2
Sarı Renk						
Epoxy	3,2	1,0-7,9	34,3	19,8-48,9	1,1	0,2-4,8
Methyl Methacrylate	14,9	8,5-18,7	16,8	12,6-21,0	10,6	4,9-17,8
Methyl Methacrylate-Desenli	17,6	13,7-21,4	25,0	19,1-31,0	8,4	5,2-13,4
Polyester	1,6	0,6-3,7	43,8	38,0-49,6	0,5	0,1-1,09
Desenli Bant	28,4	18,3-37,8	30,6	18,7-42,5	11,1	5,1-24,3
Termoplastik	3,9	1,0-10,4	27,5	15,4-39,5	1,7	0,2-8,1
Termoplastik- Desenli	10,6	4,3-15,9	26,7	16,4-37,0	4,8	1,3-11,6

Not: 1 feet 0,30 metredir.

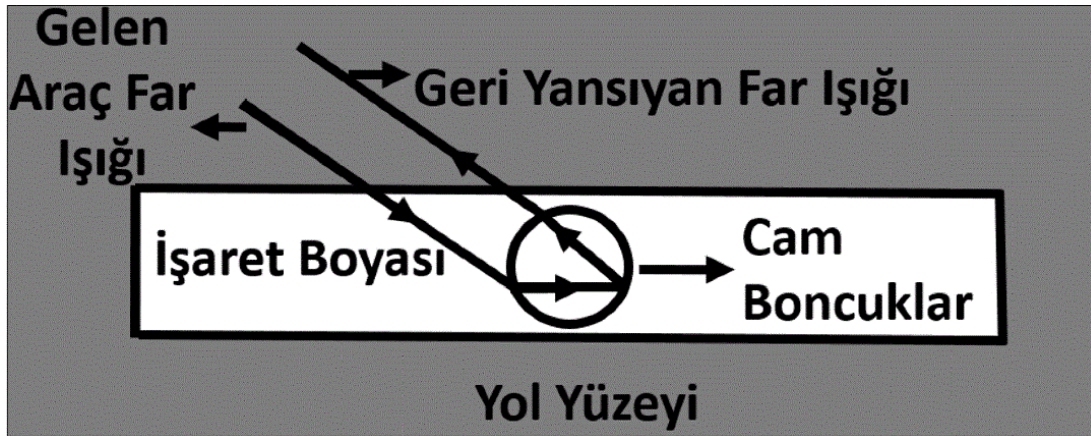
4. YOL YÜZEY İŞARETLEME MALZEMELERİNİN GÖRÜNÜRLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ (MEASUREMENT OF VISIBILITY OF ROAD SURFACE MARKINGS MATERIALS)

4.1. Geri Yansımaya (Retroreflectivity)

Geri yansımaya üzerine herhangi bir yerden gelen ışık yardımıyla malzemelerin parlamasıdır (Şekil 1). Geri yansımaya parlaklığı katsayısı (RL) kaplama yüzeylerindeki işaretlemelerin geri yansımalarını tanımlamak için en çok kullanılan ölçüm yöntemidir. Geri yansımaya ayrıca yüzeye gönderilen aydınlatma miktarına karşılık yüzey tarafından yansıtılan parlaklığın ölçüldüğü bir performans testidir ve parlaklık katsayısı tipik olarak mcd/m²/lux (milikandela/metrekare/lux)

birimi ile ifade edilir. Yol yüzey işaretlemelerinin kalitesi retroreflektometre denilen cihazlar ya da görsel değerlendirme yöntemleri kullanılarak ölçülmekte ve bu ölçümler yansıyan ışığın yoğunluğunu göstermektedir. Trafik işaretlemelerinin parlaklıklarının seviyesi yol yüzey kaplamasının cinsine, gelen ışığın özelliğine, giriş ve gözlem açılarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Giriş açısı (β) ve gözlem açısının (α) detaylı gösterimi Şekil 2’de verilen biçimdedir.

Geri yansımaya ölçüm cihazları bir malzemenin üzerine gelen ışığın ne kadarını yansıttığıyla ilişkilendirilir. Örneğin Şekil 1, yol yüzeyinde bulunan cam boncuklu bir yüzey işaretlemesinin üzerine gelen ışığı nasıl geri yansıttığını göstermektedir. Geri yansımaya ölçümü iki hususa göre yapılmaktadır. Bunlar: kontrastlık oranı ve ölçüm geometrisidir.



