

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YATAY İŞARETLEMELERDE KULLANILAN CAM KÜRECİKLERİNİN
GÖRÜNÜRLÜK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi ÇERGEL

EKİM 2008

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YATAY İŞARETLEMELERDE KULLANILAN CAM KÜRECİKLERİNİN
GÖRÜNÜRLÜK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Ezgi ÇERGEL

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02.09.2008
Tezin Savunma Tarihi : 09.10.2008**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR
Jüri Üyesi : Doç.Dr. Sultan ÖZTÜRK
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK**

Enstitü Müdürü : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde bu yüksek lisans tezi çalışmasının gerçekleşmesinde, birlikte çalışmaya başladığımdan itibaren bana yön gösteren, çalışmalarım boyunca hiçbir konuda desteğini esirgemeyen, görüş ve önerileriyle katkıda bulunan, gerek Yüksek Lisans tezim, gerek mastır öğrenimim boyunca ve gerekse diğer ulaştırma konularında birikimi ve tecrübesini benden esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR' a saygıyla en içten teşekkür ve şükranlarımı arz ederim.

Bu çalışmaya sağduyu ile yaklaşan, görüş ve önerileriyle katkı koyan başta sayın Karayolları 10.Bölge Müdür Yrd. Baki ÇOBANOĞLU'na, Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü Trafik servisinde çalışmakta olan engin birikimi ve tecrübesinden yararlandığım örnek insan Makine Yüksek Mühendisi İlhan BULUT'a ve Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü eski Trafik şefi İnşaat Mühendisi Kenan EREN'e içtenlikle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Araştırma projesi olarak sunulan bu çalışmanın hayata geçirilmesinde, çalışma süresince, gerekli olan soğuk yol çizgi boyası, cam küreciği malzemesini temin ettiğimiz Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü' ne teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ülkemizde trafik güvenliğinin sağlanması, can ve mal kaybını en aza indirmesi için; teknolojik gelişmeleri, uluslararası standartlara ve Avrupa uyum yasalarına göre düzenlenen "KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ" ini hazırlayarak bize ışık tutan Karayolları Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Beni yetiştirip bugünlere gelmemi sağlayan ve sabırla destek olan, çalışma süresince ihmal ettiğim aileme ve benden desteğini esirgemeyen nişanlıma sonsuz güveni için en içten sevgiyle, teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Ezgi ÇERGEL
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yatay İşaretlemede Kullanılan Boya Çeşitleri.....	2
1.2.1. Soğuk Yol Çizgi Boyaları.....	2
1.2.1.1. Soğuk Yol Çizgi Boyasının Avantajları.....	2
1.2.1.2. Soğuk Yol Çizgi Boyasının Teknik Özellikler.....	2
1.2.2. Termoplastik Yol Çizgi Boyaları.....	3
1.2.2.1. Termoplastik Yol Çizgi Boyasının Avantajları.....	5
1.2.2.2. Termoplastik Yol Çizgi Boyasının Teknik Özellikleri.....	5
1.2.2.3. Termoplastik Boya Bileşenleri.....	6
1.2.2.4. Thermolit D3 Tropikal.....	6
1.2.2.5. GRS Termoplastik Yol Çizgi Boyası.....	7
1.2.3. Çift Kompenantlı Yol Çizgi Boyası.....	8
1.2.3.1. Çift Kompenantlı Yol Çizgi Boyasının Avantajları.....	9
1.2.3.2. Çift Kompenantlı Yol Çizgi Boyasının Teknik Özellikleri.....	10
1.2.4. Hazır Yatay İşaretleme Çözümleri.....	10
1.3. Yatay İşaretleme Yapılırken Dikkat Edilecek Hususlar.....	11
1.3.1. Temel Özellikler.....	11
1.3.2. Islak Film Tabakası.....	11
1.3.3. İşaretleme Aracındaki İşaretleme Düzensizlikleri ve Muhtemel Sebepleri.....	12
1.3.4. Yatay İşaretleme Gereksinimleri.....	14

1.4.	Şerit Genişlikleri ve Kalınlıkları	15
1.5.	Işık	15
1.5.1.	Işığın Kırılması	16
1.5.2.	Küresel Yüzelerde Kırılma	16
1.5.3.	Düzlem Aynalar	17
1.5.3.1.	Yansıma	17
1.5.3.2.	Görüş Alanı	19
1.6.	Cam Küreciği	19
1.6.1.	Cam Küreciği Tarihi	20
1.6.2.	Geri Yansıma	22
1.6.3.	Cam Küreciklerinin Çalışma Prensibi	23
1.6.4.	Cam Küreciklerinin Gömülme Derinliği	24
1.6.5.	Cam Küreciklerinin Üretim Metodları	27
1.6.6.	Kürecik Özellikleri	28
1.6.7.	Cam Küreciklerin Yüzeye Tatbiki	29
1.6.8.	Yansıma ve Dayamıklılık Arasındaki İlişki	30
1.6.9.	Cam Küreciği Çeşitleri	30
1.6.9.1.	A Sınıfı Cam Küreciği	31
1.6.9.2.	B Sınıfı Cam Küreciği	32
1.6.9.3.	EN1423'e Göre Cam Küreciği	34
1.6.9.4.	EN 1424' e Göre Cam Küreciği	35
1.6.10.	Ülkemizde Kullanılan Cam Küreciği Miktarı	37
1.7.	Reflektometre Aleti	37
1.8.	Standartlara Göre Gündüz Görünürlük	38
1.9.	Standartlara Göre Gece Görünürlük	39
1.10.	Performans Deneyleri Sonucunda Elde Edilmesi Gereken Değerler	39
1.11.	Karayolları Ağı	40
1.12.	Ülkemiz Yol Ağının Her Yıl İhtiyacı Olan Yatay İşaretleme Maliyeti	40
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	45
2.1.	Deneyde Kullanılan Malzemeler	45
2.1.1.	Demir Sac	45
2.1.2.	Soğuk Yol Çizgi Boyası	46
2.1.3.	Cam Küreciği	46

2.2.	Deneyde Kullanılacak Boya ve Cam Küreciği Miktarının Belirlenmesi	46
2.3.	Deneysel Çalışmanı	47
2.4.	Reflektometre Aletinin Kalibrasyonu	49
3.	BULGULAR VE İRDELEME	54
3.1.	0,3 mm Kalınlığında 43,2 gr Boya Tabakası Taşıyan Sac Levhaların Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeme	54
3.2.	0,3 mm Kalınlığında 43,2 gr Boya Tabakası ve 14,4 gr Cam Küreciği Taşıyan Sac Levhaların Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeme	56
3.3.	Elde Edilen Bulgulara Göre Sonuçların İrdelenmesi	59
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
5.	KAYNAKLAR	64

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Son yıllarda artan araç sayısına bağlı olarak trafik kazalarında büyük artış gözlenmekte olup toplumumuz için büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Bundan dolayı, trafik güvenliğinin sağlanmasına yönelik olarak, yol üzerine, kalıcı veya geçici olan, yüksek dayanıklılık ve görünürlüğe sahip, sürücülerin gündüz ve gece her türlü hava koşullarında güvenli araba kullanmalarını sağlayan yatay işaretleme işlemi yapılmaktadır.

Yatay işaretlemeler, trafik güvenliğinin vazgeçilmez bir unsuru olduğundan verimliliğinin artırılabilmesi için yeni buluşlara ve deneylere açık bir konudur. Bundan dolayı yatay işaretlemelerin görünebilirlik fonksiyonunu arttırabilmek için birçok deney yapıldı ve yapılmaktadır. Bu deneyler sonucunda yatay işaretlemelerin görünürlük performansını özellikle gece görünürlüğünü arttırabilmek için boya üzerinde “cam küreciği”nin kullanılması gerektiği anlaşıldı. Bugün tüm dünyada yol şeritlerinin gece görünürlüğünü sağlamak için cam kürecikleri kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında, cam küreciklerin, yatay işaretlemelerin gündüz ve gece görünürlükleri üzerinde ki etkisi öğrenmek için yansıtma performansının ölçümünde reflektometre aleti kullanılarak yapılan çalışmalar sonunda en ideal verilere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yatay İşaretleme, Soğuk yol çizgi boyası, Cam küreciği, Reflektometre aleti

SUMMARY

The Examination of Visibility Performance of Glassbeads that are Used Horizontal Marking

In recent years, it is observed that the number of traffic accidents is increasing in relation to the increased number of vehicles. For this reason, the horizontal marking is being carried out to provide traffic safety .

Since the fact that the horizontal marking is the indispensable part of traffic safety, it is open to the new discoveries and inventions to increase efficiency. Therefore, a large number of tests has been done to improve the visibility function of horizontal markings. As a result of these tests, it was understood that “ glass beads on road paint” have to be used to improve visibility at night. Today, the glass beads is used to improve night visibilty on road lanes all over the world.

In this study, by using reflectometer instrument to measure the reflection performance derives from glassbeads, thrown on a paint, the most ideal outputs have been supplied to determine the effects of glass beads on visibility of day and night.

Key Words: Horizontal marking, Cold road line paint, Glass beads, reflectometer.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yatay işaretlemede termoplastik boya uygulaması	4
Şekil 2. GRS Termoplastik yol çizgi boyası uygulaması	7
Şekil 3. İki komponentli boya yardımıyla uygulanan hız kesiciler	9
Şekil 4. Işığın kırılması.....	16
Şekil 5. Küresel yüzeylerde kırılma.....	17
Şekil 6. Işığın yansımaları. Gelen ışın, yansıyan ışın, N normal, α gelme açısı, β ise yansıma açısıdır	18
Şekil 7. Birbirine paralel gelen ışınların yansımalarının düzgün yansıma sonucunda ki paralellikleri.....	18
Şekil 8. Pürüzlü yüzeye çarpan ışınların dağınık yansıması görülmektedir.....	19
Şekil 9. Aynaya bakan gözlemci aynanın uç noktalarına gelen ışınların arasında kalan bütün cisimleri aynada görür	19
Şekil 10. Cam kürecikli yatay işaretleme, cam küreciksiz yatay işaretleme	21
Şekil 11. Cam küreciksiz yol.	22
Şekil 12. Cam kürecikli yol	22
Şekil 13. Işığın cam küreciği içerisinde kırılması	23
Şekil 14. Boyama sırasında çok geç atılan cam küreciği	25
Şekil 15. Boya şeridi içerisindeki yetersiz cam küreciği.....	25
Şekil 16. Boya şeridi içerisindeki yetersiz cam küreciğinin büyüteç altındaki görüntüsü	26
Şekil 17. Yeterli gömülü derinliğe sahip cam kürecikleri	26
Şekil 18. 15 mil ıslak boya tabakası üzerine serpilen kürecikler	27
Şekil 19. 8 mil kuru boya tabakası üzerine serpilen kürecikler.....	27
Şekil 20. Homojen şekilde dağılmış cam küreciği bulunan yatay işaretleme	29
Şekil 21. Homojen şekilde dağılmış, fakat yetersiz cam kürecik dağılımı	29
Şekil 22. Yetersiz ve homojen dağılım gösteremeyen cam küreciği bulunan düşey çizgi	30
Şekil 23. A sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı	32
Şekil 24. B sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı	33
Şekil 25. EN 1423 sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı	35

Şekil 26. EN 1424 sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı	36
Şekil 27. 60*40 cm' lik sac levhalar	45
Şekil 28. Cam küreciği serpilmiş zımparalanmamış boya	48
Şekil 29. Cam küreciği serpilmiş zımparalanan boya	48
Şekil 30. Reflektometre aleti	50
Şekil 31. Reflektometre aleti kalibrasyon montesi	50
Şekil 32. Reflektometre aleti kalibrasyon ekleri	53
Şekil 33. 0,3 mm Kalınlığında boya atılan saç üzerindeki deney sonuçları	56
Şekil 34. 0.3 mm kalınlığında 43.4 gr boya ve 14,3 gr cam küreciği atılan saç üzerinde yapılan deneylerin sonuçları.....	58

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Parlaklık faktörü	3
Tablo 2. UV ile yaşlandırmadan sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları	3
Tablo 3. Kusma direnci deneyinden sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları.....	3
Tablo 4. Termoplastik yol çizgi boyasının teknik özellikleri	6
Tablo 5. Termoplastik boya bileşenleri	6
Tablo 6. Thermolit D3 tropikal boyanın teknik özellikleri	7
Tablo 7. Çift kompenantlı yol çizgi boyasının teknik özellikleri	10
Tablo 8. A sınıfı cam küreciği (BS 6088–1981)	31
Tablo 9. B sınıfı cam küreciği(BS 6088–1981)	33
Tablo 10. EN 1423' e uygun cam küreciği	34
Tablo 11. EN 1424' e sınıfı cam küreciğinin elek analizi	36
Tablo 12. Performans Deney Sonuçları	39
Tablo 13. Soğuk Yol Çizgi Boyası Fiyat Analizi	41
Tablo 14. Termoplastik Yol Çizgi Boyası Fiyat Analizi	41
Tablo 15. Çift Kompenantlı Yol Çizgi Boyası Fiyat Analizi	42
Tablo 16. Satış Cinsine göre Yolağı	42
Tablo 17. Bölünmüş Yollar	43
Tablo 18. Karayolları ağ uzunluğu	43
Tablo 19. Yatay işaretleme kalite formu	54
Tablo 20. 0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakasının gece ve gündüz görünürlük aritmetik ortalamaları	55
Tablo 21. Yatay işaretleme kalite formu	57
Tablo 22. Tablo 26. 0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya ve 14,4 gr cam küreciği tabakasının gece ve gündüz görünürlük aritmetik ortalamaları	58

SEMBOLLER DİZİNİ

AASHTO	: Amerika Eyalet Yolları ve Ulaşım Çalışanları Kurumu
ASTM	: Amerika Test ve Malzeme Kurumu
B	: Aydınlanma faktörü
d	: Paralel yüzlü camın kalınlığı
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
EN	: Avrupa Standardı
Mcd/lx.m ²	: Işık şiddeti katsayısı
n	: Kırılma İndisi
N	: Gelme açısı ile yansıyan açı arasındaki normal doğrusu
RI	: Yansıma endeksi
RI, RL	: Yatay işaretlemenin gece görünürlüğü
SRT	: Kayna direnci
TSE	: Türk Standartlar Enstitüsü
UV	: Ultraviyole ışın
V	: Işığın yayılma hızı
Y	: Lüminans
q	: Işıklandırma faktörü
QD	: Yatay işaretlemenin gündüz görünürlüğü
α	: Gelme açısı
β	: Yansıma açısı
μm	: Elek açıklığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Karayollarında, trafik güvenliğinin sağlanmasına yönelik olarak, şerit ve kenar çizgilerinin çizilmesi, yaya geçitlerin çizgi ile belirtilmesi, çok şeritli yollarda kavşak yaklaşımlarındaki uygun şerit seçimini gösterecek okların çizilmesi; kavşaklarda, orta kaldırım başlangıçları ve adaları sınırlayan bordürlerin gece görünümünü sağlamak için boyanması, ayrılma ve katılma şeritlerinin işaretlenmesi, park yerlerinin çizilmesi, orta kaldırım yaklaşımının işaretlenmesi, dönüş adaları yaklaşımının işaretlenmesi vb. yatay işaretleme işleminin yapılmasına “yatay işaretleme” denir [1]. Başka bir deyişle taşıt yolunu şeritlere ayırarak araçların düzenli ve güvenli bir şekilde seyretmelerini sağlamak amacıyla kaplama üzerine çizilen çizgilerdir [2]. Yatay işaretlemede kullanılan işaretler Karayolları Genel Müdürlüğü'nün ilgili Şartnamelerine ve yayınlanmış standartlara uygun olmalıdır [3]. 2005 tarihinde Türkiye’de meydana 83 788 adet yaralanmalı kaza meydana gelmiştir [4]. Bu yatay işaretlemenin önemini vurgulamaktadır.

Yatay işaretler şu yararları sağlar:

- Trafiği kavşak ve yollarda yönetir.
- Şeritleri belirtir, böylece yolların emniyetini ve kapasitesini yükseltir.
- Yaya geçitleri çizgileri ile yaya emniyetini sağlar.
- Kavşak içindeki bordürlerin görünmesini sağlar.
- Bazı yerlere araçların girmemesi gerekirse buraları işaretler (kapalı saha).
- Kavşak girişlerinde ve içlerinde araçların nerede duracaklarını belirleyerek kavşak içi karmaşasını önler.

Yatay çizgilerinin avantajının yanında, trafiğin etkisi ile çabuk silinmesi, yere çizerken trafiğin etkisi altında çalışmak zorunluluğu gibi sakıncaları vardır. En iyisi yol ve kavşakları hem düşey hem de yatay işaretlerle donatmaktır [5].

1.2. Yatay İşaretlemede Kullanılan Boya Çeşitleri

1.2.1. Soğuk Yol Çizgi Boyaları

Soğuk yol çizgi boyası asfalt ve kaplama yüzeylere rulo ile sürülmek veya özel çizgi makineleri ile püskürtülmek sureti ile uygulanan ve üzerine serpilmiş cam kürecikleri ile ışığı yansıtan bir boyadır. İçinde kullanılan pigmentin cinsine bağlı olarak farklı renklerde uygulanabilirler. Solvent esaslı olan bu tip boyalar genelde 0,35–0,80 mm kalınlıkta özel makineler vasıtasıyla püskürtme sistemi ile tatbik edilir. Ömürleri yolun yapısına, üzerinden geçen trafiğe bağlı olarak 6–12 ay arasındadır.

Soğuk yol çizgi boyaları; asfalt, beton, mozaik vb. yüzeylerde rahatlıkla kullanılır. Ayrıca kaldırım bordür taşlarının boyanması için çok idealdir. Çizgi, ok, yaya geçidi, harf ve sayı uygulamaları rahatlıkla yapılabilir. Başlıca kullanıldığı alanlar: Şehir içi ve dışı yollar, endüstriyel alanlar, imalathane ve depolar, havaalanları ve tersaneler, otoparklar, siteler ve alışveriş merkezleridir [6].

1.2.1.1. Soğuk Yol Çizgi Boyasının Avantajları

- Uygulamasının kolay olması.
- UV ışınlarından ve diğer atmosfer şartlarından etkilenmemesi.
- Kir, toz, egzoz, yağdan etkilenmemesi.
- Yenilenmesi gerektiğinde eski boyanın üzerine uygulama yapılabilmesi [6].

1.2.1.2. Soğuk Yol Çizgi Boyasının Teknik Özellikleri

Viskozite	25 °C de 70–90 KU
Aydınlanma Faktörü	Beyaz min.% 83, sarı min.% 58
Kuruma Süresi	20–30 dak
Uygulama Kalınlığı	0,35–0,80 mm [6].

Soğuk yol çizgi boyaları, TS EN 1871, "Yol İşaretleme–Fiziksel Özellikler" standardında belirtilen esaslara ve aşağıda tanımlanan teknik özelliklere uygun olacaktır.

TS EN 1871 standardında tanımlanan parlaklık faktörü Tablo 1’de, UV ile yaşlandırmadan sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları Tablo 2’de, kuma deneyinden sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları Tablo 3’de belirtildiği şekilde olmalıdır [1, 7]. Parlaklık faktörü için aşağıda Tablo 1’de verilen sınıflar geçerlidir.

Tablo 1. Parlaklık faktörü [1]

Renk	Sınıf	Parlaklık Faktörü (β)
Beyaz	LF7	$\geq 0,85$
Sarı	LF2	$\geq 0,50$

UV ile yaşlandırmadan sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları aşağıda Tablo 2’de belirtildiği gibi olacaktır.

Tablo 2. UV ile yaşlandırmadan sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları [1]

Renk	Sınıf	$\Delta\beta$
Beyaz ve Sarı	UV-1	$\leq 0,05$

Kuma direnci deneyinden sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları aşağıda Tablo 3’de belirtildiği gibi olmalıdır.

