



**OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜRÜNLERİNDE  
ALÜMİNYUM KAPLI ALT PARÇA GEOMETRİSİNİN  
VE KAPLAMA PARAMETRELERİNİN KAPLAMA  
KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Fatih ER**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜRÜNLERİNDE ALÜMİNYUM KAPLI ALT  
PARÇA GEOMETRİSİNİN VE KAPLAMA PARAMETRELERİNİN KAPLAMA  
KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Fatih ER  
0000-0001-9540-147X

Prof. Dr. Rukiye ERTAN  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ POLİMER MALZEMELER ANABİLİM DALI

BURSA – 2022  
Her Hakkı Saklıdır

**TEZ ONAYI**

## ÖZET

Yüksek Lisans

### OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜRÜNLERİNDE ALÜMİNYUM KAPLI ALT PARÇA GEOMETRİSİNİN VE KAPLAMA PARAMETRELERİNİN KAPLAMA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Fatih ER**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Polimer Malzemeler Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Rukiye ERTAN

İşletmelerin müşteri memnuniyetini sağlamak, pazar payını korumak ve artırmak için kaliteli ürünler üretmek ve kaliteli ürün üretilebilirliğini sürdürmek zorundadırlar. Otomotiv dış aydınlatma ürünleri ışık kaynağından çıkan ışığın yansıtılması ve estetik görünüm ihtiyacı nedeniyle alt parçalarında alüminyum kaplama gereksinim duyar. Bu kaplama işlemi genelde PVD olarak tanımlanan, vakumlu ortamda bir ısıtıcı yardımıyla buharlaştırılan kaplayıcı maddenin kaplanacak yüzey üzerinde ince bir film tabakası oluşturmasıdır.

Bu çalışmada farklı geometrik ölçülere (yüzey alanı ve derinlik) sahip prizmalar oluşturularak bir otomotiv dış aydınlatma alt parçasının kaplanacak yüzeyi benzetimi yapılmıştır. Belirlenen değişkenlerin ve seviyelerinin kaplama kalitesi üzerindeki etkisini incelemek için iyileme yöntemi olan Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Prizmalar test plakaları üzerine sabitlenerek farklı planet dönme hızlarında alüminyum kaplanmıştır. Kaplanan plakalara NaOH ve alüminyum kaplama kalınlık testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda MINITAB programı kullanılarak ürünün kalite karakteristiklerinin en iyi halde bulunduğu seviyeler ve kalite karakteristiklerine etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** PVD kaplama, Otomotiv dış aydınlatma, Taguchi metodu, MINITAB, Kaplama kalınlığı, Kaplama kalitesi

**2022, viii + 40 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ALUMINUM COATED SUB-PART GEOMETRY AND COATING PARAMETERS ON COATING QUALITY IN AUTOMOTIVE EXTERIOR LIGHTING PRODUCTS**

**Fatih ER**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Polymer Materials

**Supervisor:** Prof. Dr. Rukiye ERTAN

Businesses have to produce quality products and maintain quality product manufacturability in order to ensure customer satisfaction, maintain and increase their market share. Automotive exterior lighting products require aluminum coating on their sub-parts due to the reflection of the light from the light source and the need for an aesthetic appearance. This coating process, which is generally defined as PVD, is the formation of a thin film layer on the surface to be coated by the coating material evaporated with the help of a heater in a vacuum environment.

In this study, prisms with different geometric dimensions (surface area and depth) were created and the surface to be coated of an automotive exterior lighting sub-part was simulated. The Taguchi method, which is an improvement method, was used to examine the effect of the determined variables and levels on the coating quality. Prisms are fixed on test plates and coated with aluminum at different planetary rotational speeds. NaOH and aluminum coating thickness tests were applied to the coated plates. As a result of the tests, using the MINITAB program, the levels where the quality characteristics of the product are at their best and their effect on the quality characteristics were examined.

**Key words:** PVD coating, Automotive exterior lighting, Taguchi method, MINITAB, Coating thickness, Coating quality

**2022, viii + 40 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan saydı değer danıőmanım Prof. Dr. Rukiye ERTAN'a, çalıőmam boyunca desteğe ihtiyaım olduğu her konuda yardımlarını esirgemeyen Odelo A.Ő.'ye, hayatımın her evresinde bana destek olan annem Ünzile ER ve ağabeyim Ömer ER'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Fatih ER  
25 / 11 / 2021



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1.GİRİŞ .....	1
1.1.Otomobillerde aydınlatma sistemleri .....	2
1.1.1.Otomobil aydınlatma sistemlerinin tarihsel olarak gelişimleri .....	3
1.1.2.Otomobil aydınlatma sistemlerinin çeşitleri .....	4
1.1.3.Otomobil arka aydınlatma sistemlerinin elemanları .....	6
1.1.4.Otomobil arka aydınlatma sistemlerinin içerdiği fonksiyonlar.....	7
1.2.Otomobil Aydınlatma Sistemlerinde Optik Tasarım .....	8
1.3.Otomobil Aydınlatma Sistemlerinde Işık Kaynakları.....	10
1.3.1.Ampuller .....	10
1.3.2.Işık yayan diyot .....	11
1.4.Polimer Malzemeler .....	12
1.4.1.Polimer .....	12
1.4.2.Polimer malzemelerin özellikleri .....	13
1.5. Otomotiv Aydınlatma Ürünlerinde Optik Standartları .....	15
2.KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	17
2.1.Deneysel Tasarım Yöntemleri.....	24
2.2.Taguchi Yöntemi.....	26
3.MATERYAL ve YÖNTEM .....	27
3.1.Soda (NaOH) Testi.....	27
3.2.Kaplama Kalınlık Ölçümü .....	27
3.3.Numune Üretiminin Gerçekleştirilmesi .....	28
3.3.1.Kaplama Prosesinde Kullanılan Alüminyum Tel Özellikleri .....	31
4.BULGULAR.....	32
5.TARTIŞMA ve SONUÇ.....	38
KAYNAKLAR .....	41

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

Rpm	Dakikadaki devir sayısı
mm	Milimetre
mm <sup>2</sup>	Metre Kare
mbar	Milibar
Cd	Kandela

### Kısaltmalar

HMDSO	Hexamethyldisiloxane
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
PC	Polikarbonat
ECE	Avrupa Ekonomik Komisyonu
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisliği Birliği
CCC	Çin Zorunlu Sertifikasyonu
LED	Işık Yayan Diyot
S/N	Sinyal / Gürültü Oranı
SGN	Sinyal / Gürültü Oranı Nominal En İyi
SG <sub>B</sub>	Sinyal / Gürültü Oranı En Büyük En İyi
SG <sub>K</sub>	Sinyal / Gürültü Oranı En Küçük En İyi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Dağılım Spektroskopisi
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Örnek bir ön far aydınlatma sistemi (Anonim, 2021).....	3
Şekil 1.2. Eski bir far sistemine ait örnek (Turhan, 2018).....	4
Şekil 1.3. Otomobillere ait aydınlatmaların yerini gösterir resim .....	5
Şekil 1.4. Far sistemlerinde kullanılan iki tip ampulün şematize edilmiş hali a)normal ampul, b)halojen ampul.....	6
Şekil 1.5. a.) Gövde ile reflektörün bir parça içinde olması b.) Gövde ve reflektörün ayrı olması hali (Sökmen, 2013) .....	7
Şekil 1.6. Bir otomobilde kullanılacak olan aydınlatma sistemine ait gerçek bir test görüntüsü (Boduroğlu, 2010) .....	9
Şekil 1.7. Otomobillerde kullanılan eski ve yeni optik reflektör üzeri optik yüzey (Boduroğlu, 2010).....	9
Şekil 1.8. Otomobillerde kullanılan ampullere ait çeşitler (Anonim, 2021b).....	10
Şekil 1.9. LED ışık kaynağının şematize edilmiş hali (Boduroğlu, 2010) .....	11
Şekil 1.10. Örnek bir polimer yapı (Yılmaz, 2007) .....	12
Şekil 1.11. Polimerlerin moleküler dizilimi (Yılmaz, 2007) .....	14
Şekil 1.12. Stop lambasının araç üzerindeki konumuna ait bilgi (Kamaş, Korucu, Ataşalan, Gürsoy, & Yavuz, 2013) .....	16
Şekil 1.13. Stop lambasının araç üzerindeki dikeyde ve yatayda çıkışına ait açılar (Kamaş, Korucu, Ataşalan, Gürsoy, & Yavuz, 2013) .....	16
Şekil 2.1. Bir sistem veya prosese (sürece) ait proses modeli (Yang, 2003) .....	25
Şekil 2.2. Taguchi yöntemine göre kalite mühendisliği kavramının ayrılması (Baynal 2003) .....	26
Şekil 3.1. Kaplı parça üzerine soda testinin uygulanması.....	27
Şekil 3.2. Kaplama kalınlık ölçümlerinin yapıldığı cihaz.....	28
Şekil 3.3. Enjeksiyon üretiminin yapıldığı plastik enjeksiyon makinesi ve plaka.....	28
Şekil 3.4. Kaplama deneylerinin yapıldığı makine görseli .....	29
Şekil 3.5. Prizma üzerinde yüzey alanı ve derinliğin gösterilmesi .....	30
Şekil 4.1. Soda (NaOH) testi uygulanmış plakalar .....	33
Şekil 4.2. NaOH deney sonuçlarına göre bulunan S/N grafiği .....	34
Şekil 4.3 Al kaplama kalınlık ölçüm sonuçlarına göre bulunan S/N grafiği .....	36

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Polimerlerin sınıflandırılması (Yılmaz, 2007).....	14
Çizelge 3.1. Enjeksiyon üretiminde kullanılan plastik hammaddenin analiz sertifika bilgileri .....	29
Çizelge 3.2. Test plakalarının kaplanması için oluşturulan prizma ve planet dönme hızı parametre ve seviyeleri .....	29
Çizelge 3.3. Deney numunelerinin kaplanmasında kullanılan parametrelerin L9 ortogonal dizisine uygulanması.....	30
Çizelge 3.3. Alüminyum telin kütlece yapısal içeriği .....	31
Çizelge 4.1. NaOH testi sonuçları.....	32
Çizelge 4.2. NaOH test sonucu ve proses parametrelerinin L9 ortogonal tablosunda gösterimi.....	32
Çizelge 4.3. Üretim parametrelerinin NaOH testi üzerindeki etkileri .....	34
Çizelge 4.4. Parametre değerlerinin ve kaplama kalınlık testi sonuçlarının L9 ortogonal dizisinde gösterimi .....	35
Çizelge 4.5. Üretim parametrelerinin kaplama kalınlığı üzerindeki etkileri.....	36
Çizelge 4.6. Doğruma deneyi parametreleri ve sonuçları .....	37

## 1. GİRİŞ

Polimerik materyaller düşük maliyetleri, yoğunlukları, esneklikleri ve üretilebilirlikleri açısından oldukça popüler olsalar da bazı zamanlarda yüzey özellikleri, ıslanabilirlik, parlaklık, çizilme direnci veya sürtünme direnci olarak istenilen seviyelerde özellikler gösteremeye bilmektedirler. Yüzey işleme ile polimerik materyallerin mekanik özellikleri değişmeden yüzey özellikleri istenilen düzeye getirilebilirler.

Otomotiv aydınlatma alanında yüzeye estetik bir görünüm katabilmek ve yansıtıcı bir yüzey oluşturma bilmek amacı ile fiziksel buhar yöntemi adı verilen kısaca PVD yöntemi kullanılarak materyal üzerine alüminyum kaplama yapılmaktadır. Kaplama sonrasında materyali koruma amacı ile koruyucu bir film tabakası materyal üzerinde oluşturulmazsa materyal zaman içerisinde çevresel etkilere karşı zayıf kalarak müşteri memnuniyeti ve beklentileri istenilen seviyelerde olmayacaktır. Bahsi geçen bu yüzey kaplama işlemlerinde mikro – elektronik uygulamalar ve materyalin yansıtıcı yüzeylerinde silikon oksit ismi verilen film tabakaları sıklıkla kullanılmaktadır. Bundan dolayı tetraoksilan, heksametildisiloksan, silisyum – oksit film tabakaları kullanılmaktadır. Biriktirme işlemi için ise polimerizasyon reaksiyonu amacı ile beslemenin ham maddesi olarak kullanılabilir.

Alüminyum kaplanan materyal üzerine heksametildisiloksan buharı biriktirilmesi ile materyalin hem ömrü hem de kalitesi oldukça yüksek oranlarda arttırılmaktadır. Materyal tasarımı, üretimde kullanılan materyal ve hem üretim hem de kullanım sırasında ki çevre şartları materyalin optik, ısıl ve kimyasal özellikleri üzerinde belirleyici etkiye sahiptir.

