

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK SICAKLIK GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ İÇİN SEÇİCİ
SOĞURUCU MALZEME TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Hande Soyyiğit

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı: Malzeme Mühendisliği

Haziran 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK SICAKLIK GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ İÇİN SEÇİCİ
SOĞURUCU MALZEME TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fatma Hande Soyyiğit
(506081409)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 06 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih: 09 Haziran 2011

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Ürgen (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Kürşat Kazmanlı (İTÜ)
Doç. Dr. Gökhan Orhan (İÜ)

Haziran 2011

ÖNSÖZ

Öncelikle tez çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Mustafa Ürgen'e teşekkür ederim. Spektrofotometrik analizleri gerçekleştiren Şişecam ArGe Mühendisi Seniz Türküz ve asistan Oğuz Kafalı'ya, ince filmlerin optik özellikleri hakkında bilgilerini benden esirgemeyen Prof. Dr. Fatma Tepehan'a ve Yüzey Teknolojileri ve Korozyon Laboratuvarında kaplamalarım esnasında bana yardımcı olan arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmalarım boyunca da benden yardımlarını esirgemeyen aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mayıs 2011

Fatma Hande Soyyiğit
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tarihçe	2
1.2.1. Dünyada güneş enerjisi	2
1.2.2. Türkiye’de güneş enerjisi	4
2. TEORİK BİLGİ	7
2.1. Güneş Enerjisi	7
2.1.1. Solar spektrum.....	7
2.2. Seçici Yüzey Kaplamaları ve Özellikleri	8
2.2.1. Solar seçici yüzey kaplama çeşitleri	9
2.2.1.1. Doğal kaplamalar.....	10
2.2.1.2. Yarı iletken – metal çiftleri.....	10
2.2.1.3. Çok tabakalı soğurucular	11
2.2.1.4. Metal – dielektrik kompozit kaplamalar	11
2.2.1.5. Dokulu yüzeyli kaplamalar.....	12
2.2.1.6. Kara cisim benzeri soğurucu üzerine solar seçici kaplamala	12
2.2.2. Çalışma sıcaklığına göre solar seçici kaplamalar	12
2.2.2.1. Düşük sıcaklık solar seçici kaplamalar.....	12
2.2.2.2. Yüksek sıcaklık solar seçici kaplamalar.....	13
2.3. Uygulama Alanları	19
2.3.1. Parabolik kollektör	19
2.4. Katodik Ark Yöntemi ile Kaplama	20
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
3.1. Soğurucu Malzeme Tasarımı.....	23
3.2. Deneyler	25
3.2.1. Numune hazırlama	25
3.2.1.1. Kesme	25
3.2.1.2. Zımparalama.....	25
3.2.1.3. Temizleme	25
3.2.2. Kaplama.....	26
3.2.2.1. ZrN esaslı seçici yüzey kaplamaları	26
3.2.2.2. ZrON seçici yüzey kaplamaları	27
3.2.2.3. ZrAlSiN seçici yüzey kaplamaları	27
3.2.2.4. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamaları.....	28

3.2.3. Isıl işlem	28
3.3. Analizler	28
3.3.1. Spektrofotometrik analizler	28
3.3.1.1. ZrN esaslı seçici yüzey kaplamaları	28
3.3.1.2. ZrON seçici yüzey kaplamaları	30
3.3.1.3. ZrAlSiN seçici yüzey kaplamaları.....	32
3.3.1.4. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamaları.....	33
3.3.2. SEM analizleri	35
3.2.3. XRD analizleri.....	37
3.2.4. X-ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizleri	40
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	45
KAYNAKLAR.....	53

KISALTMALAR

MIT	: Massachusetts Institute of Technology
MW	: Megawatt
CESA	: Central Electro Solar de Almeria
SEGS	: Solar Electric Generating System
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
MW	: Megawatt
KWh/m²	: Metrekare başına düşen kilowatt saat cinsinden enerji
W/m²	: Metrekare başına düşen güç
TW	: Terawatt
µm	: Mikro metre
CVD	: Chemical Vapor Deposition
PVD	: Physical Vapor Deposition
Nm	: Nanometre
V	: Voltaj
A	: Amper
UV/VIS/NIR	: Ultra violet– visible-near infrared
SEM	: Scanning Electron Microscope
XRD	: X-ray Diffraction
XPS	: X-ray photoelectron spectroscopy
eV	: Electronvolt

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 :	Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli	4
Çizelge 1.2 :	Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı	5
Çizelge 2.1 :	Mo-Al ₂ O ₃ kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri	14
Çizelge 2.2 :	Mo-Al ₂ O ₃ kaplamalarının farklı ısıtım sıcaklıklarında soğurma ve yayım değerleri	15
Çizelge 2.3 :	Cu/NbAlN/NbAlON/Si ₃ N ₄ kaplamasının soğurma ve yayım değerleri	15
Çizelge 2.4 :	Cu/NbAlN/NbAlON/Si ₃ N ₄ kaplamasının farklı ısıtım sıcaklıklarında soğurma ve yayım değerleri	16
Çizelge 2.5 :	Cu/TiAlN/TiAlON kaplamasının soğurma ve yayım değerleri	16
Çizelge 2.6 :	Cu/TiAlN/TiAlON kaplamasının farklı ısıtım sıcaklıklarında soğurma ve yayım değerleri	16
Çizelge 2.7 :	Zirkonyum ve bileşiklerinin ergime sıcaklıkları	17
Çizelge 2.8 :	ZrN, ZrC, ZrON kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri	17
Çizelge 2.9 :	ZrN, ZrC, ZrON, ZrCN kaplamalarının soğurma, yayım değerleri ve bozunma sıcaklıkları	18
Çizelge 2.10 :	Zr-O kompozit kaplamasının farklı ısıtım sıcaklıklarında soğurma ve yayım değerleri	18
Çizelge 3.1 :	ZrN seçici yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama parametreleri	26
Çizelge 3.2 :	ZrON seçici yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama parametreleri	27
Çizelge 3.3 :	ZrAlSiN seçici yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama parametreleri	27
Çizelge 3.4 :	ZrAlSiON seçici yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama parametreleri	28
Çizelge 3.5 :	ZrN seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri	29
Çizelge 3.6 :	ZrN seçici yüzey kaplamalarının ısıtım sonrası absorban ve emitans değerleri	30
Çizelge 3.7 :	ZrON seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri	31
Çizelge 3.8 :	ZrON seçici yüzey kaplamalarının ısıtım sonrası soğurma ve yayım değerleri	32
Çizelge 3.9 :	ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri	32
Çizelge 3.10 :	ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının ısıtım sonrası soğurma ve yayım değerleri	33
Çizelge 3.11 :	ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri	33
Çizelge 3.12 :	ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısıtım sonrası soğurma ve yayım değerleri	34

Çizelge 4.1 : ZrN ve ZrON esaslı seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri	45
Çizelge 4.2 : ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve emitans değerleri	46
Çizelge 4.3 : ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri.....	47
Çizelge 4.4 : ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısıtıl işlem sonrası soğurma ve yayım değerleri.....	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. İdeal solar soğurucu reflektans eğrisi.....	8
Şekil 2.2. Seçici yüzey kaplamalarının şematik görünümü	10
Şekil 2.3. Çok tabakalı soğurucu film yapısının şematik görünümü	11
Şekil 2.4. Mo-Al ₂ O ₃ kaplamasına ait reflektans eğrisi	14
Şekil 2.5. Parabolik kollektörün şematik görünümü	20
Şekil 3.1. Zr/ZrN Seçici yüzey kaplamasının şematik görünümü.....	24
Şekil 3.2. Zr/ZrZrAlSiN ve Zr/AlSiON seçici yüzey kaplamalarının şematik görünümü	24
Şekil 3.3. ZrN/Zr Seçici yüzey kaplamasının şematik görünümü.....	29
Şekil 3.4. ZrN seçici yüzey kaplamalarının ısı işlem sonrası reflektans eğrisi.....	30
Şekil 3.5. ZrON seçici yüzey kaplamasının reflektans eğrisi	31
Şekil 3.6. ZrON seçici yüzey kaplamasının ısı işlem sonrası reflektans eğrisi.....	31
Şekil 3.7. ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi	32
Şekil 3.8. ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının ısı işlem sonrası reflektans eğrisi ..	33
Şekil 3.9. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi	34
Şekil 3.10. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısı işlem sonrası reflektans eğrisi	34
Şekil 3.11. a. ZrN-1dk, b. ZrN-2dk, c. ZrN-4dk, d. ZrON, e. ZrAlSiN ve f. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısı işlem öncesi (sol) ve sonrası (sağ) SEM görüntüleri	35
Şekil 3.12. Zr/ZrN (1dk) kaplamasına ait XRD paterni; ısı işlem öncesi (üst), ısı işlem sonrası (alt)	37
Şekil 3.13. Zr/ZrN (2dk) kaplamasına ait XRD paterni; ısı işlem öncesi (üst), ısı işlem sonrası (alt)	37
Şekil 3.14. Zr/ZrN (4dk) kaplamasına ait XRD paterni; ısı işlem öncesi (üst), ısı işlem sonrası (alt)	38
Şekil 3.15. Zr/ZrON kaplamasına ait XRD paterni; ısı işlem öncesi (üst), ısı işlem sonrası (alt)	39
Şekil 3.16. Zr/ZrAlSiN kaplamasına ait XRD paterni; ısı işlem öncesi (üst), ısı işlem sonrası (alt)	39
Şekil 3.17. Zr/ZrAlSiON kaplamasına ait XRD paterni; ısı işlem öncesi (üst), ısı işlem sonrası (alt)	40
Şekil 3.18. a. ZrN (1dk), b. ZrN (4dk), c. ZrON seçici yüzey kaplamalarına ait XPS spektrumları.....	40
Şekil 3.19. a. ZrN (1dk), b. ZrN (4d), c. ZrON seçici yüzey kaplamalarına ait Zr 3p XPS spektrumları	42
Şekil 4.1. ZrN ve ZrON esaslı seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrileri	45
Şekil 4.2. ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrileri	47
Şekil 4.3. ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrileri	48

Şekil 4.4. ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısıtıl işlem sonrası reflektans eğrileri	49
---	----

YÜKSEK SICAKLIK GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ İÇİN SEÇİCİ SOĞURUCU MALZEME TASARIMI

ÖZET

Günümüzde güneş enerjisinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Hem yenilenebilir hem de çevre dostu olma özelliği taşıyan bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir.

Ülkemiz güneş enerjisi kullanımına uygunluğu açısından incelendiğinde, coğrafi konumunun güneş kuşağında olduğu göz önüne alırsak büyük bir potansiyele sahip olduğunu söyleyebiliriz. Ülkemizde güneş enerjisi özellikle Akdeniz bölgesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu kullanım sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere daha çok bireysel olarak tercih edilen düzlemsel güneş kollektörlerinden ibarettir. Oysaki Amerika, İspanya başta olmak üzere pek çok ülkede güneş enerji santralleri kurmak için önemli yatırımlar yapılmaktadır. Ancak her ne kadar güneş enerjisinin pek çok avantajı olsa da bir enerji santralinin ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.

Güneş enerjisinin diğer enerji kaynakları ile ekonomik açıdan yarışabilir hale gelmesi için verimliliği arttırmak büyük önem arz etmektedir. Öncelikle daha az alanda daha fazla güneş ışığını toplayabildiği için düzlemsel güneş kollektörlerinden ziyade parabolik güneş kollektörleri tercih edilmektedir. Bir parabolik güneş kollektörünün verimini arttırmak için geliştirilmesi gereken en önemli özelliklerinden biri ise seçici yüzey kaplama malzemesinin tasarımıdır.

Güneş enerjisini verimli bir şekilde kullanabilmek için kullanılan kaplamanın yüksek absorban, düşük emitans ve yüksek oksidasyon direncine sahip olması arzu edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı parabolik güneş kollektörlerinde kullanılmak üzere istenilen özelliklere sahip seçici yüzey kaplamaları geliştirmektir. Bu amaca yönelik olarak paslanmaz çelik tabanlar üzerine farklı kalınlıklarda Zr+ ZrN kaplamalar katodik ark

fiziksel biriktirme yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Bu kaplamalara ilaveten soğurma ve yayım değerleri üzerindeki etkilerini görmek amacı ile Zr+ZrON, Zr+ZrAlSiN ve Zr+ZrAlSiON kaplamalar yine katodik ark yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplamalar yapıları XRD yöntemi ile tanımladıktan sonra soğurma ve yayım özellikleri spektrofotometrik ölçümlerle belirlenmiştir.

Aynı kaplamalar 400°C’de bir saat açık atmosferde ısıtılarak soğurma özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Oksitlenen ZrN ve ZrON esaslı kaplamaların x-ışınları foto elektron spektroskopisi kullanılarak yüzeylerinde oksitlenme sonucu oluşan bileşikler tanımlanmaya çalışılmıştır.

Isıl işlem öncesinde ZrN esaslı kaplamaların soğurma (α), yayım (ϵ) değerleri 16–21%, 0.06 mertebesinde dir. Zr+ZrON kaplamanın soğurma ve yayım değerleri 24%, 0.097’dir. Zr+ZrAlSiN ve Zr+ZrAlSiON kaplamalarına ait soğurma ve yayım değerleri sırası ile 56%, 0.22 ve 68%, 0.34’dir. Kaplamalarda oksijen ilavesi seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Isıl işlem sonrasında ölçülen soğurma ve yayım değerlerinde artış gözlemlenmiştir. ZrN esaslı kaplamalar soğurma ve yayım değerleri 29–53%, 0.08–0.17 olarak ölçülmüştür. ZrON esaslı kaplamanın ısıtılma sonrası artan soğurma ve yayım değerleri 71%, 0.16’dır. Zr+ZrAlSiN ile Zr+ZrAlSiON kaplamalarının ısıtılma sonrası soğurma ve yayım değerleri değişmemiştir (Zr+ZrAlSiN için $\alpha=58$, $\epsilon=0.21$, Zr+ZrAlSiON için $\alpha=68$, $\epsilon=0.34$).

Zr+ZrON seçici yüzey kaplaması yapılan kaplamalar içerisinde, ısıtılma sonrasında en yüksek soğurma değerine ($\alpha=71\%$) sahip olduğu gözlemlenmiştir.

SELECTIVE ABSORBER MATERIAL DESIGN FOR HIGH TEMPERATURE SOLAR COLLECTORS

SUMMARY

Nowadays using solar systems is spreading around the world. Solar energy systems are one of common alternative energy sources due to its unique properties such as being renewable and environmentally friendly.

Our country has high potential in using solar energy systems due to its geographical location that is in solar band. Solar energy systems are widely used especially in the Akdeniz region. Unfortunately this usage is limited with using flat plate collectors to meet demand of hot water for personal consumption. However, most countries such as America and Spain invest in constructing solar power plant. Even though a solar power plant has numerous advantages, its first investment cost is rather high.

Increasing the efficiency of solar energy systems is very important to make solar energy systems become cost efficiency so that it can compete with other energy sources. First of all, parabolic collectors are preferred because parabolic collectors can observe more solar radiation than flat collectors. Developing an advanced solar selective coating would result in improvement in efficiency of parabolic collectors.

To achieve high performance, a solar selective coating should have high absorbance, low emittance and also high oxidation resistance.

The purpose of this thesis is to develop solar selective coating with desired properties for parabolic collectors. Zr and Zr alloys are used to produce different solar selective coating designs. The optical properties of these solar selective coatings are investigated.

For this purpose, Zr+ZrN coatings with different film thickness are deposited on stainless steel substrates by using cathodic arc physical vapor deposition. In addition to this, Zr+ZrON, Zr+ZrAlSiN ve Zr+ZrAlSiON coatings are produced again by cathodic arc technique to investigate absorbance and emittance values of films. The

microstructure of coatings is characterized by XRD then; spectrophotometric analysis is performed to determine absorbance and emittance properties of coatings.

Same coatings are subjected to heat treatment at 400°C for one hour in air and then alterations of absorbance properties are investigated. Compounds that had formed as a result of oxidation on the coating surface are characterized by using X-ray photoelectron spectroscopy (XPS).

Before annealing, the absorbance (α) and emittance (ϵ) values of ZrN based coatings are measured as 16–20 %, and 0.06 respectively. For Zr+ZrON coating the absorbance was measured as 24% and their emittance was 0.097. For, Zr+ZrAlSiN and Zr+ZrAlSiON the measured absorbance and emittance were 56% and 0.22 and 68%, 0.34 respectively. It is confirmed that, the presence of oxygen in the coating increased both the absorbance and emittance of solar selective coatings.