Tablo 3. Kuma direnci deneyinden sonra parlaklık faktöründeki fark sınıfları [1]

Renk	Sınıf	$\Delta\beta$
Beyaz ve Sarı	BR-1	$\leq 0,03$

1.2.2. Termoplastik Yol Çizgi Boyaları

Termoplastik Yol çizgi boyası tamamen katı olarak üretilen, toz ve granül haldeki hammaddelerden meydana gelen, Solvent içermeyen, üretimde ve uygulamada çevreye ve

çalışanlara hiçbir zararlı etkisi olmayan, depolama ömrü uzun ve yol uygulamalarında son derece dayanıklı bir işaretleme malzemesidir [8].

Termoplastik yol çizgi boyası; toz, plaka ve topak halde bulunan, ısıtılarak eritildikten sonra, belirli bir serme hızıyla yol yüzeyine, üzerine cam kürecikleri dökülerek sıcak olarak uygulanır. Termoplastik boya; yol yüzeyi ile gerekli yapışmayı normal yol kaplama sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra sağlar [1].

Termoplastik yol çizgi boyası, yansıtma gücünü, çizgi kalınlığını ve genişliğini koruyarak trafik altında deformasyona dayanan, trafik işaretlerini her türlü yol yüzeyine çizmekte kullanılan homojen bir boyadır. Termoplastik yol çizgi boya içerisinde üretim aşamasında katılan en az %20 oranında cam küreciği ihtiva eder. Aynı zamanda çizgi imalatında ise uygulanan yüzeye retroreflektivite değerlerini sağlamak amacıyla Drop-on cam küreciği atılmaktadır.

Termoplastik yol çizgi boya spray ve serme olarak iki farklı şekilde uygulanır. Sprey uygulamalar 0,9 mm ile 2 mm arasında ki, serme uygulamalar ise 2mm ile 4mm kalınlığında ki uygulamalar için kullanılır. Boyanın yol yüzeyine uygulanması özel olarak tasarlanmış makinelerde ısıtıldıktan sonra değişik usullerle yapılabilir. Bunlardan en çok tercih edilen uygulama şekli eritilmiş boyanın spray şeklinde püskürtülerek uygulanmasıdır [9]. Şekil 1’de serme aparatı ve ekstruder ile eritilmiş termoplastik boyanın uygulaması görülmektedir.



Şekil 1. Yatay işaretlemede termoplastik boya uygulaması [10].

Termoplastik boya uygulamalarında prensip, 180-200 C ‘a kadar ısıtılmış boyayı sıcak olarak yol üzerine püskürterek yolun bitümlü kısımlarını yumuşatıp boya ile gerekli adezyon kuvvet sağladıktan sonra hemen sertleşerek görünür bir tabaka elde etmektir. Beton zeminlere ve eskimiş asfalt yollara Termoplastik boya tatbik edilmek istenirse bağlayıcı bir astar tabakası uygulamasına gerek olabilir.

Termoplastik yol çizgi boyasının en önemli özelliklerinden birisi de gece görünürlüğünün yüksek olmasıdır. Termoplastik boyadaki bu özellik üretim sırasında içerisine karıştırılan ve uygulama sırasında çizgi makinesinde bulunan özel aparatlarla boya yüzeyine tatbik edilen yansıtma özelliği olan cam küreciklerdir. Bu cam kürecikler yoldan geçmekte olan araçtan boya üzerine düşen far ışıklarını sürücüyeye yansıtarak güvenli bir yolculuk yapmasını sağlar.

Toz haldeki termoplastik yol çizgi boyası solventle inceltilmeyip ısı ile hal değişimine uğratılarak sıvı halde kullanıldığı için, uygulamadan en çok 3 dakika sonra tekrar katı hale geçer ve yolun trafiğe açılmasına bir engel teşkil etmez [8].

Termoplastik yol çizgi boyları uygulama yönteminden başka uygulama yapılacak yolun asfalt kalitesi;

- Yolun coğrafi konumu
- Coğrafi bölgenin iklim şartları
- Uygulama yapılacak olan mevsime göre formülasyonları hazırlanır [9].

1.2.2.1. Termoplastik Yol Çizgi Boyasının Avantajları

- Gece ve gündüz görünürlüğünün yüksek olması.
- Yola yapışma özelliğinin iyi olması.
- Doğaya ve çevreye zararsız olması.
- Kuruma süresinin kısa olması .
- Düşük maliyetli olmasıdır [6].

1.2.2.2. Termoplastik Yol Çizgi Boyasının Teknik Özellikleri

Sentetik reçine bazlı sprey edilebilir Termoplastik yol çizgi boyasının teknik özellikleri Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4. Termoplastik yol çizgi boyasının teknik özellikleri [6]

Lüminans	Kolay uygulanabilir, yüksek beyazlık, uzun ömürlü 75 den büyük (Y değeri)
Viskozite	20 °C de katı, 200 °C de sprey edilebilir
Spesifik Gravite	1,8 – 2,2 g/cm ³
Kayma Direnci	55 S.R.T. den büyük
Kuruma Süresi	1 dak.
Yumuşama Noktası	99 °C
Flaş Noktası	240 °C
Uygulama Kalınlığı	1 – 2 mm
Uygulama Sıcaklığı	180 – 220 °C

1.2.2.3. Termoplastik Boya Bileşenleri

Termoplastik boya bileşenleri Tablo 5’de belirtildiği gibi olmalıdır.

Tablo 5. Termoplastik boya bileşenleri [1]

Bileşenler	Beyaz	Sarı
Bağlayıcı	en az 18	en az 18
Cam küreciği	30-40	30-40
Titanyum dioksit	en az 10	---
Kalsiyum karbonat ve dolgular	en çok 42	*
Sarı pigmentler	---	---
* sarı pigmentler ve dolgu maddelerinin miktarı, üretici tarafından boyanın diğer özelliklerini karşılayacak şekilde belirlenecektir.		

1.2.2.4. Thermolit D3 Tropikal

Sentetik reçine tabanlı sprey edilebilir termoplastik yol çizgi boyası, özellikle tropikal iklimli bölgeler için uygun olup teknik özellikleri Tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 6. Thermolit D3 tropikal boyanın teknik özellikleri [6]

Lüminans	Kolay erime, yüksek beyazlık, uzun ömürlü 70 den büyük (Y değeri)
Viskozite	Oda Sıcaklığında katı, 170 °C de akışkan
Spesifik Grafite	2,04 g/cm ³
Kayma Direnci	45 S.R.T. den büyük
Kuruma Süresi	2 dak.
Flaş Noktası	240 °C
Uygulama Kalınlığı	2 – 5 mm
Uygulama Sıcaklığı	160 – 180 °C

1.2.2.5. GRS Termoplastik Yol Çizgi Boyası

GRS termoplastik yol çizgi boyası TS 11180 'e uygun olarak üretilmektedir. Avrupa kalitesinde üretilen “GRS termoplastik yol çizgi boyası” EN 1802 de tanımlanan malzemelerle üretilmekte olup fiziksel özellikleri EN 1871'e ve yol performansı EN 1436'ya uygundur.

Toz boyalarda, karışıma giren hammaddelerin farklı yoğunlukta olmaları ve tane büyüklüklerinin de farklı olmalarından dolayı sorun olan homojen karışımda ürün elde edememe durumu “GRS termoplastik yol çizgi boyasında yoktur. 25 kg' lık her ambalaj, homojen bir karışım elde edilecek özellikte üretilip torbalanmıştır. GRS termoplastik yol çizgi boyası'nı benzeri ürünlerden ayıran en önemli üstünlüğü budur.

GRS termoplastik yol çizgi boyası imalatında, performansı yüksek reçine ve diğer özellikli kimyasal ürünler kullanılarak boyanın yol yüzeyinde çabuk kirlenmesi önlenmiştir. Şekil 2'de GRS termoplastik yol çizgi boyasının uygulaması görülmektedir.



Şekil 2. GRS termoplastik yol çizgi boyası uygulaması [8].

Kullanılacağı yerdeki iklim şartları göz önünde bulundurularak her ülke ve bölgenin iklim özelliklerine uyacak üretimler yapılmaktadır [8].

1.2.3. Çift Komponentli Yol Çizgi Boyası

İki kompenantlı yol çizgi boya, bağlayıcı olarak metilmetakrilat esaslı reaktif reçineler kullanılarak yapılan, ultraviyole ışınlarına karşı koruyucu ve katalizör katılmasıyla hazır duruma gelen plastik boyadır. Bu boya, (+5 °C) ile (+35 °C) sıcaklık arasında kuru ve temiz yola tatbik edilebilir ve uygulama yapılan yol 10–30 dakika içerisinde trafiğe açılabilir. Boya, 45 dakika sürede bünyesindeki fiziksel ve kimyasal tüm işlemleri bitirmiş ve son halini almış olur. Bu şekilde elde edilen ürün çok iyi adezyon kuvvet özelliklerine ve aşınmaya karşı yüksek dayanıklılığa sahip olur. Boya, kimyasal maddelerden ve mevcut trafikten dolayı kaplama üzerine düşen yağlardan ve yakıtlardan hiçbir şekilde etkilenmez. Ömürleri yolun yapısına ve üzerinden geçen trafiğe bağlı olarak 24–36 ay arasındadır [9].

2005 yılında meydana gelen trafik kazalarının büyük bir kısmında aşırı hız; doğrudan ya da dolaylı olarak karşımıza çıkan önemli bir nedendir. Hızda meydana gelen küçük artışlar vahim kazalara neden olur [4]. İki kompenantlı yol çizgi boya trafik dolaşımının yoğun olduğu yerlerde uyarı ve hız kesici amaçlı olarak kullanılabilir. "Profil atlama" olarak isimlendirilen sistemde iki kompenantlı boya özel aparatlar yardımıyla yola tatbik edilir. Şekli itibariyle araçlar üzerinden geçtiğinde araçta hafif sarsılma meydana getirerek ve lastiklerden ses çıkmasına yol açarak sürücüyü uyarır. Bu şekilde araç sürücüsü hızını düşürerek daha güvenli bir sürüş sağlar. Şekil 3'de gösterilen profil atlamalar daha çok yavaşlanması gereken kavşaklardan önce, banket ve ofset çizgilerinde uyarı amaçlı kullanılır.



Şekil 3. İki kompenantlı boya yardımıyla uygulanan hız kesiciler [6]

İki kompenantlı boya yardımı ile uygulanan diğer bir sistem de "hız kesici" lerdir. Hız kesiciler yol boyunca sürüş yönüne dik olarak uygulanırlar ve girintili çıkıntılı yüzeyi sayesinde profil atlama ile aynı şekilde sürücüyü uyarırlar. Fakat çıkardığı ses ve sarsma etkisi daha hafiftir. Profil atlamadan farklı olarak, tehlikeli virajlara yaklaşımadan önce uyarı amaçlı olarak kullanılırlar.

İki kompenantlı yol çizgi boya her aracın üzerinden geçtiği; yaya geçitleri, stop çizgisi ve hız kesici çizgiler için ideal tek çözümdür [6].

Trafik yoğunluğunun yüksek olduğu ve yüksek dayanıklılık gerektiren uygulamalarda kullanılan bu sistemler elastik yapıları itibarı ile sıcak ortamlarda hareket eden yüzeylerde deformasyona uğramadan performans devamlılığı gösterir [11].

1.2.3.1. Çift Kompenantlı Yol Çizgi Boyasının Avantajları

- Solvent içermez ve doğaya zarar vermezler
- Sembol uygulaması kaliteli ve kolaydır
- Aşınmaya karşı dayanıklı ve uzun ömürlüdür

- Yüksek kayma direncine sahiptir
- Birçok renk alternatifi ile uygulama yapılabilir [11].

1.2.3.2. Çift Kompenantlı Yol Çizgi Boyasının Teknik Özellikleri

Çift kompenantlı yol çizgi boyasının teknik özellikleri Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 7. Çift kompenantlı yol çizgi boyasının teknik özellikleri [6]

Spesifik ağırlık	1.85 – 2.05 gr/cm ³
Kayma Direnci	Asgari 45, azami 55 SRT
Uygulama Kalınlığı	Serme 0,8 – 3 mm, Püskürtme 0,4 – 0,8
Uygulama Sıcaklığı	5–35 °C
Karıştırma Ölçüleri	% 1–2 Sertleştirici

1.2.4. Hazır Yatay İşaretleme Çözümleri

Yüksek performanslı ısı ile çalışan hazır yatay işaretler, yaya geçitleri, kavşaklar, otoparklar, otoyollar, havaalanları, şantiyeler, çocuk parkları gibi alanlarda kullanılır.

İşaretleme malzemeleri zorunlu olarak; yapıştırıcı, renklendirici, dolgu malzemesi ve muhtemelen çözücü, kuru kimyasallar, yumuşatıcılar ve önceden karıştırılmış cam kürecikler ve kayma önleyici agrega içerir. Birden fazla unsurlu işaretleme malzemesi kullanılması durumunda temel malzemeye hızlandırıcı ilave edilir.

İlave malzeme ise; primer, inceltici karışımlardır. Dökmeli malzemeler ise; dökmeli camlar ve dökme önleyici agregadır.

Bu işaretleme; kaplamalı yollarda, banketlerde ve benzeri yüzeylere uygulanmış diğer trafik alanlarında kullanılabilir (park alanları ve fabrika iç yolları gibi).

Kapalı otoparklar, fabrika rampaları veya havaalanı pistleri değişik kaplamalara sahiptir [9].

1.3. Yatay İşaretleme Yapılırken Dikkat Edilecek Hususlar

1.3.1. Temel Özellikler

Boyanın, “yeterince beyaz, ışığı geri yansıtıcı ve kirlenme direnci sayesinde her türlü ışık altında yeterince algılanabilirlik, her türlü hava şartlarına uygunluk, tabana iyi yapışabilme, üzerinden geçmesi muhtemel ağırlığın yaratacağı aşınma itibariyle yeterince aşınmaya mukavim olması boyanın temel özelliklerindedir [2, 9].

1.3.2. Islak Film Tabakası

Boyadan imal edilen işaretlemenin ıslak tabaka (film) kalınlığı onun yatay izdüşümü uzunluğudur. Bunda, düzgün (tam yatay) bir satıh esas alınır ve boya üzerine (elle)atılan dökme malzemeler dahil edilmez.

Islak film kalınlığı sadece trafik yönünden gelecek aşınmaya göre değil; zemin yapısına göre de belirlenir. Ağır yapılı kaplamalarda ilk defa uygulanan işaretleme 0,4 mm-0,6 mm olmalıdır. Eğer yol sathı belirgin bir şekilde pürüzlü ise aplikasyon 2 tabaka olarak ve tercihen birbirinin aksi yönlerden uygulanması gerekmektedir. Eski bir işaret üzerine yeniden yapılan işaretleme 3 mm kalınlık yeterli olabilir.

Karayolları Teknik Şartnamesine [1] göre; Islak tabaka kalınlığı; ihale şartnamesinde öngörülen kalınlıktan (genellikle 0,3 mm) $\pm 0,05$ mm daha aykırı (ince veya kalın) olmamalıdır. Çizginin tamamı boyunca ıslak tabaka kalınlığında bariz aykırılıklar olmamalıdır.

Bu arada bahsi geçen $\pm 0,05$ mm' lik tolerans, esasen 0,3 mm olan ıslak tabaka kalınlığından %17' lik bir farklılığa (aykırılığa) izin verilebileceği anlamına gelmektedir. Bu husus, Karayolları Genel Müdürlüğü Bölgelerinde kullanılmakta olan tatbik makinelerinin istenen ıslak tabaka kalınlığı elde etmede ki hassasiyet güçlüklerinin giderilememiş olmasından dolayı mazur görülmektedir. Dahası, halen mevcut ölçme sistemleri ile 0,05 mm'den daha küçük boyutlarda ki ıslak tabaka kalınlıklarının ölçümlerinin yeterince hassas olarak yapılamamasıdır.

Çizgi tülü boyunca istenen tabaka kalınlığı ancak tarif edilebilir, rakamlarla ifade edilemez. Netice olarak, boya üzerine serpilene maddelerin farklılığı, değişikliği, batma oranları (cam küreciklerinin her noktaya aynı miktarda düşmemesi ve aynı miktarda

gömülmemesi) ve değişik kuruma süreleri nedeniyle, tabaka kalınlıklarında ki aykırılıklar kaçınılmazdır.

Ayrıca serpme malzemenin fonksiyonunu yerine getirip getirmemesi tabaka kalınlığına bağlıdır. Çok ince tabakalar, serpilene malzemeyi iyi yapıştırmadığı gibi çok kalın tabakalar da serpilene malzeme aşırı gömüldüğü için görülmez [9] .

1.3.3. İşaretleme Aracındaki İşaretleme Düzensizlikleri ve Muhtemel Sebepleri

1. Düzensizlik: Yetersiz boya durumu.

Sebebi: Yetersiz boya, püskürtme iğnesi çok alçak, tank basıncı çok düşük, atomize tank basıncı çok düşüktür ya da aşırı ağdalık (örneğin düşük basınç altında).

2. Düzensizlik: Tabancanın püskürtmeme durumu.

Sebebi: Boya veya inceltici bitmiş olduğu ya da inceltici vanasında kaçak olduğu için kanalda hava vardır.

3. Düzensizlik: Çizginin bir yanının daha kalın olması durumu.

Sebebi: Atomize memenin bir yanı tıkalı, hava püskürtme deliklerinden bir kısmı kapalı, meme kırılmış, atomize meme eğilmiş veya gevşemiş, tabancanın konumu yanlış, iki tabanca kullanılıyor ise; ayarları yanlış, boya yoğunlukları farklı, verilen havalar farklı olabilir.

4. Düzensizlik: Çizgi ortasında kalınlık olması durumu.

Sebebi: Meme kanalı tıkalı(boya kurumuş),meme bozuk(örneğin gevşemiş),atomize hava basıncı çok düşüktür.

5. Düzensizlik: Çizgi kenarları çok ince olması durumu.

Sebebi: Tabanca çok alçaktan tutulmuş, meme püskürtme açısı çok dar, meme kanalı tıkalı (boya kurumuş), atomize hava çok azdır.

6. Düzensizlik: Çizgi kenarlarının sökülmesi durumu.

Sebebi: Tabanca yanlış konumda (etki noktası çizgi kenarının önüne veya arkasına geliyor (dönen disk), boya çok fazla, boya çok ince (az ağdalı), dönen disklerde tutukluk vardır.

7. Düzensizlik: Boyanın gelmemesi durumu.

Sebebi: İnceltici sisteminde sızıntı var, boş bekleme sırasında inceltici kanalda yoğunlaşmıştır.

8. Düzensizlik: Çizgi kenarlarının puslu olması durumu.

Sebebi: Atomize hava çok fazladır ya da boya çok incedir (az ağıdalı).

9. Düzensizlik: Çizgi başı-sonu genişlemiş olması durumu.

Sebebi: Tabanca ve dönen disk eşzamanlı çalışmaması, tabancanın disklerden önce püskürtmesi veya tersi, tabancanın açılışının veya kapanışının çok yavaş olması, boya iğnesinin yavaş işliyor olması veya hasarlı oluşu, hava kontrolünün arızalı olması halinde, markör işleyişi (kaldırma ve indirme) çok yavaş, taşıtın hızının ise normalin üzerinde olması.

10. Düzensizlik: Dönen diskin boya izi bırakıyor olması durumu (şerit veya damla halinde).

Sebebi: Boya şeritleyicinin iyi kapanmaması, aşırı püskürtmeye bağlı olarak disklerde aşırı miktarda boya birikmiş olması ve tabancanın çok yüksek veya eğrilmiş olması.

11. Düzensizlik: Damlacıkların dağılımı düzensiz (bulutlu) olması durumu.

Sebebi: Dönen disklerin kayıyor olması, damlacık dağıtımının kapalı olması, serpm malzemesinin toprağa bağlı olması, püskürtme çarkının boşluğa sıkışmış olabilme durumu halinde ya da kuvvetli yan rüzgar varsa.