Genel anlamda otomobillerin arka aydınlatma sistemlerinin üretiminde, ECE ve SAE yönetmelikleri kapsamında belirli yansıtma seviyelerinin yakalanması gerekmektedir. İstenilen şartların sağlanması trafikte insan hayatı açısından büyük bir öneme sahip olmakla birlikte yapılan bu çalışmada farklı parametrelere sahip materyallerin arka aydınlatma sistemlerinin optik özellikleri olarak geçen bu yansıtma seviyeleri üzerine etkileri araştırılmıştır. (Turhan, 2018)

Bu tez çalışmasında otomotiv dış aydınlatma ürünlerinde kullanılan alt parça geometrisi benzetimi yapılabilmesi için Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak farklı

parametre ve seviyelerine sahip prizmalar oluşturulacaktır. Oluşturulacak prizmalar PC hammadde ile üretilen test plakaları üzerine sabitlenecektir. Bu prizmalar PVD alüminyum kaplama metodu ile farklı planet dönme hızlarında kaplanıp alüminyum kaplama üzerine biriktirilen HMDSO film tabakasının parça kalitesine etkisinin tespit edilebilmesi için soda testine tabi tutulacaktır. Geometri parametrelerinin ve planet dönme hızı parametresinin alüminyum kaplama kalınlığına etkisini tespit edilebilmesi için alüminyum kaplama kalınlık testine tabi tutulacaktır. Sonuçların elde edilmesi sonrası parametrelerin etkinlik oranları ANOVA analizi ile incelenecektir.

### **1.1. Otomobillerde aydınlatma sistemleri**

Zamanımızda araçların her alanda oldukça yaygın kullanımına bağlı olarak gündüz ve gece kullanımları oldukça fazladır. Hava şartlarının iyi olduğu durumların yanında kötü olan şartlarda da kullanımları vardır.

Bu kullanımlar için gerekli görüş için geliştirilmiş aydınlatma sistemleri araçlarda kullanılmaktadır. Araçlarda sürüşün güvenliği ve konforu için olmazsa olmaz sistemlerden olan aydınlatma sistemleri ayrıca araçların estetik olarak görünümünün tamamlanması görevini de üstlenmektedir. Bu nedenlerden dolayı otomobil aydınlatma sistemleri sürekli olarak gelişim göstermektedir.

Bahsi geçen aydınlatma sistemlerinin oldukça estetik bir görünüme sahip olması istenirken aynı zamanda da kusursuz optik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Araçların ön, arka ve yan bölgelerinde olmak üzere yerleştirilen ön far, arka stoplar, sis lambaları, sis ve sinyal lambalarının tümüne dış aydınlatma sistemleri denilmektedir. Bu aydınlatma sistemleri günümüzde belirli uluslararası standartlara uygun olarak üretilmektedirler. Üretimleri yapılan bu ürünler daha sonrasında standartlara uygunluğunun belirlenebilmesi amacı ile belirli testlerden geçirilmektedirler.

Tarihsel gelişimleri bakımından bu aydınlatma sistemleri plastik ve cam materyallerin birlikte kullanılmaktadır. Bu bakımdan aracın toplam ağırlığını azaltmaya yönelik imkân sunmaktadır. Bunun yanı sıra daha esnek tasarımlara imkân sunmasından dolayı termoplastik materyallerde gün geçtikçe daha sık kullanılmaktadır. (Turhan, 2018)



**Şekil 1.1.** Örnek bir ön far aydınlatma sistemi (Anonim, 2021)

Otomobil aydınlatma sistemleri araca montaj ve kullanım açısından temel olarak bazı gereksinimleri sağlaması gerekmektedir. Bunlar;

- Otomobilin satışa çıkacağı bölgenin regülasyonlarını sağlaması
- Montaj yapılabilirliği için belirlenen ölçüsel şartları sağlaması
- Kaynak bölgelerinin homojenitesinin sağlanması
- Fiziksel dayanımının artırılması
- Kimyasal olarak dayanımının artırılması

### **1.1.1. Otomobil aydınlatma sistemlerinin tarihsel olarak gelişimleri**

1900 'lü yıllarına başlarında yolların kaliteleri iyi olmamalarına rağmen otomobiller geceleri de kullanılmaya başlanmıştır. Sürücüler önlerini görebilmek adına gaz lambaları kullanmaya başlamışlardır.

Lambadan çıkan ışığın yansıtılması için ise aynalar kullanılmıştır. Fakat bu yöntem kullanışlı ve verimli bir yöntem değildir. 1920 'li yıllarda ise aydınlatma sistemlerine sahip otomobiller lüks sınıf olarak karşımıza çıkmaktaydı.

Aydınlatma sistemlerinin ilk dönemlerinde aydınlatılan mesafe 10 metreyi geçmemektedir. Ancak 1940 'lı yıllardan itibaren uygulanan teknikler ile bu mesafe 50

– 75 metre aralığına kadar çıkmıştır. Bu mesafe 1970 ‘ler de 75 – 100 metre, 2000 ‘li yıllardan sonra ise 200 – 300 metreye kadar çıkmıştır. Eski bir far sistemine ait örnek şekil 1.2.’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.2.** Eski bir far sistemine ait örnek (Turhan, 2018)

### **1.1.2. Otomobil aydınlatma sistemlerinin çeşitleri**

Araç aydınlatma sistemleri, seyir güvenliği için gerekli olup uluslararası regülasyonlarla düzenlenmiştir.

Otomobil aydınlatma sistemleri görüş açısından çok önemli bir rol oynar. Seyir sırasında yolu aydınlatır ve geceleri trafiği aracın varlığına karşı uyarır. Otomotiv aydınlatma ürünleri temelde dış aydınlatma ve iç aydınlatmalar olmak üzere araçlardaki aydınlatmalar iki gruba ayrılırlar.

İç Aydınlatma;

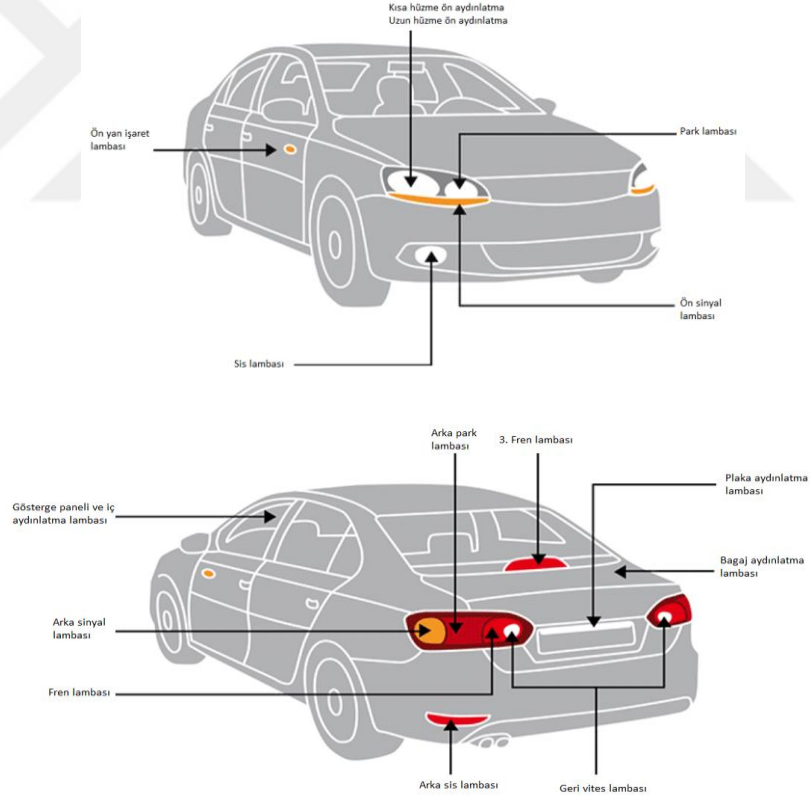
- Tavan Lambaları
- Gösterge ve İç Aydınlatma Lambaları

- Bagaj Aydınlatma Lambaları

Dış Aydınlatma;

- Farlar
- Stop Lambaları
- Park Lambaları
- Sinyaller
- Plaka Lambaları
- Dörtlü Lambalar
- Geri Vites Lambaları
- Arka Sis Lambaları

Araçların kesinlikle vazgeçilmez olan sistemlerinden dış aydınlatmalar yüksek kalitede estetik unsura sahip olması beklenirken, aracın sürüşü sırasında ise güvenlik, görüş ve konfor gibi etmenler bakımından ise kusursuz optik özelliklere sahip olması beklenmektedir.



**Şekil 1.3.** Otomobillere ait aydınlatmaların yerini gösterir resim

Otomobillerde ayrıca değinilmesi gereken nokta ise far sistemleridir. Far sistemleri aracın seyir halinde ilerlemekte olduğu yolu aydınlatan bir sistem olup, güvenli ve konforlu

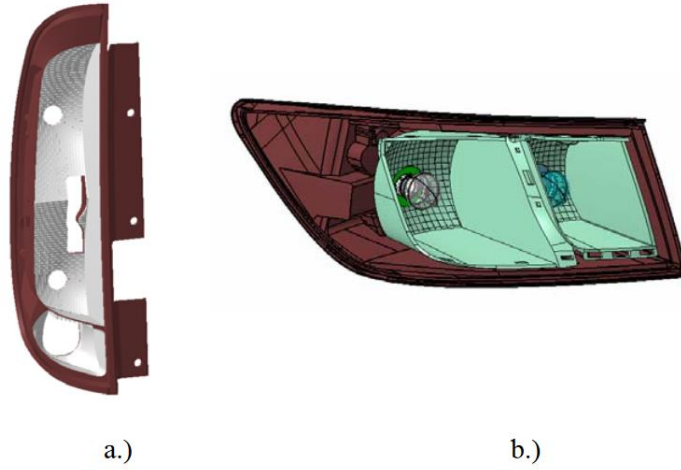
sürüş için olmazsa olmazdır. Otomobillerde genellikle kısa ve uzun huzme farlar bir arada bulunurlar. Far sistemlerinde kullanılan iki farklı tip ampul şekil 1.4’te gösterilmiştir.



**Şekil 1.4.** Far sistemlerinde kullanılan iki tip ampulün şematize edilmiş hali a)normal ampul, b)halojen ampul

### **1.1.3. Otomobil arka aydınlatma sistemlerinin elemanları**

Arka aydınlatmalar temelde reflektörlerden, ampul ya da LED ışık kaynaklarından, ampul tutuculardan, genellikle şeffaf, kırmızı ve turuncu renkli lenslerden ve gövdeden oluşmaktadır. Tüm bu elemanların yanında komponentleri bir arada tutmak amacı ile vidalar, estetik amaçlarla kullanılan elemanlar, sızdırmazlık özelliği sağlamak için contalar da sistemde bulunmaktadır.



**Şekil 1.5.** a.) Gövde ile reflektörün bir parça içinde olması b.) Gövde ve reflektörün ayrı olması hali (Sökmen, 2013)

#### **1.1.4. Otomobil arka aydınlatma sistemlerinin içerdiği fonksiyonlar**

a) Pozisyon fonksiyonu: Ön far ile yanan ve sürekli açık olan fonksiyondur. Trafikte otomobilin fark edilmesi ve sınırlarını görmesi için kullanılır. Rengi kırmızıdır ve araçta 2 adet bulunmaktadır.

b) Stop fonksiyonu: Yalnızca frenleme yapıldığında çalışan, arkadaki trafiği uyarıcı fonksiyondur. Stop fonksiyonu 3. stop adı verilen ve otomobilin arka tarafında bagaj kapağı üzerine takılan ek bir fonksiyonla desteklenir. Araçta 3.stop dahil 3 adet bulunur ve rengi kırmızıdır.

c) Sinyal fonksiyonu: Aracın yön değiştirmede arkadaki trafiğin uyarılmasını sağlayan fonksiyondur. Sürekli yanmamakla birlikte belli bir frekansta yanıp söner. Araçta 2 adet bulunmaktadır ve rengi sarıdır.

d) Geri vites fonksiyonu: Geri vitesin aktif durumda olduğunu arkadaki trafiği uyarıcı fonksiyondur. Araç arkasında bir adet bulunması yeterlidir. Araçta 1 veya 2 adet bulunur. Rengi beyazdır.

e) Geri sis fonksiyonu: Sis farlarının aracın arkasına yerleştirilen türüdür. Araç arkasında bir adet bulunması yeterlidir. Araçta 1 veya 2 adet bulunur ve rengi kırmızıdır.