After annealing, an increase of absorbance and emittance values is observed. The absorbance and emittance values of ZrN based coatings are measured as 29–53%, with an emittance ranging between 0.08–0.17. The absorbance and emittance of ZrON based coating increased to 71% and 0.16 respectively after heat treatment. The absorbance and emittance of Zr+ZrAlSiN and Zr+ZrAlSiON coatings didn't change with heat treatment (for Zr+ZrAlSiN α =58%, ϵ =0.21, for Zr+ZrAlSiON α =68%, ϵ =0.34).

The Zr+ZrON solar selective coating exhibited the highest solar absorbance (α =71%) among all the investigated coatings after heat treatment.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

1.1. Giriş

Güneş enerjisinin kullanımına yönelik yatırımlar son yıllarda giderek hız kazanmaktadır. Bunun beraberinde güneş enerjili sistemler üzerine yapılan araştırmalar da önemli ölçüde artmaktadır.

Dünyada pek çok ülkede güneş enerji santralleri kurulmuş ve günümüzde de halen kurulmaktadır. Yeni enerji santrallerinin kurulmasının yanında var olan enerji santrallerinin kapasitesi de arttırılmaktadır. Ülkemizde ise güneş enerjisinin kullanımı evlerde kullanılan su ısıtma sistemleri ile sınırlıdır. Türkiye bulunduğu coğrafi konumu dolayısı ile dünyadaki pek çok ülkeye kıyasla güneş enerjisi açısından bakıldığında büyük bir potansiyele sahiptir.

Güneş enerji santrallerinde, verimlilik açısından düzlemsel güneş kolektörleri ile kıyaslandığında daha avantajlı olan parabolik güneş kolektörleri kullanılmaktadır. Bir parabolik güneş kolektörünün verimini arttırmak için ise kolektörün güneş ışınlarının ısıya dönüştürülmesinde aktif rol oynayan soğurucu malzemesinin özelliklerini geliştirmek şarttır. Soğurucu malzemenin geliştirilmesi adına yapılan seçici yüzey kaplamalarından beklenen en önemli üç özellik ise şöyledir; yüksek soğuruculuk, düşük yansıtıcılık ve oksitlenmeye karşı yüksek dayanım.

Yukarıda belirtilen özelliklere uygun seçici yüzey kaplamalarının üretilmesine yönelik çalışmalar günümüzde halen devam etmekte ve önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmanın amacı yüksek soğurma ve düşük yayım değerlerine sahip bu yanında yüksek oksidasyon dayanımı gösteren seçici yüzey kaplaması geliştirmektir. Bu hedef doğrultusunda Zr ve Zr alaşımları kullanılarak farklı soğurucu malzeme tasarımları geliştirilmiş ve katodik ark yöntemi kullanılarak seçici yüzey kaplamaları yapılmıştır. Üretilen seçici yüzey kaplamalarının optik özellikleri incelenmiş, soğurma ve yayım değerleri göz önüne alınarak, tasarımda değişikliklere gidilerek arzu edilen özelliklere en uygun olan seçici yüzey kaplamasının üretilmesine çalışılmıştır.

1.2. Tarihçe

1.2.1. Dünyada güneş enerjisi

İnsanoğlunun güneş enerjisinden faydalanabilmek adına yaptığı çalışmalar çok eski tarihlere dayanmaktadır. İlk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışınımının içeri alınmasını belirtmiştir. Arşimet (M.Ö. 250) içbükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Gelişmeler 1600'lü yıllarda Galile'nin merceği bulması ile devam etmiştir. İlk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. 1860'da ise Fransız bilim adamı olan Mohuchok parabolik aynalar yardımı ile güneş ışınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesi üzerinde çalışmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deney yapmıştır. [1]

Birinci dünya savaşı esnasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. 1930 yılından itibaren ilgili çalışmalar artmışsa da fazla uygulama alanı bulamamıştır, çalışmalar araştırma kurumlarının dışına çıkmamıştır.[1]

1949 yılında ABD'de Massachusetts Institute of Technology (MIT)'deki çalışmalar neticesinde ilk güneş evi yapılmıştır. 1953 yılında ise Sovyetler Birliği Krzhivanovsky Güç Enstitüsü'nde buhar üretimini hedefleyen çalışmalar yapılmaktaydı. Aynı yıllarda Taşkent Heliteknik Laboratuvarı'nda soğurucu güneş soğutucuları geliştirilmekteydi. 1954 yılında ABD'de Bell Telefon Laboratuvarı'nda ilk fotovoltaiik güneş pilleri üretildi. [2]

1950'li yıllarda güneş enerjisinin kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. ABD, Japonya ve İngiltere'de güneşli su ısıtıcılarının kullanımına başlanmıştır. Akdeniz kuşağında ise Fransa ve İtalya'da su ısıtıcıları kullanılmıştır. Fakat güneş enerji teknolojisinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebebi ile petrol ve doğalgaz karşısında fazla bir varlık gösterememiştir. [2]

1960'lı yıllarda ki petrol krizinin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya itmiştir. Öncelikli olarak çalışmalar, temiz ve masrafsız enerji kaynakları olan güneş enerjisi üzerine yoğunlaşmıştır. [1]

1970'li yıllarda güneş termik elektrik santralleri kurulmaya başlanmıştır. ABD'nin Kaliforniya Mojave Çölü'nde 10MW'lık Solar One adlı güneş termik elektrik

santrali bunlardan ilkinde 6rnektir. Yine aynı yıllarda Fransa'da 2,5 MW'lık Themis Santrali, Sovyetler Birliği'nin Azak Denizi'nde 5 MW'lık SES-5 Santrali, İspanya Almeria'da 1,2 MW'lık SESA-1 Santrali, İtalya Adrona'da 1 MW'lık Eurelios Santrali ve Japonya Nio'da 1MW'lık Güneş ışığı santrali kurulmuştur.

Parabolik oluk kollektörlü sistemler konusunda faaliyet gösteren LUZ International (ABD), dünyada güneş enerjisiyle üretilen toplam elektriğin % 92'sini gerçekleştirmektedir. Bu şirket, 1984 yılında başlattığı çalışmalar ile günümüze kadar 9 güç santralini (SEGS: Solar Electric Generating System) işletmeye sokmuş olup 4 santral ise proje safhasındadır.

80 MW gücündeki SEGS-9, 1990 yılında Harper Gölü'nde inşa edilen santrallerin ikincisi olup, inşa edilmesi ve devreye sokulması 8,5 ay gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır.

ABD'de yürütölen SEGS projelerinin toplam kurulu gücü 680 MW ve toplam yatırım maliyeti 2 milyar dolardır. Bu maliyetin 1 milyar dolarlık kısmı çalışır durumdaki 8 santral için harcanmıştır. Her biri büyük bir yatırım olan bu santraller, özel şirketler tarafından finanse edilmiştir.

80 MW gücündeki bütün santraller, yaz ayları boyunca ilave güce ihtiyaç duyan Güney Kaliforniya Edison ve San Diego Gaz ve Elektrik Şirketleri tarafından finanse edilmektedir.

Petrolle çalışan 80 MW gücünde bir güç santrali ile yatırım maliyeti bundan üç kat daha pahalı olan eşdeğer bir SEGS santrali arasında enerji üretim maliyeti açısından bir karşılaştırma yapılmıştır. [3]

Bu karşılaştırmaya göre, ham petrolün varil fiyatının 20 ABD \$'ı olduğu düşünöldüğünde, SEGS santrali % 30 daha pahalı olmaktadır. Ham petrol fiyatının 30 ABD \$'ı olduğu varsayıldığında, maliyetler arasındaki fark % 10'a düşmektedir. Karşılaştırma için 240 MW'lık santraller göz önüne alınır ve ham petrol fiyatının 20 ABD \$'ı olduğu varsayılırsa, SEGS santralinin üretim maliyetinin, petrolle çalışan santralin üretim maliyetinden sadece % 10 daha pahalı olduğu görülür. Ham petrol fiyatının 30 ABD \$'ı olduğu varsayılırsa, güneş santrali elektrik üretim maliyeti açısından petrollü santrallere göre avantajlı duruma geçmektedir. [3]

1.2.2. Türkiye’de güneş enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısıtım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 1.1.’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [4]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (Kcal/cm ² -ay) (kWh/m ² -ay)		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 1.2.’de verilmiştir.

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMI, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20–25 daha fazla çıkması beklenmektedir. [4]

Çizelge 1.2 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [4]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Türkiye'de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı sıcak su ısıtma sistemleridir. Halen lkemizde kurulu olan güneş kollektörü miktarı 2001 yılı için 7,5 milyon m² civarındadır. Çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan bu sistemlerden yılda yaklaşık 290 bin TEP ısı enerjisi üretilmektedir.

Sektörde 100'den fazla üretici firmanın bulunduğu ve 2000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir. Yıllık retim hacmi 750 bin m² olup bu üretim bir miktarı da ihraç edilmektedir. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kollektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır. [4]

2. TEORİK BİLGİ

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş sistemimizin merkezinde yer alan güneş, elektromanyetik ışımlar yaparak enerji yayar. Güneş 1.39×10^9 m çapa sahip sıcak bir gaz küresi olup, dünyamızdan 1.5×10^{11} m uzaklıktadır. Güneşin kütlesi 2×10^{30} kg'dur ve bu kütlesi ile dünyamızın yaklaşık 330000 katı kadardır. [5]

Güneş yüzeyindeki enerji miktarı 6.33×10^7 W/m² dir. Güneşten dünya yüzeyine vuran solar enerjinin yaklaşık 1.7×10^{11} MW olduğu tahmin edilmektedir. Bu enerjinin yaklaşık üçte biri uzaya geri yansımaktadır, geri kalan kısmı ise atmosferde kalmaktadır. Güneş enerjisi, dünya üzerinde üretilen enerjiden binlerce kat daha fazladır. [5]

Günümüzde insanlığın yıllık ticari enerji gereksiniminin güç karşılığı 11TW (terawat= 10^{12} W) kadardır. Güneşten gelen güç bu ihtiyacın 16 000 katından daha fazladır. Dünyamızda kurulu olan elektrik santrallerinin toplam gücü 2.9TW olup, bu miktar güneşten gelen gücün 61 000 de birinden daha azdır. Dünyadaki kurulu nükleer santrallerinin güç toplamı 0.4TW civarında iken güneşten gelen güç bu gücün 527 000 katı kadardır. [2]

2.1.1. Solar spektrum

Güneş enerjisi uzaya ve gezegenlere radyasyon (elektromanyetik ışıma) biçiminde yayılır. Dalga boyu 0,2–3 µm (mikro-metre) olan bu akım kısa dalgalı bir ışımadır.

Güneş spektrumu üç ana bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; morötesi bölge, görünür ışık bölge ve kızılötesi bölgedir. Morötesi (ultraviyole) bölge güneş ışımasının sadece %9'unu kapsar ve dalga boyu 0,4 µm'den küçüktür. Görünür ışık güneş ışımasının %45'ini kapsamaktadır. Bu bölgede dalga boyu 0,4 µm ile 0,7 µm arasında bulunmaktadır. Son olarak güneş ışımasının %46'lık kısmına sahip olan kızılötesi (infrared) bölgede dalga boyu 0,7 µm'den büyüktür ve güneşin ısıtma etkisi buradan kaynaklanır. [2]

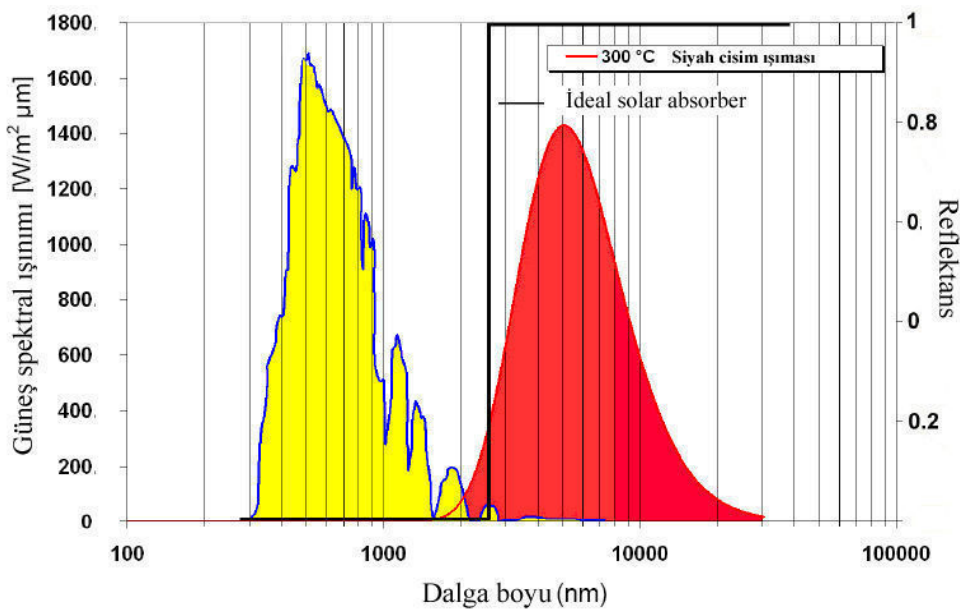
2.2. Seçici Yüzey Kaplamaları ve Özellikleri

Seçici yüzey kaplamalarının arzu edilen yüksek performansı göstermesi için belirli özelliklere sahip olması gerekir. Bunlardan en önemlileri malzemenin optik özelliklerini ilgilendiren; Reflektans, soğurma ve yayım değerleridir.

Bir seçici yüzey kaplamasının reflektans değeri soğurucu malzemenin verimliliği açısından büyük öneme sahiptir.

Yeryüzüne ulaşan ışıının büyük bir kısmının dalga boyu $2\text{ }\mu\text{m}$ 'nin altındadır. Bu sebeple ideal bir seçici yüzey kaplamasının dalga boyu $2\text{ }\mu\text{m}$ 'nin altında olan bölgede reflektansının mümkün olan en düşük seviyede olması istenir. Bunun yanında dalga boyu $2\text{ }\mu\text{m}$ 'nin üzerinde ki bölgede malzemeler kara cisim ışıması yapmaya başlamaktadır. Kara cisim ışıması ısı kaybına neden olduğu için ideal bir seçici yüzey kaplamasının reflektans değerinin dalga boyu $2\text{ }\mu\text{m}$ 'den yüksek olan bölgede yüksek değerlerde olması tercih edilir.

Şekil 2.1.'de ideal olan bir soğurucunun reflektans eğrisi görülmektedir. Sarı bölge görünür ışık bölgesi olup bu alanda soğurmanın yüksek seviyede olması istenir. Kara cisim ışıması ise şekilde kırmızı bölge ile gösterilmektedir. Bu kırmızı alanda ise seçici yüzey kaplamasının düşük reflektans özelliği göstermesi bu sayede ısı kaybının en az düzeyde olması arzu edilmektedir. İdeal bir seçici yüzey kaplamasının reflektans eğrisi siyah bir çizgi ile belirtilmiştir. [6]



Şekil 2.1 : İdeal solar soğurucu reflektans eğrisi [6]

Soğurma (absorbsiyon, emilim) herhangi bir çözeltiye gönderilen bir ışığın çözelti tarafından tutulmasıdır. [7]

Seçici yüzey kaplamalarının soğurma değerinin %90 ve üzerinde olması istenir.

Yayım (yayma gücü) malzemenin soğurduğu ısıyı yayma özelliğidir. Malzemenin yayım değerini belirtmek için 0–1 arası sayılar kullanıldığı gibi %0-%100 şeklinde de ifade edilmektedir. Metaller dışındaki pek çok yapı malzemesinin yayım değeri 0.85 (%85) değerinin üzerindedir [8]

Seçici yüzey kaplamalarında ısı kaybına en aza indirmek için yayım değerinin 0.07 mertebelerinde olması istenir. Ancak günümüzde uygulamada kullanılan seçici yüzey kaplamasının yayım değeri 0.27 mertebesinde dir. [9]

2.2.1. Solar seçici yüzey kaplama çeşitleri

Seçici yüzey kaplamaları altı farklı şekilde sınıflandırılabilir. Doğal kaplamalarda istenilen spektral seçiciliği elde edebilmek için doğal solar seçici özelliklerine sahip malzemeler kullanılır.

Yarı iletken-metal çiftleri, yarı iletken band aralığı ile düşük termal yayıma sahip olmaları nedeni ile kısa dalga boylarındaki ışınlamaları soğururlar.