12. Düzensizlik: Damlacıklar çizgi kenarına veya merkeze yığılmış olması durumu.

Sebebi: Damlacık dağıtıcısı veya tabancası ortalı olmaması halinde, yan rüzgar varlığından, çizgi kalınlıkları eşit olmamasından (ince tarafa damlacıklar gömülüyor olması), damlacık tabancasının kirli veya dağıtıcının arızalı olması.

13. Düzensizlik: Boyanın şerit başına yapışmamış hali ve şişkinlik olması.

Sebebi: Tank ve markörde ısını çok düşük olması, sadece markörün ısısının çok düşük zira aşırı yağlı soğutma varlığı, yağ tıplarının yeterince açılmaması, pompanın arızalı olması, tanktaki yağın yetersiz olması, taşıtın hızının normalin üstünde olması, yol platformunun tozlu veya kumlu olması ya da yol platformunun çok soğuk olması.

14. Düzensizlik: Çizgi yüzeyinde boşlukların olması durumu (şerit).

Sebebi: Meme kanalının tıkalı olması (boya kurumuş), markör kanalının ucuna yabancı madde veya kurumuş boya kabuğu sıkışmış olma ihtimali.

15. Düzensizlik: Çizgide çözülme ve kırıntılı kenarlar durumu.

Sebebi: Malzemenin çok soğuk, taşıtın hızının normalin üstünde, çizgi kalınlığı çok ince ayarlanmış olması.

16. Düzensizlik: Çizgi yüzeyinin çok pürüzlü ve kenarların kırıntılı olma durumu.

Sebebi: Malzemenin çok soğuk olması durumu.

17. Düzensizlik: Çizgide kabarcıklar bulunması.

Sebebi: Malzemenin çok ısıtılmış, yol sathının çok nemli olması (yapışma güçlüğü var).

18. Düzensizlik: Çizgi boşluklarından damla izleri ve yıpranmış çizgi sonları

Sebebi: Kapak iyi kapanmamış; araya yabancı maddeler sıkışmış, basınç silindiri çok yavaş işliyor.

19. Düzensizlik: Çizgi kenarlarında şişkinlik, yuvarlanmış köşeler bulunması durumu.

Sebebi: Malzemenin çok sıcak veya malzeme çok ince olması.

20. Düzensizlik: Çizgi kenarında boya izlerinin bulunması.

Sebebi: Markör askısının çok yüksek(sürücünün altında yabancı madde var), yol sathı çok kırışık, markörün çok yavaş işliyor olması, stabilizenin bitmiş veya yanlış yerleştirilmiş olması (eğilmiş).

21. Düzensizlik: Çizgide kayma durumu.

Sebebi: Yol sathı kırışık olması hali.

22. Düzensizlik: Çizgi boyunda farklılıklar bulunması.

Sebebi: Malzemenin çok ısıtılmış ya da yol sathının nemli oluşu (yapışma güçlüğü var), [9].

1.3.4. Yatay İşaretleme Gereksinimleri

Trafik düzeninin sağlanması ve yol emniyetinin yerine getirilmesindeki fonksiyonunu tam olarak başarabilmek, ekonomi ilkelerine uygun olmak ve gereksiz trafik müdahaleleri yaratmamak için işaretlemelerin şu gereksinimleri karşılaması gerekir [9]:

- İyi tanımlanmış geometrik boyutlandırma olmalıdır. Yani çizginin eni, boyu, sembol, yazı ve rakamların ebatları verilen toleransı aşmamalıdır.
- Gündüz görünürlüğünün sağlanabilmesi için işaretleme yeterince beyaz, ışığı geri yansıtma (retrorefleksiyon) ve kirlenme direnci (kir ve pas tutmama özelliği) yüksek olmalıdır.
- Her türlü ışık altında yeterince görünür olmalıdır.
- Kaymaya yeterince dirençli olmalıdır.

- Tabana iyi yapışan, her türlü hava şartına ve kar mücadelesi amacıyla yola atılan tuza dayanıklı olmalıdır.
- Aşınmaya dayanıklı olmalıdır.
- Uygulamadan sonra yolun hemen trafiğe açılabilmesi için kuruma süresi kısa olmalıdır.
- Sürüş güvenliği ve drenaj teknikleri nedeniyle yol sathında çok fazla kabarıklık yapmaması gereklidir.
- Yol yüzeyinde kaplamayı bozucu etkisi olmamalı dolayısıyla boya içerisinde klor ve benzol bulunmamalıdır. Çünkü klor iyonları betonarme yollarda çatlaklardan donatıya ulaşırsa donatıyı paslandırabilir ve yüzeyde ufalanmalar meydana gelebilir, benzol ise insanda kansorejen etkisi olduğundan birçok alanlarda olduğu gibi yol boyalarında da kullanılmamaktadır.
- İş ve çevre güvenliğinin sağlanması için işçi koruma ve çevre yasalarında öngörülen yasaklı kimyasallar içermemelidir.
- İşaretleme malzemeleri depolanmaya yeterince elverişli olmalı ve kolaylıkla işlenebilmelidir [12].

1.4. Şerit Genişlikleri ve Kalınlıkları

- Yüzeye uygulanan işaretlemelede ± 5 mm.den fazla
- Dahili işaretlemelede ± 10 mm.den fazla olmamalıdır.

Boyuna kesikli işaretlemelede şerit boyu 50 mm den daha kısa olmamalı ve belirlenen boydan 150 mm daha uzun boyda olmamalıdır.

Bir çizgi ve bir boşluktan oluşan şerit tekrarının boyu, belirtilen boydan ± 50 mm'den fazla olmamalıdır [9].

1.5. Işık

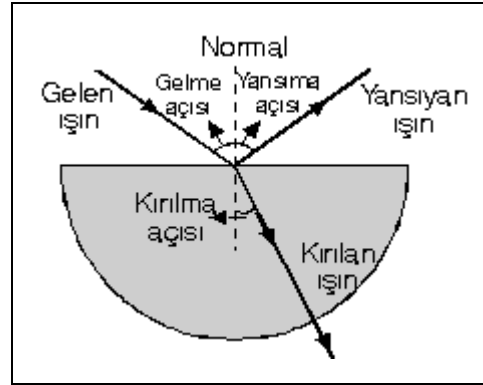
Işık, maddenin fiziksel yapısındaki atomik etkileşim sonucu meydana gelen, ışılan bir enerji türüdür. Kaynağından çıktıktan sonra bütün yönlere dağılır ve dalgalar şeklinde ilerler. Herhangi bir objenin görülebilmesi için ya kendisinin bir ışık kaynağı olması ya da üzerine düşen herhangi bir ışığı yansıtması gerekir [13].

Çalışmamızın amacı bu kuraldan yola çıkarak cam küreciklerinin yatay işaretlemelerin gece görünürlükleri üzerindeki etkisini bulmaktır. Çünkü cam kürecikleri üzerlerine gelen ışığı kırarak geri yansıtır ve boyanın gece görünürlüğünü artırır [Bak Şekil 15, 17 18].

Kırılma ışığın bükülmesidir [14]. Bu nedenle ilk önce kırılma kanunlarının bilinmesi gerekmektedir.

1.5.1. Işığın Kırılması

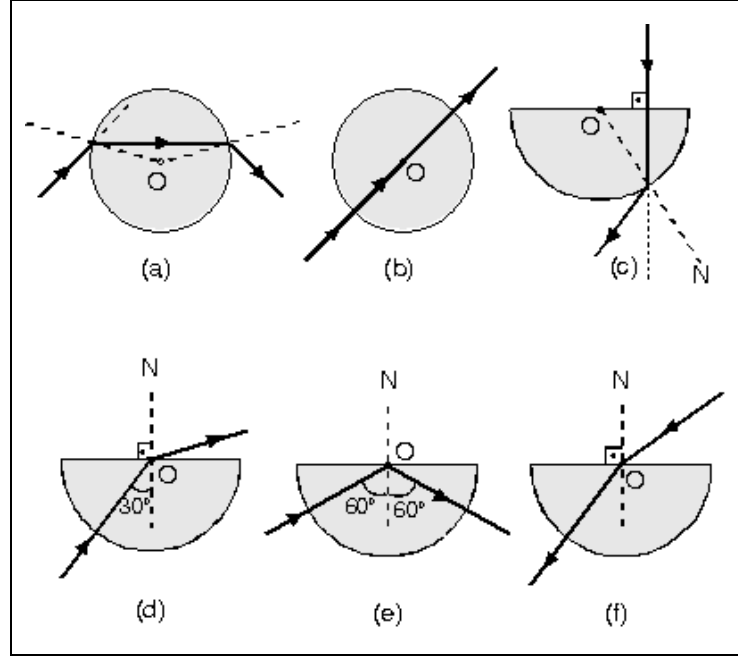
Işık ışınları saydam bir ortamdan başka bir saydam ortama geçerken ışınların bir kısmı yansıyarak geldiği ortama dönerken bir kısmı da ikinci ortama, doğrultusu ve hızı değişerek geçer. Işığın ikinci ortama geçerken doğrultu değiştirmesine ışığın kırılması denir (Şekil 4).



Şekil 4. Işığın kırılması [15].

1.5.2. Küresel Yüzeylerde Kırılma

Küresel camlara gönderilen ışık camdan geçerken kırılmaya uğrar. Önce girişte normale yaklaşır. Çıkarken de normalden uzaklaşarak kırılır. Burada unutulmaması gereken olay, küresel yüzeylerde merkezden geçen bütün doğruların normal olduğu ve normal üzerinden gelen ışınların kırılmayacağıdır (Şekil 5).



Şekil 5. Küresel yüzeylerde kırılma [15]

Şekil (e) de açı 45° den büyük olduğu için tam yansımıştır. Şekil (f) de ise ışık yarım kürenin merkezine gelmesine rağmen normal üzerinden gelmediği için kırılmıştı.

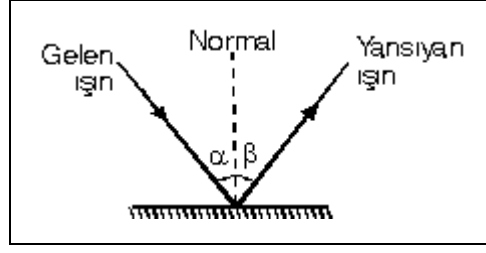
Fakat çıkarken kürenin merkezinden geçecek şekilde geldiği için normal üzerinden doğrultu değiştirmeden çıkar [15].

Cam kürecikleri yuvarlak üretilirler. Bunun nedeni sadece yuvarlak küreciklerin ışığı kırarak kaynağına geri yansıtma olmasıdır [14]. Cam kürecikler üzerine ulaşan ışınlar kürecik yüzeylerine farklı noktalardan çarpabilir ve Şekil 'da ki gibi kırılma farklılıklarını oluşturabilirler.

1.5.3. Düzlem Aynalar

1.5.3.1. Yansıma

Saydam ortamda hareket eden ışığın herhangi bir yüzeye çarpıp geri dönmesine yansıma denir. Yansıma olayında ışığın rengi, frekansı, hızı yani hiçbir özelliği değişmez. Sadece hareket yönü değişir.



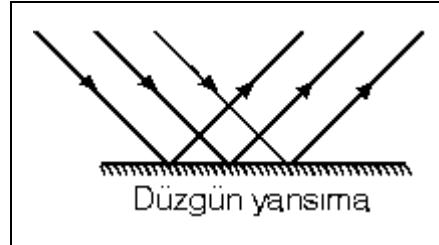
Şekil 6. Işığın yansıması. Gelen ışın, yansıyan ışın, N normal, α gelme açısı, β ise yansıma açısıdır [15]

Bir yüzeyele 90^0 lik açı yapan dikmeye yüzeyin normali denir. Gelen ışınla normal arasındaki açıya gelme açısı α , yansıyan ışınla normal arasındaki açıya da yansıma açısı β denir. Şekil 6'da ışığın yansıma olayı görülmektedir.

Yansımanın iki yasası vardır:

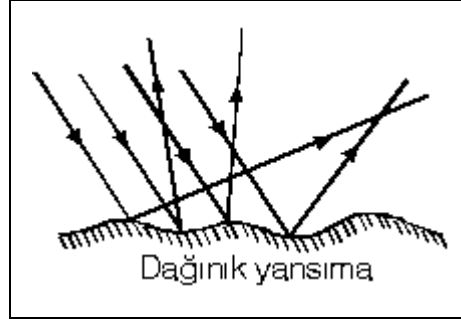
1. Gelen ışın, normal ve yansıyan ışın aynı düzlemedir.
2. Gelme açısı yansıma açısına eşittir. ($\alpha = \beta$)

Işınlardan geldiği yüzey şekildeki gibi düzgün olursa, bu yüzeyin her noktasında normaller birbirine paraleldir. Şekildeki gibi gelen ışınların gelme açıları birbirine yansıma açıları da birbirine eşit olur.



Şekil 7. Birbirine paralel gelen ışınların yansımalarının düzgün yansıma sonucunda ki paralellikleri [15]

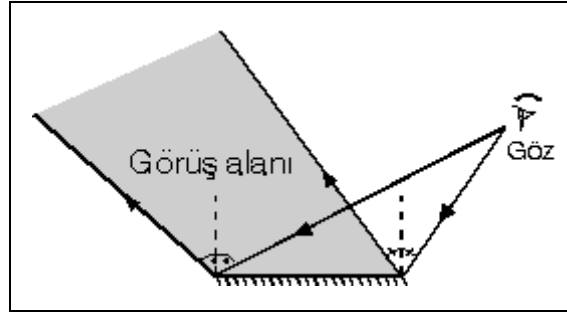
Bundan dolayı yüzeye birbirine paralel gelen ışın demeti, yüzeyden de birbirine paralel olarak yansır. Şekil 7'de de görüldüğü gibi bu yansıma düzgün yansıma denir. Eğer yüzey şekildeki gibi düzgün değilse, yüzeyin bütün noktalarındaki normaller farklıdır. Yüzeye paralel gelen ışınların gelme açıları yansıma açlarına eşit olmaz. Şekil 8'de görüldüğü gibi bu yansıma dağınık yansıma denir [15].



Şekil 8. Pürüzlü yüzeye çarpan ışınların dağınık yansımaları [15]

1.5.3.2. Görüş Alanı

Bir düzlem aynanın iki kenarına gözden gönderilen ışınlar aynada yansır. Şekil 9’da görüldüğü gibi yansıyan bu ışınlar ile ayna arasında kalan alana görüş alanı denir. Bu yansıyan ışınların üzerinden geçtiği noktalar ve bu ışınlar arasında kalan noktaları görebilmek mümkündür [15].



Şekil 9. Aynaya bakan gözlemci aynanın uç noktalarına gelen ışınların arasında kalan bütün cisimleri aynada görür [15]

1.6. Cam Küreciği

Cam küreciği, camın yüksek sıcaklıkta işlenmesi sonucu oluşan şeffaf, renksiz ve düzgün yüzeyli çok küçük ebatta küresel cam parçacıklarıdır. Cam kürecikleri; püskürtme yoluyla yüzey işleme, sentetik reçinelerin kuvvetlendirilmesi, yol çizgileri, taş bina yüzeylerinin temizlenmesi ve yangın söndürmede kullanılır. Cam küreciği tanelerinin çapı ve üzerine uygulana kaplamanın cinsi kullanım alanına göre değişmektedir [6]. Örneğin yol kaplamalarında kullanıldığı gibi havaalanlarında da kullanılırlar. Fakat yol kaplamaları

ile hava alanları kaplamalarının yüzey pürüzlülüğünün birbirinden farklıdır. Çünkü uçakların hızı ve kütlesi dolayısıyla uçak tekerleklerinin lastik basınçları karayolu araçlarınkinden daha fazladır [17]. Bu nedenle havaalanları ile karayollarında kullanılan cam küreciklerinin özellikleri birbirinden farklıdır.

Cam kürecikler, şeffaf, temiz, renksiz, düzgün yüzeyli ve küresel olmalıdır. kürecikler sütsü (buzul), çukurlu, hava kabarcıklı, çatlak veya kırıklı olmamalıdır.

Cam kürecikleri; yol çizgi boyalarına yatay işaretleme yapılmadan önce veya sonra katılabilir.”Drop on” olarak bilinen cam kürecikleri yol çizgi boya ları yol yüzeyine tatbik edilirken, boya ile aynı anda püskürtülerek veya elle serpilerek uygulanır. Bu şekilde uygulandıklarında boyanın yüzeyine tutunurlar ve yatay işaretlemenin gece görünürlüğü sağlarlar. Fakat zamanla boya yüzeyiyle araç lastiklerinin fazla teması sonucu oluşan sürtünme kuvveti nedeniyle “Drop on” cam kürecikleri yüzeyden kopar. Bu noktada boyanın gece görünürlüğünü sağlamak için “premix” diye adlandırılan cam kürecikleri devreye girer. Yol çizgi boyasının imalatı esnasında içine karıştırılan bu kürecikler; boya yüzeyi aşındıkça ortaya çıkarak gece görünürlüğünün devamını sağlar [6].

1.6.1. Cam Küreciği Tarihi

Karayolları kazaları ve sebep olduğu ölümler, tekerleğin bulunuşuyla başladı. Bu nedenle insanlar, karayolları güvenlik metodları geliştirilerek problemlerine çözüm bulabildiler.

Roma’ nın tutanaklarında, Hz. İsa’dan önce, savaş ve yarış arabalarının yoldan çıkmasını önlemek için yol merkezine briket (kaya-tuğla) ve kayaların çekilmiş olduğu belirtilmektedir. 350 yıldan daha uzun bir süre önce Meksika’da aydınlatan renkli kayalar kullanılmıştır.

1900’lerin başlangıcından daha önce Michigan-Wayne şehri yol komisyon üyesi Edward Hines, Amerika’da bu konuyla ilgilenen ilk insandır.1921 de Wisconsin’ın dört yanı cadde ile çevrili olan Modison Kasabasında bir arazi parçası elle siyah boya ile boyandı. Karayolları komisyonunun kararı ile yolun merkezine vurulan şeridin daha avantajlı olduğu belirtilmiştir.

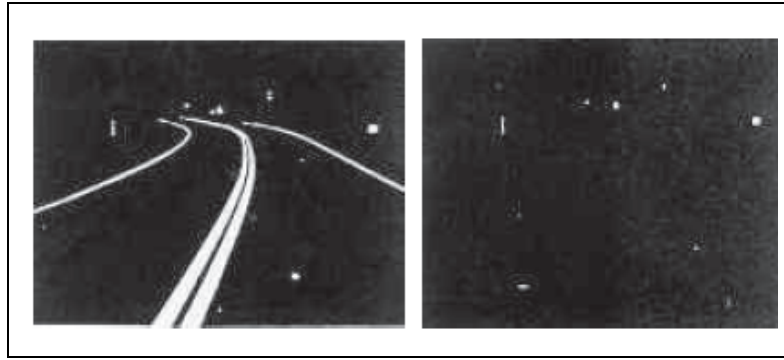
Eski çağlarda, yol üzerine nasıl ince şerit atılacağı önemli bir problemdi. Çizgi atmak için oluşturulan ilk araç tekerlekli el arabası kafesi, 5 galon tank (4,564 lt), çadır bezi ile sarılı tekerleklerden oluşuyordu. İçi beyaz boya dolu oluklu tanklarla çadır bezi ile sarılı

tekerleğin üzerine boya düşürülerek, yola çizgi atılırdı. Bu kabul ile insanlar yolların merkezine el arabası ile beyaz boya atmaya başladılar. Böylece beyaz boya kullanımı şerit çizgilerinin görünebilirliğini iyileştirerek trafiğe yardımcı oldu.

Mayıs 1924’de yayınlanan “Engineering News-Record” belgelerinde Ohio Karayolları Bakanlığının taştan yolların merkezine yerleştirilmiş olan beyaz taşların mil başına 185\$ maliyetinde olduğu ve bu taşların yolun görünürlüğünü arttırdığı kaydedilmiştir. Zamanla radyoaktif malzemelerin trafik boyası ile karıştırılarak görünebilirlik fonksiyonu daha fazla olan çizgiler elde edildi.