Şekil 1. Yol yüzey işaretlemelerinin geri yansımaya (Retroreflectivity of road surface markings)

Kontrast oranı: Yol yüzey işaretlemeleri ve yol kaplaması arasındaki kontrast oranı, işaretlemelerin görünürlüğü için oldukça önemlidir. Gündüz kontrastlığı, kaplama ve yüzey işareti arasındaki renk kontrastıdır. Gece kontrastlık oranı (CR) yüzey işaretlemelerinin geri yansımaya ile onun etrafındaki yol yüzeyi arasında eşitlik 1’de verilen ilişkidir [28].

$$CR = \frac{R_L - R_L(\text{Kaplama Yüzeyi})}{R_L(\text{Kaplama Yüzeyi})} \quad (1)$$

Burada:

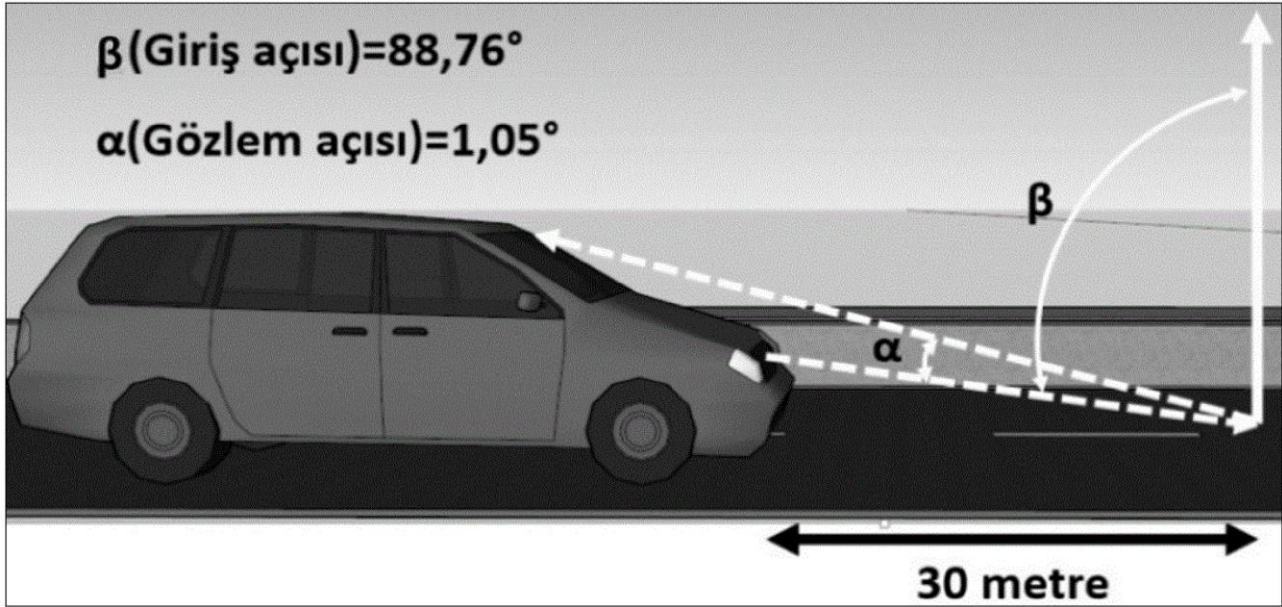
CR : Gece kontrastlık oranı,

$R_L(\text{işaretleme})$: İşaretleme geriyansımaya,

$R_L(\text{Kaplama Yüzeyi})$: Kaplama yüzeyinin geriyansımaya.

Ölçüm geometrisi: Geri yansımaya ölçümde kullanılan geometri 30 metre geometrisidir. Şekil 2’den de görüleceği üzere 30 metre geometrisi 1,05 derecelik bir gözlem ve 88,76 derecelik bir giriş açısına (β) sahiptir (Eş giriş açısı 1,24 derecedir). Avrupa Standart Hazırlama Komitesi (CEN), başlangıç olarak 30 metre geometri standardını hazırlamıştır ve bu değer ASTM E1710 [22] içinde de tanımlanmaktadır. Bu ölçüm standardı yol yüzey işaretlemeleri için minimum geriyansımaya değerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir [27].