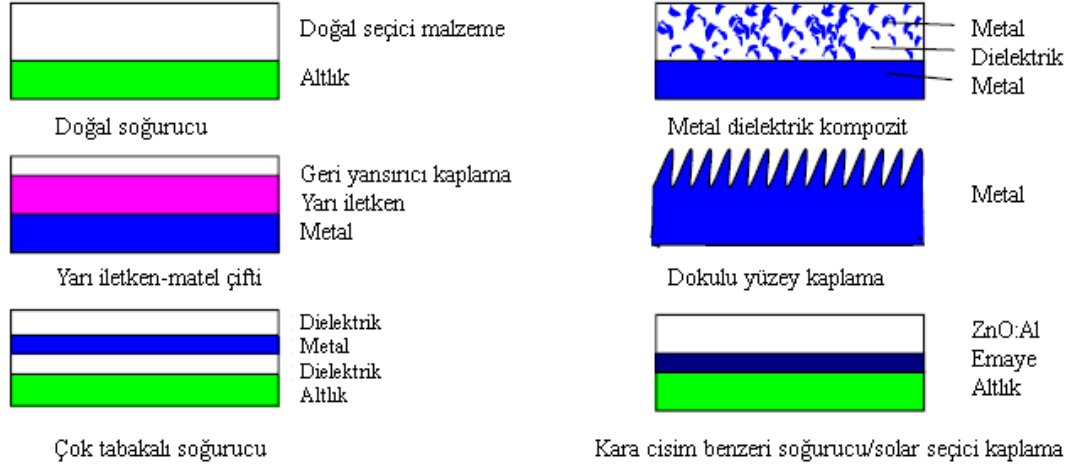
Çok tabakalı kaplamalarda, tabakalar arasındaki yansımalar sayesinde ışığın soğurulması ile verimli seçici yüzey kaplaması elde edilir.

Metal-dielektrik kompozitler bünyesinde kaliteli metal partiküllerinin bulunduğu ana bileşenin dielektrik veya seramik malzemelerin olduğu kaplamalardır.

Dokulu yüzeyli kaplamalar dentritik ve poroz mikro yapılar içerisinde çoklu ışınlamaların gerçekleşmesi sonucu yüksek solar geçirgenliğe sahiptir.

Kara cisim benzeri soğurucu üzerine solar seçici kaplama genellikle düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılır.

Seçici yüzey kaplamalarının şematik görünüşleri şekil 2.2.'de gösterilmektedir. [10].



Şekil 2.2 : Seçici yüzey kaplamalarının şematik görünümü [10]

2.2.1.1. Doğal kaplamalar

Doğal kaplamalar kararlı yapıya sahiptir. Geçiş metaller ile yarı iletkenlerde doğal solar seçicilik özellikleri bulunmaktadır, ancak her ikisinin de doğal kaplamalar olarak kullanılabilmesi için modifiye edilmesi gerekir.

Yüksek sıcaklıklarda seçici soğurucu yüzeyler için soğurucu olarak yüksek ergime sıcaklığına sahip olan Hafniyum karbür (HfC) kullanılabilir. Fakat istenilen özelliklerin elde edilebilmesi için latiste yapısal değişikliklerin yapılması ya da çeyrek dalga boyuna sahip dielektrik malzemeden oluşan geri yansıtıcı (anti-reflective, AR) kaplama yapılması gerekir. Tek-tabaka AR kaplamalarında SiO, SiO₂, Si₃N₄, TiO₂, Ta₂O₅, Al₂O₃, ZrO₂, Nd₂O₃, MgO, MgF₂, ve SrF₂ kullanılmaktadır [10].

2.2.1.2. Yarı iletken – metal çiftleri

Valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki potansiyel farkı (band aralığı) ~0.5 eV (2.5 μ m) - 1.26 eV (1.0 μ m) arasında olan yarı iletkenlerin kısa dalga boyuna sahip ışınlarını soğurması ve metal taban malzemesinin düşük yayma gücüne sahip olması yarı iletken metal çiftlerinde istenilen spektral seçicilik özelliklerinin elde edilmesini sağlar. Si (1.1 eV), Ge (0.7 eV), and PbS (0.4 eV) sık kullanılan yarı iletkenlerdir. Yarı iletkenlerin yüksek kırılma indisine sahip olması, zarar verici yansıma kayıplarına sebep olur bu nedenle yüksek poroziteye sahip yarı iletken filmlere ya da geri yansıtıcı kaplamalara ihtiyaç duyulur. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) ile üretilen Si esaslı tasarımlar orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları için uygundur [10].

2.2.1.3. Çok tabakalı soğurucular

Çok tabakalı soğurucuların tasarımı ile yüksek verimli soğurucular elde edilmektedir. Çok tabakalı soğurucunun şematik görünümü şekil 2.3.'de verilmiştir.

Yansımalar alttaki dielektrik tabakadan (E) geçer. Genellikle metal tercih edilen ince yarı saydam yansıtıcı tabaka (D) iki çeyrek dalga boyuna sahip dielektrik tabakalara (C ve D) ayırır. Alttaki yansıtıcı tabaka (d) kızılötesi bölgede yüksek yansıtıcılığa, görünür bölgede ise kısmen daha az yansıtıcı özelliğe sahiptir. Üstteki dielektrik tabaka (C) görünür yansımaya aza indirir. Dielektrik tabakanın kalınlığı yansıtma eğrisini belirler. İlave edilen yarı saydam metal tabaka (B) görünür bölgedeki yansımaya daha da azaltır. Bir diğer ilave edilen dielektrik tabaka (A) görünür bölgedeki soğurmayı artırır ve yüksek soğurma alanını genişletir.

Çok tabakalı soğurucular, kullanılan malzemelere bağlı olarak, yüksek solar soğurma, düşük termal yayıma sahiptir ve yüksek sıcaklıklarda ($\geq 400^{\circ}\text{C}$) kararlıdır. Farklı metaller (e.g., Mo, Ag, Cu, Ni) ve dielektrik tabakaların (e.g., Al_2O_3 , SiO_2 , CeO_2 , ZnS) kullanıldığı çeşitli çok tabakalı soğurucular literatürde yüksek sıcaklık uygulamaları için örnek gösterilir [10].



Şekil 2.3 : Çok tabakalı absorblayıcı film yapısının şematik görünümü [10]

2.2.1.4. Metal-dielektrik kompozit kaplamalar

Metal-dielektrik kompozit kaplamalar, yüksek kızıl ötesi-yansıtıcı metal altlık üzerine biriktirilen, kızılötesi bölgede saydam, görünür bölgede ise yüksek soğurucu özelliğe sahip olan kaplamalardan meydana gelir.

Yüksek soğurucu metal-dielektrik kompozitler, içerisinde metal partiküllerinin bulunduğu dielektrik veya seramik matrisinden ya da metal emdirilmiş poröz oksitlerden oluşur. Bu filmler yansıtıcı ayna üzerine biriktirildiği durumda yüksek soğurma ve düşük termal yayma özelliğine sahip seçici yüzey elde edilir.

Kaplama kalınlığının, partikül konsantrasyonunun, boyutunun, şeklinin ve ana bileşenlerin uygun seçimi ile solar seçicilik optimize edilir.

Kompozit kaplamaların üretiminde elektro kaplama, anodizasyon, kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD) gibi çeşitli teknikler kullanılır. Bu çalışmada geliştirilmeye çalışılacak kaplama da bu türdendir.[10]

2.2.1.5. Dokulu yüzeyli kaplamalar

Dokulu yüzeyli kaplamalar solar enerjinin optik yakalanması ile spektral seçiciliğin sağlandığı önemli bir tekniktir.

Dokulu yüzeyler yüksek yansıtıcı hale geldiğinde dalgalı görünüm ortaya çıkar ve solar enerjiyi soğururlar. Kaplama mikro yapısının iyon ışını yoluyla işleme kullanılarak modifiye edilmesi sayesinde yayım arttırılarak ya da azaltılarak ayarlanabilir.

Selektif özellikler, ortalama yükseklik sapması ve otokorelasyon (özilinti) mesafesinin dalga boyuna oranına bağlıdır [10].

2.2.1.6. Kara cisim benzeri soğurucu üzerine solar seçici kaplama

Uzun süreli dayanıklılığa sahip olan soğurucu üzerine yüksek derecede katkılандırılmış yarı iletken ($\text{SnO}_2\text{:F}$, $\text{SnO}_2\text{:Sb}$, $\text{In}_2\text{SO}_3\text{:Sn}$, and ZnO:Al) kaplanmasıdır.

Bazı düşük sıcaklık düzlemsel kollektörlerde absorblayıcı malzeme olarak emaye kullanılır. Yüksek derecede katkılандırılmış yarı iletkenlerin, yüksek sıcaklık siyah soğurucu malzemelerle birlikte kullanılması faydalıdır [10].

2.2.2. Çalışma sıcaklığına göre seçici yüzey kaplamaları

2.2.2.1. Düşük sıcaklık solar seçici kaplamalar

Yarı iletken-metal çiftleri kullanılarak yapılan solar seçici kaplamalardan biri PbS (Kurşun sülfür) kaplamalarıdır. Alüminyum altlık kullanılarak yapılan kaplamaların soğurma ve yayım değerleri $\alpha=0.93$ ve $\varepsilon=0.21$ 'dir.

Bu kaplamalar yüksek sıcaklık altında çalışmak için uygun değildir. 100–300°C arası sıcaklıklarda kullanılabilmektedir. [10]

Kimyasal dönüşüm kaplamaları olan siyah nikel ve siyah krom kaplamalarda seçici yüzey kaplamaları olarak kullanılmaktadır.

Siyah nikel (NiS-ZnS), çinko ve sülfürler eşliğinde, metal altlıklar üzerine nikelin elektro kaplama yöntemi kullanılarak kaplanması ile üretilir. Kaplamanın soğurma ve yayım değerleri $\alpha=0.92-0.98$ ve $\varepsilon =0.08-0.25$ mertebelerindedir. Siyah nikel kaplamalar 300°C sıcaklıklara kadar dayanabilmektedir. [10]

Siyah Krom (Cr-Cr₂O₃), soğurma $\alpha=0.97$ ve yayım $\varepsilon =0.09$ değerlerine sahiptir. Nikel, demir, bakır, paslanmaz çelik altlıklar üzerine elektro kaplama yöntemi kullanılarak, Cr-Cr₂O₃ kaplanması sureti ile üretilir. 300°C'nin altındaki sıcaklıklarda çalışmak için uygundur. [10]

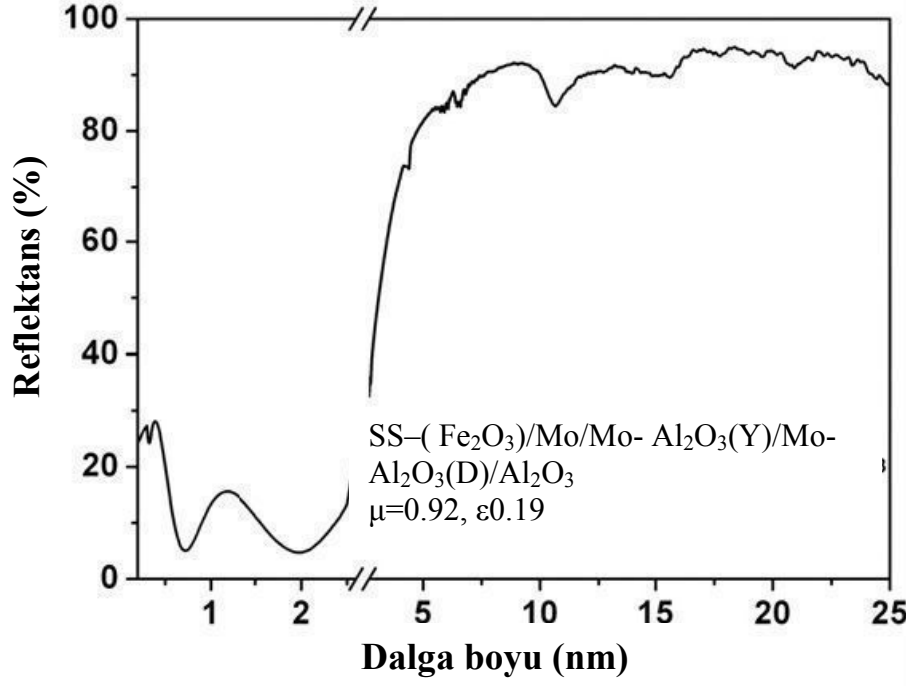
2.2.2.2. Yüksek sıcaklık solar seçici kaplamalar

Yüksek sıcaklıkta çalışan seçici soğurucu kaplamalar üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında yüksek absorbands ve düşük yayım değerlerini yakalamak için genel olarak kompozit yapılara sahip çok katmanlı tasarımlar göze çarpmaktadır.

Bu çok katmanlı yapılarda altlıktan itibaren üst katmanlara doğru çıkıldıkça metal oranı azalırken metal oksit oranı arttırılmaktadır. Bu sayede daha iyi optik özelliklere sahip seçici soğurucu yüzey kaplamaları elde etmek amaçlanmıştır.

Kaplama malzemesi olarak iyi optik özelliklere sahip olduklarından daha çok geçiş elementleri ve bileşikleri kullanılmaktadır.

D. Xinkang, W. Cong tarafından üretilen Mo-Al₂O₃ solar seçici kaplama çift katmanlı kompozit yapısındadır. Altlık üzerinde beş ayrı katman bulunmaktadır. Altlık malzemesi olarak paslanmaz çelik kullanılmıştır. Altlık üzerine sırası ile Fe₂O₃, Mo, yüksek oranda Mo içeren Al₂O₃, düşük oranda Mo içeren Al₂O₃, Al₂O₃ kaplanmıştır. Bu katmanların kalınlıkları; Mo 200nm, Mo- Al₂O₃(Y) 71nm, Mo-Al₂O₃(D) 56nm, Al₂O₃ 65nm mertebesinde. Solar seçici kaplamaya ait reflektans eğrisi şekil 2.4.'de verilmiştir. [11]



Şekil 2.4 : Mo-Al₂O₃ kaplamasına ait reflektans eğrisi [11]

SS-(Fe₂O₃)/Mo/Mo- Al₂O₃(Y)/Mo- Al₂O₃(D)/Al₂O₃ kaplamasının soğurma ve yayım değerleri çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Mo-Al₂O₃ kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri [11]

Numuneler	Soğurma	Yayım
SS	0.36	0.08
SS-(Fe ₂ O ₃)	0.72	0.08
SS-(Fe ₂ O ₃)/Mo	0.58	0.12
SS-(Fe ₂ O ₃)/Mo/Mo- Al ₂ O ₃ (D)	0.84	0.17
SS-(Fe ₂ O ₃)/Mo/ Mo- Al ₂ O ₃ (Y)/ Mo-Al ₂ O ₃ (D)	0.88	0.18
SS-(Fe ₂ O ₃)/Mo/ Mo- Al ₂ O ₃ (Y)/ Mo- Al ₂ O ₃ (D)/Al ₂ O ₃	0.92	0.19

Mo-Al₂O₃ kompozit kaplama da Fe₂O₃ kullanılmasının nedeni molibden metalinin difüzyonunu engellemektir.

Kaplama daha sonra vakum ortamında, farklı sıcaklıklarda ısıtılarak optik özelliklerindeki değişim tespit edilmiştir. Çizelge 2.2.'de kaplamanın sıcaklık değişimine bağlı olarak soğurma ve yayım değerleri görülmektedir.

Çizelge 2.2 : Mo-Al₂O₃ kaplamasının farklı ısıtım sıcaklıklarında soğurma ve yayım değerleri. [11]

No	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Vakum(Pa)	Soğurma	Yayım
1	-	-	-	0.92	0.19
2	350	2	2x10 ⁻³	0.92	0.19
3	500	2	2x10 ⁻³	0.93	0.20
4	650	2	2x10 ⁻³	0.91	0.23
5	800	2	2x10 ⁻³	0.91	0.27

Solar seçici kaplama 500°C ve üzerindeki sıcaklıklarda soğurma değerlerinde azalma, yayım değerlerinde ise artış gözlemlenmektedir. Yüksek sıcaklıklarda Mo kompozit katmanlara difüze etmekte ve optik özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. [11]

H. C. Barshilia, N. Selvakumar tarafından yapılan çalışmada solar seçici kaplamada geçiş elementlerinden Niyobyum kullanılmıştır.