1930’ların sonunda Kanadalı bir mühendisin yayınlamış olduğu “Karayolları için karanlıkta parlayan işaretleme” yazısı sonunda yansıtıcı kürecikler yaygın olarak bilinmeye başladı. Bu yazı iyi görünürlük sağlayan ve yüksek aşınma direncine sahip olan cam küreciklerinin avantajını saptadı.

2.Dünya Savaşı boyunca trafiği kolaylaştırmak için çizgilerde yansıtıcı kürecikler kullanıldı. 1942’lerin başında “Engineering News-Record” belgelerinde “yansıtıcı küreciklerle boyalı yüzeylerin diğer boyalı kaplama malzemelerinden daha üstün olduğu” yazıldı [14].



Şekil 10. Cam kürecikli yatay işaretleme, cam küreciksiz yatay işaretleme [14]

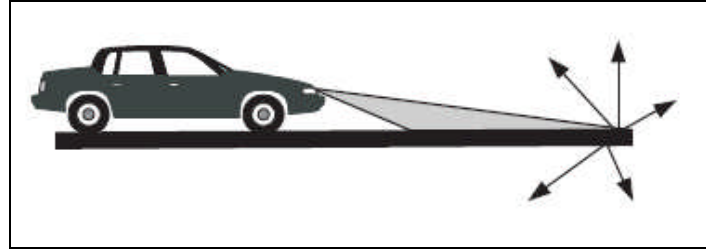
Şekil 10’da cam küreciği kullanılan yatay işaretleme ile cam küreciği kullanılmayan yatay işaretleme arasındaki gece görünürlük farkı görülüyor. Cam küreciği kullanılan işaretleme gece fark edilirken, cam küreciği kullanılmayan işaretleme fark edilmemektedir.

1.6.2. Geri Yansıma

Bugün tüm dünyada yol şeritlerinin gece görünürlüğünü sağlamak için cam kürecikleri kullanılmaktadır. Cam küreciği gece saatlerinde yol çizgisinin görünürlüğünün sağlanmasının yanında işaretlemenin yüksek dayanıma sahip olmasını sağlar. Bununla birlikte, gün boyunca gün ışığı altındaki cam küreciksiz yol şerit boyası çok iyi görünüme sahiptir. Fakat cam küreciksiz bir boya, gün ışığı altındaki bu görünürlüğünü gece sağlayamaz.

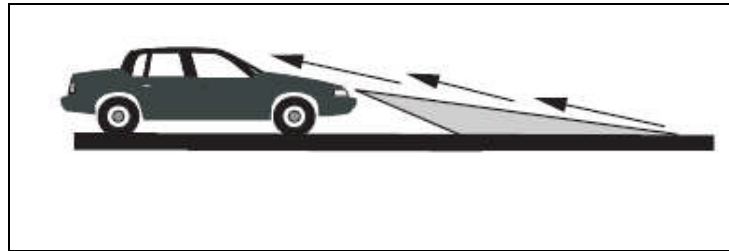
Eğer bir mühendis kararı gün ışığı altında verecekse, muhtemelen cam küreciksiz şeridi seçer. Eğer aynı mühendis aynı şeridi gece değerlendirirse kesin olarak cam kürecikli şeridi seçer.

Cam küreciksiz boya şeridi, ışığı gelişi güzel bütün yönlere dağıtır. Ne zaman cam kürecik eklenirse ışık direk olarak ışık kaynağına yansır. Buna geri yansıma denir.



Şekil 11. Cam küreciksiz yol [14]

Şekil 11’de otomobilin farından çıkan ışık geri yansımadağı için yüzeyi aydınlatır. Cam küreciksiz şerit üzerine düşen ışık her yöne dağılır. Sadece küçük bir kısmı geri yansır.



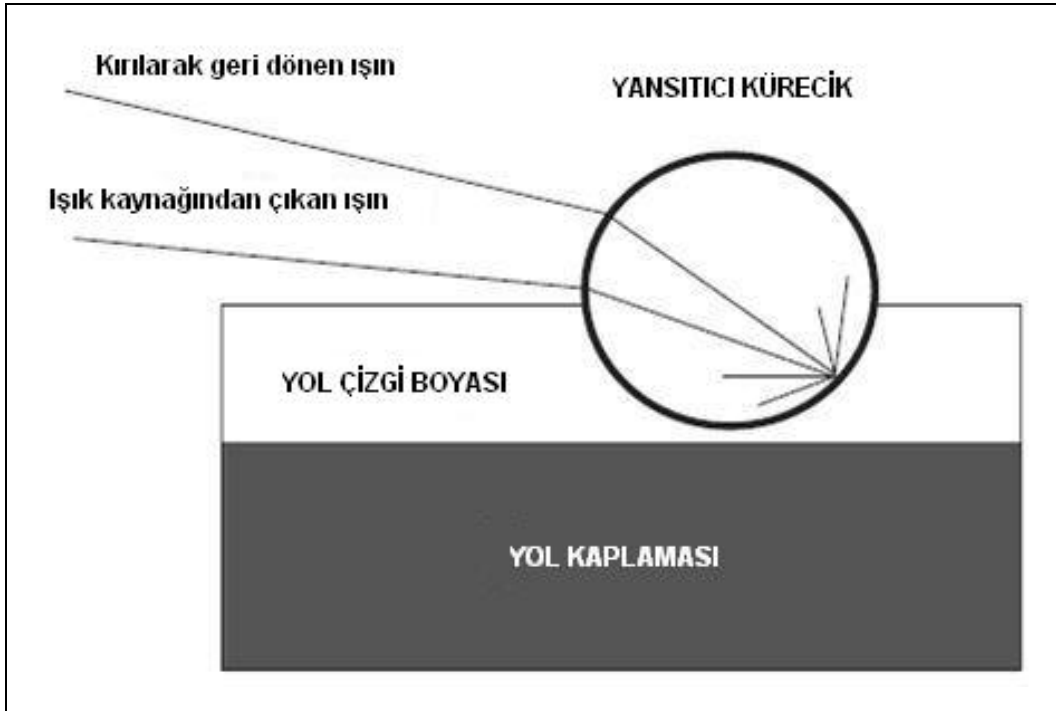
Şekil 12. Cam kürecikli yol [14]

Şekil 12’de ki resimde ise fardan çıkan ışık miktarının önemli bir kısmı sürücünün gözüne yansır. Böylece sürücü şeridi çok iyi görür [14].

1.6.3. Cam Küreciklerinin Çalışma Prensibi

Yansıtıcı küreciklerinin ışığı kırma yeteneğinin ölçümü olan sapma endeksi, kırılmayı etkileyen açının sinüsünün oranı ile yapılır.

Cam küreciklerinin geri yansıtıcılığı, boya film tabakasında ki tek cam küreciği içerisine giren ışığın araştırılması ile açıklanabilmektedir. Kilometrelerce boya şeridi üzerinde ki milyonlarca cam küreciği bu prensip ile çalışmaktadır.



Şekil 13. Işığın cam küreciği içerisinde kırılması [14]

Şekil 13’de görüldüğü gibi ışık, cam küreciğine girdiğinde kırılır ve aşağıya yansır. Bu ışın boya film tabakasının üzerindeki küreciğinin arka yüzeyine yansır [14]. Daha çok ayna gibi çalışır. Eğer boya mevcut olmazsa; ışınlar çarparak geri yansıyabileceği bir engel bulamayacağından cam küreciklerinin içerisinde ilerlemeye devam ederler ve Şekil 10’da

ki farklı durumlar için birçok yöne dağılır. Bu dağılım sonucu ışınlar geri yansımayacağı için yatay işaretlemenin gece görünürlüğü oluşmaz.

Cam küreciğinin gömülü derinliğinin nedeni ışının küreciğin küresel yüzeyinden kırılarak boyaya gömülü olan cam küreciğinin yüzeyden aşağıda herhangi bir noktasına yansımastır. Böylece cam küreciğinin boyaya gömülü arka kısmından ışık yansyarak, ışığın büyük bir kısmı cam küreciğinden sürücünün gözüne yansır [14].

Geri yansyan ışığın miktarı, camın kendi karakteristik özelliğine ve camın ya da küreciğin kırılma endeksine (R.I.) [14] bağlıdır. Yansıma endeksi, cam malzemesinin kimyasal ve fiziksel işlenmesine bağlıdır. Farklı yansıtma endeksine sahip çeşitli kürecik tipleri bulunmaktadır.

Suyun ışığı kırma endeksi 1.33 iken maden suyundan yapılan cam küreciğinin ışığı kırılma endeksi 1.50, 1.65 ve 1.90'dır. Yüksek kırılma sağlayan 1.90'dır, fakat üretimi diğerlerine göre pahalıdır ve dayanıklılığı maden suyu cam küreciği kadar iyi değildir. Kırılma endeksi 1.90 olan kürecikler genellikle havaalanlarında kullanılır [14].

1.6.4. Cam Küreciğinin Gömülme Derinliği

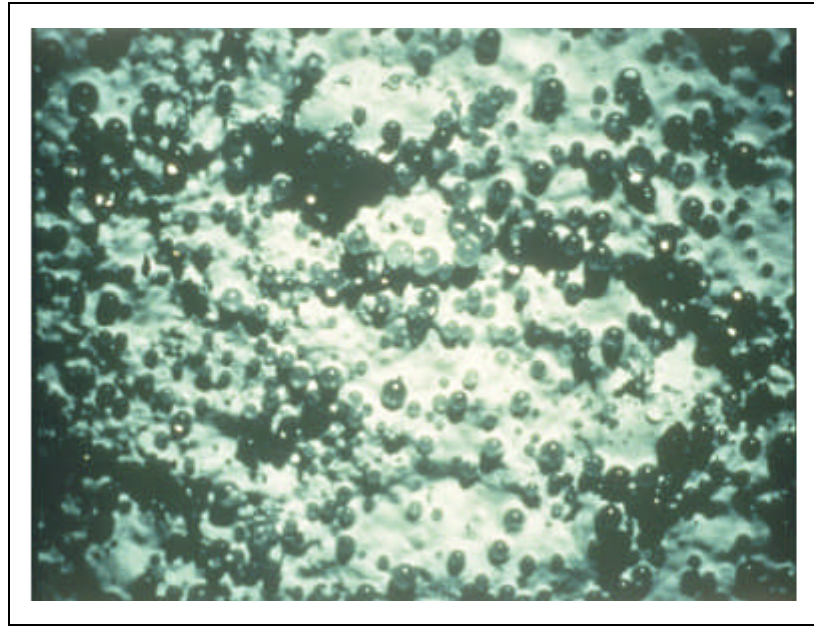
Gömülü derinlik cam küreciklerinin uygulandığı boya tabakasına batma derinliğidir. Geri yansıtıcılık, cam küreciğinin boya tabakasına gömülü derinliğin üstündeki kısmına bağlıdır. Yansıtıcı küreciklerin %50–60 maksimum gömülü mesafesi en iyi geri yansımayı temin eder. %50'den az gömülülük, cam küreciklerin ömrünü etkileyerek azaltır. %60'dan öte artan gömülülükte ise sürücüye geri yansyan ışın önemli ölçüde tutulur ve sürücünün gözüne yansyan ışın miktarında dolayısıyla şeridin görünürlüğünde azalma olur. Boya tabakasına tamamıyla gömülü kürecikler geri yansıtıcı değildir. Çünkü ışık küreye ulaşamaz. Özetle, cam küreciğinin gömülü kısmının tutuculuğu ışığın geri yansıtmasını ve şerit boyanın dayanıklılığını etkiler. En iyi geri yansıtıcılık ve dayanıklılık için cam kürecikler çapının %50-60'ı kadar gömülmelidir.

Cam kürecikler boya üzerine serildiğinde her küreciğin boya tabakasına gömülme derinliği farklı olup hepsi %50-60'ı sağlayamaz. Bazı kürecikler tamamen gömülürken diğerleri %50'den az gömülürler. Şeritlerdeki boya ya da diğer malzemelerin üzerindeki cam küreciklerin gömülü derinlikleri, küreciklerin hacimlerinin %70'dir. Geri kalan %30 yüzeyde kalacak ve ışık alacaktır [14].

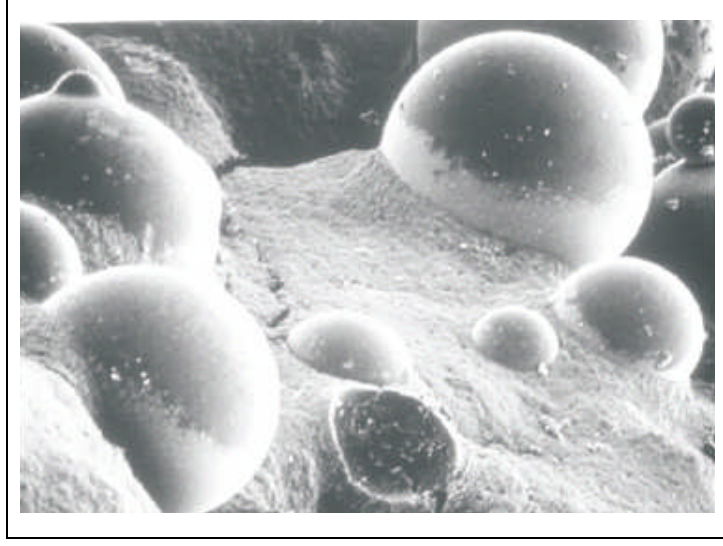


Şekil 14. Boyama sırasında çok geç atılan cam küreciği [14]

Boyanın yola uygulanmasının ardından cam kürecikleri makine veya elle boya üzerine serpilir. Bu işlem boya kurumadan yapılmalıdır. Boya kurumaya başladığında serpilene cam küreciği boya tarafından emilmez (Şekil 14). Boyama sırasında çok geç atılan cam küreciklerinin yatay işaretlemelerin gece görünürlüğünü arttırmaz.

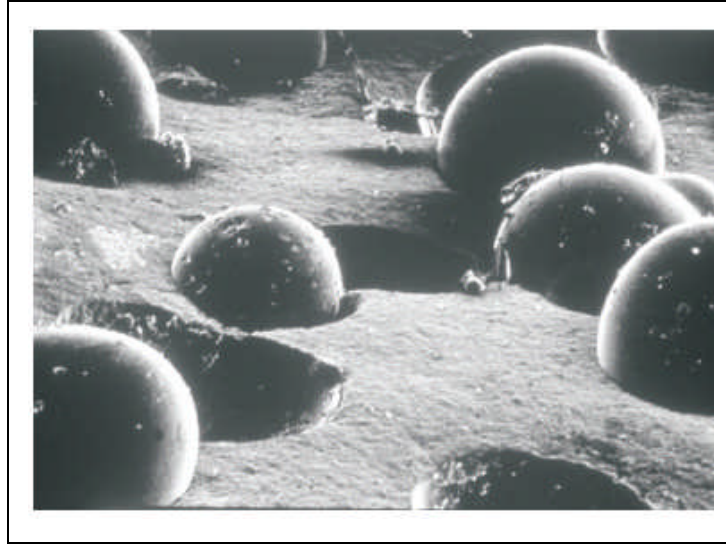


Şekil 15. Boya şeridi içerisinde ki yetersiz cam küreciği [14]



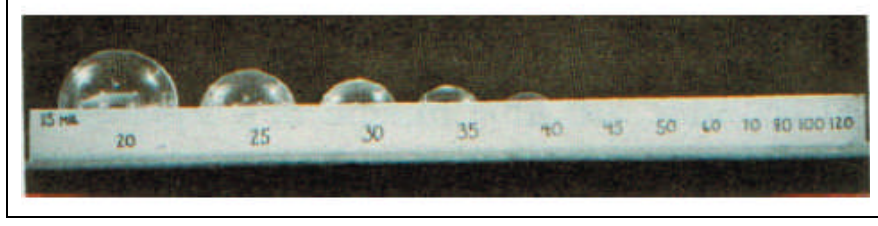
Şekil 16. Boya şeridi içerisinde ki yetersiz cam küreciğinin büyüteç altında görüntüsü [14]

Eğer 1 mm² içerisinde bulunan cam küreciği 0,33 kg'dan az ise cam kürecikleri boya tabakası için yetersiz kalır (Şekil 15-16), [14, 18].

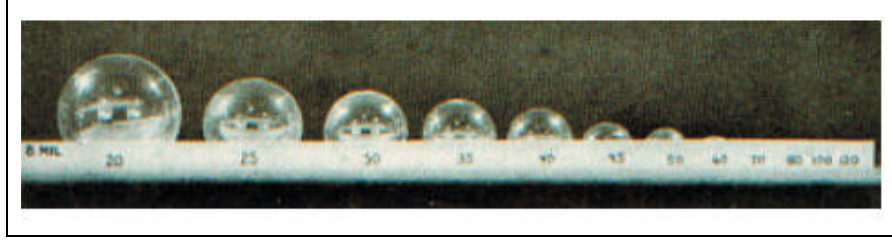


Şekil 17. Yeterli gömülü derinliğe sahip cam kürecikleri [14]

Şekil 17'de yeterli gömülü derinliğe sahip cam kürecikleri görülmektedir. Cam küreciğinin en iyi geri yansıtıcılık ve dayanıklılık için cam kürecikleri çapının %50–60'ı kadar gömülmelidir. Bu cam küreciklerinin yeterli gömülü derinliğidir.



Şekil 18. 15 mil ıslak boya tabakası üzerine serpilmiş kürecikler [14]



Şekil 19. 8 mil kuru boya tabakası üzerine serpilmiş kürecikler [14]

Şekil 18’de ıslak boya tabakası içerisinde 15 mil gömülü derinliğe sahip cam küreciklerinin boya kurduktan sonra gömülü derinliklerinin 8 mile düştüğü Şekil 19’da görülmektedir. Boya ıslakken cam küreciğinin gömülü derinliği fazla iken boya kurduğunda küreciğin gömülme derinliği azalır.

1.6.5. Cam Küreciği Üretim Metotları

Cam kürecik imalinin 2 metodu vardır. Bunlar dolaysız ve dolaylı metod diye ikiye ayrılırlar.

Dolaysız method, tıpkı bahçe hortumunun ağzından damlacıklar halinde fışkıran su zerrecikleri gibi, camın püskürtülerek zerre damlacıklar haline getirilmesi işlemidir. Erimiş cam küre yapım tankına püskürtüldüğünde tanecikler havada asılı kalarak soğur, toplanır ve eleklerle göre sınıflara ayrılır. Bu method, genellikle özel formüllerde ve de sıvı halden katı hale geçerken reolojileri değişeceğinden 1.65 ve 1.90 R.I. kürecikleri için kullanılabilir

Reoloji: Kendi üzerine etkileyen güçlerin etkisiyle değişik cisimler tarafından oluşan madde akımlarını ve deformasyonlarını inceleyen fizik dalı.

Dolaylı method ise çoğunlukla 1.50 R.I. için kullanılır. Bu method, seçilen maddelerin cam tozu haline getirilmesi işlemidir. Daha sonra bu toz 3 ila 4 kat fırın içine dökülür, spreylenebilir ya da püskürtülür. Bağımsız parçalar tanka püskürtüldüğünde havada asılı kalarak, yumuşayana ve küre şeklini alana kadar alevler içinde şişerler. Fırının yukarılarına doğru hareket eden kürecikler soğurlar. Dışarıya çıkan kürecikler toplanır ve eleklerle göre sınıflandırılırlar. Üretimden sonra kürecikler karayollarında kullanılmak üzere stoklanır [14].

1.6.6. Kürecik Özellikleri

Küreciğin yuvarlaklığı, boyut sınıflandırması, yatay işaretlemenin uzun dönemdeki ve ilk andaki yansıtıcılığında belirli etkiye sahiptir. Küre üzerindeki herhangi bir yabancı madde, küreciğin boya üzerine yapışmasını ve tutunmasını etkileyecektir.