Yol yüzey işaretlemelerinin görünürlüğüne ve geriyansımaya etki eden ve zaman içerisinde azalmasına sebep olan birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler Tablo 6’da verilen şekilde özetlenebilmektedir.



Şekil 2. Retroreflektivite ölçümlerinde kullanılan standart 30 metre geometrisi (Standard 30 m geometry used in retroreflectivity measurements)

Tablo 6. İşaretlemelerin performansına etki eden ve azalmasına sebep olan parametreler (Effective parameters on performance of road surface markings) [23]

Görünürlüğüne ve Geri yansımaya Etki Eden Parametreler	Geri yansımının Zaman İçerisinde Azalmasına Sebep Olan Parametreler
Boya malzemesi içerisinde yer alan boncukların sayısı	Cam boncukların, üzerindeki trafik yükü sebebiyle zaman içerisinde yerinden oynaması
Boncukların bileşeni	Oksidasyon ve ultraviyole güneş ışıkları sebebiyle binder tabakasının gradasyonu ve boncukların kaybolması
Boncukların yüzey koşulları ve boncukların boyutları	Renk pigmentlerinin solması sebebiyle yüzey işaretlemelerindeki değişim
Kullanılan binder malzemesi	Binder tabakasının gevşek olması sebebiyle cam boncukların kaplama yüzeyinden ayrılması
Yol kaplaması	Kar küreme ya da kazıma sebebiyle cam boncukların binder tabakasından ayrılması,
Hava koşulları	Kirli ya da ıslak bir yüzeyin boyanarak işaretlemenin yapılması

4.2. Geri Yansımaya Ölçüm Teknikleri (Measurement methods of retroreflectivity)

Görsel Değerlendirme: Yol yüzeyi işaretlemelerinin geri yansımalarını ölçmek amacıyla literatürde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Herhangi bir ölçüm cihazının (el ya da mobil retroreflektometre) bulunmadığı durumlarda etkin şekilde kullanılmaktadır (Şekil

3). Bu yöntemde işaretlemelerin geri yansımaya özelliğinin kalitesi gündüz ve gece için gözlemci ya da gözlemcilerin görsel değerlendirmeleri ile belirlenmektedir. İnsandan kaynaklı hata olabileceğinden dolayı sonuçlarına güvenilen bir ölçüm tekniği değildir. Basit ve hızlı olması, düşük bir maliyet gerektirmesi, herhangi bir ekipman gerektirmemesi, ölçümün kolay olması ve trafik üzerinde çok bir etkisinin bulunmaması nedeniyle birçok avantaja sahiptir [27].



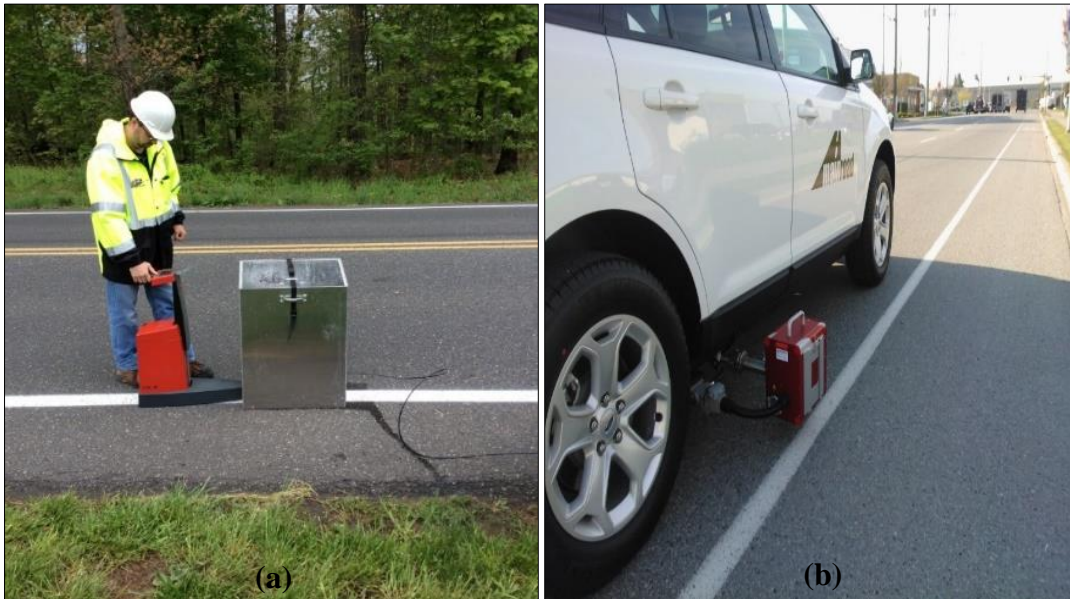
Şekil 3. Yol yüzey geri yansımalarının görsel olarak ölçümü (Visual measurements of road surface retroreflectivity [29])