Bakır altlıklar üzerine NbAlN, ikinci katman olarak NbAlON ve son olarak Si₃N₄ kaplanmıştır. Kaplamanın kalınlığı 125nm'dir. Solar seçici kaplamaya ait soğurma ve yayım değerleri çizelge 2.3.'de verilmiştir. [12]

Çizelge 2.3 : Cu/NbAlN/NbAlON/Si₃N₄ kaplamasının soğurma ve yayım değerleri[12]

Numuneler	Soğurma	Yayım
Bakır altlık	0,215	0,03
Cu/NbAlN	0,784	0,05
Cu/NbAlN/NbAlON	0,93	0,06
Cu/NbAlN/NbAlON/Si ₃ N ₄	0,956	0,07

Cu/NbAlN/NbAlON/Si₃N₄ seçici yüzey kaplamasına sahip numuneler daha sonra ısıtım işlem görmüştür.

Çizelge 2.4.'de farklı sıcaklıklarda ısıtım işlemine tabi tutulan kaplamanın soğurma ve yayım değerlerindeki değişimi görülmektedir.

Çizelge 2.4 : Cu/NbAlN/NbAlON/Si₃N₄ kaplamasının farklı ısıtım sıcaklıklarında soğurma ve yayım değerleri [12]

No	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Soğurma	Yayım
1	-	-	0.95	0.07
2	350	2	0.92	0.07
3	400	2	0.93	0.07
4	550	2	0.94	0.13
5	600	2	0.91	0.18

Solar seçici kaplamanın 500°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda optik özelliklerinde büyük bir değişim bulunmamaktadır.

H. C. Barshilia, N. Selvakumar tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise solar seçici kaplamada geçiş elementlerinde Titanyum kullanılmıştır. Altlık malzemesi olarak bakır tercih edilmiştir. Bakır altlık üzerine sırası ile TiAlN ve AlON kaplanmıştır. Solar seçici kaplamaya ait soğurma ve yayım değerleri çizelge 2.5.'de verilmiştir. [13]

Çizelge 2.5 : Cu/TiAlN/AlON kaplamasının soğurma ve yayım değerleri [13]

Numuneler	Soğurma	Yayım
Bakır altlık	0,21	0,03
Cu/TiAlN	0,77	0,05
Cu/TiAlN/AlON	0,93	0,05

Isıl işleme tabi tutulduktan sonra Cu/TiAlN/AlON seçici yüzey kaplamasına ait farklı sıcaklıklardaki soğurma ve yayım değerleri çizelge 2.6.'da görülmektedir.

Çizelge 2.6 : Cu/TiAlN/AlON kaplamasının farklı ısıtım sıcaklıklarında optik özellikleri [13]

No	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Soğurma	Yayım
1	-	-	0.93	0.05
2	400	2	0.94	0.05
3	550	2	0.94	0.06
4	600	2	0.95	0.07
5	620	2	0.93	0.3

Solar seçici kaplamanın 550°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda soğurma ve yayım değerlerinde büyük bir değişim görülmemiştir.[13]

Zirkonyum seçici yüzey kaplamaları

Zirkonyum yüksek ergime sıcaklığına, yüksek termal iletkenliğe ve yüksek oksitlenme direncine sahiptir. Ancak tek başına zirkonyum bir seçici yüzey kaplamasında istenilen optik özellikleri karşılayamamaktadır. Bu nedenle saf zirkonyum yerine ZrN ya da ZrC tercih edilmektedir.

Çizelge 2.7 : Zirkonyum ve bileşiklerinin ergime sıcaklıkları [14]

Malzeme	Ergime Sıcaklığı (°C)
ZrN	2980
ZrC	3420
Zr	1850

R. Blickensderfer, D. K. Dear dorff, R.L. Lincoln, Zr ile yaptığı kaplamalarda ZrN, ZrC ve ZrON bileşiklerini kullanmıştır. Üç tip kaplama yapmıştır.

Öncelikle paslanmaz çelik altlık üzerine gümüş daha sonra ZrN kaplamıştır. Bir diğer kaplamada ise altlık malzemesi olarak cam kullanmış üzerine gümüş kapladıktan sonra en üst katman olarak ZrC kaplamıştır. Son olarak ise tekrar cam altlık üzerine gümüş kaplamış, gümüş üzerine de ZrON kaplayıp her üç numunenin soğurma ve yayım değerlerini ölmüştür. Çizelge 2.8. üç kaplamanın da soğurma ve yayım değerleri görülmektedir. [15]

Çizelge 2.8 : ZrN, ZrC, ZrON kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri [15]

Numuneler	Soğurma	Yayım
SS/Ag/ZrN	0,85	0.035
Cam/Ag/ZrC	0,81	0,072
Cam/Ag/ZrON	0,66	0,047

Görüldüğü üzere en yüksek soğurma değerine ve en düşük yayım değerine sahip olan numune ZrN kaplı numunedir. ZrC kaplı numunenin soğurma değerinde küçük bir azalma varken yayım değeri yaklaşık olarak iki kat artmıştır. En düşük soğurma değerine ise ZrON kaplı numune sahip olup yayım değeri düşüktür. Ancak bu kaplamaların yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında optik özelliklerinin nasıl değiştiğine dair bir bilgi bulunmamaktadır. [15]

Zr bileşikleri kullanılarak yapılan bir başka çalışmada R. Blickensderfer, gümüş üzerine ZrN, ZrC, ZrON ve ZrCN kaplayarak soğurma ve yayım değerlerini incelemiştir. Çizelge 2.9.'da kaplamalara ait soğurma ve yayım değerleri ile birlikte kaplamaların bozunmaya başladıkları sıcaklıklar verilmiştir. [16]

Çizelge 2.9 : ZrN, ZrC, ZrON, ZrCN kaplamalarının soğurma, yayım değerleri ve bozunma sıcaklıkları [16]

Numuneler	Soğurma	Yayım	Bozunma Sıcaklığı (K)
Ag/ZrN	0,86	0,039	740
Ag/ZrC	0,81	0,075	620
Ag/ZrON	0,88	0,052	690
Ag/ZrCN	0,88	0,084	620

Nitrür kaplamaların soğurma değeri yüksek ve yayım değeri düşüktür. Karbonun varlığı absorbands değerleri üzerinde büyük bir fark oluşturmada da yayım değerlerini arttırıcı etki göstermektedir. Kaplamalar yüksek bozunma sıcaklıklarına sahiptir. [16]

K. Dong Lee tarafından yapılan çalışmada solar seçici kaplama olarak Zr-O kompozit kaplama üretilmiştir. Bu kaplama cam üzerine yapılan dört katmanlı bir yapıya sahiptir. En alt tabaka Al kaplıdır. Daha sonra üzerine çift katlı Zr-O kompozit kaplama yapılmıştır. Son olarak da en üstte Al_2O_3 kaplaması ilave edilmiştir. Zr-O kompozit kaplama Farklı oranda Zr içerek iki katmandan oluşur.

Altındaki katman yüksek oranda Zr içerip düşük oranda ZrO_2 ihtiva etmekte iken üstteki katman aksine düşük oranda Zr içerip yüksek oranda ZrO_2 ihtiva etmektedir.

Kaplama daha sonra farklı sıcaklıklarda ısıtılma tabi tutulmuştur.Çizelge2.10.'da Zr-O kompozit solar seçici kaplamaya ait ısıtılma işlem öncesi ve sonrası soğurma ve yayım değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.10 : Zr-O kompozit kaplamasının farklı ısıtılma sıcaklıklarında soğurma ve yayım değerleri [17]

Numuneler	Soğurma	Yayım
Al/Zr-O/ Al_2O_3	0,94	0,07
Al/Zr-O/ Al_2O_3 (400°C 2 sa)	0,94	0,08
Al/Zr-O/ Al_2O_3 (+450°C 6 sa)	0,94	0,25

Zr-O kompozit kaplamalar 0.94 mertebesinde yüksek soğurma değerine sahipken aynı zamanda düşük yayım değerine de sahip olduğu görülmektedir. 400°C de iki saat ısıtıl işlem sonrası optik özellikleri değişmezken 450°C de 6 saat ısıtıl işleme tabi tutulduktan sonra Al tabaka ile Zr-O kompozit tabaka arasında difüzyon meydana gelmesinden dolayı optik özellikleri olumsuz yönde etkilenmiştir. [17]

2.3. Uygulama Alanları

Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri kullanılmaktadır.

Kolektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri "yoğunlaştırma oranı" dır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir.

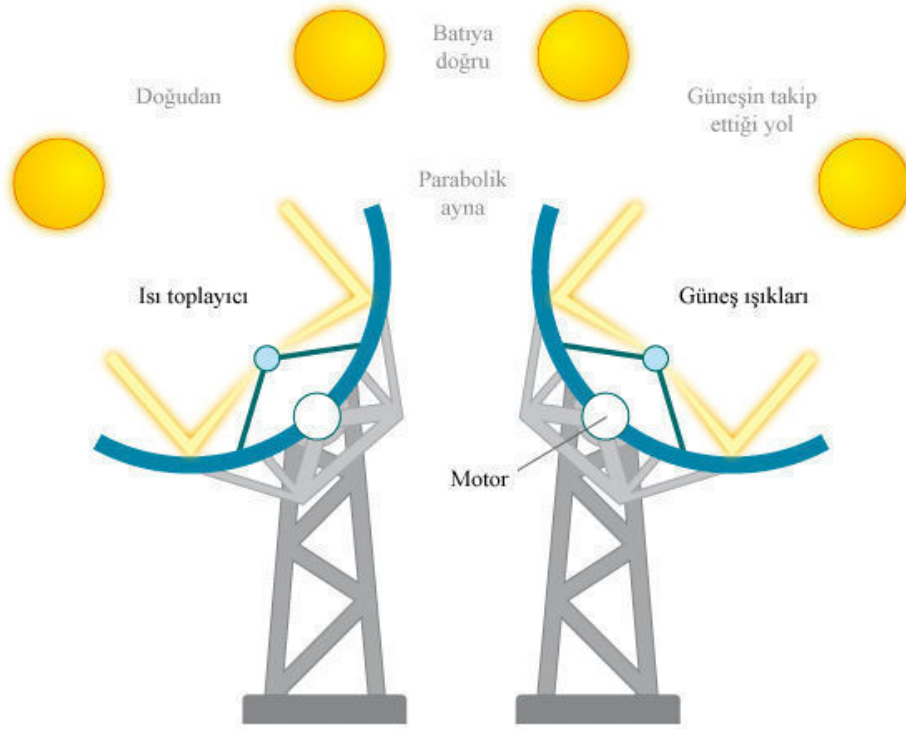
Parabolik kolektörlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir. [3]

2.3.1. Parabolik kolektör

Parabolik kolektörlerde güneş ışıkları büyük parabolik aynalar yardımı ile aynaların odak noktasına yerleştirilen borulara odaklanır. Şekil 2.2.'de parabolik bir güneş kolektörünün şematik görünümü görülmektedir.

Isı toplayıcı boru üzerine gelen güneş ışıkları ile ısınır ve borunun içinden geçen akışkanın da ısınmasını sağlar. Borunun üzeri seçici yüzey kaplaması ile kaplanarak güneş ışığının geri yansması ve ısının akışkana hızlı bir şekilde iletilmesi sağlanır. Isı toplayıcı boru korozyondan ve dış çevre şartlarından olumsuz yönde etkilenmesini önlemek için özel bir vakumlu cam boru içerisine yerleştirilir. [19,20]

Parabolik kolektörlerde dev parabolik aynalar motor yardımı ile gün boyunca güneşin gittiği yönü takip eder.



Şekil 2.5 : Parabolik kollektörün şematik görünümü [18]

2.4. Katodik Ark Yöntemi ile Kaplama

Bu yöntemde buharlaştırılacak malzeme (katot) ve vakum çemberinin duvarları arasında düşük voltaj (20-300V)- yüksek akım (100A-200A) özelliğine sahip potansiyel uygulanır.

Başlangıçta, tetikleme ile kısa devre yapılarak, anot ile katot arasında akım geçişi oluşturulur. Katot yüzeyindeki çok küçük alanlarda sıcaklığı 2500°C civarında olan ark izi oluşturulur. Bununla beraber, katodun önünde oluşturulan yüksek elektron akışı ile buharlaşan atomların iyonizasyonu sağlanmaktadır.

Buharlaştırma işlemi sırasında, kaplama malzemesinin (katot) iyi soğutulmadığı durumlarda, film kalitesini bozan ve damlacık adı verilen büyük sıvı kütlelerinin yüzeyden kopması söz konusudur. Katodik ark yöntemi ile yapılan kaplamaların yüzeylerinde, droplet oluşumunu azaltmak için katotların arkasına kuvvetli mıknatıslar yerleştirilmektedir. Katotların arkalarına yerleştirilen mıknatısların, dropletlerin azalmasına olan etkisi şu şekilde açıklanabilir.

Mıknatısların oluşturduğu manyetik alan, iyon gibi yüklü partiküllerin üzerinde etkili olurken, yüksüz makro partiküller üzerinde etkisi yoktur. Bu farklılık ile manyetik

alan sistemde iyonlar ile makro partiküller arasında filtre görevi görür. Manyetik alanın iyonlar üzerindeki etkisi, iyonların hızını artırır ve bununla orantılı olarak film biriktirme hızları da artarak, kaplama süresi kısalır. Sonuç olarak kısalan kaplama süresi ile film yüzeyine düşen makro partikül sayısı da azalacaktır.

Sistem içindeki makro partiküller, nötral bir buhar kaynağı olarak da tanımlanabilir. Plazma içerisinde bulunan makro partiküllerden, bu partiküllere çarpan elektronlar vasıtasıyla da buharlaşma meydana gelebilmektedir. Oluşturulan manyetik alan, plazma içerisindeki elektron yoğunluğunu artırarak makro partiküllerin buharlaşmasını artırmaktadır. [21]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Soğurucu Malzeme Tasarımı

Soğurucu malzeme tasarımının başlangıcında uygun malzemeyi seçmek büyük önem arz etmektedir. Zira malzemenin belirli optik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler daha önce de belirtildiği üzere malzemenin yüksek absorbans ve düşük yayım değerlerine sahip olmasıdır. Bu durum göz önüne alındığında, seçici yüzey kaplamaları için en uygun adaylar geçiş metallerinden IVA, VA ve VIA grubuna ait metallerdir. Titanyum, Zirkonyum, Hafniyum başta olmak üzere bu metaller ve alaşımları iyi optik özelliklere sahip oldukları gibi aynı zamanda yüksek ergime sıcaklıkları sayesinde yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya da elverişlidir. IVA, VA ve VIA grubu geçiş elementlerinin diğer avantajları ise yüksek oksidasyon direncine, yüksek termal iletkenlik ve yüksek sertlik değerlerine sahip olmalarıdır. [22]

Seçici yüzey kaplamasında aranan özellikler göz önünde bulundurulduğunda karşımıza soğurucu malzeme için en uygun olan başlıca üç metal çıkmaktadır. Bunlar titanyum, zirkonyum ve hafniyumdur. Seçici yüzey kaplamalarında kullanımı adına optik özellikleri ile ilgili olarak, Titanyum üzerinde en çok çalışma yapılmış olan metaldir. Zirkonyum ile ilgili çalışmalar mevcut ise de sınırlıdır. Hafniyum ile ilgili bilgi ise yok denecek kadar azdır. Buna rağmen Hafniyum'un soğurucu malzeme olarak kullanımında büyük potansiyele sahip olduğu öngörülmektedir. [9,23]

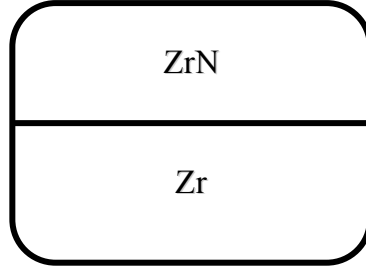
Bu çalışmada uygun optik özellikleri, yüksek oksidasyon direnci göz önüne alınarak zirkonyum ve bileşikleri tercih edilmiştir.

Zirkonyum yüksek ergime sıcaklığına, yüksek termal iletkenliğe ve yüksek oksitlenme direncine sahiptir. Ancak tek başına zirkonyum bir seçici yüzey kaplamasında istenilen optik özellikleri karşılayamamaktadır. Bu nedenle saf zirkonyumun yanında ZrN tercih edilmiştir.

Bu çalışmada yüksek absorbans ve özellikle düşük yayım değerlerine sahip olduğu için ZrN tercih edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda karbonun varlığı yayım

değerlerini arttığı görülmüştür. Yayımlı değerlerinin düşük olması arzu edildiği için zirkonyum karbür kaplamalar tercih edilmemiştir.

Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere bu çalışmada hedef iki katmanlı bir seçici yüzey kaplaması üretmektir.