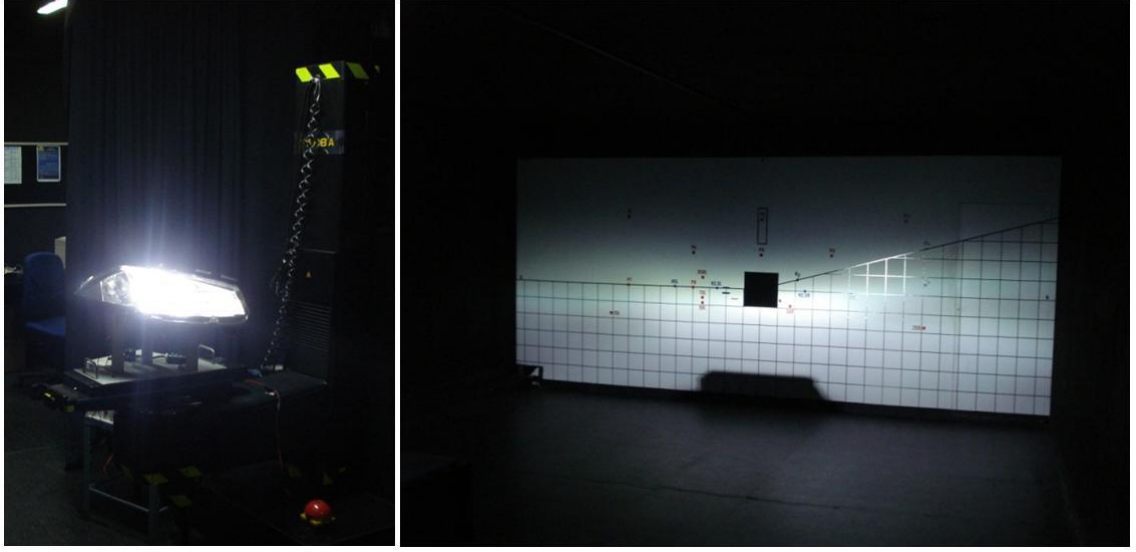
f) Refleks fonksiyonu: Ampul içermeyen ve herhangi bir ampul arızasında daha verimli görev yapan fonksiyondur. Refleks arka aydınlatma grubu içine yerleştirilen yansıtıcı bir lenstir. Arkadaki trafikten gelen ışığı farklı açıda yansıtıp arkadan gelen trafikte farkındalık oluşturur.

## **1.2. Otomobil Aydınlatma Sistemlerinde Optik Tasarım**

Her otomobil aydınlatma sistemi birtakım kurallara bağlıdır. Bu kurallar Avrupa ve bazı ülkelerde geçerli olan ECE kuralları ve bunun yanı sıra Kuzey Amerika 'da geçerli olan SAE ve FMVSS kuralları ve bu kurallar benzer farklı lokasyonlarda farklı kurallara bağlı olarak üretilmektedirler.

Kurallarda araçlarda bulunan aydınlatma sistemlerinin aracın üzerindeki konumlar, görevleri, kısıtlamalarının tamamı bulunmaktadır. Ürünün satılacağı ve kullanılacağı bölgede istenilen şartlara tamamen uygun olmalıdır. Bu kurallar ile belirlenen sınırlar içerisinde sistem belirli optik şartlara uymak ve optik performansı göstermek zorundadır. Bir aydınlatma sisteminin tasarım aşamasında profesyonel olarak bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır. Bilgisayar tasarımlarının dışında gerek duyulduğu zaman prototiplerde kontrol edilir.

Ürünün tasarımı bittiği zaman ve kalıplardan çıkan sistem çeşitli akredite kuruluşları tarafından çeşitli testlere maruz bırakılarak istenen ve hedeflenen kurallara uygun olup olmadığı tescillenmektedir.



**Şekil 1.6.** Bir otomobilde kullanılacak olan aydınlatma sistemine ait gerçek bir test görüntüsü (Boduroğlu, 2010)

Araçların ön farları üzerinde uygulanan kurallar yaklaşık olarak 20 yıl öncesine kadar lamba lensi üzerinde bulunan ışık kırıcılar ile sağlanmaktaydı fakat teknolojik gelişmeler sonucunda günümüzde lamba gövdesi üzerine uygulanan çeşitli optik yüzeyler ile sağlanmaktadır. Bahsi geçen optik yüzeyler ışığın yansıtılması amacıyla mükemmel parlaklık seviyelerinde ışık üretimi gerçekleştirilir. Bu aşamadan sonra yapı alüminyum ile kaplanır. (Boduroğlu, 2010)



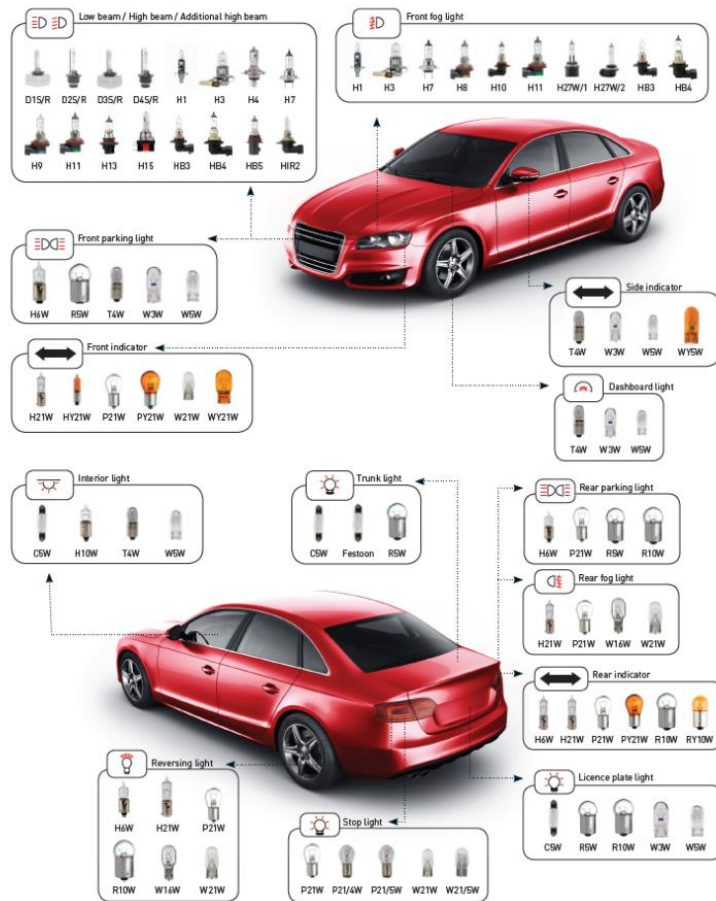
**Şekil 1.7.** Otomobillerde kullanılan eski ve yeni optik reflektör üzeri optik yüzey (Boduroğlu, 2010)

### 1.3. Otomobil Aydınlatma Sistemlerinde Işık Kaynakları

Otomotiv sanayisinde kullanılan lambalar üretilecek ışık kaynaklarına ve amaçlarına göre farklı tiplerde ampul ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak LED yani ışık yayan diyot sistemleri kullanılmaktadır.

#### 1.3.1. Ampuller

Ampuller, elektrik akımı sayesinde akkor telinin yüksek sıcaklıklara çıkması ile etrafa elektro manyetik dalgalar yayar. Bu elektro manyetik dalgaların görülebilir dalga boylarına ulaşması durumunda ışık meydana gelir. Otomobil sektöründe ampuller aydınlatma amacına göre oldukça farklı özellik ve farklı tiplerden seçilebilirler. Farklı tip ve özellikteki ampuller Şekil 1.9’da gösterilmiştir.

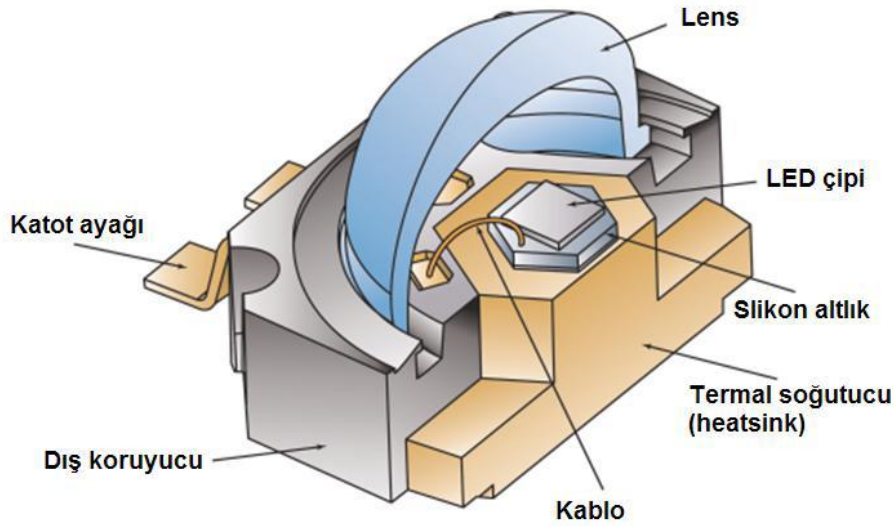


Şekil 1.8. Otomobillerde kullanılan ampullere ait çeşitler (Anonim, 2021b)

### 1.3.2. Işık yayan diyot

Işık yayan diyot yani Light Emitting Diode genel olarak bilinen kısaltması ile LED 'ler yarı iletken, diyot temelinde, ışık yayan bir elektronik devre elemanıdır. LED teknolojisi 1920 'li yıllarda bir radyo teknisyeni tarafından Rusya 'da icat edilmiştir. Ardından 1962 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde pratik kullanımı olan LED teknolojisi bu aşamanın sonrasında elektronik bir bileşen haline gelmiştir.

LED 'lerin üzerlerinden akım geçtiğinde fotonun açığa çıkması sonucunda ışık vermektedir. LED teknolojisinin başlangıcında yalnızca zayıf veya kuvvetli kırmızı bir ışık yayabiliyorken günümüz teknolojisinde ise görünür ışık, kızılötesi, mor ötesi gibi farklı çeşitlerde ve dalga boylarında yüksek parlaklıklara sahip ışık verebilir durumdadırlar. Teknolojik gelişmeler ile paralel gelişim gösteren LED teknolojisi son yıllarda otomotiv sanayisinde de kullanılmaya başlanmıştır. LED teknolojisinin otomotiv sanayisinde kullanılması yüksek değerlerde ışık verebilen oldukça güçlü LED 'lerin ortaya çıkması ile olmuştur. Bu durumdan sonra LED kullanımı otomotiv sanayisinde aydınlatma ürünleri olarak bir trend haline gelmiştir. (Boduroğlu, 2010)



**Şekil 1.9.** LED ışık kaynağının şematize edilmiş hali (Boduroğlu, 2010)

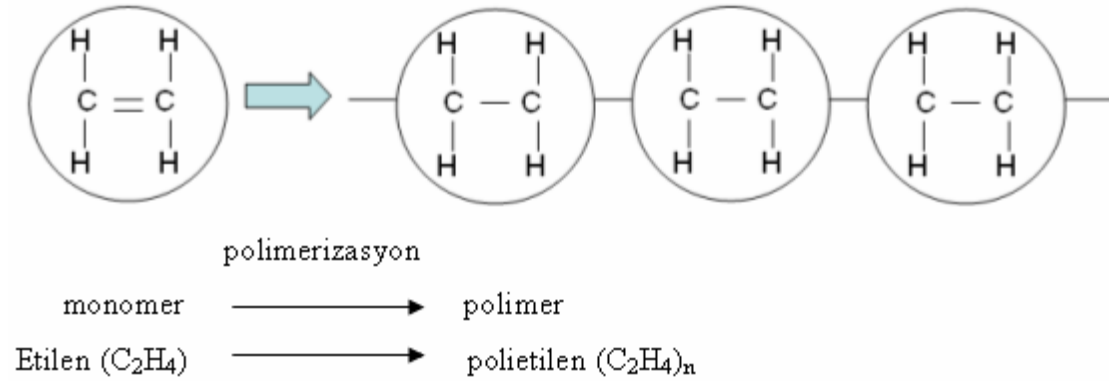
LED teknolojisi oldukça hızlı ilerlemesini hala devam ettirmekte olup otomotiv sanayisinin ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına devamlı olarak yenilikler sergilenmektedir. LED'ler ampüllere göre çok daha fazla enerjiyi ışığa

dönüştürmektedirler. Üretilen yeni LED'ler toplam enerjinin %25 'ini ışığa dönüştürürken kalan %75'lik kısmı ise yapısında bulunan soğutucular üzerinden elektronik karta aktarırlar. LED'ler yapısı itibariyle sıcaklıktan daha kolay etkilenmektedirler. Bu nedenden dolayı sistemin termal tasarımının oldukça düzgün yapılması gerekmektedir. Ayrıca LED'lerin küçük yapılı olmaları, düşük enerji ihtiyaçları ve sağlamlıklarından dolayı gelecekte kullanımları daha da yaygınlaşacağı ön görülmektedir. (Boduroğlu, 2010)

## 1.4. Polimer Malzemeler

### 1.4.1. Polimer

Polimerler basit bir tanımlama ile monomer denilen küçük moleküllerin birbirleri ile eklenerek oluşturdukları kimyasal yapı bakımından uzun zincirli diğer bir ifade ile büyük molekül ağırlığına sahip bileşiklerdir. Genel olarak polimer malzemeler reaktör ismi verilen bir tesiste polimerizasyon yöntemi ile elde edilmektedirler. Polimerlerin birbirleri ile yapısal olarak bağlanması elektron paylaşımı ile yani kovalent bağ yolu ile gerçekleşmektedir. (Yılmaz, 2007)



Şekil 1.10. Örnek bir polimer yapı (Yılmaz, 2007)

### 1.4.2. Polimer malzemelerin özellikleri

Polimerler doğada bulunmayan ve insan eli ile üretilen malzemeler olmasına karşın kullanım alanları yaygındır. Polimerlerin oldukça fazla çeşitleri bulunmakta olup bu çeşitlilik sebebi ile çok çeşitli özelliklere sahiptirler. Genel olarak polimerlere ait özellikler ise şu şekildedir; (Yılmaz, 2007)

- Düşük yoğunluk
- Şekillendirilmeleri kolay olup ayrıca işlenebilirlikleri de yüksektir.
- Üretim esnasında yapıya eklenen katkı malzemeleri ile özellikleri değiştirilebilir.
- Elektrik ve ısı iletkenlikleri düşüktür.
- Genel olarak saydam yapıdadırlar.
- Kimyasal dirençleri yüksektir.
- Tekrar işlenebilme kabiliyetleri vardır.