El Retroreflektometreleri: El ile bir çizgi üzerine yerleştirilerek ve bir çizgi boyunca hareket ettirilerek okumaların gerçekleştirilmesi ile yapılan ölçüm yöntemidir (Şekil 4a). Ölçümler normalde tek kişi ile yapılabilir fakat şerit kapama ya da gelen araç olup olmaması durumunu gözleyebilmek amacıyla ilave görevli gerekebilmektedir. El retroreflektometrelerinin avantajları ve dezavantajları Tablo 7’de verilen şekilde özetlenebilmektedir [27].

Mobil Retroreflektometreler: Yol yüzey işaretlemelerinin performansını sayısal olarak ölçmede kullanılan diğer bir yöntemdir. Araç üzerine yerleştirilen ölçüm cihazı ve ona bağlı bir bilgisayar yardımıyla ölçümler yapılmaktadır (Şekil 4b). El retroreflektometrelerine göre dört

kat daha pahalı cihazlar olup daha fazla eğitim ve bakım gerektirmektedir. Özellikle kaliteli veri toplamak için yeterli eğitim oldukça önemlidir. Bu cihazların avantajları ve dezavantajları Tablo 7’de verilen şekilde özetlenebilmektedir [27].

Yapılan araştırmalardan el ve mobil retroreflektometrelerin ölçümleri ile görsel bazlı yazılımlar arasında kesin bir ilişki olmadığı gözlemlenmiştir. El ve mobil cihazların her ikisi de 30 metre geometrisinin ölçeklendirilmiş versiyonunu kullanmaktadır. Mobil cihazlarda 10 metre ve el cihazlarında 1’er metre aralıklarla ölçüm yapılmaktadır [30]. Fakat bu ölçeklendirmeden kaynaklı olarak gerekli açılar yeterli olmadığından şikâyet edilmektedir.



Şekil 4. (a) El [31] ve (b) Mobil [32] retroreflektometre cihazları ile şerit çizgi kalitesinin belirlenmesi (Measurement of line quality by using hand and mobile retroreflectometer devices)

Tablo 7. El retroreflektometre cihazının avantajları ve dezavantajları (Advantages and disadvantages of hand retroreflectometer device [27])

Cihaz Türü	Avantajlar	Dezavantajlar
El	Basit şekilde kalibre edilebilir.	Özellikle çok şeritli yollarda şerit kapama gerektirebilir.
	Küçük bir eğitim ile ölçüm öğrenilebilir	Ölçüm yapan kişi trafik akımına maruz kalırsa güvenli olmayan durumlar gözlenebilir.
	Güvenli şekilde veri toplanabilir. Mobil olanlar ile kıyaslandığında daha doğru sonuçlar vermektedir.	Toplanan veri sayısı oldukça azdır.
	Mobil retroreflektometrelere göre daha ucuz ve daha kolay bakım yapılabilir. Dış faktörlerden daha az etkilenmektedir	Uzun yüzey işaretlemelerinin performansını ölçmek çok zaman almakta ve oldukça maliyetlidir.
	Küçük yüzey işaretlemeleri için oldukça kolaydır.	Yavaş olarak ölçüm yapmakta ve oldukça maliyetlidir
Mobil	El reflektometrelerine göre daha fazla ve kaliteli veri toplanabilmektedir.	Doğru şekilde kalibre edilmediği ve gerekli ölçüm kurallarına uyulmadığı takdirde oldukça hatalı sonuçlar vermektedir.
	Şerit kapama gerektirmez	Aracı kullanan ve yazılımı kullanan kişi olmak üzere 2 kişi ile gerçekleştirilebilmektedir.