1. Boyut ve Gradasyonu

Birçok değerlendirme ve tecrübeler sonucunda elde edilen verilerle, normal trafik altında ki küreciğin göstereceği en uygun performans için kürecik boyutları bulundu. Çoğunlukla tavsiye edilen 20 ila 80 arasındaki kürecik boyutları aşağıdakilere dayanır:

1. Cam kürecikleri, kurduğunda değişecek boya kalınlığından dolayı boya ıslak iken uygulanmalı

2. Çıkan malzeme kullanılmamalı

3. Uygun dayanıklılık ve yetenek için küreciğin gömülü derinliği çapının %50–60 kadar olmalı.

4. Cam kürecik kullanılmış şerit, bütün şartlar altında en iyi yansıtıcılığı sağlamalı.

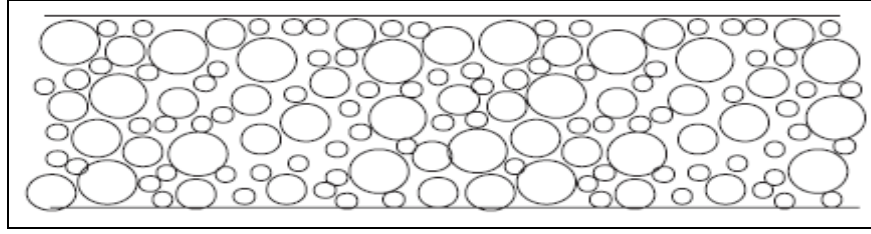
5. Yuvarlaklık

Sadece yuvarlak kürecikler ışığı kaynağına geri yansıttığı için cam kürecikleri yuvarlak olmalıdır.

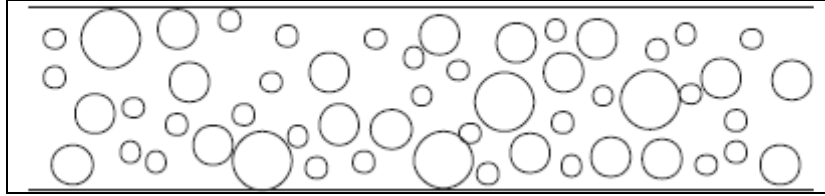
Standart cam kürecikler şekilleri AASHTO M247 veya Teknik Şartnamelere uyarak belirlenir. Kürecikler düzgün ve küresel biçimde olmalıdır. Genelde üretim sürecinde yuvarlak cam kürecikler üretilirken; bir kısım yuvarlak olarak değil oval olarak şekil alır ve bazıları birbirine yapışırlar [14].

1.6.7. Cam Küreciğinin Yüzeye Tatbiki

Cam kürecikleri uygulandığı yüzeyde en iyi sonucu vermek için uygulandığı yüzeye eşit olarak tatbik edilmelidir. Soğuk yol çizgi boyası hariç diğer termoplastik ve çift kompenantlı boyaların içerisinde cam küreciği bulunmaktadır. Bu cam kürecikler “premix” diye adlandırılan yol çizgi boyasının imalatı esnasında boya içine karıştırılan bu kürecikler; boya yüzeyi aşıldıkça ortaya çıkarak gece görünürlüğünün devamını sağlar. Premix cam küreciklerinin boya içerisine homojen, yeterli ve düzgün bir şekilde karıştırılması gereklidir.

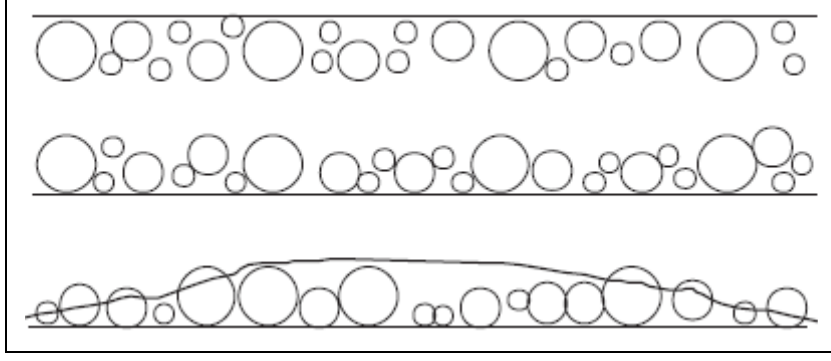


Şekil 20. Homojen şekilde dağılmış cam küreciği bulunan yatay işaretleme [14]



Şekil 21. Homojen şekilde dağılmış yetersiz cam küreciği bulunan yatay işaretleme [14]

Şekil 20 ve 21’de boya içerisine homojen bir şekilde yayılmış olan premix cam kürecikler boyanın iyi bir yansıtıcılığa sahip olmasını sağlamışlardır. Fakat Şekil 21’de cam kürecikleri yetersizdir.



Şekil 22. Homojen şekilde dağılım gösteremeyen yetersiz cam küreciği bulunan yatay işaretleme [14]

Şekil 22’de cam küreciklerinin boyanın dış çeperlerine yöneldiği merkezin boş kaldığı, boyanın kenarlarında cam küreciğin yetersiz olduğu fakat merkezde toplanmış olduğunu görüyoruz. Burada cam küreciği yetersiz ve homojen dağılım gösteremediğinden yansıma tam olarak gerçekleştirilemez [14].

1.6.8. Yansıma ve Dayanıklılık Arasındaki İlişki

Cam küreciklerinin yansıma dayanıklılığı aşağıdaki etkenlere bağlıdır. Bunlar:

1. Cam küreciği maddesinin kırılma indeksi
2. Cam küreciklerinin boyutu ve da Gradasyonu
3. Küreciklerinin yuvarlaklığı
4. Kürecik üzerindeki tabaka
5. Küreciğin gömülü derinliği
6. Küreciğin boya içerisindeki dağılımı.

İl dört madde üretim sırasında bir takım testlerden geçerek şartnamelere uygun olarak oluşturulur. Diğer maddeler malzemenin uygulanmasına bağlıdır. Bu maddeler şartnamelerde istenilene göre uygulanmazsa ortaya dayanıksız ve yansıma yeteneği olmamasından dolayı görünebilirliği olmayan yatay işaretleme karşımıza çıkar [14].

1.6.9. Cam Küreciği Çeşitleri

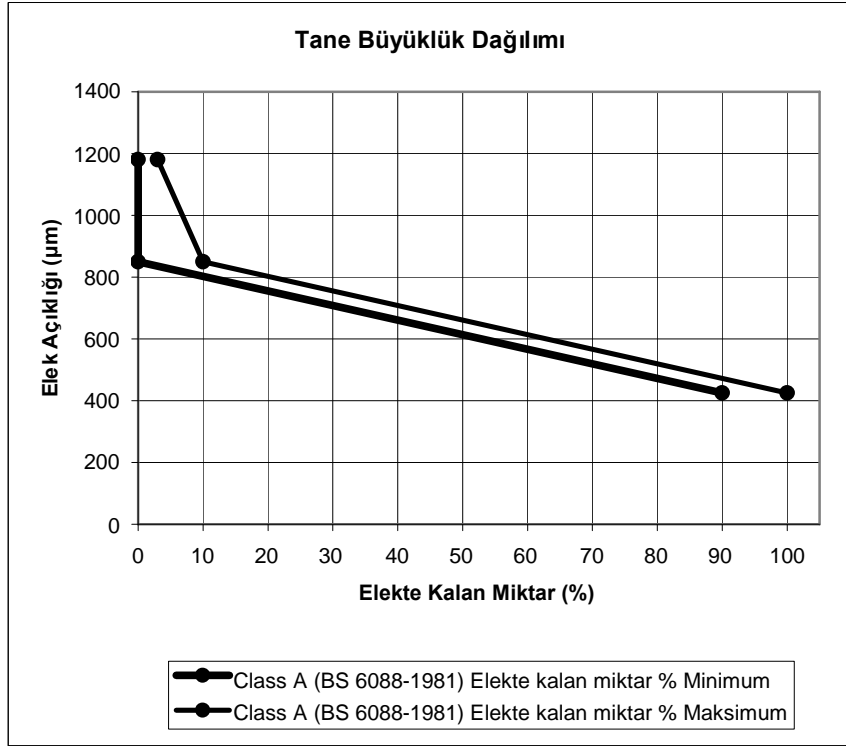
Ülkemizde yol çizgi boyalarında tercih edilen cam kürecikleri 4 tiptir. Aşağıda ki tablolarda ülkemizde kullanılan 4 tip cam küreciğinin teknik özellikleri verilmiştir [6].

1.6.9.1. A Sınıfı Cam Küreciği

Tablo 8’de A sınıfı cam küreciğinin BS 6088-1981’e göre sahip olması gereken şartname limitleri görülmektedir. Mikroskop analizi sonucunda A sınıfı cam küreciklerinin minimum %70 küreselliğe sahip olmaları gerekmektedir. Küresel olmayan kürecikler ışığı gerekli açıda yansıtamayacaklar ve dolayısıyla istenen yol emniyeti de Sağlanamamış olacaktır. A sınıfı cam küreciklerin kimyasal kompozisyonu, optik özellikleri ve kimyasal dayanımları ise BS 6088; 1981 standartlarına uygun olmalıdır.

Tablo 8. A sınıfı cam küreciği (BS 6088–1981) [6, 19, 20]

Deney Adı	Şartname Limitleri		
Görünüş	Şeffaf, temiz, renksiz, düzgün yüzeyli ve küresel biçimde olmalı. Sütsü (buzlu), çukur, hava kabarcıklı, çatlak veya kırık cam küreciği bulunmamalı. İçerisinde başka bir malzeme olmamalı.		
Küresellik	%70 minimum küresellik		
Kırılma İndisi	Minimum 1,5		
Tane Büyüklüğü Dağılımı	Elek Açıklığı (µm)	Elekte kalan miktar %	
		Minimum	Maksimum
	1180	0	3
	850	0	10
	425	90	100



Şekil 23. A sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı

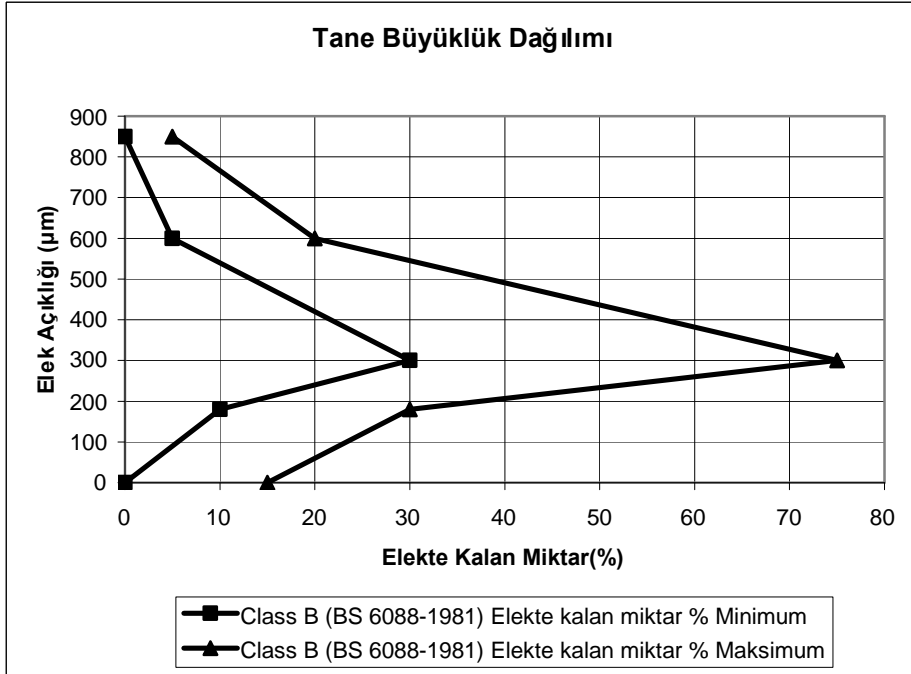
Şekil 23’de A sınıfı cam küreciğinin gradasyon eğrisi görünmektedir. Üsteki çizgi elekte kalan maksimum miktarı, alttaki çizgi elekte kalan minimum miktarların granülometri eğrileridir.

1.6.9.2. B Sınıfı Cam Küreciği

Tablo 9’da B sınıfı cam küreciğinin BS 6088-1981’ e göre sahip olması gereken şartname limitleri görülmektedir. Mikroskop analizi sonucunda B sınıfı cam küreciklerinin minimum % 80 küreselliğe sahip olmaları gerekmektedir. B sınıfı cam küreciklerin kimyasal kompozisyonu, optik özellikleri ve kimyasal dayanımları ise A sınıfı cam kürecikleri gibi BS 6088; 1981 standartlarına uygun olmalıdır.

Tablo 9. B sınıfı cam küreciği (BS 6088–1981) [6, 19, 20]

Deney Adı	Şartname Limitleri		
Görünüş	Şeffaf, temiz, renksiz, düzgün yüzeyle ve küresel biçimde olmalı. Sütsü (buzlu), çukur, hava kabarcıklı, çatlak veya kırık cam küreciği bulunmamalı. İçerisinde başka bir malzeme olmamalı.		
Küresellik	%80 minimum küresellik		
Kırılma İndisi	Minimum 1,5		
Tane Büyüklüğü Dağılımı	Elek Açıklığı (µm)	Elekte kalan miktar %	
		Minimum	Maksimum
	850	0	5
	600	5	20
	300	30	75
	180	10	30
180 altı	0	15	



Şekil 24. B sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı

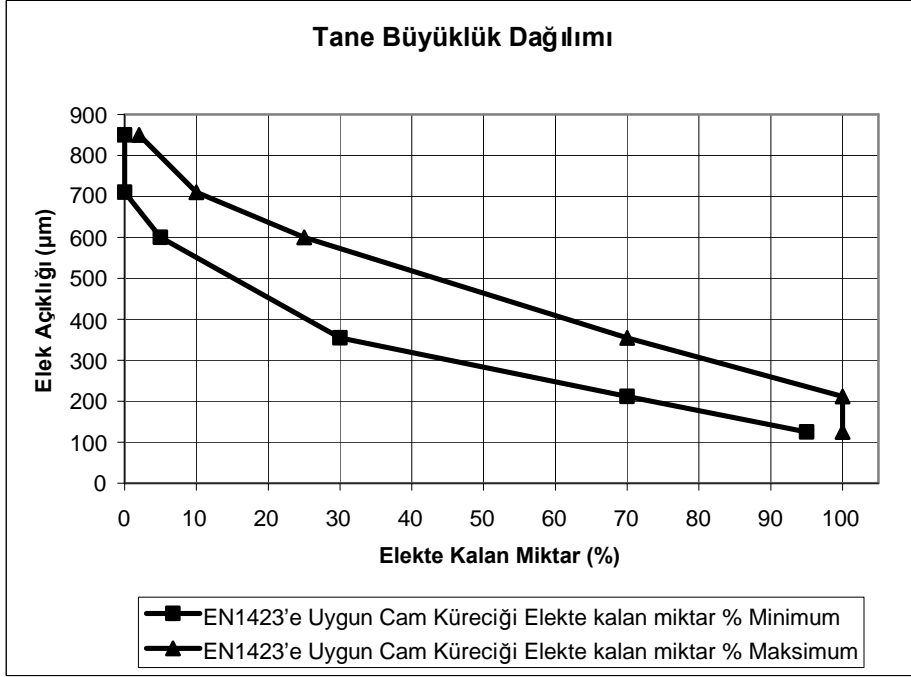
Şekil 24’de B sınıfı cam küreciğinin gradasyon eğrisi görünmektedir. Arkadaki çizgi elekte kalan maksimum miktarı, öndeki çizgi elekte kalan minimum miktarların granülometri eğrileridir. Şekil 23’de granülometri eğrileri gösterilen A sınıfı cam küreciği sınıfını teşkil eden tanelerin boyutları, Şekil 24’da granülometri eğrileri gösterilen B sınıfı cam küreciği sınıfı tanelerine göre daha iridir.

1.6.9.3. EN 1423’e Göre Cam Küreciği

Tablo 10’da EN 1423’e cam küreciğinin sahip olması gereken şartname limitleri görülmektedir. Mikroskop analizi sonucuna göre EN 1423’e uygun cam küreciğinin minimum % 80 küreselliğe sahip olmaları gerekmektedir. EN 1423 cam küreciklerin kimyasal kompozisyonu, optik özellikleri ve kimyasal dayanımları ise laboratuvar deneylerinde ele alınacak özellikleri (üretim kontrolü) ve niteliklerini TSE’ye uygun olmalıdır.

Tablo 10. EN 1423’e uygun cam küreciği [6, 21]

Deney Adı	Şartname Limitleri		
Görünüş	Şeffaf, temiz, renksiz, düzgün yüzeyle ve küresel biçimde olmalı. Sütsü (buzlu), çukur, hava kabarcıklı, çatlak veya kırık cam küreciği bulunmamalı. İçerisinde başka bir malzeme olmamalı.		
Küresellik	%80 minimum küresellik		
Kırılma İndisi	Minimum 1,5		
Tane Büyüklüğü Dağılımı	Elek Açıklığı (µm)	Elekte kalan kütle (toplam) %	
		Minimum	Maksimum
	850	0	2
	710	0	10
	600	5	25
	355	30	70
	212	70	100
125	95	100	



Şekil 25. EN 1423 sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı

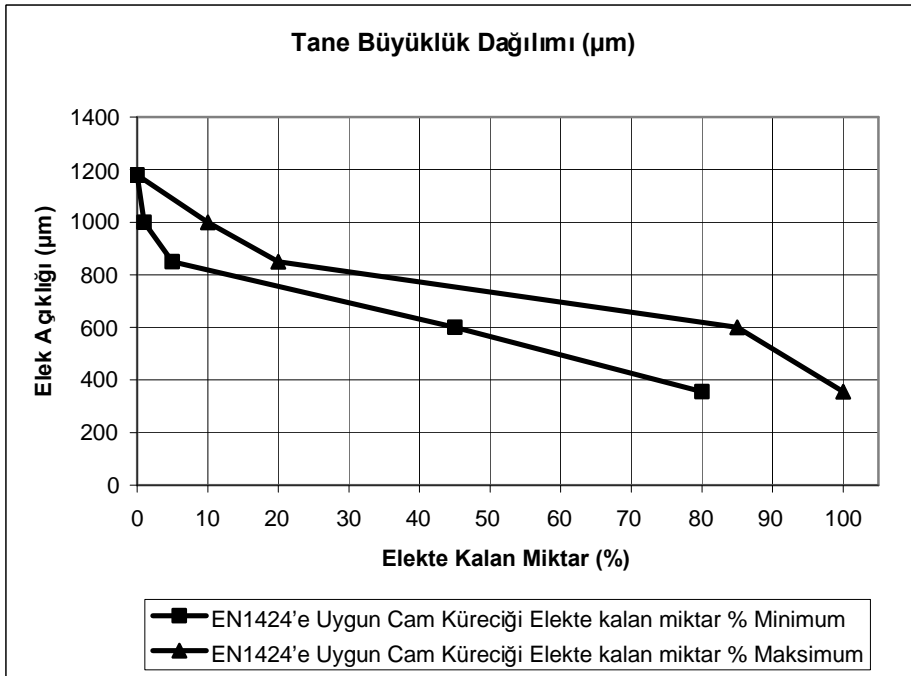
Şekil 25’de EN 1423 cam küreciğinin gradasyon eğrisi görünmektedir. Üsteki çizgi elekte kalan maksimum miktarın, alttaki çizgi elekte kalan minimum miktarların granülometri eğrileridir.

1.6.9.4. EN 1424’e Göre Cam Küreciği

Tablo 11’de EN 1424’e cam küreciğinin sahip olması gereken şartname limitleri görülmektedir. Mikroskop analiz sonucuna göre EN 1424’e uygun cam küreciğinin 1mm’den büyük parçacıkları % 70’den fazla minimum küresellik, 1mm’den küçük parçacıklar % 80’den fazla minimum küreselliğe sahip olmaları gerekmektedir. EN 1424 cam küreciklerin kimyasal kompozisyonu, optik özellikleri ve kimyasal dayanımları ise laboratuvar deneylerinde ele alınacak özellikleri (üretim kontrolü) ve niteliklerini TSE’ye uygun olmalıdır.