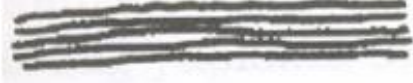



Polimer malzemelerin özelliklerinde verilen katkı malzemeleri ile özelliklerinin değiştirilebildiğinin bilgisi verilmiştir. Bahsi geçen bu katkı malzemeleri ise şu şekildedir; (Yılmaz, 2007)

- Ekonomik olmaları sebebi ile mineral, talaş, kalsit vb.
- Polimerlerin mekanik özelliklerini yani çekme – basma mukavemeti, elastite modülü gibi değerleri arttıran dolgu malzemeleri
- Saydam yapılarından dolayı istenen rengi elde edebilmek adına çeşitli renk pigmentleri
- Polimerlerin bozunmalarına engel olmak amacı ile katılan stabilizörler

Son olarak polimerlerin üretiminde kullanılan enerji miktarı aynı yapıda bir metalin üretimi için harcanan enerjiye göre oldukça azdır ki bu durumu oranlarsak dörtte üç daha azdır.

Polimerler kimyasal yapılarına göre bir sınıflandırmaya tabidirler. Kimyasal olarak ise çapraz bağlı olan ve olmayan olarak ayrılırlar.

**Çizelge 1.1. Polimerlerin sınıflandırılması (Yılmaz, 2007)**

Polimerler			
Çapraz Bağlı Olmayan		Çapraz Bağlı Olanlar	
Amorf	Yarı Kristal	Zayıf Bağlı	Kuvvetli Bağlı
	Lineer zincir moleküller	} <b>Termoplastikler</b> (Polietilen (PE), polipropilen (PP), ...)	}
	Dallanmış zincir Moleküller		
	Zayıf çapraz bağlı zincir moleküller	} <b>Elastomerler</b> (Butil, silikon...)	}
	Kuvvetli çapraz bağlı zincir moleküller		

**Şekil 1.11.** Polimerlerin moleküler dizilimi (Yılmaz, 2007)

Polimerler işlendikleri zaman kullanım yerine ve ihtiyaçlarına göre farklı üretim ve işleme yöntemleri kullanılmaktadır. İşleme yöntemleri dört farklı çeşide sahiptir; (Yılmaz, 2007)

1. Kalıp sonrası işleme
2. Şekillendirme işlemleri
3. Enjeksiyon üretim yöntemleri
4. Polimer ekstrüzyonu

## 1.5. Otomotiv Aydınlatma Ürünlerinde Optik Standartları

Otomotiv aydınlatma elemanları konusunda hemen her ülkenin bağlı olduğu yönetmelikler ve standartlar bulunmaktadır. Bazı ülkelerin kendilerine ait belli standartları olsa bile birçok ülke birtakım uluslararası standartları kullanmaktadır.

Bunlar; (Kamaş, Korucu, Ataşalan, Gürsoy, & Yavuz, 2013)

- ECE
- SAE
- CCC

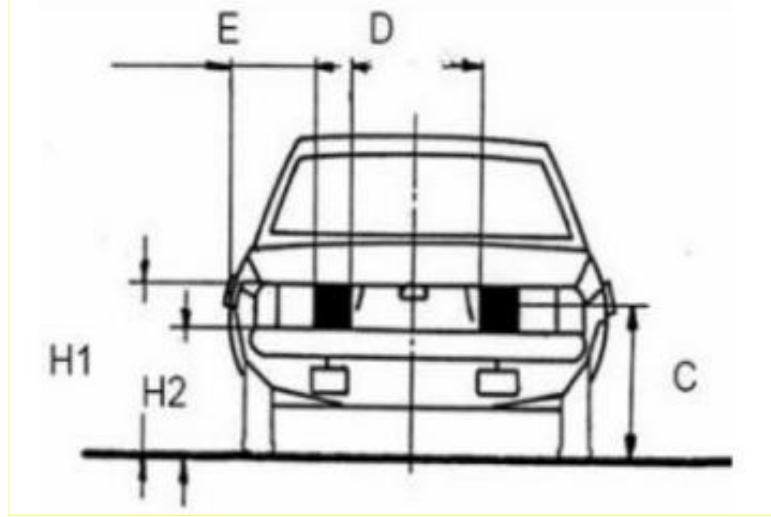
Standartları olmak üzere üç ana sınıfa ayrılır.

Bu standartlarda, otomotivde kullanılan güvenlik ve yüksek öneme sahip parçalar için kısıtlamalar getirilmiştir. Standartlar benzer olsa da bazı farklılıklar vardır. Üretilen her parçanın yönetmeliğe uygun olduğunu belirtmek için ayrıca akredite bir standardizasyon kuruluşundan uygunluk belgesi alınması gerekmektedir. Ana sanayi, yan sanayilerinden ve parça tedarikçilerinden standardizasyon belgeleri talep etmektedir.

Arka ışık grubundaki her bir işlev, ayrı yasal gerekliliklere tabidir. Avrupa Ekonomik Komisyonu (ECE) tarafından belirlenen rapora göre; (Kamaş, Korucu, Ataşalan, Gürsoy, & Yavuz, 2013)

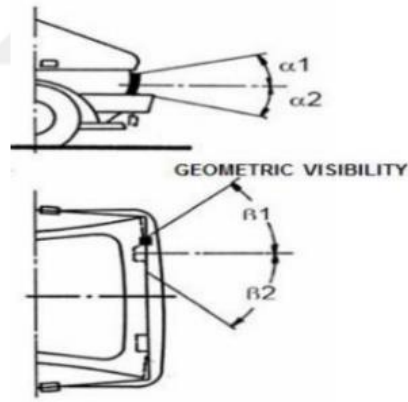
- Stop lambası için R7 S1
- Pozisyon lambası için R7
- R, geri vites lambası için R23
- Arka sis lambası için R38
- Arka dönüş sinyal lambası için R6

Stop lambasının araç üzerindeki konumuna ait bilgi Şekil 1.12 'de verilmiştir.



**Şekil 1.12.** Stop lambasının araç üzerindeki konumuna ait bilgi (Kamaş, Korucu, Ataşalan, Gürsoy, & Yavuz, 2013)

Şekil 1.13 'de verilen örnek durum için stop lambası ile ilgili örnek yönetmelik çizimi verilmiştir.



**Şekil 1.13.** Stop lambasının araç üzerindeki dikeyde ve yatayda çıkışına ait açılar (Kamaş, Korucu, Ataşalan, Gürsoy, & Yavuz, 2013)

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

LED ışık kaynaklarının aydınlatma endüstrisinde ortaya çıkmasıyla birlikte, aydınlatma cihazlarının optik tasarımına olan ihtiyaç daha belirgin hale geldi. LED kaynaklarını kullanan aydınlatma teknolojisi dünyada ve ülkemizde oldukça ilgi görmüş ve bu sektörde birçok firmanın oluşmasına neden olmuştur. Yol aydınlatma görevlerinde yollar sınıflara ayrılmakta ve bu sınıflara göre aydınlatma değiştirilebilmektedir. M1 ve M2 sınıfları en önemli aydınlatma sınıflarıdır. Bu çalışmada lensler, M1 ve M2 yol aydınlatma sınıfları ile standart yol aydınlatma gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Burada öncelikle aydınlatma sorunu ve bu sınıflar için aydınlatma ihtiyacı ortaya konulmuştur. Bu sorunu çözmek için bir optik tasarım geliştirilmiştir. Aydınlatma cihazının optik kısmı SolidWorks ve OptisWorks yazılımları kullanılarak geliştirilmiş ve tasarım doğruluğu DIALux aydınlatma hesaplama yazılımı kullanılarak doğrulanmıştır. Tasarım sonuçları, CIE (Uluslararası Aydınlatma Organizasyonu) teknik raporlarında tanımlanan aydınlatma kalitesi metrikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sunulan aydınlatma sorununa bir çözüm geliştirildi. (Sarı, 2015)

Bu tezde, polimer poli (metil metakrilat) (PMMA) polimeri ve 20 – 30 nm boyutlarındaki yarı iletken titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) nanoparçacıklarının karıştırılmasıyla nanokompozit bir malzeme elde edilmiştir. Nanokompozit malzemedeki  $TiO_2$  nanoparçacıklarının kütle yüzdesi değiştirilerek malzemenin doğrusal olmayan optik özellikleri araştırılmıştır. Santrifüjleme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30  $TiO_2$  nanoparçacıkları ve nanometre kalınlıkları içeren ince filmler elde edilmiştir. Doğrusal olmayan absorpsiyon özelliği, nanosaniye ve pikosaniye süreli darbeli lazerler kullanılarak Z-tarama yöntemiyle belirlendi.  $TiO_2$  nanokompozit malzeme doğrusal olmayan absorpsiyon özelliği sergiler. Elde edilen filmlerin doğrusal olmayan absorpsiyon özellikleri, nanosaniye ve pikosaniye süreli darbeli lazerler kullanılarak Z-tarama yöntemi ile belirlendi. Doğrusal olmayan absorpsiyon modellenirken, iki foton absorpsiyonu dikkate alınır. Z-tarama verileri rafine edilerek,  $TiO_2$ 'nin kütle yüzdesine bağlı olarak doğrusal olmayan absorpsiyon katsayılarının nasıl değiştiği belirlendi. (Ayken, 2013)

Metal yüzeyler günümüzde; Genellikle yüzeye farklı özellikler kazandırmak ve ana metali korumak gibi nedenlerle kaplanır. Yapışmaz kaplama böyle bir yöntemdir. Bu

çalışmada, ETİAL 171 alüminyum alaşımlı yüzeyler üzerine geliştirilen yapışmaz kaplamalar sol-jel yöntemi ile hazırlanmış ve kaplanmıştır. MTMS ve TEOS ile sol-jel kimyası oluşturulmuş ve hidrofobik özellikleri geliştirmek için nano-TiO<sub>2</sub> ve PTFE eklenmiştir. Geliştirilen kimyasal yapı ve kaplama sonrası yapılması gereken deneyler, kaplamanın poliüretan köpük üretimi için kalıplarda kullanılmasına dayanmaktadır. Günümüzde poliüretan köpük üretiminde kalıp ayırıcılar kullanılmaktadır. Çalışmanın amacı, kalıpta yapışmaz bir kaplama kullanan kalıp ayırıcı maddelerin kullanımını hariç tutmaktır. Oluşturulan kaplamaların özelliklerini belirlemek, kalınlık ölçümü, mikroskop altında yüzey incelemesi, X-ışını kırınım analizi, SEM ve EDS çalışmaları, AFM ölçümleri, temas açısı tayini, kaplama yapışma ölçümü, çapraz kesim yapışma testi, yapışma tayini kaplama ve poliüretan köpük arasında. Çalışma sırasında, temas açısı 145° olan ve alt tabakaya yapışan hidrofobik bir kaplama başarıyla elde edildi. (Mehmetlioğlu, 2016)

Birçok otomotiv dış mekân lambası, ışık kaynağından çıkan ışığı istenilen şekilde yansıtma için reflektörler kullanır. Reflektörler, hassas yüzeylere sahip ve mükemmel yansımalar sağlamak için genellikle alüminyum kaplı özel olarak tasarlanmış reflektörler olarak da adlandırılabilir. Alüminyum kaplama, çok iyi ışık yansımaya ek olarak, akkor ampuller gibi yüksek radyasyon enerjisi yayan ışık kaynaklarından gelen fotonları da çok iyi yansıtır ve bu da reflektörün daha az ısınmasına neden olur. Lamba, alüminyum kaplama olmadan istenen ışık performansını sağlayabiliyorsa, alüminyum kaplama maliyetinden kaçınılması arzu edilir, ancak bu gibi durumlarda olası termal problemler doğru bir şekilde tespit edilmelidir. Bu çalışma, otomotiv dış aydınlatmasında alüminyum kaplı ve kaplamasız reflektörlerin lamba sıcaklık dağılımına etkisini karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Kaplamasız bir reflektörde kaplama efektini ve renk efektini belirlemek için, alüminyum kaplamalı ve kaplamasız üç ürün, gri ve siyah, CFD yazılımı kullanılarak termal olarak incelendi ve sonuçlar karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda, reflektör üzerinde alüminyum kaplama varlığında gövdedeki sıcaklık dağılımında konveksiyonla ısı transferinin, alüminyum kaplama yokluğunda ise radyasyona bağlı ısı transferinin baskın olduğu tespit edilmiştir. Işınım yoluyla ısı transferinin baskın olması, kaplanmamış gövdenin kaplanmış gövdeye göre daha fazla ısınmasına neden olmuş ve özellikle kaplanmamış ürünlerin ampulüne yakın alanlarda sıcaklıkta önemli bir artış

gözlenmiştir. Reflektörün renginin, kaplamaya kıyasla lambanın sıcaklık dağılımı üzerinde çok az etkisi olduğu gözlemlenmiştir. (Boduroğlu, 2010)