4.3. Yapılmış Çalışmalar ve Elde Edilen Bulgular (Conducted studies and obtained findings)

Yol yüzey işaretlemelerinin servis ömrü genellikle bu yüzey işaretlemelerinin geri yansımaya özelliğinin belirli bir eşik değerin altına düştüğü durum olarak tanımlanmaktadır. Literatürde farklı yol yüzeyi ve hava koşullarına göre malzemelerin,

sürücüler için yeterli görüş mesafesi sağlayan minimum eşik değerleri, en iyi geri yansımaya değerleri ve servis ömürlerini belirlemek amacıyla yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Turner [33] yaptığı çalışma sonucu elde edilen bulgulardan, yol yüzey işaretlemeleri için gerekli olan minimum geri yansımaya değerlerini çeşitli yol sınıfları için Tablo 8’de verilen şekilde önermiştir [33].

Tablo 8. Yol yüzey işaretlemeleri için önerilen minimum geri yansımaya (R_L) değerleri [33]

Seçenek (1)	Otoyol Olmayan ($\leq 64,4$ km/sa)	Otoyol Olmayan ($\geq 64,4$ km/sa)	Otoyol ($\geq 88,5$ km/sa)
Seçenek (2)	($\leq 64,4$ km/sa)	($\geq 72,5$ km/sa)	($\geq 96,6$ km/sa ve > 10000 OGT)
Seçenek (3)	($\leq 64,4$ km/sa)	($72,5-88,5$ km/sa)	($\geq 96,6$ km/sa)
RRPM’li	Beyaz Renk	30 (mcd/m ² /lux) [34]	35 (mcd/m ² /lux) [34]
	Sarı Renk	30 (mcd/m ² /lux) [34]	3 (mcd/m ² /lux) [34]
RRPM’siz	Beyaz Renk	30 (mcd/m ² /lux) [34]	100 (mcd/m ² /lux) Etkiyi azaltmak için birçok sürücü bu değeri seçmiştir.
	Sarı Renk	55 (mcd/m ² /lux)	65 (mcd/m ² /lux)
			150 (mcd/m ² /lux) Düşük hız ile gerekli algı süresini sağlamak için bu değer belirlenmiştir.
			100 (mcd/m ² /lux)

RRPM: Yükseltilmiş kaplama işareti

Bir diğer çalışma kapsamında Zwahlen ve Schnell [34]’in araç hızlarına göre minimum retroreflektivite değerlerini araştırdıkları çalışma sonucunda elde edilen bulgular Tablo 9’da

verilmiştir. Hawkins vd. [35] ise minimum bu geri yansımaya değerlerini hız aralıklarına ve yol sınıflarına göre Tablo 10’da verilen şekilde önermiştir.

Tablo 9. Zwahlen ve Schnell [34]’in önerdiği minimum R_L değerleri [34]

Araç Hızı (km/sa)	Minimum gerekli R_L değerleri (mcd/m ² /lux)	
	RRPM olmadan 3,7 saniye algı süresi	RRPM olan 2 saniye algı süresi
0-40,3	30	30
40,3-58,0	50	30
58,0-74,1	85	30
74,1-90,2	170	35
90,2-106,3	340	50
106,3-120,8	620	70

RRPM: Yükseltilmiş kaplama işareti.

Tablo 10. Hız aralıklarına göre minimum R_L değerleri [35]

İşaret Rengi	Hız Aralıklarına Göre Minimum R _L Değerleri (mcd/m ² /lux)			Yol Sınıflarına Göre Minimum R _L Değerleri (mcd/m ² /lux)		
	≤64,4 km/sa	56,4-80,5 km/sa	≥72,5 km/sa	Yerel ve küçük toplayıcılar	Büyük toplayıcılar ve arterler	Otoyollar, Çevreyolları ve diğer tüm yollar ≥88,5 km/sa
Beyaz	Var	80	100	Var	80	100
Sarı	Var	65	80	Var	65	80

Bir başka çalışmada ise Debaillon vd. [25] hedefin görseelliğini tahmin eden (TARVIP) senaryoları ile kaplama tipine (Tablo 11) ve TARVIP senaryoları ile algı süresine (Tablo 12) göre minimum geri yansımaya değerlerinin belirlemiştir.