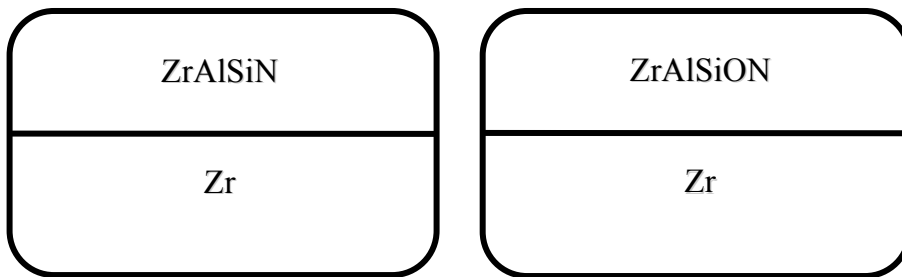
Şekil 3.1 : ZrN/Zr Seçici yüzey kaplamasının şematik görünümü

İlk katman Zr olup ikinci katman olarak ZrN ilave edilmiştir. ZrN'ün zirkonyum ile kıyaslandığında daha iyi optik özelliklere sahip olmasına rağmen burada ZrN'ün yanında zirkonyumun kullanılmasının sebebi zirkonyumun yüksek iletkenliğe sahip olmasıdır. Bu sayede ZrN yüksek soğurma özelliği sayesinde ısıyı alırken zirkonyum yüksek iletkenliği sayesinde ısıyı alt tabakaya hızlı bir şekilde ulaştıracaktır. Bu sayede hem ısı kaybı aza indirgenmiş olup hem de ısıнын kolektörden geçen akışkana iletimi hızlanması ile verimin artması sağlanmaktadır.

Deneyisel çalışmalarda Zr katmanı üzerine farklı kaplama sürelerine sahip ZrN kaplanarak, kaplama kalınlığındaki değişimin malzemenin optik özellikleri üzerindeki değişimi incelenmiştir.

ZrN seçici yüzey kaplamalarına Al-Si ilavesi ile soğurma değerlerinin artması sağlanmaya çalışılmıştır.

Şekil 3.2.'de Zr/ZrAlSiN ve Zr/ZrAlSiON Seçici yüzey kaplamasının şematik görünümleri verilmiştir.



Şekil: 3.2 : Zr/ZrAlSiN ve Zr/ZrAlSiON Seçici yüzey kaplamalarının şematik görünümü

Al-Si yanında ayrıca oksijen de kullanılmıştır. Seçici yüzey kaplamasında oksijen varlığında soğurma ve yayım değerlerindeki değişim gözlemlenmiştir.

3.2. Deneyler

3.2.1. Numune hazırlama

Soğurucu malzeme tasarımında altlık olarak yüksek oksidasyon dayanımı dolayısıyla paslanmaz çelik tercih edilmiştir.

Aynı zamanda malzemenin seçici yüzey kaplaması ile reaksiyona girmemesi istenir. Kaplamanın altlık ile etkileşimi seçici kaplama yüzeyinin optik özelliklerini bozabilmektedir.

3.2.1.1. Kesme

Seçici yüzey kaplamalarında altlık olarak kullanılmak üzere 2cm kalınlığındaki paslanmaz çelik levha giyotin yardımı ile 10x10 cm boyutlarında kesilmiştir. Nihai numune boyutları 2x10x10 dur.

Altlık malzemesinin boyutunun 10x10 cm olmasının tercih edilmesinin sebebi daha sonraki aşamalarda kaplamanın yayım değerlerini ölçerken numunenin emissivite cihazına yerleştirilebilmesini sağlamak içindir.

3.2.1.2. Zımparalama

2x10x10 boyutlarında kesilerek hazırlanan paslanmaz çelik altlıklar daha sonra zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Kaplanacak numune yüzeyinin temiz ve pürüzsüz olması büyük önem taşımaktadır.

Paslanmaz çelik altlıklar sırası ile 400, 600 ve 800 numaralı zımpara kâğıtlarıyla zımparalanmıştır.

3.2.1.3. Temizleme

Kaplamadan önceki son adım olan temizleme işleminde numuneler ultrasonik temizleme cihazı kullanılarak temizlenmiştir. Altlık yüzeyindeki kir ya da tozlar seçici yüzey kaplamalarının özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebepten ötürü numune yüzeyinin etkili bir şekilde temizlenmesi gerekmektedir.

Numuneler ultrasonik yıkama cihazında 10 dakika süre ile tutularak temizleme işlemine tabi tutulmuştur.

Numuneler son olarak alkol ile yıkanmıştır.

3.2.2. Kaplama

Hazırlanan numunelere Zr+ZrN, Zr+ZrON, Zr+ZrAlSiN ve Zr+ZrAlSiON olmak üzere farklı seçici yüzey kaplamaları uygulanmıştır.

Kaplama yöntemi olarak katodik ark kaplama yöntemi kullanılmıştır.

3.2.2.1. ZrN esaslı seçici yüzey kaplamaları

Temizleme işlemi tamamlanan numuneler tutuculara yerleştirilerek vakum odasına konulur. Bu esnada tutucuların ve vakum odasının temizliğine dikkat edilmelidir.

Ayrıca vakum odasına konulan numunelerin kaplanacak yüzeylerinin katodu görecektir şekilde yerleştirilmelidir.

Ayrıca kaplama süresinin seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için kaplama süresi sırası ile 1, 2 ve 4 dakika süre tutulmuştur.

Kaplama parametreleri çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : ZrN seçisi yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama parametreleri

Parametreler	Numune 1		Numune 2		Numune 3	
	Zr	ZrN	Zr	ZrN	Zr	ZrN
Bias voltajı (V)	150	150	150	150	150	150
Katot akımı (A)	100	100	100	100	100	100
Ön ısıtma süresi (dk)	2	-	2	-	2	-
Basınç (Pa)	7×10^{-3}	7×10^{-3}	7×10^{-3}	7×10^{-3}	7×10^{-3}	7×10^{-3}
Kaplama süresi (dk)	1,5	1	1,5	2	1,5	4
Kaplama Sıcaklığı (°C)	180	180	180	180	180	180

3.2.2.2. ZrON seçici yüzey kaplamaları

Oksijenin kaplamanın optik özelliklerine etkisini görebilmek için ZrON seçici yüzey kaplaması yapılmıştır.

Katodik ark kaplama parametreleri çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : ZrON seçisi yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama parametreleri

Parametreler	Numune 4	
	Zr	ZrON
Bias voltajı (V)	150	150
Katot akımı (A)	100	100
Ön ısıtma süresi (dk)	2	-
Basınç (Pa)	7×10^{-3}	7×10^{-3}
Kaplama süresi (dk)	1,5	1
Kaplama Sıcaklığı (°C)	180	180

3.2.2.3. ZrAlSiN seçici yüzey kaplamaları

ZrN seçici yüzey kaplamalarının soğurma değerlerini yükseltmek için Zr ile birlikte kaplamada Al-Si da kullanılmıştır. Çizelge 3.3.'de kaplama parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 : ZrAlSiN seçisi yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama parametreleri

Parametreler	Numune 5	
	Zr	ZrAlSiN
Bias voltajı (V)	150	150
Katot akımı (A)	100	100
Ön ısıtma süresi (dk)	2	-
Basınç (Pa)	7×10^{-3}	7×10^{-3}
Kaplama süresi (dk)	1,5	2
Kaplama Sıcaklığı (°C)	180	180

3.2.2.4. ZrAlSiON Seçici yüzey kaplamaları

Seçici yüzey kaplamasının optik özellikleri üzerinde Oksijen varlığının etkisini görebilmek için yapılan bir diğer kaplama ZrAlSiON seçici yüzey kaplamasıdır. Kaplama parametreleri çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. : ZrAlSiON seçici yüzey kaplamaları için katodik ark kaplama Parametreleri

Parametreler	Numune 6	
	Zr	ZrAlSiON
Bias voltajı (V)	150	150
Katot akımı (A)	100	100
Ön ısıtma süresi (dk)	2	-
Basınç (Pa)	7×10^{-3}	7×10^{-3}
Kaplama süresi (dk)	1,5	2
Kaplama Sıcaklığı (°C)	180	180

3.2.3. Isıl işlem

Hazırlanan numuneler önceden 400 °C' ye kadar ısıtılmış fırında 1 saat süre ile bekletilmiştir. Daha sonra numuneler oda sıcaklığında soğutuldu. Isıl işleme tabi tutulan numunelerin yüzeyinde oksit tabakası oluşturarak kaplamanın soğurma ve yayım değerlerindeki değişimi gözlemlemek hedeflenmiştir.

3.3. Analizler

3.3.1. Spektrofotometrik analizler

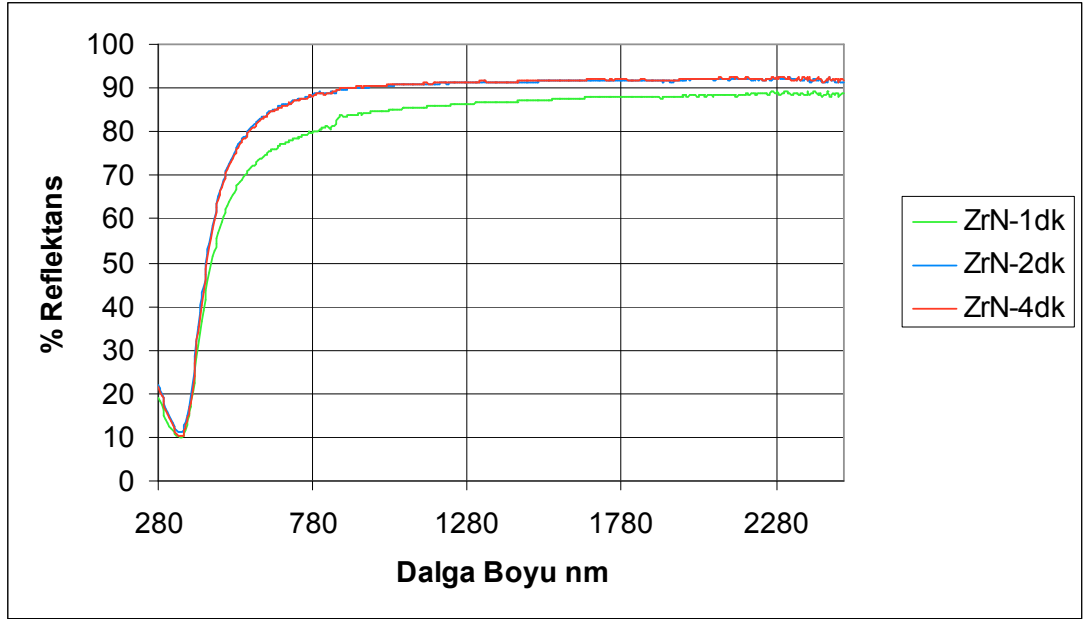
Numunelerin reflektans değerleri Lambda 900 UV/S/IR spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür.

Seçici yüzey kaplamalarının yayım değerleri INGLAS Tır 100–2 emissivite cihazı ile oda sıcaklığında (25°C) ölçülmüştür.

3.3.1.1. ZrN esaslı seçici yüzey kaplamaları

Kaplamaların reflektans ve yayım değerleri ısııl işlem öncesi ve sonrası olmak üzere iki sefer ölçülmüştür.

Farklı kaplama süreleri tutularak kaplanan ZrN seçici yüzey kaplamalarının ısıtıl işlem öncesinde reflektans eğrisi şekil 3.3.'de görülmektedir.



Şekil 3.3 : ZrN seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi

Şekil 3.3.'de görüldüğü üzere ZrN esaslı seçici yüzey kaplamalarının reflektans değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Ayrıca farklı kaplama sürelerine sahip numuneler arasında büyük bir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

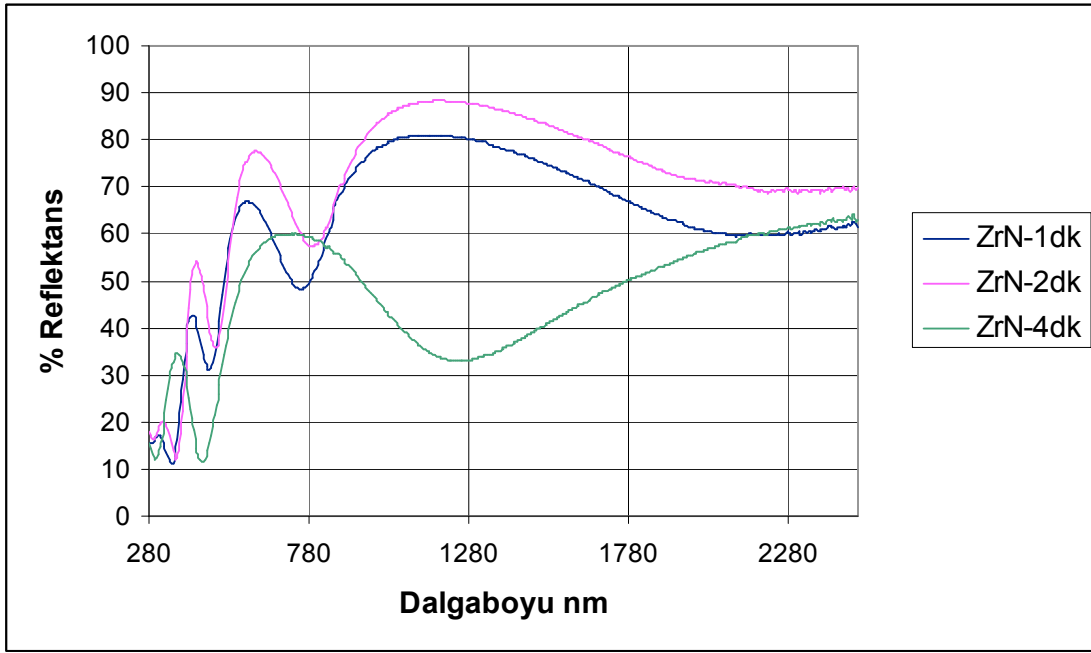
Spektrofotometre cihazından alınan verilerle kaplamaların soğurma değerleri hesaplanmıştır. ZrN seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : ZrN seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrN (1dk)	20.50	0.055
ZrN (2dk)	15.53	0.058
ZrN (4dk)	15.56	0.056

ZrN seçici yüzey kaplamalarının yayım değerlerinin oldukça düşük değerlerde çıktığı gözlemlenmiştir. Soğurma değerleri de düşük seviyededir.

Isıl işlem sonrası numunelerin reflektans eğrisi şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : ZrN seçici yüzey kaplamalarının ısıtılma sonrası reflektans eğrisi

Numunelerin ısıtılma sonrası reflektans değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Isıtılma tabi tutulmuş ZrN seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.6.'da verilmiştir.

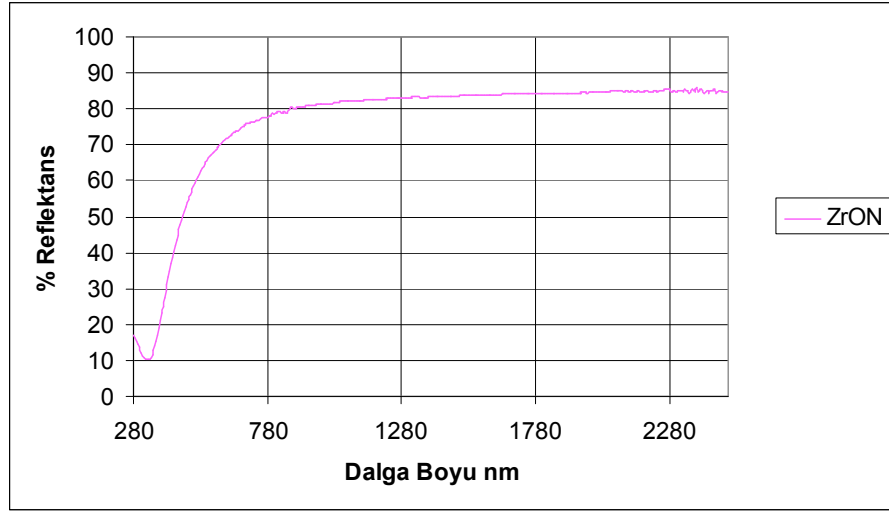
Çizelge 3.6. : ZrN seçici yüzey kaplamalarının ısıtılma sonrası soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrN (1dk)	36.74	0.079
ZrN (2dk)	28.96	0.077
ZrN (4dk)	53.08	0.171

Numunelerin hem soğurma hem de yayım değerlerinde ısıtılma sonrası artış gözlemlenmiştir.