Araba aydınlatması, araba tasarımında önemli bir rol oynar. Sürüş güvenliğini sağlamak için kullanılan aydınlatma, her geçen gün otomobilin tarzını daha fazla etkiliyor. Bu nedenle otomobil üreticilerinin farklı malzeme ve yüzeyler kullanarak daha özgün tasarımlar oluşturma ihtiyacı vardır. LED'lerin kullanımı ile tasarımlar daha kompakt ve özgür hale getirilmeye başlandı. Bu çalışmanın amacı, ışık emisyonunu etkileyen malzemelerin etkilerini ve bu malzemelerden yapılan parçalara uygulanan işlemlerin etkilerini incelemektir. Bu amaçla otomotiv aydınlatmasında kullanılan standart malzemelerin yanı sıra özel malzemeler de araştırılmış ve aralarındaki farklar dikkate alınmıştır. Işığın yayılmasının düzgün veya iyi olup olmadığı kişiden kişiye değişen bir olgudur. Bu çalışmanın altında yatan üniform yayılım, piyasada en az benzer lambalar kadar üniform lamba olmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Piyasadaki ve bu çalışmada park ışıklı ürünleri karşılaştırırken LED'lerin lenslere olan mesafesi diğerlerine göre daha kısadır. Bu nedenle, ışığı dağıtmak için iç merceğin iç ve dış yüzeylerine kumlama adı verilen bir işlem uygulanmış olsa da yeterli olmadığı için özel bir ışık saçan malzeme kullanılması gerekmiştir. Sonuçlarda yer alan özel malzemeler geleneksel malzemelere göre daha pahalı olduğu için fiyat-performans endeksi derleyerek ve piyasa koşullarını göz önünde bulundurarak malzemeyi seçmek daha doğru olacaktır. (Karagöl, 2017)

Doğal bir fenomen olan yoğuşma, arabaların dış aydınlatması gibi yüksek sıcaklık ve düşük hava sirkülasyonu olan kapalı odalarda büyük bir tehlikedir. Yağmurlu ve nemli havalarda, lens yüzeyinin sıcaklığı, far içindeki havanın doyma sıcaklığının altına düştüğünde, içerideki su buharı lens üzerinde yoğunlaşmaya başlar. Yoğunlaşan su buharı, düşük hava sirkülasyonu olan alanlarda yeniden buharlaştırılmazsa, oluşan yoğuşma farda kalıcı hale gelir ve bir kalite sorunu olarak kabul edilir. Bu nedenle, yoğuşma olgusunun CFD analizi, tasarım aşamasında büyük önem taşımaktadır. Bu hedefler doğrultusunda Magneti Marelli Mako A.Ş. Bir araştırma merkezinde yoğuşma problemi için uygun bir sayısal yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen sayısal yöntem, Automotive Lighting Rearlamp İtalya (ALRI) fabrikasında bir prototip üzerinde gerçekleştirilen testlerin sonuçlarıyla karşılaştırıldı ve uyumluluk belirlendi. Çalışmanın

son aşamasında ise fren lambası üzerinde yoğuşma simülasyonu ve test sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır. (Görür, 2013)

Otomotiv dış aydınlatma sistemleri, güvenlik, enerji tüketimi ve görünüşe etkisi açısından bir otomobilin en önemli parçalarından biridir. Aydınlatma sistemlerinin gelişimi teknolojinin her dalında olduğu gibi devam etmektedir. Işık kaynaklarının, teknolojilerin, yöntemlerin ve özelliklerinin gelişmesi, aynı anda ele alınması gereken çeşitli problemler yaratmıştır. Alışılmadık geometriye sahip farların plastik hammaddeler kullanılarak üretilmesi, fardaki ısının daha düzensiz dağılımına neden olur ve buna ek olarak, hava akışının yetersiz olduğu birçok pasif bölge vardır. Böylece modern farlardaki çalışma koşulları, mercekler üzerinde yoğuşma oluşumu için daha elverişli hale gelmiş ve optik prizmalar olmadan şeffaf merceklerin kullanılması oluşan yoğuşmanın görülmesini kolaylaştırmıştır. Bu doktora tezinde, bir araba aydınlatma lambası örneğinde yoğuşma oluşumu incelenmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle bilgisayar ortamında yapılan analizler kullanılarak yoğuşma oluşumu incelenmiş ve bilgisayar ortamında uygulanabilir test özelliklerine uygun olarak yoğuşma analizi için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, yoğuşmayı analiz etmek için ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programlarından biri olan FLUENT Euler film (EWF) modelini kullandı. Daha sonra, lamba numunesi üzerinde yoğuşmayı azaltmak/önlemek için, ampul alanından daha soğuk alanlara ısı transfer etmek ve analiz ortamında birbirleriyle karşılaştırmak için ısı dağıtım yapısının çeşitli tasarımları yapılmış ve en uygun olanın bir prototipi yapılmıştır. ısı dağıtım yapısı deneysel olarak yapılmış ve incelenmiştir. Isı dağıtım yapısı sayesinde ampul bölgesindeki yüksek sıcaklık soğuk alana aktarılır, bu da lens yüzeyinde yoğuşma oluşumunu azaltır. Proje kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda sıcaklık ölçümüne ek olarak yoğuşmanın geçici olarak izlenmesi için video kaydı da yapılmıştır. Deneysel veriler ve analiz sonuçları sıcaklık değerleri açısından karşılaştırıldığında %95 mertebesinde bir yakınsama olduğu ve azalan hücre sayısı ile bu yakınsamanın bozulduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yoğuşma analizi sonucunda deney ortamında belirlenen yoğuşma miktarlarının zamana bağlı değişimlerinin ciddi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. (Boduroğlu, 2016)

İki farklı malzemeden lens kullanarak üründe oluşabilecek parçalardaki sıcaklık farklarını, erimeyi vb. tespit edebilir. Bu araştırmanın temel amacı, tasarım aşamasında

oluşabilecek sorunları önlemektir. Bunun için ticari Ansys CFX akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak araba farlarının termal analizi yapıldı. Sıvı bölgeler için konveksiyon ve radyasyon, katı bölgeler için iletkenlik ve radyasyon dikkate alınarak 3 boyutlu durağan analiz yapılır. Radyasyon, çok şeritli ışın izleme yöntemi kullanılarak simüle edildi. Ayrıca gövde, lamba, filaman, soket ve lens dahil olmak üzere yapının geometrisi ağırdır. Sonuçlar lens, ampul ve gövde üzerindeki sıcaklık dağılımı olarak gösterilir. Parçalarda radyasyondan kaynaklanan sıcak noktalar görülebilir. Gövde üzerindeki sıcaklık dağılımından, ampulün üstündeki alanların ampulün altındaki alanlara göre daha sıcak olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun vücuttaki hava akışından ve konveksiyona bağlı ısı transferinden kaynaklandığına inanılmaktadır. (Çubuklusu, 2014)

Otomotiv sektöründe plastik malzeme kullanımının artması, aydınlatma elemanlarında daha önce karşılaşılmayan termal problemlere yol açmıştır. Çalışma, ANSYS-CFX yazılımı kullanılarak araç aydınlatma sistemlerinde sıcaklıkla ilgili sorunları araştırdı. Sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı. Çalışma sırasında öncelikle basit geometrik analizlerle deneysel ve sayısal çalışmalarla ısı kaynaklı ampullerin çözüm kriterleri belirlendi. Örneğin, otomobiller için aydınlatma armatürleri, öncelikle eleman sayısına bağlı olmayan çözümler bulundu. Sistemde ısı kaynağı olan lambaların etrafındaki hava akımının özellikleri belirlenmiştir. LED sistemlerinin termal analizi için şartlar belirlenir. Farların ön yoğuşma analizleri yapıldı. Güneşin farlar üzerindeki etkisi araştırıldı. Tüm analizler ANSYS 12.1 yazılımı kullanılarak laminer doğal konveksiyon, 3D ve sürekli modlarda gerçekleştirilmiştir. İletim ve yerçekimi etkileri dikkate alınır. Radyasyon etkileri, radyasyon Monte Carlo yöntemi kullanılarak gözlemlendi. Çalışmanın sonunda ön, arka ve sis farları belirlenen kriterlere göre analiz edilmiş ve sonuçlar deneysel verilerle doğrulanmıştır. Eleman tipi, miktarı ve sınır koşullarında tanımlanan kriterlerin doğruluğu belirlenmiştir. Fardaki ısı transferinin esas olarak doğal konveksiyon ve radyasyondan kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Doğal konveksiyonun etkisinin malzeme seçimini doğrudan etkilediği bulunmuştur. LED sistemlerinin uygun Tj sıcaklığında çalışabilmesi için far sıcaklıklarının düşük olduğu bölgelere yerleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. LED'ler için gerekli olan kanatların tasarımı, geliştirilmiş bir makro kullanılarak yapılmıştır. Makro kullanılarak belirlenen kanatçıkların şekli ve sayısı analiz ile doğrulanmıştır. LED'leri soğutmak için her 1 W için 1 cm<sup>2</sup> devre alanı gerektiği tespit

edilmiştir. Ön yoğuşma analizi sırasında hava akışının sıkıştırıldığı alanlarda akışı boşaltmak için bir geometri oluşturulmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir. Yoğuşma makrosuna göre yapılan hesaplamalarda, beklenen alanda yoğuşma tespit edilmiş ve gerekli tasarım önlemleri alınmıştır. Güneş yükünün etkisi numuneler analiz edilerek araştırıldı. (Sökmen, 2013)

Otomotiv sektörünün önde gelen firmalarında dış aydınlatma üniteleri (far, stop lambaları, sis farları vb.) araçların vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiş olup, aydınlatma sistemlerinde estetik görünümün ön planda tutulduğu; Böylece aydınlatma sistemleri tasarlama süreci her geçen gün daha karmaşık hale gelmektedir. Bu parçaların yüksek kalitede estetik bir tasarıma sahip olması beklenirken, görüş açısı, aydınlatma konforu ve sürüş güvenliği açısından da ideal optik performansla sahip olmaları gerekmektedir. Bu beklentileri karşılayabilecek projelerin hayata geçirilmesi de ileri teknoloji cihazlarla sağlanabilmektedir. Aydınlatma tasarımından son kullanıcıya kadar olan süreçte estetik ve kalite açısından yeterli ürün üretmenin en önemli adımlarından biri aydınlatma ekipmanlarının plastik kısımlarında kullanılan yapıştırma yöntemidir. Plastik parçalar farklı şekillerde kaynak yapılarak birleştirilebilir. Titreşim, ultrasonik kaynak, döndürme, sıcak levha kaynağı bunlardan bazılarıdır. Ancak günümüz koşullarında bu geleneksel yöntemlerin bazı koşullarda yeterli olmaması yeni projelerin dış pazarlara yönelmesine neden olmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında yeni nesil bir birleştirme yöntemi olan lazer kaynak yönteminin kullanımının ilerleyen teknoloji ile birlikte yaygınlaşması oldukça önemlidir. Bu projenin amacı plastik birleştirme yöntemlerinden vibrasyon kaynak yöntemi, sıcak levha kaynak yöntemi ve lazer kaynak yöntemi için ihtiyaç duyulan tüm tasarım kurallarını oluşturmak, tasarım kurallarına uygun bir ürün tasarlamak, tüm üretim süreci için veri oluşturmaktır. Sistem tasarımından sonra ve ürünlerin kaynak işlemlerinin açıklanmasından sonra. Buradaki zorluk, tüm kalite kontrollerini yaparak ve elde edilen verilere göre bu kaynak yöntemlerini karşılaştırarak müşterilerin kalite beklentilerini en uygun koşullarda karşılayacak üretim yöntemini belirlemektir. Bu amaçla firma bünyesinde plastik birleştirme yöntemlerinden üç farklı vibrasyon kaynağı, sıcak levha ve lazer kaynağı projesi belirlenmiş ve yukarıdaki kriterlerin tamamı belirlenmiştir. Kullanılarak oluşturulan projelerden geçerek ortaya konulmuştur. (Turhan, 2018)