Loetterle vd. [36] 2000 yılında Minnesota'da geri yansımaya sınıflandırmak amacıyla yürüttüğü çalışmada, sürücülerin geri yansımaya değerleri önceden ölçülmüş bir yolda gece ve kuru hava koşullarında sürüş testi yaparak, kenar ve yol eksen çizgilerinin kalitesini değerlendirmiştir.. Bu çalışmada sürücüler, her iki yöndeki her bir işaretin geri yansımaya ve çizgi tipini 1'den 5'e kadar değerlendirmişlerdir (1=Çok Kötü; 2=Kötü; 3=İyi; 4= Çok İyi; 5=Harika). Sürücülerin

verdikleri puanlara göre bu yol için geri yansımaya değeri yaklaşık olarak 200 mcd/m²/lux olarak ölçülmüştür. Debaillon vd. [25] ise çalışmasında yükseltilmiş ve tamamen işaretsiz yol yüzeyleri için minimum geri yansımaya değerini 40 mcd/m²/lux olarak belirlemiştir.

Farklı malzeme karakteristiklerine, kaplama türlerine, hava koşullarına göre geri yansımaya için bir eşik değeri belirlemek amacıyla yukarıda bahsedildiği gibi son yıllarda birçok çalışma yapılmasına rağmen kesin bir eşik değeri ne yazık ki belirlenememiştir. Yine de yapılan araştırmalara göre en uygun eşik değerlerin beyaz çizgiler için 150 mcd/m²/lux ve sarı çizgiler için 100 mcd/m²/lux olduğu önerilmektedir [7].

Tablo 11. Kaplama tipine ve TARVIP senaryolarına göre elde edilen minimum R_L değerleri (mcd/m²/lux) [25]

RRPM Senaryosu	İşaretleme Türü	Kaplama Tipi	Araç Hızı (km/sa)	Araç Tipi	
				Otomobil	Kamyon/Tır
Yok (2,20 s süresi)	YCL-WEL (Sarı EksenÇizgisi-Beyaz Kenar Çizgisi)	Asfalt	64,4	32	37
			88,5	52	56
			112,7	92	86
		Beton	64,4	26	30
			88,5	47	47
			112,7	88	79
	WEL (Beyaz Kenar Çizgisi)	Asfalt	64,4	88	86
			88,5	223	188
			112,7	492	379
		Beton	64,4	81	77
			88,5	215	176
			112,7	491	363
	YCL (Sarı Eksen Çizgisi)	Asfalt	64,4	94	83
			88,5	249	189
			112,7	577	391
		Beton	64,4	87	75
			88,5	241	176
			112,7	575	374

Tablo 12. Farklı algı (sürücünün çizgileri fark etme) sürelerine ve TARVIP senaryolarına göre gerekli minimum R_L değerleri (mcd/m²/lux) [25]

Algı Süresi (Saniye)	Hız (km/sa)		
	64,4	88,5	112,7
1,5	25	30	40
2,0	29	43	72
2,5	37	69	135
3,0	51	112	248
3,5	72	184	441
4,0	102	294	735

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ (EVALUATION AND RESULT)