3.3.1.2. ZrON seçici yüzey kaplamaları

ZrON seçici yüzey kaplaması yüksek reflektans değerlerine sahiptir. ZrON seçici yüzey kaplamasının reflektans eğrisi şekil 3.5.'de görüldüğü üzere kaplamanın reflektansı %80 mertebelerine kadar çıkmaktadır.



Şekil 3.5 : ZrON seçici yüzey kaplamasının reflektans eğrisi

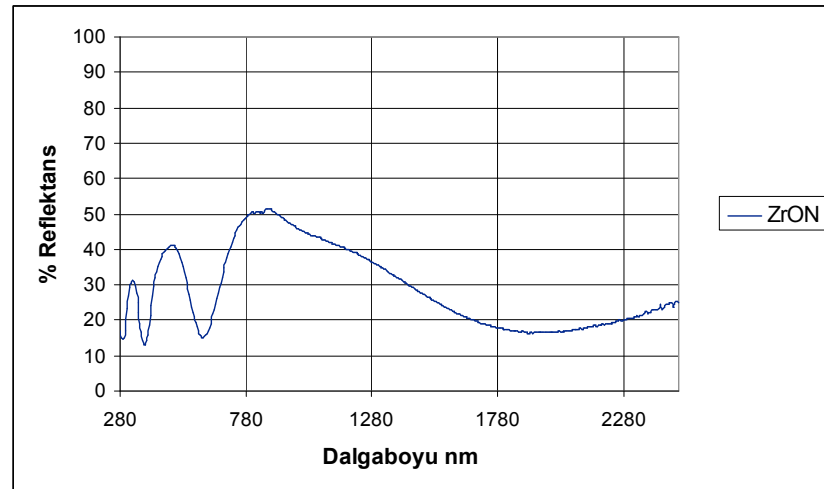
ZrON kaplama yapılan numunenin soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.7. de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : ZrON seçici yüzey kaplamasının soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrON (1dk)	23.57	0.097

ZrON kaplama yapılan numunenin düşük soğurma ve düşük yayım değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Isıl işlem sonrası kaplamanın reflektansı %50 civarında bir düşüş göstermiştir. Şekil 3.6.'da ısıtıl işlem sonrası ZrON seçici yüzey kaplamasının reflektans eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.6 : ZrON seçici yüzey kaplamasının ısıtıl işlem sonrası reflektans eğrisi

Numunenin ısıtıl işlem sonrası soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.8’de verilmiştir.

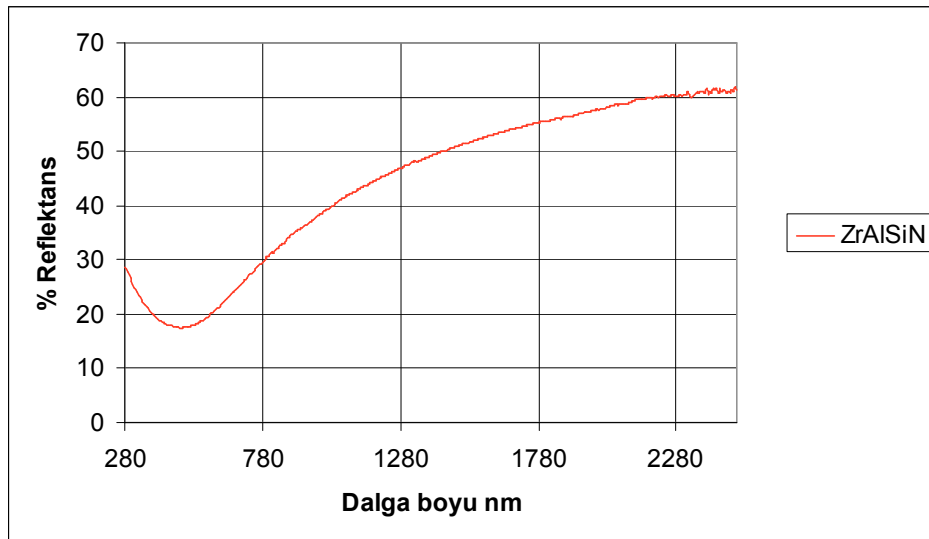
Çizelge 3.8 : ZrON seçici yüzey kaplamasının ısıtıl işlem sonrası soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrON (1dk)	71.23	0.171

ZrON kaplamaya sahip numunenin soğurma değerinde büyük bir artış gözlemlenirken, yayım değerinde 0.06’lık bir artış tespit edilmiştir.

3.3.1.3. ZrAlSiN seçici yüzey kaplamaları

ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi şekil 3.7’de görülmektedir. Beklenildiği üzere ZrAlSiN kaplama yapılan numunenin reflektans değerleri ZrN ve ZrON kaplama yapılan numunelere kıyasla daha düşük seviyede çıkmıştır.



Şekil 3.7 : ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi

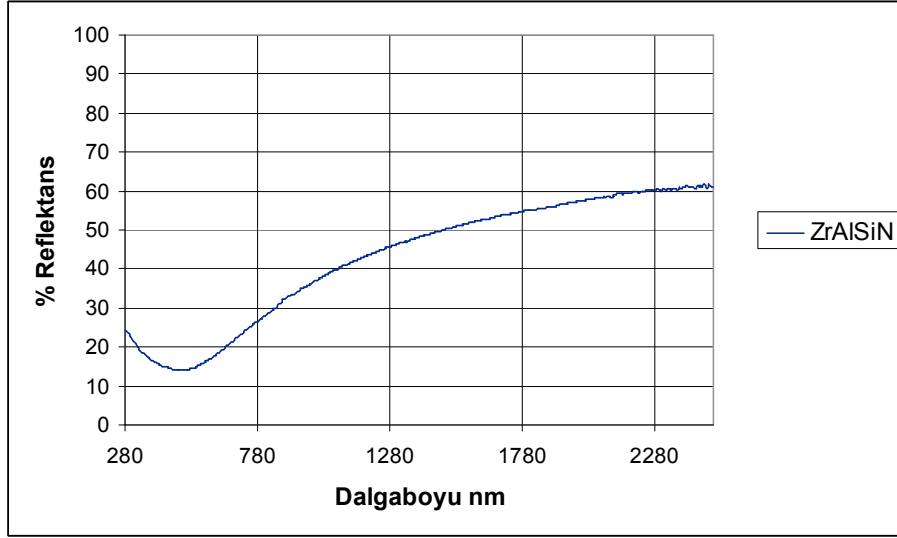
ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : ZrAlSiN seçici yüzey kaplamasının soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrAlSiN	55.52	0.217

ZrAlSiN kaplamalarına sahip numuneler daha yüksek soğurma ve yayım değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi şekil 3.8’de görüldüğü üzere ısıt işlem sonrası belirgin bir değişiklik göstermemiştir.



Şekil 3.8 : ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının ısıt işlem sonrası reflektans eğrisi

ZrAlSiN seçici yüzey kaplamalarının ısıt işleme tabi tutulduktan sonraki soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.12.’de verilmiştir.

Çizelge 3.10 : ZrAlSiN seçici yüzey kaplamasının ısıt işlem sonrası soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrAlSiN	56.96	0.213

Isıt işlem öncesi ve sonrasında ZrAlSiN kaplı numunelerin soğurma ve yayım değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

3.3.1.4. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamaları

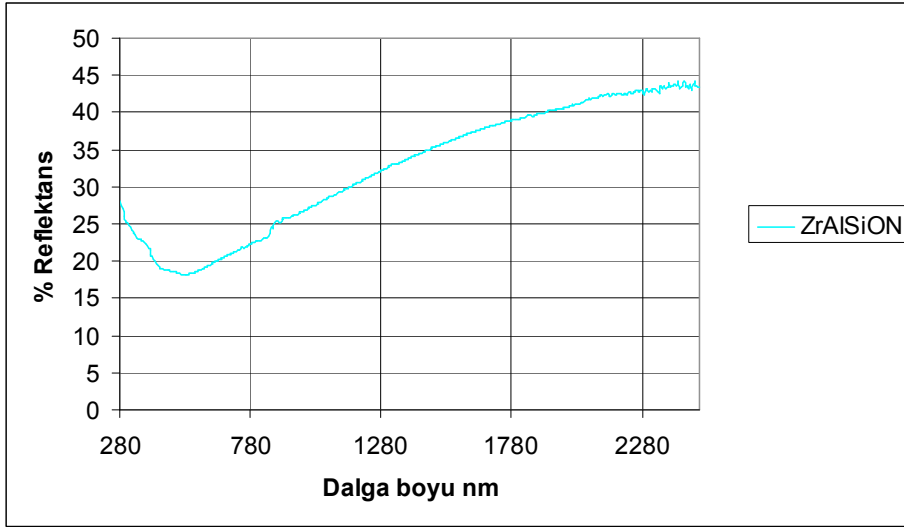
ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.11.’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : ZrAlSiON seçici yüzey kaplamasının soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrAlSiON	67.51	0.344

Görüldüğü üzere ZrAlSiON seçici yüzey kaplamaları yüksek soğurma ve yüksek yayım değerlerine sahiptir.

ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi şekil 3.9.’da görülmektedir.



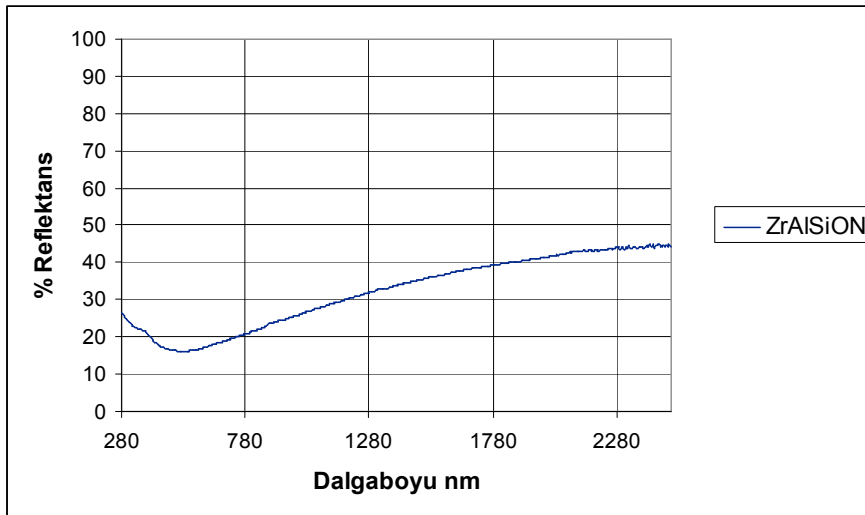
Şekil 3.9 : ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi

ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısıtılma işlemi tabi tutulduktan sonra ölçülen soğurma ve yayım değerleri çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12 : ZrAlSiON seçici yüzey kaplamasının soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrAlSiON	67.86	0.344

Isıl işlem sonrası ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi şekil 3.10 da görülmektedir.



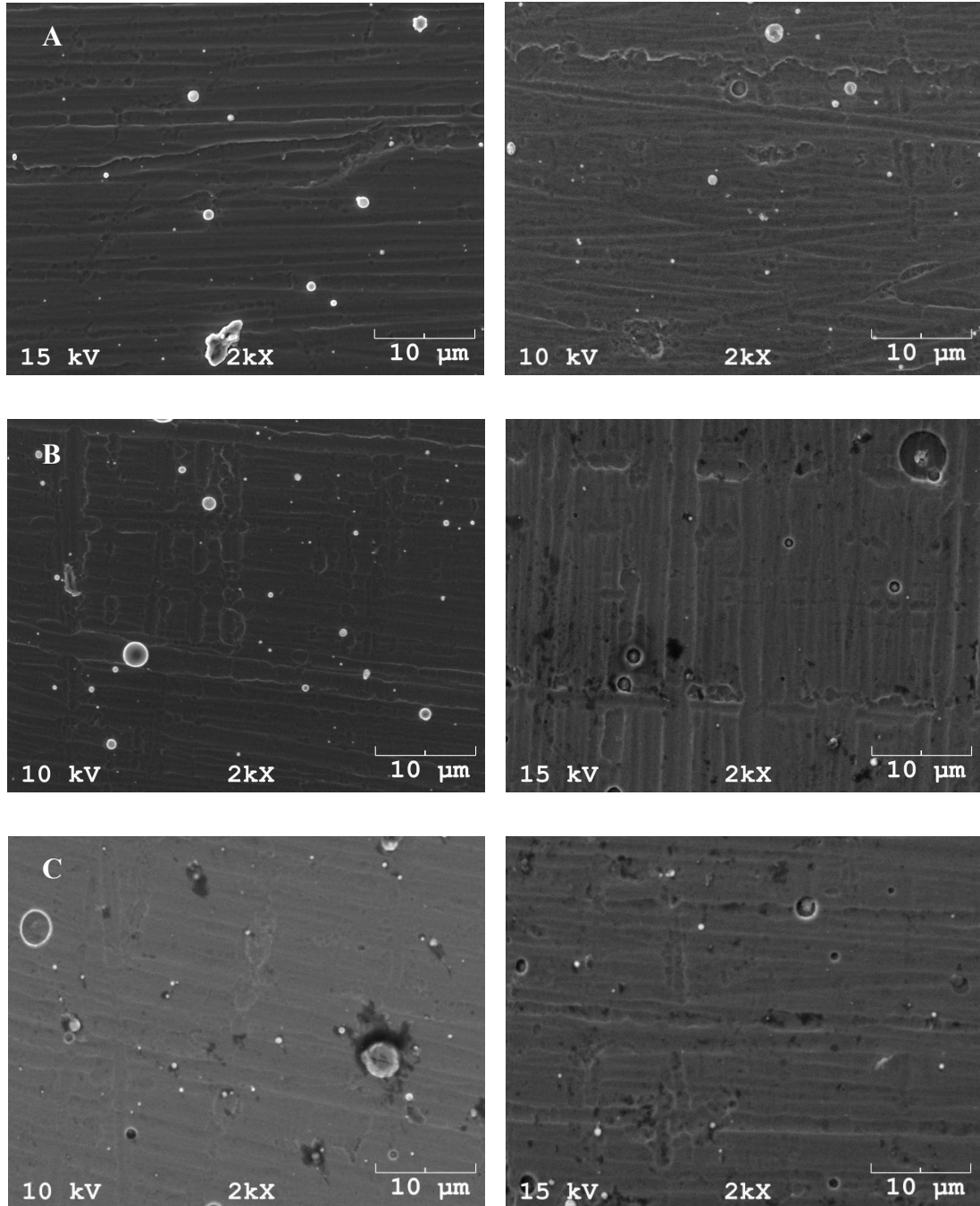
Şekil 3.10 : ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrisi

Yapılan kaplamaların ısıtılma işlem sonrası soğurma ve yayım değerlerinde önemli bir değişiklik bulunmamaktadır.