Tablo 11. EN 1424'e uygun cam küreciği [6, 22]

Deney Adı	Şartname Limitleri		
Görünüş	Şeffaf, temiz, renksiz, düzgün yüzeyli ve küresel biçimde olmalı. Sütsü (buzlu), çukur, hava kabarcıklı, çatlak veya kırık cam küreciği bulunmamalı. İçerisinde başka bir malzeme olmamalı.		
Küresellik	1mm'den büyük parçacıklar > %70 minimum küresellik 1mm'den küçük parçacıklar > %80 minimum küresellik		
Kırılma İndisi	Minimum 1,5		
Tane Büyüklüğü Dağılımı	Elek Açıklığı (µm)	Elekte kalan kütle (toplam) %	
		Minimum	Maksimum
	1180	0	0
	1000	1	10
	850	5	20
	600	45	85
355	80	100	



Şekil 26. EN 1424 sınıfı cam küreciğinin tane büyüklük dağılımı

Şekil 26’da EN 1424 cam küreciğinin gradasyon eğrisi görünmektedir. Üsteki çizgi elekte kalan maksimum miktarın, alttaki çizgi elekte kalan minimum miktarların granülometri eğrileridir. Şekil 25’de granülometri eğrileri gösterilen EN 1423 cam küreciği sınıfını teşkil eden tanelerin boyutları, Şekil 26’da granülometri eğrileri gösterilen EN 1424 cam küreciği sınıfı tanelerine göre daha incedir.

1.6.10. Ülkemizde Kullanılan Cam Küreciği Miktarı

Karayolları Genel Müdürlüğü, işaretlerin geceleri far ışığıyla daha iyi görünmesini sağlamak için her yıl 2 bin 750 ton cam küreciği dökmektedir. Özel firmalar tarafından makinelerde un haline getirilen camlar, yolların boyanması esnasında boya üstüne serpilmiştir. Her yıl ortalama 55 bin kilometre yol boyanmakta olup bu işlem için ortalama 8 bin ton beyaz, 200 ton da sarı renkli boya kullanılmaktadır. 2004 yılında Ege Bölgesi’nde 350 bin metre boya yapılıp, bu işlem içinde 814 ton boya kullanılmış olup, 2005 yılında da 400 bin metrekare boya yapılıp, 830 ton çizgi boyası kullanılmıştır. Bu boyaların parlatılması için de 300 ton cam küreciği kullanılmıştır [23]. 2007 Rayiç fiyatlarına göre 04.692 pozuna sahip cam küreciklerinin kilogram fiyatı 2.63 YTL’dir [24]. Buna göre 300 ton cam küreciğinin maliyeti 789.000 YTL’dir.

1.7. Reflektometre Aleti

Günümüzde reflektometre aleti birçok alanda ölçüm cihazı olarak kullanılmakta olduğu gibi yatay yol işaretlemelerinde de boyanın yansıttığı ışık miktarı ölçebilmektedir. Bu işlem için farklı özelliklere sahip çeşitli reflektometre aletleri bulunmaktadır [27]. Reflektometre aletlerinin özellikleri aşağıda ki gibi sıralanabilir:

- EN 1436, ASTM-E-1710’ye göre uygunluk [26, 25].
- ID olanaklarına sahip
- Ölçüm dökümanlarını saklama
- Yatay işaretleme ölçümü
- Yüksek kapasiteli büyük profil
- Opsiyonlu GPS
- Kolay kullanılabilirlik, tekerlek ile ergonomiklik

- Islak yollarda kullanışlılık
- Kalibrasyon standardı [27].

Deneyimizde LTL - 2000SQ reflektometre aleti kullanılmaktadır. LTL - 2000SQ aletin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- $R_{L_{gece}}$ görünürlük ölçümü
 - EN 1436 ve ASTM-E-1710'ye göre uygunluk [25, 26].
 - Yatay işaretleme ölçümü.
 - Yüksek kapasiteli büyük profil.
 - Islak yol kapasitesi.
 - Çıktı alabilme.
 - Farklı kalibrasyon standartlarına sahip olma [27].
- Qd gündüz görünürlük ölçümü
 - EN1436 'ye göre normal yollar için uygunluk [26].
 - Qd gündüz görünürlüğü ölçümü.
 - Farklı kalibrasyon standartlarına sahip olma [27].

1.8. Standartlara Göre Gündüz Görünürlük

Gündüz görünürlüğü ışıklandırma faktörü ile belirlenir. Kuru işaretlemede ışıklandırma faktörü;

- Yeni durumlarda $\geq 0,5$
- Asfalt kaplamada $\geq 0,35$
- Beton kaplamada $\geq 0,4$ olmalıdır.

“Yeni durumlar” ile yeni atılan, temiz, kir tutmamış boya kastedilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus yeni işaretin ne derece “beyaz” veya “gri” oluşu ve siyah renkli yol yüzeyi ile yaptığı tezat olmaktadır.

Tecrübeler göstermektedir ki ışıklandırma faktörü kirlenme nedeniyle zaman içinde düşme gösterir. Bu nedenle “yeni” kullanım durumu için daha yüksek değerler kabul edilerek “kullanım altında” durumun standartları koruyabilmesi sağlanmıştır. Kullanım altındaki işaretlemelerde en düşük ışıklandırma değeri olarak 0,35 kullanıldığında yol kullanıcıları bunu beyazdan ziyade gri olarak algırlar. Ancak asfaltın kendisi çok daha koyu (siyah) renkte olduğu için yeterli tezat sağlanmış olur.

Bitümlü yüzeylere tatbik edilen işaretlemelerde, tatbikatı tabiken bir yıl içinde üzerinden en az altı ay trafik geçmedikçe gündüz görünebilirlik şartı aranmaz.

Bu husus esasen önemsiz olup sadece olağan dışı durumlarda (mevcut bir sarı boyanın üzerine boya çekilmesi veya cihazın yeterince ısıtılmasından boya yapılması gibi istisnai hallerde) aşırı bir ışıklandırma kaybını önlemek üzere konulmuştur.

Yeni yapılmış asfalt üzerine tatbik edilen işaretlemeler; bitümden kopan taş ve tanecikler ile araba tekerleklerinin getirdiği diğer kirleticiler nedeniyle çok kirlenirler. Bu nedenle yeni yapılmış asfalt kaplamaların işaretlemesinde gündüz görünebilirlik gereksinimleri kesin bir şekilde talep edilemez [9].

1.9. Standartlara Göre Gece Görünürlük

Gece görünebilirlik ölçütü DIN standardına göre ölçülen özel q ışıklandırma faktörüdür.

İşaretleme kurduktan sonra ölçülerek özel ışıklandırma faktörü;

- 150 med/mz.1x.
- Nadiren geçilen işaretlemelerde 100 med/ mz.1x.
- Sürekli geçilen işaretlemelerde 70 med/mz. 1x.

Retrofleksiyon (yansıma) tüm işaretleme boyunca tekdüze olmalıdır [9].

1.10. Performans Deneyleri Sonucunda Elde Edilmesi Gereken Değerler

Tablo 12’de yatay işaretlemelerin sağlanması gereken gece ve gündüz görünürlük değerleri verilmektedir.

Tablo 12. Performans deney sonuçları [9]

No	Deney Adı	Sınıfı	İstenilen Değer
1	Gündüz Görünürlüğü	Q2	$Q_d \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$
2	Gece Görünürlüğü(Islak)	RW2	$RL \geq 35 \text{ mcd/lx.m}^2$
3	Gece Görünürlüğü(Kuru)	R2	$RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$

1.11. Karayolları Ağı

1950–1960 yılları arasında çalışmaların ilk amacı, sağlık, eğitim gibi toplumsal hizmetlerin ülkenin her yöresine götürülebilmesi için yolların yaz - kış geçit verir duruma getirilmesidir. Bu dönemde kademeli inşaat sistemi gereği, bir yandan trafik yoğunluğuna uygun olarak yollar iyileştirilmekte, diğer yandan yeni güzergâhlar belirlenerek, modern ölçülere uygun yol şeritleriyle ülkenin ekonomik bölgeleri arasında bağlantı kurulmaktaydı.

1960'lı yıllara gelindiğinde, sürat teknikleri uygulanarak, Türkiye'nin o gün için gereksindiği 60.000 km. lik bir yol ağı ortaya çıkarılmıştır. Ancak, yol ağı belli bir düzeye eriştikten sonra, trafiğin artmasıyla birlikte 1960–1970 yılları arasındaki dönem asfalt kaplamaya ağırlık verilmesini zorunlu kılmıştır.

1970'lerde motorlu taşıt sanayinin kuruluşu, karayolu politikasına yeni boyutlar katmıştır. Trafik sıkışıklığı olan bazı ana akslarda ve büyük şehir çevrelerinde, çok şeritli ekspres yollar ya da otoyol yapımı ekonomik olma niteliği kazanmıştır. Ekonomik değerlendirmelerin önem kazandığı bu tip yolların planlanması, finansmanı, projelendirilmesi ve yapımı diğer yollara oranla daha karmaşık olduğundan, yeni bir teknoloji gerekmiştir. Karayolları Genel Müdürlüğü bu konudaki ilk uygulamasını Boğaziçi Köprüsü ve İstanbul Çevre Yolu projesi ile gerçekleştirmiştir.

Türkiye coğrafik konumunun bilincinde olarak, Avrupa, Asya ve Afrika kıtaları arasında ulaştırma bağlantıları oluşturmak amacıyla büyük çaba gösteren ülkelerden birisidir. Ülkemizin karayolları ağı sistemi, kendi ulusal gelişmesi, aynı zamanda bulunduğu bölgede bütünlüğün ve genel anlamda gelişmenin sağlanabilmesi için bir gereklilik teşkil etmektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğu altında bulunan karayolu uzunluğu 01.01.2005 tarihi itibarıyla toplam 63.706 km. olup, 3 sınıf yoldan oluşmaktadır:

- Otoyol
- Devlet Yolu
- İl Yolu [11].

1.12. Ülkemiz Yol Ağının Her Yıl İhtiyacı Olan Yatay İşaretleme Maliyeti

2007 Rayiç fiyatlarına göre, Tablo 13'de soğuk yol çizgi boyası ile çizilen çizgilerin Fiyat Analizi görülmektedir (Makine ile) (0,3 mm kalınlığında).

Tablo 13. Soğuk yol çizgi boyası fiyat analizi [18, 24, 28]

Poz No	Cinsi	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.507/2	Malzeme/Soğuk Yol Çizgi Boyası	Kg	0,95	4,40	4,18
04.692	Malzeme/Cam Küreciği	Kg	0,33	2,63	0,9
01.409	İşçilik/Formen	Saat	0,02	5,09	0,102
01.502	İşçilik/Erbap İşçi	Saat	0,12	2,95	0,354
003.554/1	Yol Sathının Temizlenmesi /Süpürme Makinesi	Saat	0,006	87,55	0,52
003.554/3	Yol Sathının Çizgilerin Çizilmesi/Soğuk Yol Çizgi Makinesi	Saat	0,006	103,33	0,62
01.501	Düz İşçi	Saat	0,02	2,75	0,055
003.538/2	Kamyon	Saat	0,007	38,74	0,28
	Pic-up	Saat	0,024	20,67	0,5
Tutar YTL					7,5
KDV (% 25)					1,9
1m ² Soğuk Yol Çizgi Boyasının Fiyatı (YTL)					9,37

Tablo 14’de Termoplastik boya ile püskürtme yöntemi ile çizilen çizgilerin Fiyat Analizi görülmektedir (Makine ile), (1,5 mm kalınlığında).

Tablo 14. Termoplastik yol çizgi boyası fiyat analizi [18, 24, 28]

Poz No	Cinsi	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.507/1	Malzeme/Termoplastik Boya	Kg	4	4,20	16,8
04.692	Malzeme/Cam Küreciği	Kg	0,52	2,63	1,37
01.409	İşçilik/Formen	Saat	0,012	5,09	0,061
01.502	İşçilik/Erbap İşçi	Saat	0,04	2,95	0,12
003.554/1	Yol Sathının Temizlenmesi /Süpürme Makinesi	Saat	0,006	87,55	0,52
003.554/4	Termoplastik Ön Isıtıcı Makinesi	Saat	0,008	119,6	0,96
003.554/2A	Termoplastik Çizgi Makinesi	Saat	0,008	144,3	1,152
01.501	Düz İşçi	Saat	0,07	2,75	0,2
003.538/2	Kamyon	Saat	0,009	38,74	0,35
Tutar YTL					21,55
KDV (% 25)					5,4
1 m ² Termoplastik Boyanın Fiyatı (YTL)					26,92

Tablo 15’de Çift kompenantlı boya ile ofset taraması Fiyat Analizi görülmektedir (Makine ile), (2 mm kalınlığında).

Tablo 15. Çift kompenantlı yol çizgi boyası fiyat analizi [18, 24, 28]

Poz No	Cinsi	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.509	Elostromerik Reçine Esaslı Sıvı Plastik Kaplama Malzemesi	Kg	2	5,80	11,6
04.692	Malzeme/Cam Küreciği	Kg	0,260	2,63	0,7
04.512/1	Temizlik İçin/Yol Çizgi Boyası İncelticisi	Kg	0,040	1,90	0,076
04.735	PVC Pestili 1 mm	m ²	0,4	2,65	1,06
TŞ-Y3	Yaya Çizgi Ekibi	Saat	0,32	36.31	11,62
Tutar YTL					25,056
KDV (% 25)					6,264
1 m ² ‘lik Ofset Taramasının Fiyatı (YTL)					31,3

Ofset: Geometrik burun ile fiziksel burun arasında kalan kaplamalı bölge [12, 29].

Tablo 16’da 01.01.2007 tarihi itibari ile Türkiye’de ki satıl cinsine göre yol ağı görülmektedir.

Tablo 16. Satıl cinsine göre yolağı [11]

Satıl Cinsine Göre Yol Ağı (Km)							
01.01.2007 tarihi itibariyle							
	Asfalt Beton	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Geçit Vermez	Toplam
Otoyol	1 987	--	--	--	--	--	1 987
Devlet Yolları	6 337	24 391	43	237	86	241	31 335
İl Yolları	867	25768	92	1 895	1140	667	30 429
Toplam	9 191	50 159	135	2 132	1226	908	63 751

Tablo 17’de 01.01.2007 tarihi itibariyle Türkiye’de bulunan bölünmüş yolların km bazında değerleri görülmektedir.

Tablo 17. Bölünmüş yollar [11]

Bölünmüş Yollar (Km)	
01.01.2007 tarihi itibariyle	
Otoyol	1 987
Devlet Yolları	9 135
İl Yolları	642
Toplam	11 764

Tablo 18’de 1970 ve 2006 yılları arasında sınıflara ve yollara göre Türkiye’de otoyollar, devlet yolları ve il yollarının km bazında uzunlukları görülmektedir.

Tablo 18. Karayolları ağ uzunluğu [11]

Karayolları Ağı Uzunluğu (Km)				
Sınıflara ve Yollara Göre				
Yıllar	Otoyollar	Devlet Yolları	İl Yolları	Toplam
1970	---	35 016	24 437	59 453
1975	---	33 762	25 307	59 069
1980	27	31 976	28 785	60 788
1985	81	30 997	28 305	59 383
1990	281	31 149	27 979	59 409
1995	1 246	31 422	28 577	61 245
1996	1 514	31 412	28 813	61 739
1997	1 528	31 320	29 521	62 369
1998	1 726	31 345	29 540	62 611
1999	1 749	31 388	29 535	62 672
2000	1 774	31 397	29 693	62 864
2001	1 851	31 376	29 929	63 156
2002	1 851	31 318	30 050	63 219
2003	1 892	31 358	30 133	63 383
2004	1 892	31 446	30 368	63 706
2005	1 775	31 371	30 568	63 714
2006	1 987	31 335	30 429	63 751

01.01.2007 tarihi itibariyle Türkiye’de 1987 km otoyola sahiptir. Tek şeritli bir otoyol 2 adet kenar çizgisine (2K), 1 adet orta şeride sahiptir (O). Kenar çizgiler kesintisiz, orta çizgiler 7,5 m aralıklı 4,5m ‘lik şeritlerden oluşur. Kenar ve orta çizgilerin genişlikleri 12 cm’dir. 1 km yatay işaretlemede;

- Toplam 2 km 2 adet kenar çizgisi (2K) .
- $[(4,5 / 12) * 1000 * 1,3]$ km 1 adet orta şerit çizgisi bulunmaktadır (O).

K: Kenar çizgi sembolü

O:Orta çizgi sembolü

2K+O

$$2*(1000*0,12) + [(4,5 / 12)*1000*1,3]=300 \text{ m}^2$$

1m² Soğuk Yol Çizgi Boyasının Fiyatı 9,37 YTL’dir. 1 km otoyolda 300 m² boya bulunmaktadır.1 km’lik yolun soğuk yol çizgi boyası ile boyandığını kabul edilirse 1 km’lik soğuk yol çizgi boyasının maliyeti;

$$300 * 9,37 = 2.811 \text{ YTL’dir.}$$

2007 itibariyle Türkiye’de bulunan 1987 km’lik otoyolun soğuk yol çizgi boyası ile boyandığı kabul edilirse toplam maliyeti;

$$1987 * 2811 = 5.585.457 \text{ YTL’dir.}$$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Demir Sac



Şekil 27. 60*40 cm'lik sac levhalar

Karayolları Teknik Şartnamesi' ne göre;

İşaretlenecek yol sathının işaret tatbikine uygunluğu yani temizliği, kuruluğu ve üst tabakaya yapışma özelliği aranmaktadır [1]. Bu nedenle, deneyde en doğru sonucu elde edebilmek ve kullanılan boya ile karışması sonucu oluşabilecek kimyasal değişimin önlenmesi için üzerinde önceden çalışma yapılmayan ve boya kalıntısı bulunmayan 6 adet 60*40 cm'lik sac levha kullanılmıştır (Şekil 27). Uygulanan boyanın dağılmaması ve kuruyken çatlamaması için levhalar 1,5 mm kalınlığındadır.

2.1.2. Soğuk Yol Çizgi Boyası

Karayolları Teknik Şartnamesi' ne göre;

- 1) Yeterince beyaz, ışığı geri yansıtıcı ve kirlenme direnci (kolay kir-pas tutmama özelliği) sayesinde her türlü (yeterli-yetersiz) ışık altında yeterince algılanabilirliğe (gece ve gündüz görünürlük),
- 2) Tabana iyi yapışan, her türlü hava şartlarına ve yola serilen tuza mukavim ve yoldan geçmesi muhtemel trafik (proje ömrü içinde oluşacak dingil tekerrürü) miktarının yaratacağı aşınma itibariyle yeterince aşınma ömre sahip olmalıdır [1].

Yatay işaretleme şimdiye kadar olduğu gibi bundan sonra da trafik kurallarının, trafik yönetiminin vazgeçilmez bir unsurudur. Dünyada her yıl kilometrelerce yatay işaretleme yapılmaktadır. Yapılan işaretlemelerde soğuk yol çizgi boyasının kullanım payı fazla olduğundan, deneyde yukarıda belirtilen maddeler gereğince Karayolları Teknik Şartnamesi' ne de uygun olan soğuk yol çizgi boyası kullanılmıştır.

2.1.3. Cam Küreciği

Cam kürecikler; bir aracın farından gelen ışık demetini sürücüye doğru geri yansıtarak yatay işaretlemelerin gece görünürlüğünü sağlayan şeffaf, küresel cam taneciklerdir.

Karayolları Teknik Şartnamesi' ne göre;

1. Cam kürecikler, TS EN 1423 standardında belirtilen esaslara uygun olmalıdır.
2. Cam kürecikler; şeffaf, temiz, renksiz, düzgün yüzeyli ve küresel biçimde olmalı, içerisinde çatlak ve kırık cam küreciği bulundurmamalıdır.
3. Cam kürecik içerisinde herhangi bir nedenle başka bir malzeme katılmalıdır [1].

Deneyde, yukarıda maddelerce belirtilen Karayolları Teknik Şartnamesi' ne [1] uygun olan TS EN 1423/ Nisan 2003 standardında cam küreciği kullanılmıştır.