Plastik parçalar hayatımızın birçok alanında sıklıkla kullanılmaktadır ve plastik ürünlerin üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olanı enjeksiyon kalıplamadır. Plastik enjeksiyon yöntemi seri üretime çok uygundur ve genellikle termoplastiklere uygulanır. Bu çalışmanın konusu olan plastik enjeksiyon yöntemi, malzeme tasarrufu sağlamak, çevrim sürelerini kısaltmak ve kalıp ömrünü artırmak için bir defada birden fazla üretilmesi gereken karmaşık ürünler için kullanılmaktadır. Ancak çevresel faktörler nedeniyle süreç değişkenleri zamanla değişir. Klasik teknolojik süreç kontrolü yöntemleri, bu tür sistemleri kontrol etmek için yeterli olmayabilir. Bu nedenle bu tür süreçleri optimize etmek için bulanık mantık kullanılmıştır. Bu çalışma, plastik enjeksiyon yönteminde en önemli süreçlerden biri olan yeni ürün devreye alma sürecini önerilen yeni yaklaşımla kısaltmak amacı ile gerçekleştirilmiştir. Yeni ürünü devreye almak için bulanık mantık sistemi kullanıldı. (Tunçer, 2019)

Bu çalışmada, otomobil far yansıtıcı yüzeylerinin fiziksel buhar biriktirme (PVD) metodu ile yapılan alüminyum kaplama üretim süreçlerinde kullanılan Heksametildisiloksan (HMDSO) koruyucu film tabakası salınım hattının, sonlu elemanlar yöntemi ile akış analizi yapılarak vakum ortamına eşit oranda salınım yapacak şekilde optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda HMDSO taşıyıcı boru ana hat çapı 15 mm, nozul delik çapı ise 1 mm olduğunda makine çan içerisine eşit miktarda HMDSO salınım yapacağı teorik olarak elde edilmiştir. Bu çalışmaya ek olarak vakum ortamına salınan HMDSO monomerinin çan içerisinde eşit dağılımı için altlık dönüş mekanikleri iki boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizleri ile analiz edilmiştir. Pratik uygulamada ise çan içerisinden farklı pozisyonlardan örnek altlıklar alınarak farklı noktalar üzerinden 1M NaOH çözeltisi ile test yapılmıştır. Test sonuçları Taguchi deneysel tasarım yaklaşımı ile irdelenerek uygun olan sonuçlara göre optimum makine çalışma parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler ile daha önce geçilemeyen PV 1200 dayanım testinden uygun sonuç alınarak parça ömrünün arttığı doğrulanmıştır. (İbrahim Emrah SÖZER ve Ark, 2018)

## 2.1. Deneysel Tasarım Yöntemleri

Deneysel tasarım yöntemi, 1920'li yıllarda İngiliz bir istatistikçi olan Ronald Fisher tarafından tarım endüstrisi alanında çalışmalar yapılırken keşfedilmiş ve geliştirilmiştir. Deneysel tasarım yöntemi kısa bir süre içerisinde Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi amacıyla uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünya lideri olmasına büyük katkıda bulunmuştur (Şirvancı 1997).

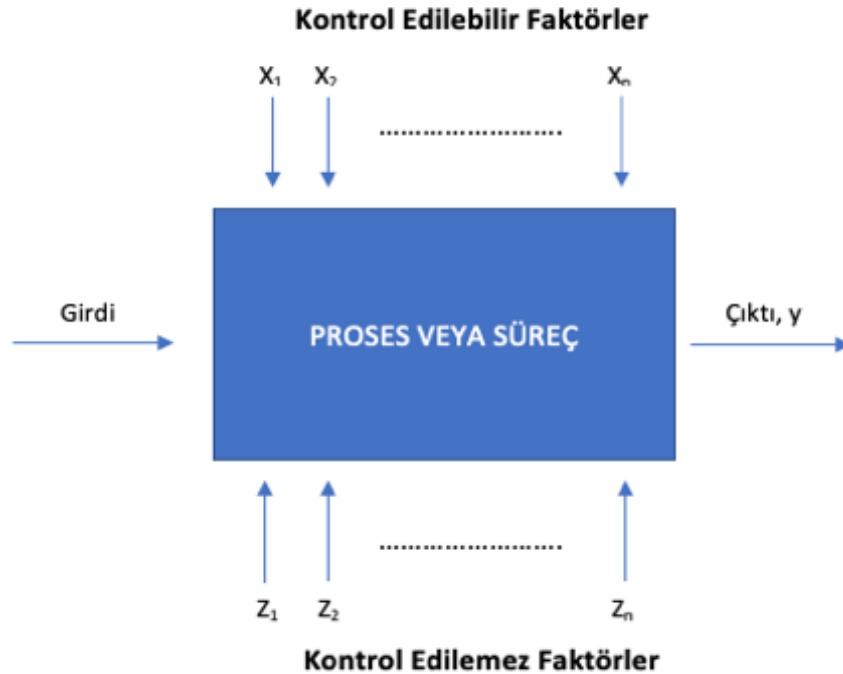
Deney tasarımı teknikleri sadece istatistiksel bir yaklaşım değil, tüm araştırma-geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilir, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren, sonuçların güvenilirliğini sağlamlaştıran, tüm diğer kalite tekniklerini destekleyen ve tamamlayan tekniklerdir. Uygulamada getirdikleri avantajlar performans ve kalitenin artırılması, kaynakların verimli kullanılması, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin hızlandırılması ve ürünün ve/veya prosesin kalite özelliklerini belirleyen değerlerin kontrol edilemeyen veya edilmesi zor/maliyetli faktörlere karşı daha az duyarlı olması şeklinde sıralanabilir (Savaşkan ve Ark. 2004)

Deney tasarımı yöntemi, daha sonraları kimya ve ilaç sektörlerinde kullanılmış ancak imalat endüstrisinde kullanımı 1970'lere kadar sınırlı kalmıştır. 1980'li yılların başında Japonların ürettiği ürünlerde ulaşılan kalite seviyesi batı dünyası tarafından araştırılırken, deney tasarımı yönteminin ürünün kalitesi üzerindeki etkisi yeniden keşfedilmiştir. Deney tasarımı yöntemi, o tarihlerde Japon Profesör Genichi Taguchi liderliğinde etkin olarak uygulanmaktaydı. Taguchi, deney tasarımı yönteminin üretimdeki uygulamaları üzerinde bazı yenilikler yapmış ve yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır (Şirvancı 1997).

Deneysel tasarım yönteminin amacı, incelenecek proseste veya bir üründe yapılacak geliştirme işleminde bulunan değişkenler (faktörler) arasındaki bağlantıyı bulmak ve bu değişkenlerin prosese etkisini hesaplamaktır. Bu nedenle değişkenler (faktörler) arasındaki ilişkinin matematiksel bir denklem ile ifade edilmesi önemlidir. Değişkenler (faktörler) arasındaki etkileşim sonucu etki edecek bir düzeyde ise, bu etkileşime ait terimlerin denkleme dahil edilmesi gerekmektedir (Taguchi ve ark. 2005).

Deneysel tasarım planlaması esnasında bir kontrol listesinin oluşturulması gerekmektedir. Bir deneyin tasarımında kontrol listesinde oluşturulan adımlar birbiri ile bağlantılı olmaktadır. Dean ve Voss (1999), deney tasarımı için bir kontrol listesi oluşturulmuştur. Bunlar;

1. Deneyin amaç ve hedeflerinin belirlenmesi,
2. Bütün değişken özelliğe sahip kaynakların tanımlanması,
  - a. Deney üniteleri,
  - b. Kontrol edilebilir faktörler,
  - c. Kontrol edilemeyen faktörler,
  - d. Bloklama işlemleri,
3. Uygulamada deneyi ünitelere ayırmak için bir kuralın belirlenmesi,
4. Deneyin ölçü birimlerinin belirlenmesi,
5. Pilot bir uygulama yapılması,
6. Pilot uygulamadan sonra model oluşturulması,
7. Analiz için bir çerçeve oluşturulması,
8. Kaç adet gözlem yapılacağını hesaplanması,
9. Gözden geçirme ve revizyon (Gökçe ve ark. 2009).



**Şekil 2.1.** Bir sistem veya prosese (sürece) ait proses modeli (Yang, 2003)

## 2.2. Taguchi Yöntemi

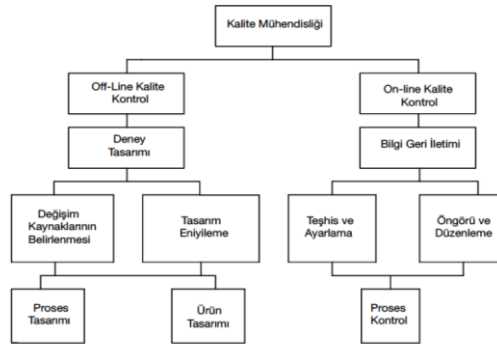
Taguchi yöntemi, Japon bilim adamı Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş bir en iyileme metodudur. Taguchi 'nin kalite felsefesinde üründeki kalitenin daha ürün tasarım aşamasında iken düşünülmesi gerektiği yer almaktadır ve bu bakış açısı bir devrim olarak nitelendirilmektedir. Taguchi 'nin felsefesine göre ürün kalitesi üzerinde oluşabilecek değişkenlikler tasarım aşamasında giderilebilmekte ve böylece ürün istenen kalitede ekstra bir maliyete gerek kalmadan üretilebilmektedir. (Krishnaiah,2012)

Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/proses tasarlamaktır (Kayı, 2006).

Taguchi yöntemine göre kalite sistemi üretim öncesi (off-line) ve üretim sonrası (on-line) olarak ikiye ayrılır.

Off-line kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler, ürüne doğrudan müdahaleler yerine üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır (Şırvancı 1997).

On-line kalite kontrol, ürün üretilmeye başlandığında veya ürünün üretim aşamasından sonra (servis aşamalarında) gerçekleştirilen kalite aktivitelerini içermektedir. İstatiksel proses kontrol ve parça üzerinde gerçekleştirilen kalite muayeneleri on-line kalite kontrol faaliyetleri arasında sayılmaktadır (Şırvancı 1997).



**Şekil 2.2.** Taguchi yöntemine göre kalite mühendisliği kavramının ayrılması (Baynal 2003)

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Soda (NaOH) Testi

Testin yapılacağı bölgeye soda çözeltisinden 1 damla damlatılır. 1M NaOH çözeltisine dayanım süresi 5 dakikadan az olmamak şart ile dayanım süresi uzunluğu kaplama kalitesini belirlemektedir. (Schwarz ve ark, 1998). Kaplı parça üzerine soda testinin uygulanması örneği şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kaplı parça üzerine soda testinin uygulanması

#### 3.2. Kaplama Kalınlık Ölçümü

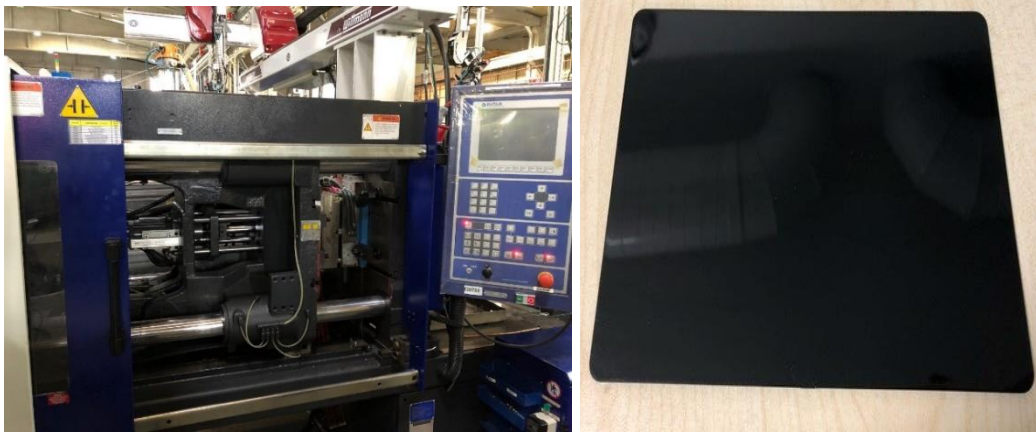
Cihaz ölçüm öncesi kalibrasyon modunda çalıştırılır. Makine sensörleri kapsız yüzeye dik olacak şekilde tutulur ve kalibrasyon işlemi başlatılır. Kalibrasyon işleminin tamamlanması sonrası cihaz ölçüm moduna alınır ve ölçüm yapılacak yüzeye sensörler dik olacak şekilde temas ettirilir. Kalınlık değeri cihazın ekranından okunur. Deneyler sırasında kullanılacak olan kaplama kalınlık ölçümlerinin yapıldığı cihaz şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** Kaplama kalınlık ölçümlerinin yapıldığı cihaz

### 3.3. Numune Üretiminin Gerçekleştirilmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan plakaların üretiminde PC siyah hammadde kullanılmıştır. PC hammaddeye ait hammadde analiz sertifika bilgileri çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. Plakalar Haitian MA1600 II /600 model makine ile plastik enjeksiyon metoduyla üretilmiştir. Numunelerin enjeksiyon üretimlerinin gerçekleştirildiği makineye ve plakaya ait resim şekil 3.3'te gösterilmiştir.