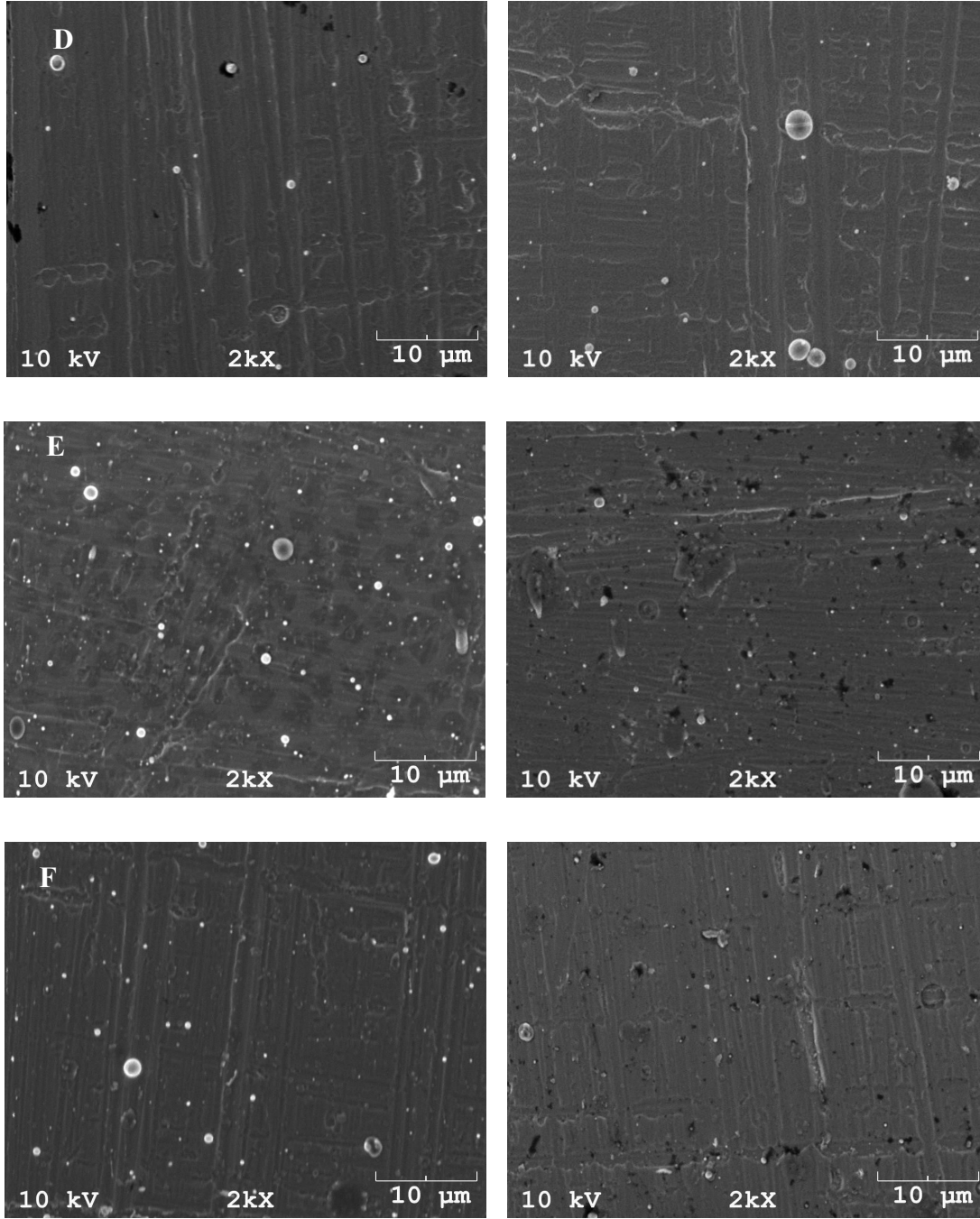
3.3.4. SEM analizleri

Kaplamaların ısıtıl işlem öncesi ve sonrasında yüzey morfolojilerini incelemek üzere SEM görüntüleri karşılaştırılmıştır.

Farklı kaplama sürelerine sahip olan ZrN ve ZrON esaslı numunelerin 2000X büyütmedeki Sem görüntüleri şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.11 : a. ZrN-1dk, b. ZrN-2dk, c. ZrN-4dk, d. ZrON, e. ZrAlSiN ve f. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısıtıl işlem öncesi (sol) ve sonrası (sağ) SEM görüntüleri



Şekil 3.11 : a. ZrN-1dk, b. ZrN-2dk, c. ZrN-4dk, d. ZrON, e. ZrAlSiN ve f. ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısıt işlem öncesi (sol) ve sonrası (sağ) SEM görüntüleri

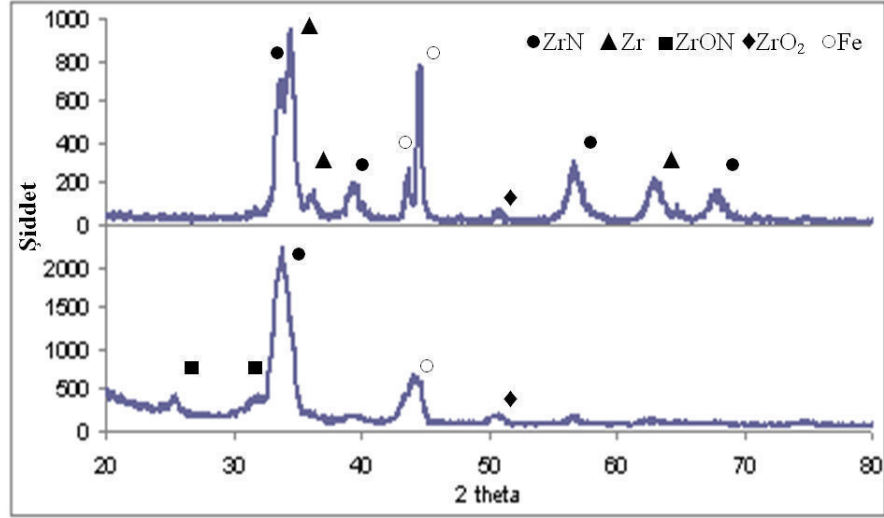
Numunelerin yüzeylerinde zımparalama işlemi sonucu meydana gelen çizikler belirgin şekilde görülmektedir. Yüzeyin pürüzlü olması seçici yüzey kaplamalarında soğurma ve yayım değerlerini arttırıcı etki göstermektedir.

SEM görüntülerinde katodik ark yöntemi ile yapılan kaplamaların yüzeylerinde buharlaştırma işlemi sırasında, kaplama malzemesinin(katot) iyi soğutulmaması nedeni ile oluşan ve film kalitesini bozan droplet oluşumu tespit edilmiştir.

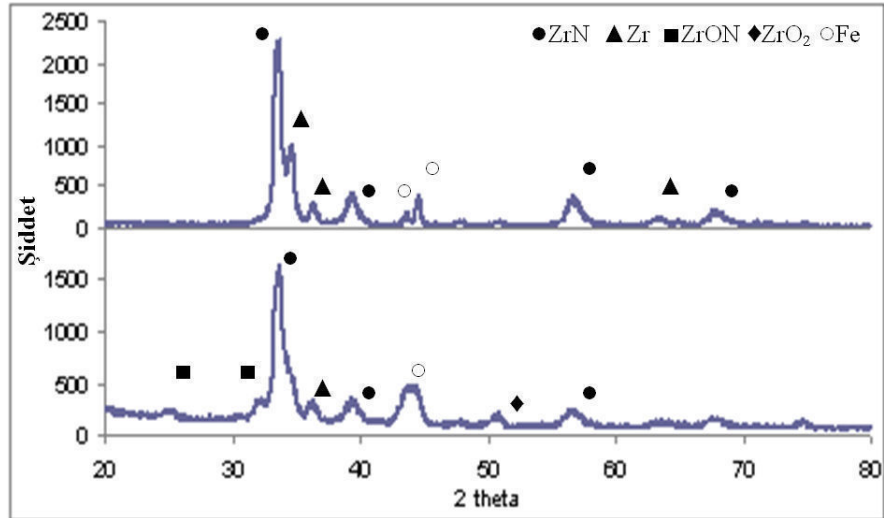
3.2.3. XRD analizleri

Zr/ZrN ve Zr/ZrON seçici yüzey kaplamalarının ısıtılma işlemi öncesi ve sonrasında XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 3.12. de Zr/ZrN (1dk) kaplamasına ait XRD paterni verilmiştir.

Zr/ZrN (1dk) kaplamasına ait XRD difraksiyon paterninde bulunan pikler ZrN, Zr ve Fe'e aittir. Isıtılma işlemi görmüş seçici yüzey kaplamasında ise ZrN'ün yanında aynı zamanda ZrON ve ZrO₂'e ait XRD pikleri de bulunmaktadır.



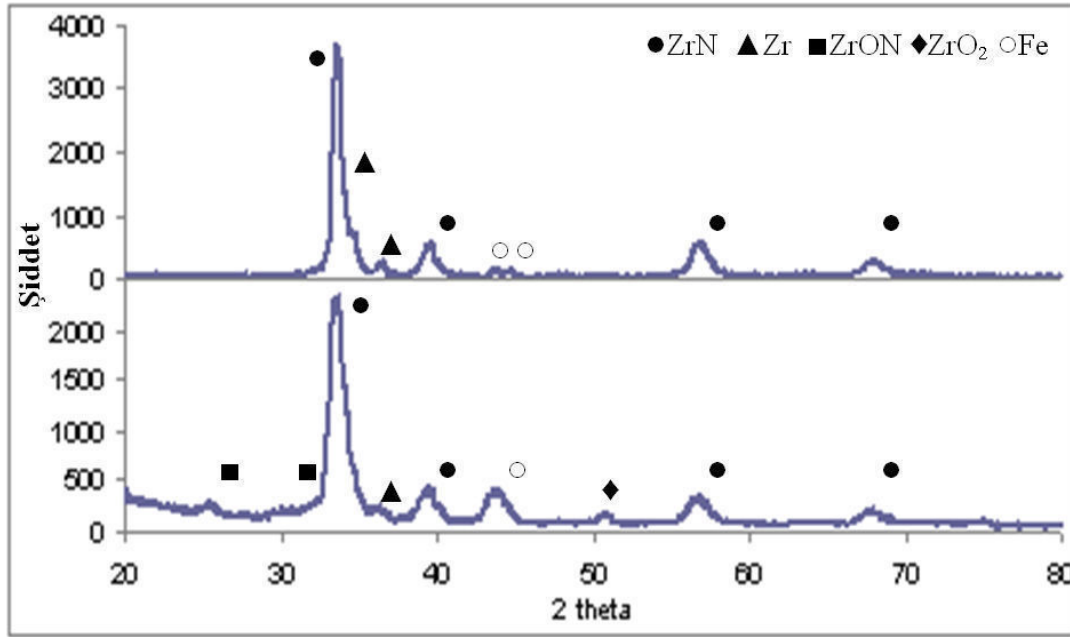
Şekil 3.12 : Zr/ZrN (1dk) kaplamasına ait XRD paterni; ısıtılma işlemi öncesi (üst), sonrası (alt) Zr/ZrN (2dk) seçici yüzey kaplamasına sahip numunenin x ışınları difraksiyon paternindeki pikler ZrN ve Zr'a ait olup şekil 3.13.'de görülmektedir.



Şekil 3.13 : Zr/ZrN (2dk) kaplamasına ait XRD paterni; ısıtılma işlemi öncesi (üst), sonrası (alt)

ZrN kaplama süresinin daha uzun olması nedeni ile Zr/ZrN (1dk) seçici yüzey kaplamasına sahip numuneye kıyasla Zr'a ait difraksiyon piklerinin şiddeti azalırken ZrN'e ait difraksiyon piklerinin şiddeti artmıştır. Isıl işlem sonrasında, seçici yüzey kaplamasının oksitlenmesi ile birlikte numunenin XRD analizinde ZrON'e ait x ışınları difraksiyon pikleri tespit edilmiştir.

Zr/ZrN (4dk) seçici yüzey kaplamasına sahip olan numunenin XRD paterni şekil 3.14.'de verilmiştir ve Zr/ZrN (2dk) kaplamasına ait olan XRD paterni ile uyum göstermektedir.

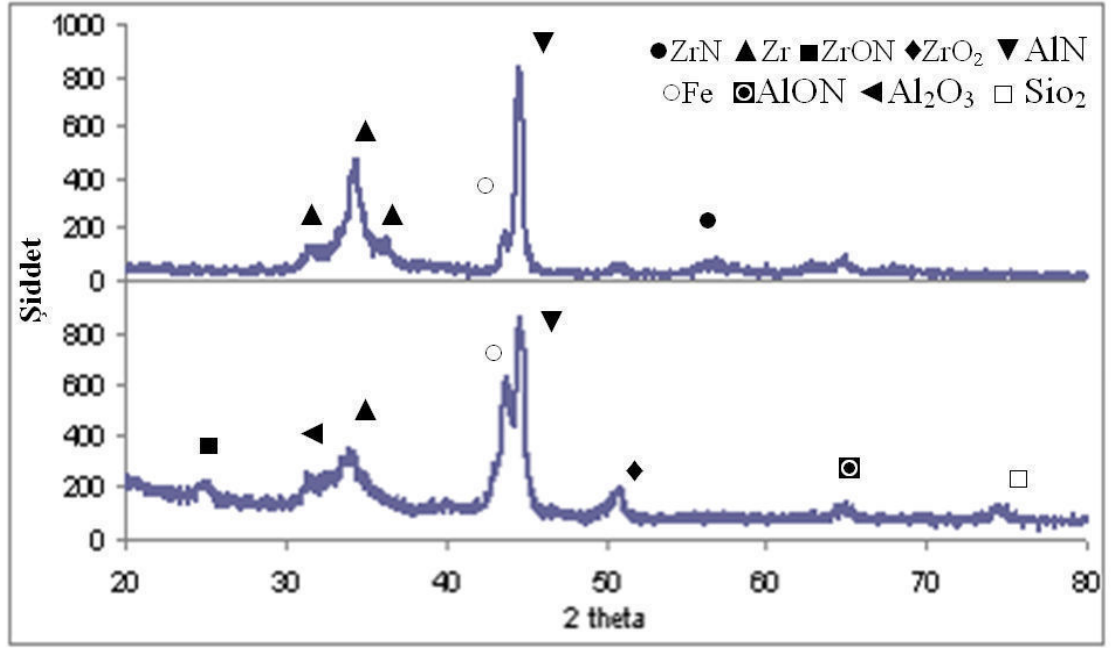


Şekil 3.14 : Zr/ZrN (4dk) kaplamasına ait XRD paterni; ısıtıl işlem öncesi (üst), sonrası (alt)

En uzun ZrN kaplama süresine sahip olduğundan diğer numunelerdeki difraksiyon pikleri ile karşılaştırıldığında ZrN difraksiyon piklerinin şiddeti daha yüksek iken Zr difraksiyon piklerinin şiddeti ise daha düşüktür. Isıl işlem öncesinde ZrN ve Zr'a ait XRD pikleri mevcutken, ısıtıl işlem sonrasında oksitlenmeye bağlı olarak ZrON'e ait XRD pikleri belirmiştir.

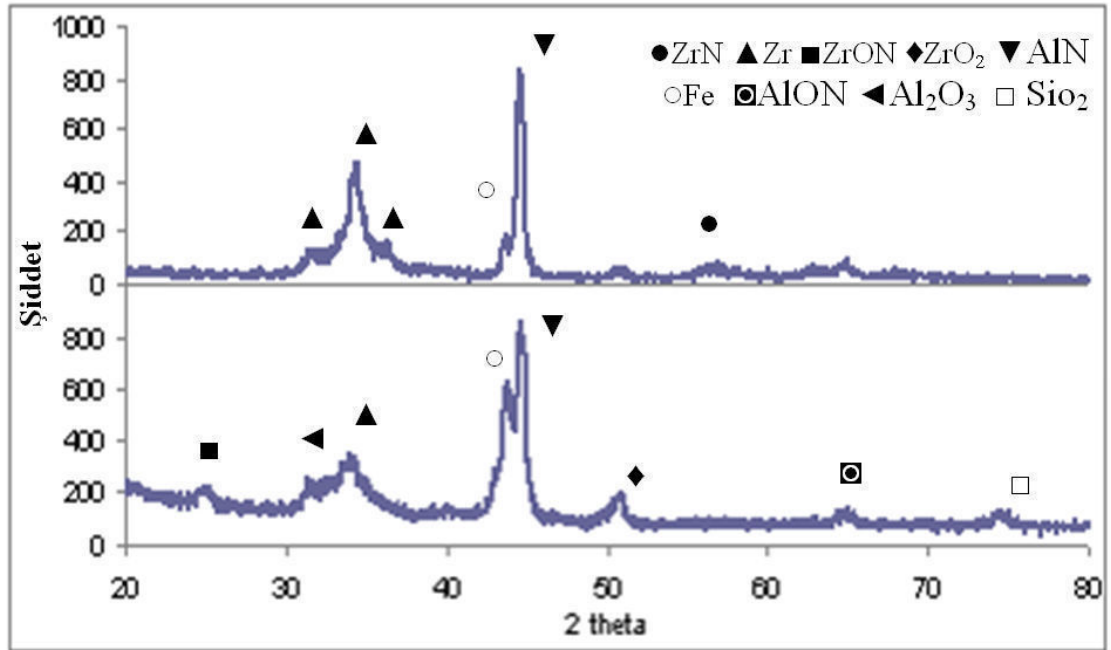
Şekil 3.15.'de görüldüğü üzere Zr/ZrON kaplamasına ait XRD difraksiyon paterninde bulunan pikler ZrN, Zr, ZrON, ZrO₂ ve Fe'e aittir.

Isıl işlem görmüş seçici yüzey kaplamasında ZrN, ZrON ve ZrO₂'e ait XRD difraksiyon pikleri bulunmaktadır. Zr difraksiyon piklerinin ısıtıl işlem sonrası şiddetleri azalırken ZrO₂ difraksiyon piklerinin şiddetinde artma gözlemlenmiştir.