2.2. Deneyde Kullanılacak Boya ve Cam Küreciği Miktarının Belirlenmesi

Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü tarafından, yıl içerisinde kilometre bazında çizilen şeritlere giden toplam boya miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

a: şerit uzunluğu

b: şerit genişliği

c: şerit kalınlığı (serpme malzemesi hariç)

d: boyanın yoğunluğu

“(a*b*c*d) “

Deneyde kullanılan ve Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü' nün 2007 yatay işaretleme işi kapsamında kullandığı soğuk yol çizgi boyasının yoğunluğu 1600kg/m³ tür.

Karayolları Teknik Şartnamesi' ne göre serpilecek olan cam küreciği miktarı, serpileceği şeride giden boya miktarınının 1/3' ü kadar olmalıdır.

Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü yollarında tek şeritli 0,3 mm kalınlığında soğuk yol çizgi boyası uygulanan 1km yolda kullanılan boya ve cam küreciği miktarları:

Boya miktarı:

1 km'de 300 m² boya vardır.

$a*b*c*d$

$300 \text{ m}^2 * 0,003 \text{ m}^2 * 1.600 \text{ kg/m}^2 = 144 \text{ kg}' \text{ dir.}$

Cam küreciği miktarı:

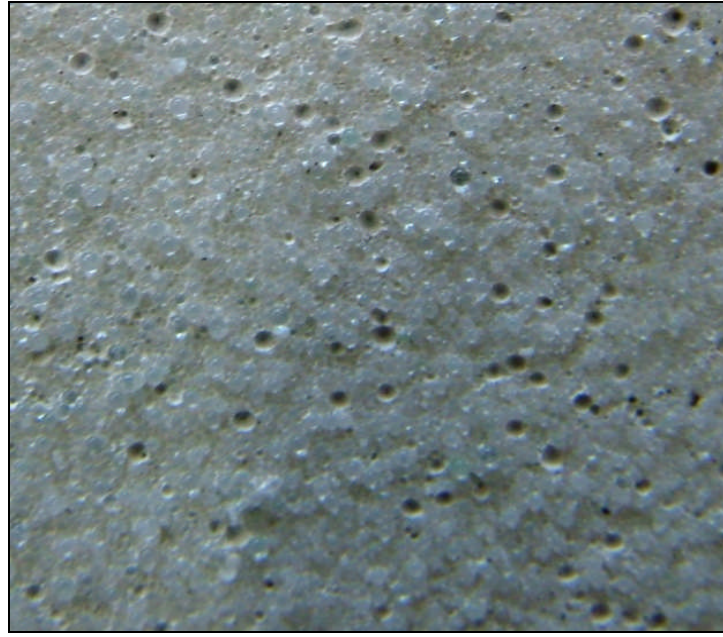
$144 * 1/3 = 48 \text{ kg}' \text{ dir.}$

2.3. Deneysel Çalışma

Deneyde, Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü' nün kullandığı basınçölçer(mono metre), boya tankı basıncı, atomize hava basıncı, püskürtme tabancası hava basıncı ve serpmeli malzemenin dağılım dozajı için bir cihaz bulunduran işaretleme aracı ile boya, saclara düzgün, eşit, temiz, hatasız olarak belirli bir hızla homojen olarak dağıtılmıştır [9].



Şekil 28. Cam küreciği serpilmiş, zımparalanmamış boya



Şekil 29. Cam küreciği serpilmiş, zımparalanmış boya

Gece ve gündüz görünürlük değerleri sacların zımparalanmamış (Şekil 28) ve zımparalanmış (Şekil 29) hallerinde kuru, ıslak ve tozlu durumlarda ölçülmüştür. Karayolları ağı yatay işaretlemelerinin araç trafiği nedeniyle maruz kaldıkları sürtünme kuvveti ile gece ve gündüz görünürlüklerinde oluşan değişim miktarlarını belirleyebilmek amacıyla boya üzerinin sürtünmüş hal alması için zımparalama işlemi yapılmıştır (Şekil 29).

Deneyde kullanılan cam küreciği ve boya miktarları:

Demir saçlar üzerine 60 cm uzunluğunda, 15 cm genişliğinde serpm malzemesi hariç 0,3 mm' lik yol çizgi aracıyla üniform boya, boya üzerine de kullanılan boyanın 1/3' ü kadar cam küreciği serpilmiştir.

1 adet saca kullanılan;

Boya miktarı: $0,6 * 0,15 * 0,0003 * 1600 = 0,0432 \text{ kg} = 43,2 \text{ gr}$ dır.

Cam küreciği: $43,2 / 3 = 14,4 \text{ gr}$ dır.

Deneyde 6 adet saca kullandık

- Birinci deney: $60*40 \text{ cm}^2$ lik 3 adet saca, sadece $60*15 \text{ cm}^2$ lik 0,3 mm kalınlığında boya atıldı.

Harcanan: 3 adet saca için

$43,2 \text{ gr} * 3 = 129,6 \text{ gr}$ boya kullanıldı.

- İkinci deney: $60*40 \text{ cm}^2$ lik 3 adet saca $60*15 \text{ cm}^2$ lik 0,3 mm kalınlığında boya ve boyanın 1/3 oranında cam küreciği atıldı.

Harcanan: 3 adet saca için

$43,2 \text{ gr} * 3 = 129,6 \text{ gr}$ boya kullanıldı

$14,4 \text{ gr} * 3 = 43,2 \text{ gr}$ cam küreciği kullanıldı.

2.4. Reflektometre Aletinin Kalibrasyonu

Kalibrasyon yeni seri ölçümlere başlamadan önce mutlaka tamamlanmalıdır. Kalibrasyon, ölçümlene ünitesini rayların arasındaki aletin altına yerleştirerek yapılmalıdır. Üniteyi yerleştirmenin en kolay yolu aleti arkaya doğru eğmektir.



Şekil 30. Reflektometre aleti

Ölçümlerde kullanılan reflektometre aleti LTL 2000 SQ' dür (Şekil 30).

Kalibrasyonu yapılırken şu adımlar izlenilir:

- Aletin eğilmesi;



Şekil 31. Reflektometre aleti kalibrasyon montesi

Kalibrasyon üniteleri dışındaki guidance pins le ünitenin ortasına boylamasına monte edilen pinler raylardaki dişlere yerleştirilmelidir (Şekil 31).

Alet otomatik olarak zero sinyali, sızıntı ve diğer muhtemel hata kaynaklarını telafi eder ve ölçümleme faktörünü hesaplar. Bu işlem tamamen otomatiktir ve ölçümleme işlemi tam olarak takip edilirse reflektometre gerçek RI yi ölçecektir.

1) RI Kalibrasyonu

RI ölçümleme 1. adımdan 8. adıma kadar aslında 2 kalibrasyondan oluşur:

- Zero ölçümleme
- Normal ölçümleme

Zero kalibrasyon kalibratör ışık kapanında yapılır ve normal kalibrasyon ise seramik üstünde yapılır. RI ölçümleme ünitesini ölçümleme sırasında doğru yöne çevirmek önemlidir.

Kalibrasyon modunu girmek için “ölçümleme” tuşuna basılır ve ekrandaki talimatlar izlenmelidir.

Adım 1+4: Kalibrasyon ünitesi nasıl yerleştirilir.

Adım 2: Mesaj 2 saniye için gösterilir.

Adım 3: Mesaj kısaca gösterilir.

Adım 5: Mesaj 2 saniye için gösterilir.

Adım 6: RI normal değerini ölçümleme ünitesinin üzerinde yazan değere göre değiştirilmelidir.

Adım 7: Gösterilen normal değeri kabul edilmelidir.

Ekranın göstereceği adımlar:

Adım 1: Işık kapanını monte et.

Adım 2: Sıfırlanıyor lütfen bekleyin.

Adım 3: Sıfırlama hazır. Sıfırlama; % 0,05.

Adım 4: RI ölçümleme aletini monte et. Hazır olduğunda bas.

Adım 5: Kalibre ediliyor lütfen bekleyin.

Adım 6: RI normal 150.Kalibrasyonu düzeltmek için bekleyin.

Adım 7: RI normal 150 Kalibrasyonu düzeltmek için bekleyin.

Adım 8: Kalibrasyon tamamlandı. Kalibre aletini kaldırın.

Kalibrasyonu doğrulamak için adım 8'deki kalibre aletini kaldırmadan önce RI ölçümünü yapılır.

Kalibrasyonu belgelemek için yazıcı tuşuna basılarak çıktı alınabilmektedir.

Yukarıdaki örnekte RI fonksiyonu 150 değerine kalibre edildi.

Not

- Kalibrasyonu direkt güneş ışığından korunmalıdır.
- Referans ölçümleme ünitesini kuru ve temiz bir yerde saklanmalıdır.

2) Qd Kalibrasyon

Kalibrasyon modunu girmek için “ ölçümleme” tuşuna basılır ve ekrandaki talimatlar izlenmelidir.

Adım 1: Porselen kalibre aleti yerleştirilmelidir.

Adım 2: Mesaj 2 saniye için gösterilecektir.

Adım 3: Qd normal değerini ölçümleme ünitesinin üzerinde yazan değere göre düzeltilmelidir.

Ekranın göstereceği adımlar:

Adım 1: Qd normali monte edin.

Adım 2: Kalibre ediliyor lütfen bekleyin.

Adım 3: Qd normal: 200. Kalibrasyonu düzeltmek için bekleyin.

Adım 4: Qd normal 215. Kalibrasyonu düzeltmek için bekleyin.

Adım 5: Kalibrasyon tamamlandı. Kalibre aletini kaldırın.

Not:

- Mümkün oldukça batarya yeniden şarj edilmelidir.
- Uzun süre batarya şarjsız bırakılmamalıdır.
- Koruma camı, ışık kapanı ve ölçümleme ünitesini temiz tutulmalıdır.
- LTL 2000 SQ optik doğruluk aletidir, dikkatle tutulmalıdır.
- Temiz ve kuru yerde saklanmalıdır.

Saç levha üzerindeki boya tabakalarının gece ve gündüz görünürlük ölçümü, reflektometre aleti kalibre edildikten sonra yapılmıştır.



Şekil 32. Reflektometre aleti kalibrasyon ekleri

Şekil 32’de reflektometre aleti kalibrasyon ekleri görülmektedir. Yatay işaretlemenin gündüz görünürlüğü ölçülmek isteniyorsa beyaz renkli seramik kalibrasyon aleti, gece görünürlük ölçülecekse siyah parlak yüzeyli kalibrasyon eki kullanılmalıdır.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, Türkiye Karayolları Ağı yatay işaretleme işleminde boya üzerine serpilmiş cam küreciğinin boyanın gece ve gündüz görünürlüğüne etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmış deneylerden elde edilen bulgular verilmekte ve bunların ne anlama geldiği hususu irdelenmektedir.

3.1. 0,3mm Kalınlığında 43,2 gr Boya Tabakası Taşıyan Sac Levhalar Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme

İlk ölçümler 0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakası üzerinde herhangi bir uygulama yapılmadan alınmıştır. Sonraki ölçümler 0,3mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakası üzerinde tek kat ve çift kat zımparalama işlemi yapılarak ölçülmüştür.

Ölçümler Tablo 19’da gösterildiği gibi her bir deney için boyanın kuru, ıslak ve tozlu hallerine göre yapılmıştır. Amaç yatay işaretlemenin her halde göstermiş olduğu gece ve gündüz görünümünü ölçmektir.

Tablo 19. Yatay işaretleme kalite formu

0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakası							
Gece görünürlük $RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru) $RL \geq 35 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Islak)							
Gündüz görünürlük $OD \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru)							
Deneyde kullanılan 3 adet sac levhaların kuru, tozlu, ıslak hallerde gece ve gündüz görünürlük değerleri	1 nolu sac levha		2 nolu sac levha		3 nolu sac levha		
	Gündüz görünürlük	Gece görünürlük	Gündüz görünürlük	Gece görünürlük	Gündüz görünürlük	Gece görünürlük	
Zımparalanmamış	Kuru	113	24	119	18	107	14
	Toz	20	11	9	7	18	9
	Islak	115	17	111	17	92	9
1 kat zımparalanmış	Kuru	108	69	111	74	115	92
	Toz	44	16	38	15	58	30
	Islak	73	25	76	29	88	31
2 kat zımparalanmış	Kuru	92	45	94	63	101	73
	Toz	19	7	25	9	36	13
	Islak	91	46	89	54	94	73

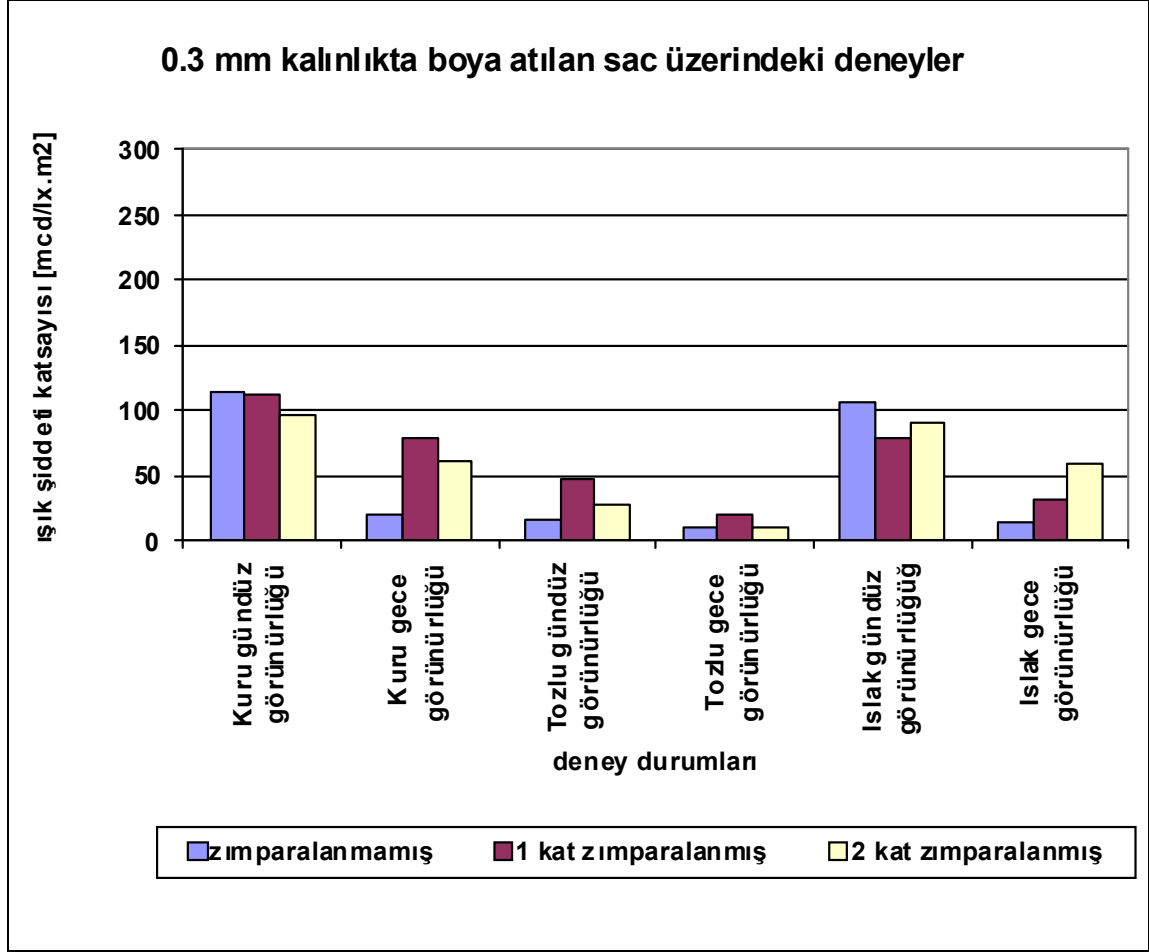
Tablo 20’de göre cam küreciği kullanılmayan boyanın gündüz görünürlüğünün (Gündüz görünürlük $OD \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru)) QD sınır değerini kuru halde % 13, ıslak halde % 6 aştığı görülmektedir. Bu durum, gün ışığı altında bulunan cam küreciksiz yatay işaretlemelerin görünürlüğünün çok iyi olduğu ile açıklanabilir. Tozlu haldeki gündüz görünürlüğü ise OD sınır değerinden % 84 düşük çıkmıştır. Bu durumun, boya şeridinin toz ile kaplanması sonucu oluştuğu söylenilebilir.

Cam küreciksiz boyanın gece görünürlüğü ise kuru, ıslak ve tozlu hallerde (Gece görünürlük $RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru), $RL \geq 35 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Islak)) RL sınır değerini yakalayamamıştır. Bu durum, cam küreciksiz düzgün yüzeyli boya üzerine araç farından gelen ışınların düzgün yansıma prensibi ile yansyarak sürücüye geri dönmemesi, böylelikle boyanın gece görünürlüğünün düşük olacağı şeklinde açıklanabilir.

Cam küreciksiz boyanın zımpalandıktan sonra gündüz görünürlük değerlerinde azalma, gece görünürlük değerlerinde artma olmuştur. Gece görünürlük değerlerinde oluşan artmanın, boya yüzeyinin pürüzlü hale getirilmesiyle boya yüzeyine gelen ışın kümesinin dağınık yansımaya uğrayarak bir miktarının sürücüye geri dönmesi sonucu oluşabileceği şeklinde açıklanabilir.

Tablo 20. 0,3mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakasının gece ve gündüz görünürlük aritmetik ortalamaları

0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakası		Gündüz görünürlük	Gece görünürlük
Zımparalanmamış	Kuru	113	19
	Toz	16	9
	Islak	106	15
1 kat zımparalanmış	Kuru	112	79
	Toz	47	21
	Islak	79	29
2 kat zımparalanmış	Kuru	96	61
	Toz	27	10
	Islak	91	58



Şekil 33. 0,3 mm Kalınlığında boya atılan sac üzerinde yapılan deneyin sonuçları

Şekil 33’de 0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakası taşıyan sac levhaların kuru, ıslak ve tozlu hallerdeyken zımparalı ve zımparalanmamış hallerde yapılan deneylerin gece ve gündüz görünürlükleri görülmektedir.

3.2. 0,3 mm Kalınlığında 43,2 gr Boya Tabakası ve 14,4 gr Cam Küreciği Taşıyan Sac Levhalar Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme

İlk ölçümler, 0,3mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakası ve 14,4 gr cam küreciği taşıyan sac levhalar üzerinde zımparalama işlemi yapılmadan alınmıştır. Sonraki ölçümler boya tabakası üzerinde tek kat zımparalama işlemi yapılarak ölçülmüştür.

Ölçümler Tablo 21’de gösterildiği gibi yatay işaretlemenin her durumda sahip olduğu gece ve gündüz görünümünü ölçmek için boyanın kuru, ıslak ve tozlu hallerinde yapılmıştır.