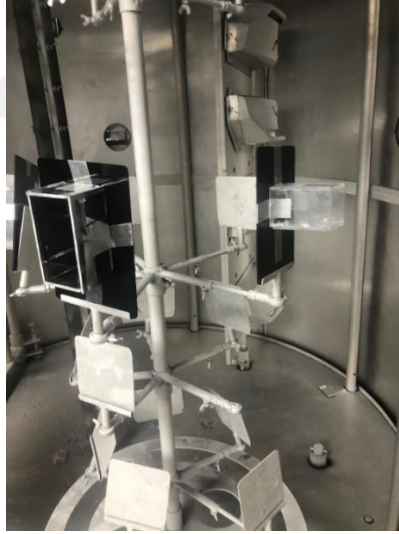


**Şekil 3.3.** Enjeksiyon üretiminin yapıldığı plastik enjeksiyon makinesi ve plaka

**Çizelge 3.1.** Enjeksiyon üretiminde kullanılan plastik hammaddenin analiz sertifika bilgileri

Characteristic	Unit	Value	Lower Limit	Upper Limit	Inspection Method
MVR 300°C @1,2 KG	CC/10'	28,7	24	32	ISO 1133

Kaplama prosesi için, plakalar üzerine ürün geometrisini benzetimi yapmak için yüzey alanı ve derinliği değişkenlik gösteren prizmalar hazırlanmıştır. Hazırlanan prizmaların deney plakası üzerine temas eden yüzey alanları  $A \times B$ , derinliği  $C$  ile ifade edilmiştir. Prizma üzerinde yüzey alanı ve derinliğin gösterildiği görsel şekil 3.5.'de verilmiştir. Prizma tabanına deney plakaları sabitlenerek 3 farklı planet dönüş hızında Arzuffi MF 1700 PVD kaplama makinesinde kaplanmıştır. Numunelerin kaplanmasında kullanılan Arzuffi MF 1700 PVD kaplama makinesine ait resim şekil 3.4.'te verilmiştir. Bu parametreleri ve seviyeleri gösteren tablo Çizelge 3.2'de verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Kaplama deneylerinin yapıldığı makine görseli

**Çizelge 3.2.** Test plakalarının kaplanması için oluşturulan prizma ve planet dönme hızı parametre ve seviyeleri

Parametreler	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
Yüzey Alanı $A \times B$ (mm <sup>2</sup> )	50x50	50x100	100x100
Derinlik $C$ (mm)	50	75	100
Planet Dönme Hızı (rpm)	4	7	10



**Şekil 3.5.** Prizma üzerinde yüzey alanı ve derinliğin gösterilmesi

Bu bilgilere göre deney çalışmasında kullanılmak üzere L9 ortogonal dizisi seçilmiştir. Proses parametrelerine ait veriler L9 ortogonal dizisine yerleştirildiğinde Çizelge 3.3 'de yer alan tablo ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 3.3.** Deney numunelerinin kaplanmasında kullanılan parametrelerin L9 ortogonal dizisine uygulanması

Deney Numarası	AxB (mm)	C (mm)	Planet Dönme Hızı (rpm)
1	50x50	50	4
2	50x100	100	4
3	100x100	75	4
4	50x50	75	7
5	50x100	50	7
6	100x100	100	7
7	50x50	100	10
8	50x100	75	10
9	100x100	50	10

### 3.3.1. Kaplama Prosesinde Kullanılan Alüminyum Tel Özellikleri

PVD kaplama metodunda alüminyum telin saflığı ürünün kalitesini doğrudan etkileyecektir. Bu nedenle kullanılacak olan alüminyum tel %99,99 saflıkta seçilmiştir. Kaplama prosesinde kullanılan alüminyum telin kütlece yapısal içeriği çizelge 3.3.'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Alüminyum telin kütlece yapısal içeriği

Çap (mm)	Gerilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Kimyasal Analiz %								
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,8	95	7	0,001	0,001	0,001	-	-	-	-	-	99,997

#### 4. BULGULAR

Çalışma esnasında kaplanan plakalar 1'den 9'a kadar numaralandırılmıştır. Deney sonuçlarının güvenilirliğini artırmak için numuneler üzerinden 6 noktadan 1M soda (NaOH) testi ve kaplama kalınlığı ölçülmüştür. Taguchi deneysel tasarım modeline test sonuçlarında 6 değer in ortalaması girilmiştir.

1M Soda (NaOH) testi sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** NaOH testi sonuçları

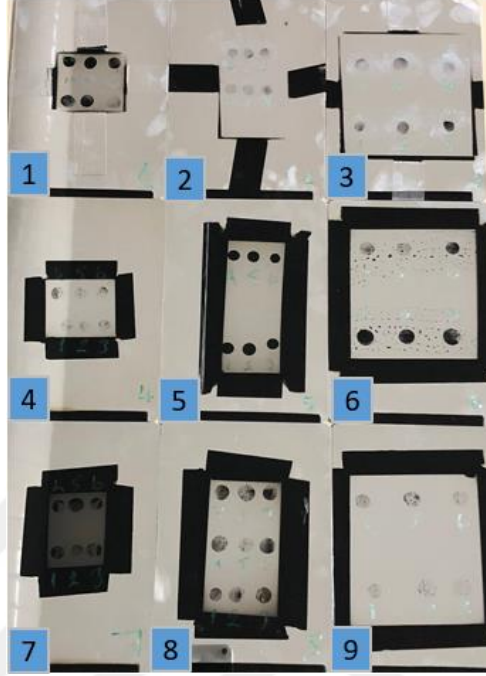
Deney Numarası	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	4.Ölçüm	5.Ölçüm	6.Ölçüm	Ortalama Değer
1	200	269	224	220	265	232	235
2	120	135	124	135	137	129	130
3	230	262	245	250	264	249	250
4	912	943	931	934	942	930	932
5	1492	1582	1507	1506	1534	1499	1520
6	1422	1452	1435	1418	1440	1425	1432
7	98	113	107	95	115	102	105
8	242	218	226	220	245	229	230
9	631	685	629	622	667	636	645

Çizelge 4.2.'de deneyler sonrası elde edilen sonuçlar ve proses parametrelerinin L9 ortogonal tablosunda gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** NaOH test sonucu ve proses parametrelerinin L9 ortogonal tablosunda gösterimi

Deney Numarası	Yüzey Alanı AxB (mm <sup>2</sup> )	Derinlik C (mm)	Planet Dönme Hızı (rpm)	NaOH Test Sonucu (sn)
1	50x50	50	4	235
2	50x100	100	4	130
3	100x100	75	4	250
4	50x50	75	7	932
5	50x100	50	7	1520
6	100x100	100	7	1432
7	50x50	100	10	105
8	50x100	75	10	230
9	100x100	50	10	645

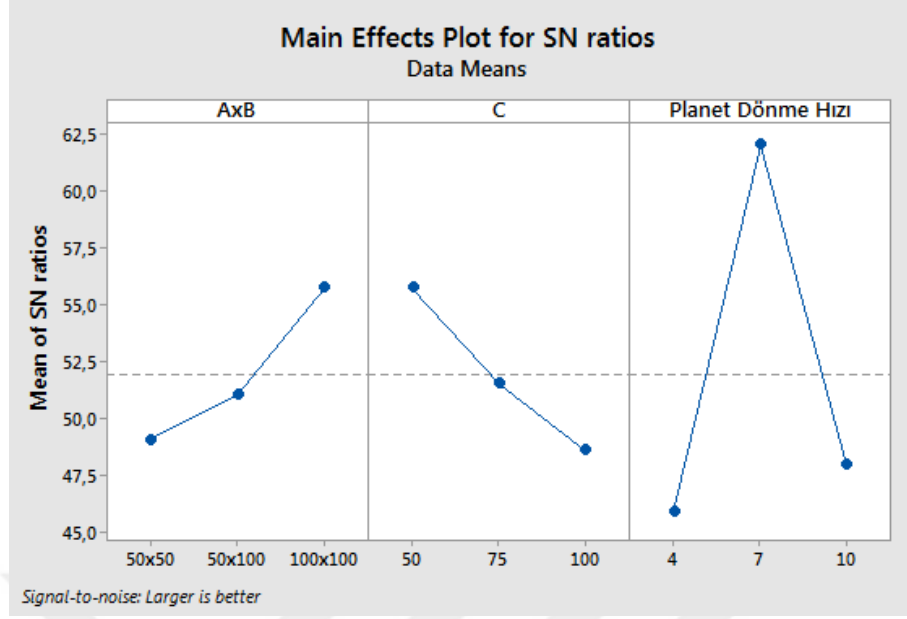
Kaplama sonrası NaOH testi uygulanmış plakalara ait görüntü şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Soda (NaOH) testi uygulanmış plakalar

Numuneler için soda testi sonuçları tespit edildikten sonra Taguchi metodu ile veri analizinin gerçekleştirilmesi için Minitab 18.1 programı kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında S/N oranının belirlenmesi için kullanılan denklem 'en büyük en iyi' denklemdir.

Soda testi değerlerinin programa girilmesi ile program analiz için çalıştırılarak gerekli olan sinyal/gürültü oranları program tarafından hesaplanarak  $S_N$  grafiği elde edilmiştir.



**Şekil 4.2.** NaOH deney sonuçlarına göre bulunan S/N grafiği

Şekil 4.2'deki verilere bakıldığında 'en büyük en iyi' sinyal/gürültü oranına göre parametreler ve farklı seviyeleri incelendiğinde;

- Yüzey alanı için en uygun parametre seviyesi 100x100 mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.
- Derinlik için en uygun parametre seviyesi 50 mm olarak bulunmuştur.
- Planet dönme hızı için en uygun parametre seviyesi olarak 7 rpm olarak bulunmuştur.

Deneyleerde yer alan parametrelerin her birinin soda (NaOH) testi değerine etkisi incelenmek istendiğinde elde hali hazırda bulunan veriler ANOVA analizinde kullanılabilir. Bu amaçla Minitab 18.1 programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.3.'te yer almaktadır.

**Çizelge 4.3.** Üretim parametrelerinin NaOH testi üzerindeki etkileri

Parametre	Serbestlik Derecesi (Df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P (p<0,05)	Parametre Etkisi (%)
AxB	2	186944	93472	25,96	0,037	7,45%
C	2	175384	87692	24,36	0,039	6,99%
Planet Dönme Hızı	2	2139200	1069600	297,07	0,003	85,27%
Hata	2	7201	3600			0,29%
Toplam	8	2508739				100,00%

ANOVA analizi sonuçlarına göre yüzey alanına tanımlayan 'AxB' parametresinin deney numunesi üzerindeki NaOH testine dayanım etkisi %7,45, derinliği tanımlayan 'C' parametresinin deney numunesi üzerindeki NaOH testine dayanım etkisi %6,99 ve 'Planet Dönme Hızı' parametresinin deney numunesi üzerindeki NaOH testine dayanım etkisi %85,27 olarak bulunmuştur.

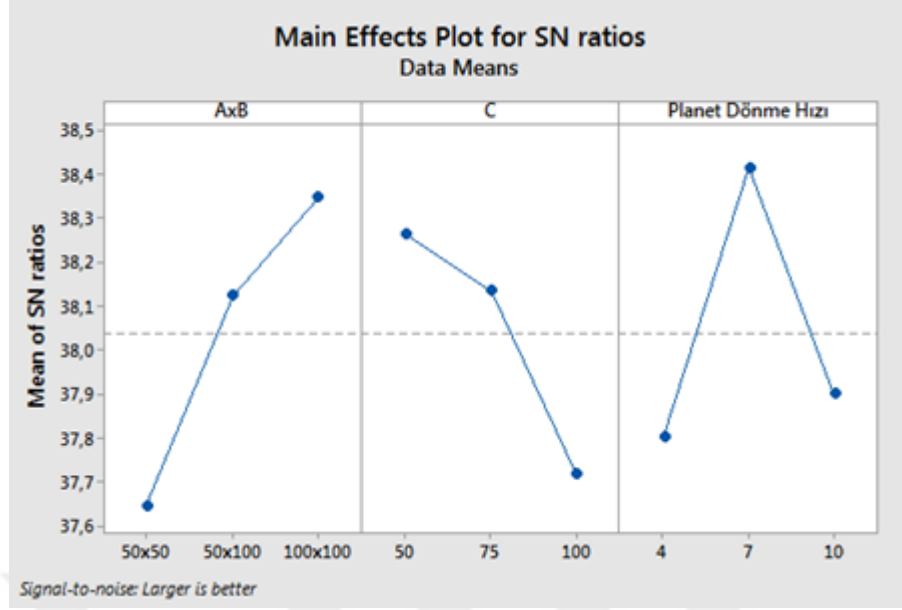
Bulunan bu sonuçlarda göre kaplanacak olan ürünün en uzun süre NaOH dayanımına sahip olması için 'Planet Dönme Hızı' parametresinin dikkat edilmesi gereken en önemli parametre olduğu oldu, 'AxB' ve 'C' parametrelerini belirlenen seviyelerinde NaOH testi dayanımına sınırlı etki ettiği analizler sonucunda görülmüştür.