Yol yüzey işaretlemeleri, yol kenar işaretlemeleri ile birlikte sürücülerin özellikle gece vaktinde güvenli şekilde araç kullanmalarını sağlayan en önemli görsellerden birisidir. Yapılan literatür taramasından da görüldüğü üzere bu işaretlemelerin, uzun mesafeli geri yansımaya özelliğine ve daha uzun dayanıma sahip olması için birçok çalışma yürütülmüş ve halen de yürütülmeye devam etmektedir. Yapılan araştırmalardan da açıkça görüldüğü üzere yüzey işaretleme yapılacak yoldaki araç hızına, sürücülerin algı (intikal reaksiyon) süresine, kaplamanın türüne ve yolun sınıfına göre farklı özelliklerde malzemeler geliştirilmektedir. Çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde buradaki ana amacın, yüzey işaretleme yapılacak yolun karakteristiklerine göre en ekonomik, en uzun dayanıma sahip olan ve en efektif yüzey işaretleme tipinin geliştirilmesi olduğu görülebilmektedir. Çalışmalardan ayrıca, ülkemizde olduğu gibi çoğunlukla soğuk boya olarak bilinen boya tipinin yerine, yolun karakteristiklerine göre farklı özelliklere sahip boya ya da kaplama malzemelerini kullanmanın en doğru karar olduğu belirlenmiştir. Retroreflektivite ile kaza sayıları arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok çalışma yol yüzey işaretlemelerinde yeterli geri yansımaya özelliği olmasının kaza sayılarını geceleyin, kuru ya da ıslak koşullarda azalttığını göstermiştir. Bu çalışmalara göre ayrıca yola bakım yapılmasının, yol yüzey ve kenar işaretlemelerinin olmasının ve yol yüzeyinin aydınlatılmasının birlikte uygulanmasının gece kazalarını %50 ve gece yapılan hataları ise %28 oranında azalttığı saptanmıştır [6, 26]. Birçok farklı çalışmadan elde edilen bu sonuçlar, özellikle yüzey işaretlemelerinin geri yansımaya özelliğinin sürekli yüksek tutulmasının ne kadar gerekli ve ne kadar hayati bir önem sahip olduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla ülkemizde bu tür malzemelerin kullanımının yaygınlaşması, trafik kazalarını önleyerek can ve mal kayıplarının azalmasına doğrudan ve pozitif bir katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Trafik Kaza İstatistikleri, Ankara, 2015.
- [2] M. M. Aydın, A. Topal ve S. Tanyel, “Çok şeritli yollarda yol yüzey bozukluklarının sürücü davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesi”, *TMMOB 10: Ulaştırma Kongresi, Bildiri Kitapçığı*, Sayfa 413–425. İzmir, Türkiye, Eylül 2013.
- [3] M. M. Aydın ve A. Topal, “Effect of road surface deformations on lateral lane utilization and longitudinal driving behaviours”, *Transport*, cilt 31 no. 2, pp.192-201, 2016.
- [4] P. Hatzi, “Retroreflectivity: Raising the nighttime brightness of traffic signs and markings”. 2015 FHWA/Safety HAS-1. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.Safety.fhwa.dot.gov/fourthlevel/pdf/overview.pdf>. [Erişim: 20 Ekim 2016].
- [5] Minnesota Department of Transportation (MDoT) “Minnesota statewide highway systems operation plan 2005”. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dot.state.mn.us/maintenance/docs/HSOP%20Final%20Report%208-17-05.pdf>. [Erişim:20 Ekim 2016].
- [6] J. Migletz, ve J. Graham, “Long-term pavement-marking practices (NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 306)”, Washington, DC: *National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board*, 2002.

- [7] A. R. Abbas, P. Sarker ve A. Frankhouser, "Performance evaluation of wet pavement markings in Ohio". *Public Works Management & Policy*, cilt 19 no.2, pp. 180-197, 2014.
- [8] A. M. Pike, H. G. Hawkins ve P. J. Carlson, "Evaluating the retro-reflectivity of pavement-marking materials under continuous wetting conditions", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, cilt 2015, pp. 81-90, 2007.
- [9] T. Schnell, F. Aktan ve Y. C. Lee, "Nighttime visibility and retro-reflectance of pavement markings in dry, wet, and rainy conditions", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, cilt 1824, pp. 144-155, 2003.
- [10] F. Aktan ve T. Schnell, "Performance evaluation of pavement markings under dry, wet, and rainy conditions in the field", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, cilt 1877, pp. 38-49, 2004.
- [11] P. J. Carlson, J. D. Miles, M. P. Pratt ve A. M. Pike, "Evaluation of wet-weather pavement markings: First year report (Report No. 0-5008-1)". College Station: Texas Transportation Institute, Texas A&M University, 2005.
- [12] P. J. Carlson, J. D. Miles, A. M. Pike ve E. S. Park, "Evaluation of wet-weather and contrast pavement-marking applications: Final report (Report No. 0-5008-2)". College Station: Texas Transportation Institute, Texas A&M University, 2007
- [13] B. R. Gibbons, C. Andersen ve J. Hankey, "Wet night visibility of pavement markings: A static experiment", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, cilt 1911, pp. 113-122, 2005.
- [14] W. N. Craig, W. E. Sitzabee, W. J. Rasdorf ve J. E. Hummer, "Statistical validation of the effect of lateral line location on pavement-marking retro-reflectivity degradation", *Public Works Management & Policy*, cilt 12, pp. 431-450, 2007.
- [15] B. R. Gibbons ve J. Hankey, "Wet night visibility of pavement markings: Dynamic experiment", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, cilt 2015, pp. 73-80, 2007.
- [16] L. Higgins, J. D. Miles, D. Burns, F. Aktan, M. Zender ve J. M. Kacsmarczik, "Nighttime visibility of prototype work-zone markings under dry, wet-recovery, and rain conditions". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, cilt 2107, pp. 69-75, 2009.
- [17] J. K. Lindly ve A. Narci, "Evaluation of double-drop beads pavement edge line (UTCA Report Number 05409)" Tuscaloosa: University Transportation Center for Alabama, 2009.
- [18] L. Sasidharan, V. Karwa ve E. T. Donnell, "Use of pavement-marking degradation models to develop a pavement-marking management system", *Public Works Management & Policy*, cilt 14, pp. 148-173, 2009.
- [19] J. Robertson, W. Sarasua, J. Johnson ve W. Davis, "A methodology for estimating and comparing the lifecycles of high-build and conventional waterborne pavement markings on primary and secondary roads in South Carolina", *Public Works Management & Policy*. Advance online publication, 2012.
- [20] H. Fu ve C. G. Wilmot, "Evaluating alternative pavement marking materials", *Public Works Management & Policy*, cilt 18, 279-297, 2013.
- [21] W. E. Sitzabee, E. D. White ve A. W. Downing, "Degradation modeling of polyurea pavement markings", *Public Works Management & Policy*, cilt 18, pp. 185-199, 2013.
- [22] ASTM International. "Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer", Designation E1710-05. West Conshohocken, PA, 2005.
- [23] Texas Department of Transportation (TxDOT). Pavement Marking Handbook, August 2004.
- [24] He, Y., T. Schnell, P.J. Carlson ve C. D. Debailon. Updates to Research on Recommended Minimum Levels to Pavement marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs. Technical Memorandum No. 1. Prepared for Federal Highway Administration, United States Department of Transportation, Washington, D.C., September 2006.
- [25] C. Debailon, P. J. Carlson, Y. He, T. Schnell ve F. Aktan, "Updates to research on recommended minimum levels for pavement marking retroreflectivity to meet driver night