Tablo 21. Yatay işaretlemem kalite formu

0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya ve 14,4 gr cam küreciği tabakası							
Gece görünürlük $RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru) $RL \geq 35 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Islak)							
Gündüz görünürlük $OD \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru)							
Deneyde kullanılan 3 adet sac levhaların kuru, tozlu, ıslak hallerde gece ve gündüz görünürlük değerleri	1 nolu sac levha		2 nolu sac levha		3 nolu sac levha		
	Gündüz görünürlük	Gece görünürlük	Gündüz görünürlük	Gece görünürlük	Gündüz görünürlük	Gece görünürlük	
Zımparalanmamış	Kuru	87	107	82	118	87	93
	Toz	54	57	34	36	37	33
	Islak	78	135	74	158	79	214
1 kat zımparalanmış	Kuru	67	163	71	248	74	143
	Toz	32	45	34	84	38	59
	Islak	64	162	66	211	64	185

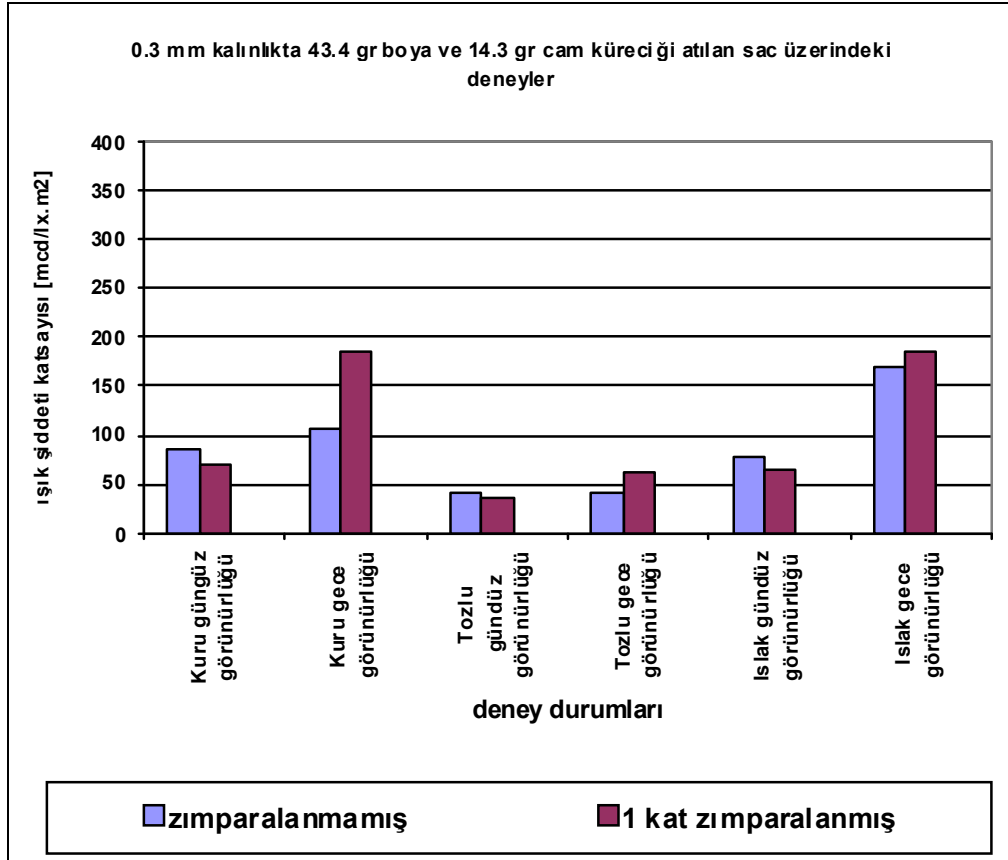
Tablo 22'ye göre cam küreciği kullanılan boyanın gündüz görünürlüğü (Gündüz görünürlük $OD \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru)) QD sınır değerinden kuru halde % 14, tozlu halde % 58, ıslak halde % 23 düşük çıkmıştır. Zımparalandıktan sonra bu değerlerde düşüş görülmüştür. Bu durum, boya yüzeyinin zımparalanması sonucu cam küreciklerin boya içerisinde gömüldükleri yuvalarından çıkması ile yüzeyde çukurlar oluşması, bu çukurların ışınları tutarak ışık kaynağına geri yansıyan ışın miktarında azalma oluşturması şeklinde açıklanabilir.

Cam küreciği kullanılan boyanın gece görünürlüğü RL sınır değerinden ($RL \geq 35 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Islak)) ıslak halde % 482 fazla ve kuru halde (Gece görünürlük $RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru)) % 6 fazladır. Bu durumu, cam küreciğinin üzerine gelen ışınları kırması ve ışık kaynağı geri yansıtması sonucu boyanın gece görünürlüğünü artırması şeklinde açıklayabiliriz. Tozlu halde ise RL sınır değeri (Gece görünürlük $RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru)) % 57 düşük çıkmıştır. Bu, cam kürecik yüzeylerinin toz ile kaplanarak ışık alımlarının engellenmesi şeklinde açıklanabilir.

Boya tabakası zımparalandıktan sonra kuru, ıslak ve tozlu hallerinde gündüz görünürlüklerinde azalma, gece görünürlüklerinde artma olmuştur. Zımparalama işlemi sonrasında gece görünürlüğünde oluşan artışın, boya yüzeyinde fazla halde bulunan cam küreciklerin çıkarak, ışınların birden fazla kırılmaya uğramalarının engellenmesi sonucu ışık kaynağına geri dönen ışın miktarının artması ile açıklanabilir.

Tablo 22. 0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya ve 14,4 gr cam küreciği tabakasının gece ve gündüz görünürlük aritmetik ortalamaları

0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya ve 14,4 gr cam küreciği		Gündüz görünürlük	Gece görünürlük
Zımparalanmamış	Kuru	86	106
	Toz	42	42
	Islak	77	169
1 kat zımparalanmış	Kuru	71	185
	Toz	35	63
	Islak	65	186



Şekil 34. 0.3 mm kalınlığında 43.4 gr boya ve 14,3 gr cam küreciği atılan sac üzerinde yapılan deneyin sonuçları

Şekil 34’de 0,3 mm kalınlığında 43,2 gr boya tabakası ve 14,4 gr cam küreciği taşıyan sac levhaların kuru, ıslak ve tozlu hallerdeyken zımparalı ve zımparalanmamış hallerde yapılan deneylerin gece ve gündüz görünürlükleri görülmektedir.

3.3. Elde Edilen Bulgulara Göre Sonuçların İrdelenmesi

Elde edilen bulgulara göre:

1. Kuru halde gündüz görünürlüğü;

Yatay işaretlemelerde gündüz görünürlüğü “QD” sembolü ile gösterilir. Kuru halde görünürlük $QD \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ olmalıdır. Karayolları yatay işaretlemelerinin kuru halde gündüz görünürlüğü sınırı $QD \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ olmasına rağmen, bazen görünürlük bu sınırın altına düşebilir. Bu düşüş boyanın içeriğinden ve işaretleme aracının boyayı yol üzerine uygularken oluşan işaretleme düzensizlikleri sonucu boyanın kalitesinin, dayanıklılığının ve yansıtıcılığının etkilenmesinden kaynaklanmaktadır.

Deneyde kuru halde ki cam küreciksiz boyanın gündüz görünürlüğü sınır derecesinde olup, cam kürecikli boya bu sınırı yakalayamamıştır. Zımparalanmamış durumda ki cam küreciksiz boyanın kuru halde ki gündüz görünürlüğü cam kürecikli boyanın kuru halde ki gündüz görünürlüğünden % 27 daha fazla, 1 kez zımparalanmış durumda bulunan cam küreciksiz boyanın kuru halde ki gündüz görünürlüğü cam kürecikli boyanın kuru halde ki gündüz görünürlüğünden % 41 daha fazla olduğu tespit edildi. Gün boyunca gün ışığı altındaki cam küreciksiz yol şerit boyası çok iyi görünüme sahip iken, gün ışığı altında ki görünürlüğünü gece sağlayamadığı görüldü.

Buradan bir mühendisin kararı gün ışığı altında verecekse, muhtemelen cam küreciksiz şeridi seçmesi gerektiği söylenebilir

2. Kuru halde gece görünürlüğü;

Yatay işaretlemelerde gece görünürlüğü “RL” sembolü ile gösterilir. Kuru haldeki yatay işaretlemelerde gece görünürlük $RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ olmalıdır. Deneyde cam küreciksiz boya üzerinde reflektometre aleti ile yapılan ölçümlerde gece görünümünün sınır değerinin altında olduğu, cam küreciği serpiştirilen boyanın gece görünürlüğünün ise sınır değerini % 6 aştığı görülmektedir. Zımparalanmamış durumda bulunan cam kürecikli boyanın kuru halde ki gece görünürlüğü cam küreciksiz boyanın kuru halde ki gece görünürlüğünden % 87 daha fazla, 1 kez zımparalanmış durumda bulunan cam kürecikli

boyanın kuru halde ki gündüz görünürlüğü cam küreciksiz boyanın kuru halde ki gündüz görünürlüğünden % 106 daha fazla olduğu tespit edildi.

Buradan cam küreciğinin, araç farından gelen ışını kırıp gözümüze geri yansıttığı için şeridin gece görünürlüğünü arttırdığının, bu nedenle cam küreciğinin gece saatlerinde trafik ve yaya güvenliği için gerekli olduğu söylenebilir.

Cam küreciksiz yüzey zımparalanmadan önce düzgün yansımaya sahip olduğundan araç farından boya yüzeyine gelen ışınlar yüzeyden düzgün yansıma ile yansımakta, böylelikle yansıyan ışın gözümüze geri dönmemektedir. Zımparaladıktan sonra oluşan girinti ve çıkıntılar sonucu dağınık yansıma ortamı oluşmuş, araç farından çıkan ışın pürüzlü yüzeye çarparak gözümüze geri yansır ve şeridin görünürlüğünü arttırdığı söylenebilir.

Bir başka şekilde şerit üzerine eşit bir şekilde serpiştirilen cam küreciklerinin üst üste gelmesi sonucu yığılmış cam kürecikler birbirlerinin yüzeylerini örterek doğru açıyla ışığı yansıtmalarına engel olurlar. Zımparalama sonucu fazlalık cam küreciklerin aşınarak kopması sonucu gelen ışın doğru açıyla kırılarak geri yansıtılır. Böylelikle zımparalandıktan sonra gece görünürlük artmış olduğu söylenebilir.

3. Tozlu halde gündüz görünürlüğü;

Yatay işaretlemelerde tozlu halde gündüz görünürlüğü $QD \geq 100$ mcd/lx.m² olmalıdır. Boya şeritlerinin toz ile kaplanması sonucunda şeridin gündüz görünürlüğü etkilenmektedir. Zımparalanmamış durumda bulunan cam kürecikli boyanın tozlu halde ki gündüz görünürlüğü cam küreciksiz boyanın tozlu halde ki gündüz görünürlüğünden % 26 daha fazla, 1 kez zımparalanmış durumda bulunan cam küreciksiz boyanın tozlu halde ki gündüz görünürlüğü cam kürecikli boyanın tozlu halde ki gündüz görünürlüğünden % 12 daha fazla olduğu tespit edildi. Toz şeridin cam küreciklerin ışık alımını engellediğinden görünürlüğü azalır.

4. Tozlu halde gece görünürlüğü;

Tozlu haldeki yatay işaretlemelerde gece görünürlük $RL \geq 100$ mcd/lx.m² olmalıdır. Boya şeritlerinin toz ile kaplanması sonucunda şeridin gece görünürlüğü etkilenmektedir. Şeritlerin kirlilik oranına göre gece görünürlüğü azalır. Zımparalanmamış durumda bulunan cam kürecikli boyanın tozlu halde ki gece görünürlüğü cam küreciksiz boyanın tozlu halde ki gece görünürlüğünden % 33 daha fazla, 1 kez zımparalanmış durumda bulunan cam kürecikli boyanın tozlu halde ki gece görünürlüğü cam küreciksiz boyanın tozlu halde ki gece görünürlüğünden % 12 daha fazla olduğu tespit edildi. Tozlu halde ki

gündüz görünürlüğünde olduğu gibi toz boya şeritlerinin ve cam küreciklerinin yüzeylerini örterek ışık alımını engeller.

5. Islak halde gündüz görünürlüğü;

Karayolları yatay işaretlemelerinin kuru halde gündüz görünürlüğü sınırı $OD \geq 100$ mcd/lx.m²'dir. Boyanın ıslak olduğu anda görünürlüğü bu sınırın altına düşebilir. Bu düşüş, suyun kırılma indisinin farklılığından ve ışının daha fazla kırılma indisi ile karşılaşmasından kaynaklanmaktadır. Havanın kırılma indisi 1,0003' dir. Normal koşulda havadan gelen ışın kuru cam yüzeye çarpacağından sadece 2 farklı kırılma indisi ile karşılaşır. Fakat ıslak boya yüzeyine çarpan ışın kırılma indisi 1.33 olan suya da çarparak hava ve sudan sonra bir kez de camda kırılacaktır. Böylelikle ışının yansıma açısı değişecektir ve görünürlük düşecektir.

Islak halde ki cam küreciksiz boyanın gündüz görünürlüğü, ıslak haldeki cam kürecikli boyanın gündüz görünürlüğünden kırılma indisleri farklılıkları ve gün boyunca gün ışığı altındaki cam küreciksiz yol şerit boyasının cam kürecikli bir boyaya göre çok iyi görünüme sahip olmasından dolayı % 28 fazladır. Zımparalanmamış durumda bulunan cam küreciksiz boyanın ıslak halde ki gündüz görünürlüğü cam kürecikli boyanın tozlu halde ki gündüz görünürlüğünden % 29 daha fazla olduğu görülmektedir. 1 kez zımparalanmış durumda bulunan cam küreciksiz boyanın ıslak halde ki gündüz görünürlüğü cam kürecikli boyanın ıslak halde ki gündüz görünürlüğünden % 14 daha fazla olduğu tespit edildi.

Bu durum, ıslak cam kürecikli yüzeye gelen ışının 1,33 kırılma indisine sahip olan suda kırıldıktan sonra bir de 1,5-1,7 (camın kalitesine göre) kırılma indisine sahip kürecikte kırılarak gözümüze gelen ışın miktarının azalmasıyla birlikte boyanın görünürlük kaybına uğraması ile açıklanabilir.

6. Islak halde gece görünürlüğü;

Karayolları yatay işaretlemelerinin ıslak halde gece görünürlüğü $RL \geq 35$ mcd/lx.m²'dir. Cam kürecikli şerit boya ıslak olduğu gece saatlerinde bu değerden düşük görünürlüğe sahip olmamalıdır. Deneyde elde edilen değerler bu sonucu sağlamıştır. Zımparalanmamış durumda bulunan cam kürecikli levhanın ıslak halde ki gece görünürlüğü cam küreciksiz levhanın ıslak halde ki gece görünürlüğünden % 154 daha fazla, 1 kez zımparalanmış durumda bulunan cam kürecikli levhanın ıslak halde ki gece görünürlüğü cam kürecikli levhanın ıslak halde ki gece görünürlüğünden % 157 daha fazla olduğu tespit edildi.

Değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasının sebebi şerit boya yüzeyinin fazla ıslatılmamasıdır. Cam küreciği gece görünürlüğünü arttırdığından cam kürecikli yüzeyin ıslak haldeyken gece görünümü, cam küreciksiz yüzeyin ıslak haldeyken gece görünümünden fazladır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yatay işaretleme üzerine serpilmiş cam küreciklerinin sürtünmeli ve sürtünmesiz durumlarda kuru, ıslak ve tozlu hallerde gece ve gündüz görünürlük performanslarına etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu doğrultuda reflektometre aleti ile yapılan deneylerden elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Cam küreciği bulunmayan yatay işaretlemenin gündüz görünürlüğünün sınır derecesini ($OD \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru)) aştığı görülmektedir.
- Cam küreciği bulunmayan yatay işaretlemenin gece görünürlüğü ıslak ve kuru hallerde sınır derecesini (Gece görünürlük $RL \geq 100 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Kuru), $RL \geq 35 \text{ mcd/lx.m}^2$ (Islak)) yakalayamamıştır. Cam küreciği kullanılan işaretleme sınır değeri olan RL değerini aşmıştır. Bu durumda, cam küreciğinin gece saatlerinde yatay işaretlemenin görünürlüğünü arttırdığı söylenebilir.
- Cam küreciği kullanılan işaretlemelerin ıslak ve tozlu hallerde gece ve gündüz görünürlüklerinde düşüş görülmüştür. Bu durumun boya şartlarının, dolayısıyla cam küreciklerinin ışık alımını engellemesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgulardan, yatay işaretleme üzerine cam küreciği serpilmesinin işaretlemelerin gece görünürlük performansları açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ayrıca, farklı boyutlara sahip cam küreciklerin görünürlük performanslarının incelenerek bu konuda yapılacak araştırmanın yararlı olacağı kanaatine varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi 2006, Yayın No:267, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2006.
2. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı Trafik Şube Müdürlüğü, Trafik İşaretleri Hakkında Yönetmelik, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2002.
3. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Trafik Güvenliği Kontrolü Elkitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2002.
4. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı Trafik Şube Müdürlüğü, Trafik Kazaları Özeti 2005, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2006.
5. Özdirim, M., Trafik Mühendisliği 2, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1994.
6. <http://www.ulukar.com.tr/soğuk.htm>, Soğuk Yol Çizgi Boyası, 5 Temmuz 2007.
7. TS EN 1871, Yol İşaretleme Malzemeleri, Fiziksel Özellikler, T.S.E., Ankara, 2003.
8. http://www.gursanas.com/yolboya_tr.htm, GRS Termoplastik yol çizgi boyası 5 Ağustos 2007.
9. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Yatay İşaretleme Uygulaması Konusunda Çeviri Bilgiler, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2006.
10. <http://www.cleanosolyol.com.tr/default.asp>, Cleanosol Yol İşaretleri . 18 Ağustos 2008.
11. <http://www.kgm.gov.tr/fr5.asp?tt=0005>, Karayolları Genel Müdürlüğü. 5 Eylül 2007.
12. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik İşaretleri Elkitabı 1, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2004.
13. <http://www.bilgisayar.tv/d-1288-Isik+Nedir.html>, 22 Eylül 2007
14. <http://www.virginiadot.org/business/resources/bu-mat-PaveMarkCh2.pdf>, Reflective glass beads, 2-1 – 2-15. 2 Ekim 2007.

15. <http://www.ansiklopedim.com/fizik/optik01.sb>,Optik. 3 Ekim 2007
16. <http://www.onlinefizik.com/content/view/821/170/>, Snell yasası. 4 Ekim 2007.
17. Tunç, A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınevi, 2007
18. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı Trafik Şube Müdürlüğü, Trafik İşaretlerine Ait Birim Fiyat Analizleri Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2002
19. BS 1981, Specification for Unified Machine Screws and Machine Screw Nuts, British Standards, British, 1991.
20. BS 6088, Specification for Solid Glass Beads for Use with Road Marking Compounds and for Other Industrial Uses, British Standart, British, 1981.
21. TS EN 1423, Yol İşaretleme Malzemeleri - Dökülerek Uygulanan Malzemeler-Cam Kürecikler, Kayma Önleyici Agregalar ve Bunların Karışımları, T.S.E., Ankara, 2003.
22. TS EN 1424, Yol İşaretleme Malzemeleri- Hazır Karışım Cam Kürecikler, T.S.E., Ankara, 2003.
23. http://www.yapi.com.tr/turkce/Haber_Detay.asp?NewsID=34457, Cam Kürecikleri Yol Oluyor, 5 Ekim 2007.
24. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2007 Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı 2007 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları Rayiç, İller Bankası Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2007.
25. ASTM E 1710, Standart Specification for measurement of retroreflective pavement marking materials with CEN-prescribed geometry using a Portable retroreflectometre, Annual Book of ASTM Standarts, USA, 2006.
26. TS EN 1436, Yol İşaretleme Malzemeleri- Yol Kullanıcıları için Yol İşaretleri Performansı, T.S.E., Ankara, 2003.
27. <http://www.delta.dk>, reflectometer, 3 Kasım 2007.
28. <http://www.birimfiyat.com>. 27 Kasım 2007.
29. <http://www.kgm.gov.tr/>, Trafik işaretleri el kitabı 1, Sayfa No: 11. 5 Aralık 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Ezgi ÇERGEL, 1982 yılında Akçaabat'ta doğdu, Akçaabat Merkez İlkokulu, Trabzon Cumhuriyet Ortaokulu ve 2000 yılında Trabzon Yabancı Dil Ağırlıklı Süper Lisesi'nden mezun oldu. 2001 yılında girdiği, Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü Trafik servisinde çalışma hayatına atıldı. 2006 yılında "Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü yollarında 11 adet prefabrik yaya üst geçidi yapımı" işi ve 2007-2008 yıllarını kapsayan "Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü yollarında otokorkuluk yapımı, çelik yaya üst geçidi yapımı ve kavşak düzenlemesi" işlerinin kontrol mühendisliğini üstlenmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.