Kaplama kalınlık testi sonuçlarının ve parametrelerinin yer aldığı L9 ortogonal dizisi ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Parametre değerlerinin ve kaplama kalınlık testi sonuçlarının L9 ortogonal dizisinde gösterimi

Numune Numarası	Yüzey Alanı AxB (mm <sup>2</sup> )	Derinlik C (mm)	Planet Dönme Hızı (rpm)	Kaplama Kalınlık Testi (nm)
1	50x50	50	4	76
2	50x100	100	4	76
3	100x100	75	4	81
4	50x50	75	7	81
5	50x100	50	7	86
6	100x100	100	7	83
7	50x50	100	10	72
8	50x100	75	10	80
9	100x100	50	10	84

Minitab 18.1 programıyla Taguchi analizinin gerçekleştirilmesi ile aşağıda Şekil 4.3'te yer alan S/N grafiği elde edilmiştir.



**Şekil 4.3** Al kaplama kalınlık ölçüm sonuçlarına göre bulunan S/N grafiği

Şekil 4.3'deki verilere bakıldığında 'en büyük en iyi' sinyal/gürültü oranına göre parametreler ve farklı seviyeleri incelendiğinde;

- Yüzey alanı için en uygun parametre seviyesi 100x100 mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.
- Derinlik için en uygun parametre seviyesi 50 mm olarak bulunmuştur.
- Planet dönme hızı için en uygun parametre seviyesi olarak 7 rpm olarak bulunmuştur.

Deneylerde yer alan parametrelerin her birinin Soda (NaOH) testi değerine etkisi incelenmek istendiğinde elde hali hazırda bulunan veriler ANOVA analizinde kullanılabilir. Bu amaçla Minitab 18.1 programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.5'te yer almaktadır.

**Çizelge 4.5.** Üretim parametrelerinin kaplama kalınlığı üzerindeki etkileri

Parametre	Serbestlik Derecesi (Df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P (p<0,05)	Parametre Etkisi (%)
AxB	2	62,889	31,44	70,75	0,014	39,58%
C	2	40,222	20,11	45,925	0,022	25,31%
Planet Dönme Hızı	2	54,889	27,44	61,75	0,016	34,55%
Hata	2	0,889				0,56%
Toplam	8	158,889				100%

ANOVA analizi sonuçlarına göre yüzey alanına tanımlayan 'AxB' parametresinin kaplama kalınlığına etkisi %39,58, derinliği tanımlayan 'C' parametresinin kaplama kalınlığına etkisi %25,31 ve 'Planet Dönme Hızı' kaplama kalınlığına etkisi %34,55 olarak bulunmuştur.

Bulunan bu sonuçlarda göre kaplanacak olan ürünün daha fazla kaplama alması için en fazla etki eden parametre %39,58 ile 'AxB, ikinci olarak %34,55 ile 'Planet Dönme Hızı' ve kaplama kalınlığına en az etki eden parametre %25,31 ile 'C' parametresi olduğu görülmüştür.

Analizler sonucunda parametrelerin belirlenen en iyi seviyeleri için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyinin parametre seviyeleri ve test sonuçları çizelge 4.6.'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Doğruma deneyi parametreleri ve sonuçları

Yüzey Alanı AxB (mm <sup>2</sup> )	Derinlik C (mm)	Planet Dönme Hızı (rpm)	NaOH Test Sonucu (sn)	Kaplama Kalınlık Testi (nm)
100x100	50	7	1920	89

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında otomotiv sektörü için dış aydınlatma ürünleri üreten bir işletmede, PVD kaplama metodu ile kaplanan ürünlerin tasarım ve kaplama prosesine girdi sağlayarak, ürünün tasarım ve devreye alma proseslerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle ürünün kaplama kalitesine etki edecek üretim parametreleri ve geometrileri belirlenmiş ve daha sonrasında 3 farklı parametrenin üç farklı seviyesi üzerinde Taguchi yöntemi uygulanmıştır. En iyi kalite karakteristiği için gerekli olan parametre seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

İşletme bünyesinde çalışan proses kaplama ekibi ile yapılan toplantılar sonucunda ürünün kaplama kalitesi üzerinde etkisi olabilecek üretim ve geometri parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelere ait farklı seviyeler belirlenerek 3 farklı parametre için 3 seviyeli tasarımda en uzun NaOH direnci ve en iyi kaplama kalınlığı hangi seviyede yakalandığını tespiti için yapılması gereken deneyler Taguchi yöntemi kullanılarak 9 deney ile gerçekleştirilmiştir.

PVD kaplama metodu ile kaplanan test plakalarında en uzun süreli NaOH direncine ulaşılması için gerekli faktörleri belirlemek amacıyla Minitab 18.1 paket programı kullanılarak Taguchi analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda en uzun NaOH direnci için gerekli olan en uygun proses ve geometri parametre, seviyeleri önceden belirlenmiş olan 3 farklı parametre için belirlenmiştir.

Yapılan deneylere göre test plakalarındaki NaOH testlerine yönelik şu yorumlar yapılabilir;

-Deney numunesinde NaOH testine etkisi bakımından seçilen parametreler arasındaki en önemli parametre %85,27 oranı ile 'Planet Dönme Hızı' olarak belirlenmiştir. Ortamda bulunan HMDSO monomerinin parça üzerinde fiziksel olarak tutunabilmesi için planetlerin ne çok hızlı ne de yavaş dönmemesi gerekmektedir. Hızlı dönmesi esnasında lokal oluşacak girdaplar tutunmayı olumsuz etkilemektedir. Polimerizasyon esnasında ortam basıncını dengelemek için mekanik ve root pompa 1800-2500 rpm arasında çalışmaktadır ve hava asılı kalan monomerleri veya polimerleri ortam dışına emmektedir.

Yavaş dönmesi esnasındaki alıkonma süresi ( residence time) kılalacağından toplam biriktirilen HMDSO polimer katmanı istenilen kalınlıkta olmamaktadır. Bu da test sonuçlarını olumsuz etkilemektedir.

-Yüzey alanını ifade eden 'AxB' parametresinin numune parçalardaki NaOH testine etkisi ANOVA analizi sonucu %7,45 olarak belirlenmiştir. Kaplanan plaka üzerindeki birikme fiziksel olarak gerçekleşeceği için temas alanı ve parça açıklığı önemli bir parametredir. Yüzey alanının (parça açıklığının) artması parçanın ortamda bulunan HMDSO polimerini yakalama olasılığını arttırmakta ve dolayısıyla sistem içerisine giriş yapacak polimer miktarını arttırmaktadır. Aynı zamanda giriş ağzında geometri kaynaklı oluşacak lokal girdapların da etkisi azalacaktır. Benzetme yapılması gerekirse bu durumu için akışa yönelik direnç olarak tanımlayabiliriz.

-Derinliği ifade eden 'C' parametresinin numune parçalardaki NaOH testine etkisi ANOVA analizi sonucu seçilen parametreler arasından %6,99 etki ettiği belirlenmiştir. Parça açıklığının sabit olduğu senaryolarda derinlik önemli bir parametredir. Parçayı bir sistem olarak düşündüğümüzde kütle (HMDSO polimer) girişi sadece parça açıklından olmaktadır. Derinliğin artması ile iç yüzey alanı artacağı için birim alan başına düşen HMDSO miktarı azalmış olacaktır.

- Yüzey alanını ifade eden 'AxB' parametresinin numune parçalardaki alüminyum kaplama testine etkisi ANOVA analizi sonucu seçilen parametreler arasından %39,58 ile en fazla etki eden parametre olarak belirlenmiştir. Parça açıklığının artması sistemin içerisine giriş yapacak olan Al atomlarının kaplanacak yüzeye nüfuziyetini artıracaktır. Bununla birlikte farklı açılardan gelen Al atomlarının da yüzeye ulaşması mekanik olarak bloklanla olasılığı azalacaktır.

-Deney numunelerinde alüminyum kaplama kalınlığı testine etkisi bakımından seçilen parametreler arasındaki 'Planet Dönme Hızı' %34,55 etkili olduğu ANOVA analizi sonucu tespit edilmiştir. Planet dönme hızının artması ile planetin her bölgesindeki temas süreleri yakınsayacağı için çan içerisinde homojen bir kaplama kalınlığı elde edilebilir. Ancak tekil parçada parçanın evaporasyon başladığı andaki pozisyonu oldukça önemlidir. Deneyler sırasında evaporasyon işlemi yaklaşık olarak 10-12sn kadar sürmektedir. Bu süre zarfında başlangıç pozisyonuna göre teorik olarak %20-30 arasında alıkonma

süresinde değişkenlik olabilmektedir. Planet rpm değerini düşürmek tekil parçada kalınlığı artırsa da çember içerisindeki ortalama kalınlığın değişmemesi öngörülmektedir. Daha etkin sonuçların elde edilebilmesi için çember içerisindeki örnek sayısının artırılarak deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

-Derinliği ifade eden 'C' parametresinin numune parçalardaki kaplama kalınlığı testine etkisi ANOVA analizi sonucu seçilen parametreler arasından %25,31 etki ettiği belirlenmiştir. Derinliğin artması ile yüzeye dik açıdan gelecek olan Al atomlarının nüfuziyetine etkisi teorik olarak beklenmemektedir. Çünkü  $4 \times 10^{-4}$  mbar ortam basıncında newton fizik kuralları geçersiz kalmaktadır. Bu nedenle dik açıdan gelen atomlar herhangi bir türbülansa ve çevresel etkiye maruz kalmadan kaplanacak yüzeye ulaşabilmektedir. Fakat derinliğin artması ile açısal olarak farklı açılardan gelen atomlar yan yüzeyler tarafından mekanik olarak bloklanma olasılığı artacağı için test plakasının kaplanan yüzeyindeki kaplama kalınlığı azalmış olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Anonim 2021. Örnek Bir Ön Far Aydınlatma Sistemi. <https://www.hella.com/hella-tr/tr/On-Farlar-224.html> (Erişim tarihi: 9.10.2021).
- Anonim 2021b. Otomobillerde Kullanılan Ampullere Ait Çeşitler. <https://www.championautoparts.es/support/installation-guides/lighting.html> (Erişim tarihi: 5.10.2021).
- Ayken, A. (2013). Titanyum Oksit Nanokompozitlerin Doğrusal Olmayan Optik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Baynal, K. (2003). Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi İle Eniyilemesi ve Bir Uygulama. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı.
- Boduroğlu, S. (2010). Bir Dış Aydınlatma Farının Nümerik Isıl Performans İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi.
- Boduroğlu, S. (2016). Yeni Nesil Bir Taşıt Aydınlatma Sisteminin Isıl Kriterler ve Yoğuşma Önleme Odaklı Tasarımı ve Prototip İmalatı. Doktora Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi.
- Çubuklusu, H. E. (2014). Yüksek Lisans Tezi. Taşıt Far Sistemlerinde Isı Transferlerinin Analizi Bursa: Uludağ Üniversitesi.
- Görür, B. A. (2013). Araç Aydınlatma Sistemlerindeki Yoğuşma Problemi Analizi ve Tasarım Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi.
- Kamaş, İ., Korucu, A., Ataşalan, F., Gürsoy, C., & Yavuz, C. (2013). Işık Perdeli Stop Lambası. EMO, 1-7.
- Karagöl, H. (2017). Otomotiv Dış Aydınlatma Ünitelerinde Kullanılan Malzemelerin ve Yüzeylerinin Işığa Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Bursa Teknik Üniversitesi.
- Krishnaiah, K., & Shahabudeen, P. (2021). Applied Design of Experiments and Taguchi Methods. New Delhi.
- M.Savaşkan, Y. M. (2004). Deneysel Tasarım Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu. İTÜDERGİSİ/d, Cilt 3, Sayı 6 (2004).
- Mehmetlioğlu, C. (2016). Nano TiO<sub>2</sub> Dolgulu Polimer Esaslı Kaplamanın Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi.
- Sarı, H. (2015). LED Tabanlı Yol Aydınlatma Armatürleri İçin Optik Tasarım. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Sökmen, K. F. (2013). Araç Aydınlatma Sistemlerinin Isıl Analizi ve Tasarıma Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi.

Sözer, İ. E., Geçim, S., Özdemir, K., & Çakır, M. C. (2018). PVD Kaplama Proseslerinde HMDSO Monomerinin Vakum Koşulları Altında Çan İçerisine Eşit Dağılımının Sağlanarak Parça Ömrünün Arttırılması. 9th International Automotive Technologies Congress, (p. 1). Bursa.

Şirvancı, M. (1997). Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı. Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. Tic. Ltd. Şti.

Tunçer, K. (2019). Yüksek Lisans Tezi. Plastik Enkjesiyon Parametrelerinin Ürün Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Manisa : MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ.

Turhan, B. (2018). Yüksek Lisans Tezi. Araç Aydınlatma Ürünlerinde Geleneksel Plastik Parça Birleştirme Yöntemlerinin Lazer Kaynak Yöntemi İle Karşılaştırılması. Bursa: Uludağ Üniversitesi.

Y.Kayı. (2006). Plastik Enkjesiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi.

YANG, K., & EL-HAIK, B. (2003). Design for Six Sigma. New York, USA.

Yılmaz, O. (2007). Polimer Malzemelerin Ekstrüzyonunun Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.