- visibility needs (No. FHWA-HRT-07-059)", 2007.
- [26] K. Shahata, H. Fares, T. Zayed, M. Abdelrahman ve F. Chughtai, "Condition rating models for sustain- able pavement marking". *Transportation Research Board 2008 annual meeting. January 2008*, US. Washington DC: Transportation Research Board, Paper #08-0018, 2008.
- [27] R. J. Benz, A. M. Pike, S. P. Kuchangi ve Q. Brackett, "Serviceable pavement marking retroreflectivity levels: Technical report (No. FHWA/TX-09/0-5656-1)". Texas Transportation Institute, Texas A & M University System, 2009.
- [28] W. A. Sarasua, D. B. Clarke ve W. J. Davis, "Evaluation of Interstate Pavement Marking Retroreflectivity", Clemson University, Report number FHWA-SC-03-01, April 2003.
- [29] Worldhighways, 2003 "Reflective road markings". Available from: [Çevrimiçi]. Available: <http://www.worldhighways.com/categories/road-markings-barriers-workzone-protection/features/reflective-road-markings-improve-visibility-safety/> [Erişim: 20 Ekim 2016].
- [30] C. Holzschuher ve T. Simmons, "Mobile Retroreflectivity Characteristics for Pavement Markings at Highway Speeds", Research Report FL/DOT/SMO/05-486. Florida Department of Transportation, May, 2005.
- [31] Guidemark, Inc. 2016. "Retro-Reflectivity Testing", [Çevrimiçi]. Available: <http://guidemarkinc.com/retro-reflectivity-testing/> [Erişim: 20 Ekim 2016].
- [32] Mainroad 2016. "Mobile retroreflectometers". [Çevrimiçi]. Available: http://mainroad.ca/wp-content/uploads/2014/05/WP_002424.jpg [Erişim: 20 Ekim 2016].
- [33] J. D. Turner, "Pavement marking Retroreflectivity: Research Overview and Recommendations". Unpublished report, FHWA, Office of Safety and Traffic Operations Research and Development. 1999.
- [34] H. T. Zwahlen ve T. Schnell, "Pavement marking Visibility Research and Proposed Values for Minimum Required Pavement marking Retro Reflectivity". Unpublished report, Department of Industrial and Systems Engineering, Ohio University Athens, Ohio. August, 1998.
- [35] H. G. Hawkins, G. Schertz, J. Carlson ve R. Beck. "Minimum Levels of In-Service Retroreflectivity for Pavement markings: Summary of Workshop Findings". Federal Highway Administration, August 2000, unpublished report.
- [36] F. Loetterle, R. Beck ve J. Carlson, "Public perception of pavement marking brightness", *Transportation Research Record* cilt 1715, pp. 51–59, 2000.