Şekil 3.15 : Zr/ZrON kaplamasına ait XRD paterni; ısıt işlem öncesi (üst), sonrası (alt)

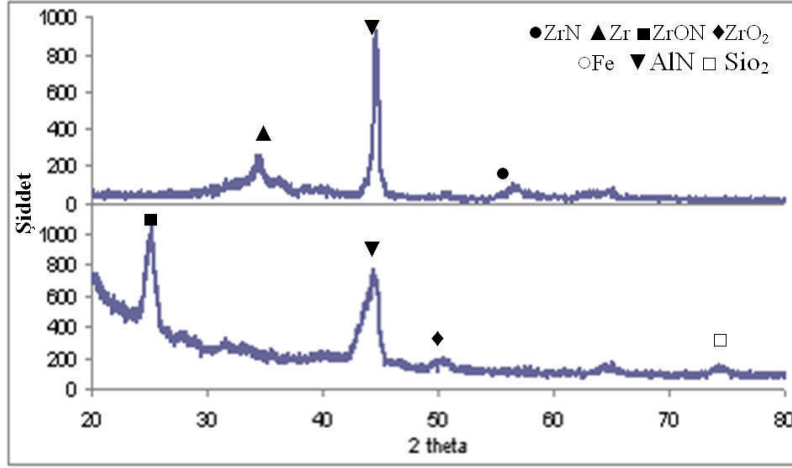
Şekil 3.16.'da Zr/ZrAlSiN seçici yüzey kaplamasına ait XRD paterni verilmiştir.



Şekil 3.16 : Zr/ZrAlSiN kaplamasına ait XRD paterni; ısıt işlem öncesi (üst), sonrası (alt)

Zr/ZrAlSiN seçici yüzey kaplamasına ait XRD paternindeki pikler AlN ve Zr'a aittir. Isıl işleme tabi tutulduktan sonra kaplamanın oksitlenmesi sonucu SiO₂, ZrON, Al₂O₃, ZrO₂'e ait XRD pikleri tespit edilmiştir.

Şekil 3.17.'de Zr/ZrAlSiN seçici yüzey kaplamasına ait XRD paterni verilmiştir.

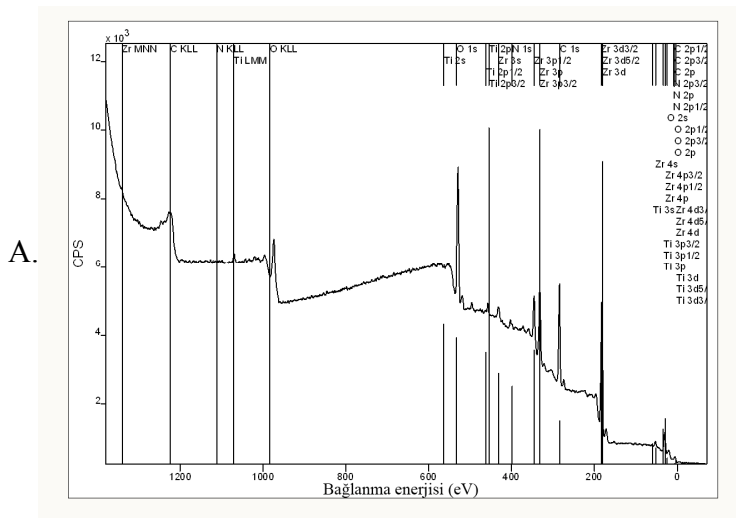


Şekil 3.17 : Zr/ZrAlSiON kaplamasına ait XRD paterni; ısıt işlem öncesi (üst),sonrası (alt)

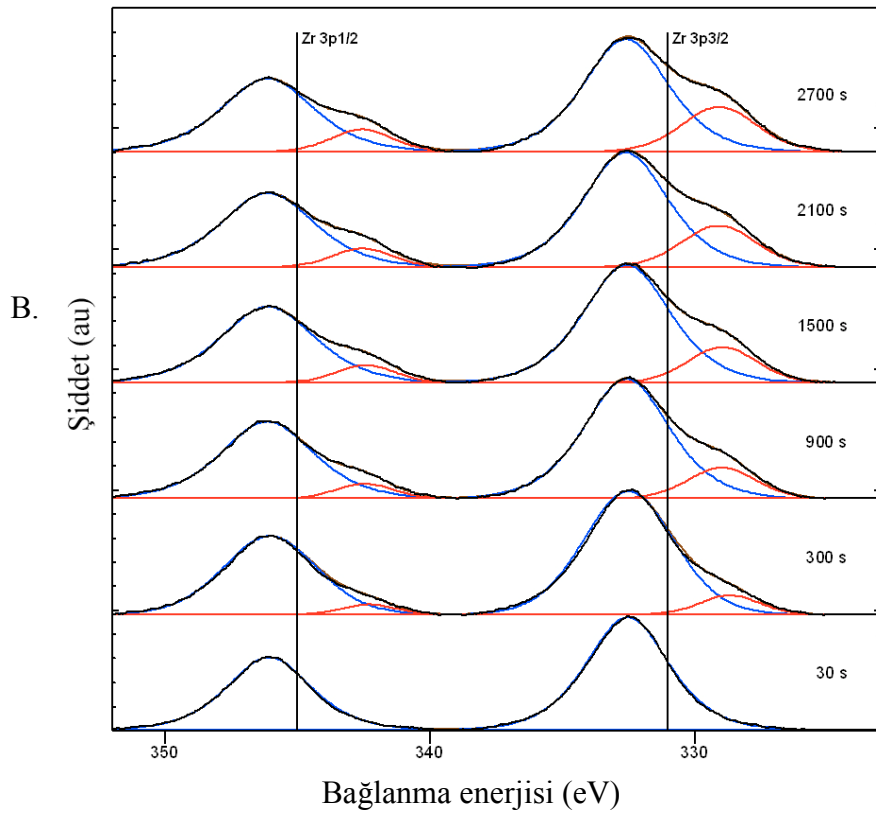
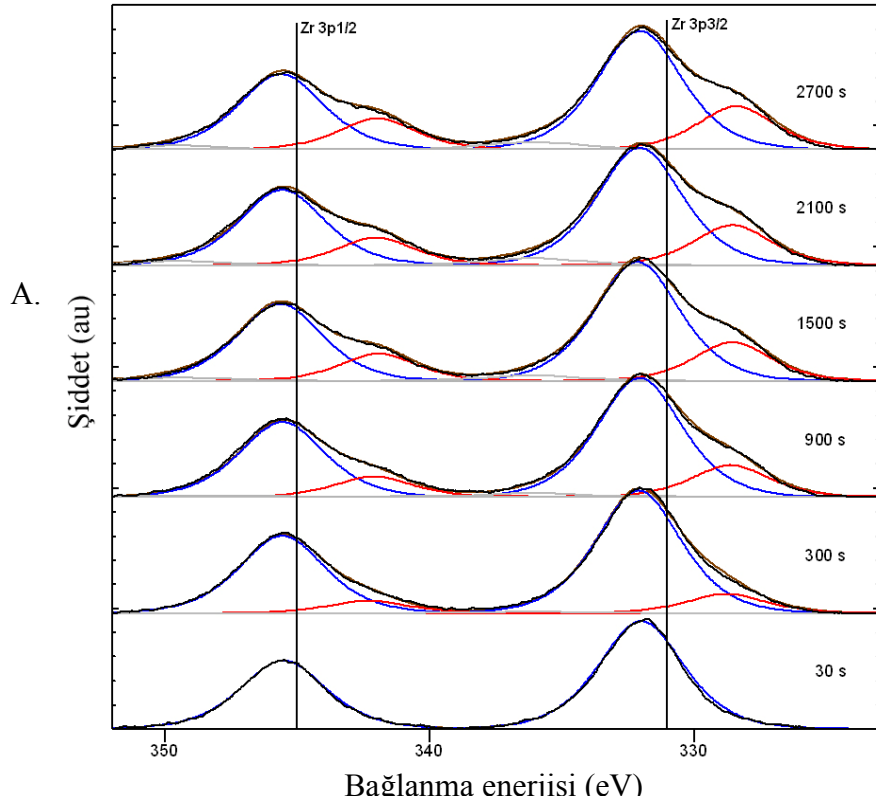
Zr/ZrAlSiON seçici yüzey kaplamasına sahip numunenin ısıt işlem öncesi XRD paternindeki pikler ZrN ve AlN'e ait olup ısıt işlem sonrası ZrN'e ait xrd difraksiyon piki kaybolup, ZrON, SiO₂ ve ZrO₂'e ait XRD piki belirmiştir

3.2.4. X-Işınlari foto elektron spektroskopisi (XPS) analizleri

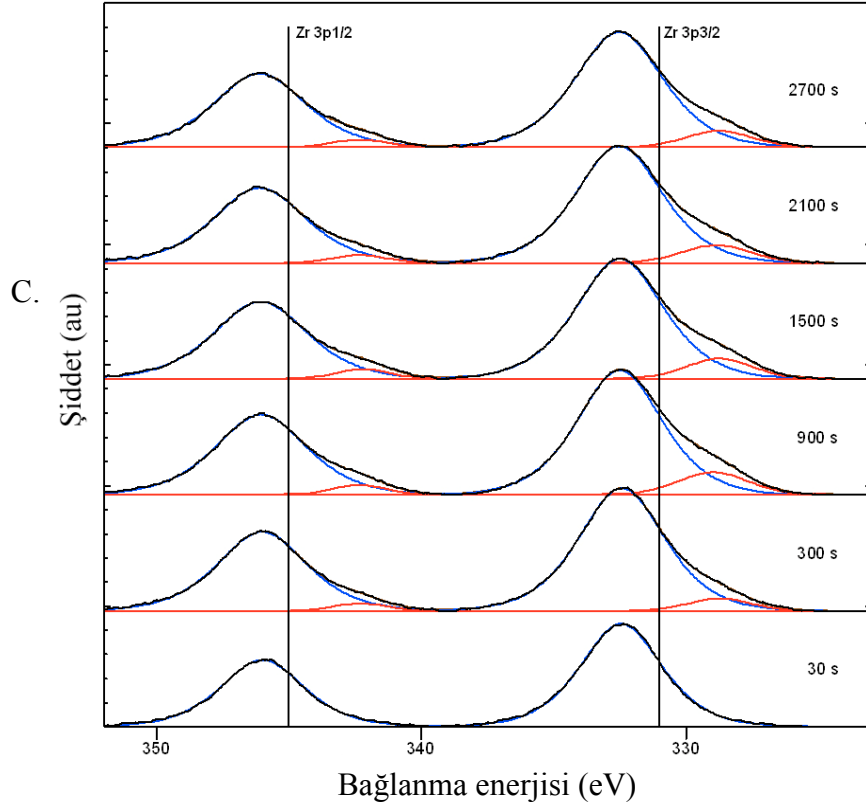
ZrN ve ZrON seçici yüzey kaplamalarına ısıt işlem uygulanarak yüzeyde bir oksit tabakası oluşturulmak istenmiştir. Bu sayede paslanmaz çelik altlık üzerinde sırası ile Zr-ZrN-ZrO₂ ve Zr-ZrON-ZrO₂ katmanlarına sahip bir kaplama elde edilmeye çalışılmıştır. Kaplamanın yapısını incelemek için numune yüzeyinde genel tarama ile XPS spektrumları elde edildikten sonra derinlik profili analizleri yapılmıştır. Genel tarama sonucu ZrN (1–4 dk) ve ZrON seçici yüzey kaplamalarına ait XPS spektrumları şekil 3.18.'de görülmektedir.



Şekil 3.18 : a. ZrN (1dk), b. ZrN (4dk) ve c. ZrON kaplamalarına ait XPS spektrumları



Şekil 3.19 : a. ZrN (1dk), b. ZrN (4dk) ve c. ZrON seçici yüzey kaplamalarına ait Zr 3p XPS spektrumu

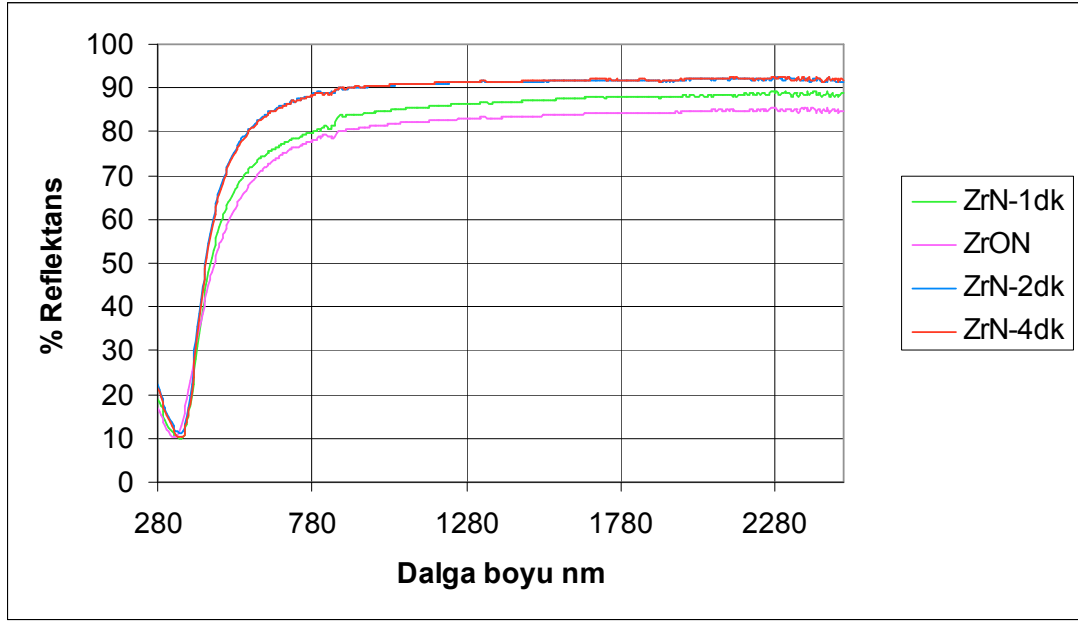


Şekil 3.19 : a. ZrN (1dk), b. ZrN (4dk) ve c. ZrON seçici yüzey kaplamalarına ait Zr 3p XPS spektrumu

XPS spektrumunda bağlanma enerjileri 332.6 eV ve 346.2 eV değerlerine sahip olan, sırası ile Zr 3p 3/2 ile Zr 3p 1/2 pikleri mevcuttur. Siyah renkte gösterilen pikin mavi ve kırmızı renklerde iki ayrı pikten oluştuğu görülmektedir. Bunlardan yüksek şiddette olan mavi pik ZrO_2 e aittir. Kırmızı renkte ve daha düşük şiddette olan pik ise ZrON e ait olup başlangıçta görülmezken kaplamanın daha derin tabakalarında ortaya çıkmaktadır. Bu durum hazırlanan seçici yüzey kaplamalarının ısıtılma işlemi sonucunda yüzeyden itibaren paslanmaz çelik altlığa doğru ZrO_2 ve ZrON gibi farklı katmanlara sahip olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Deneyler kısmında belirtildiği üzere farklı kaplama sürelerinde ZrN seçici yüzey kaplama yapılmıştır. Bu kaplamaların ve ZrON seçici yüzey kaplamasının reflektans değerleri şekil 4.1. de görülmektedir.



Şekil 4.1 : ZrN ve ZrON esaslı seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrileri

Reflektans değerlerinden faydalanılarak hesaplanan seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerlerinin karşılaştırması çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : ZrN ve ZrON esaslı seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrN (1dk)	20.50	0.055
ZrN (2dk)	15.53	0.058
ZrN (4dk)	15.56	0.056
ZrON (1dk)	23.57	0.097

ZrN seçici yüzey kaplamalarının çok düşük yayım değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ancak bunun yanında soğurma değerlerinin de düşük çıktığı

gözlemlenmiştir. Kaplama süresinin soğurma değerlerinde belirgin bir değişikliğe sebep olmadığı görülmektedir. Fakat ZrN seçici yüzey kaplamalarından kaplama süresi 1 dakika olan numunenin diğer iki numuneye kıyasla soğurma değeri %5 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kaplama süreleri 2 ve 4 dakika olan numuneler arasında böyle bir artış söz konusu değildir. Kaplama parametrelerinin her üç kaplamada da aynı olduğu göz önüne alınırsa %5'lik bu farkın numune yüzeylerinin parlaklığından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. 2 ve 4 dakikalık kaplama süresine sahip olan numunelerin kaplama süresinin artması ile Altın sarısı renk daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmış ve yüzey parlaklığı artmıştır. Dolayısıyla 1 dakikalık kaplama süresine sahip olan numune yüzeyinden daha parlak yüzeye sahip olmaları daha yüksek reflektans değerlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

ZrON seçici yüzey kaplamalarının ZrN seçici yüzey kaplamalarına kıyasla daha yüksek soğurma ve bunun yanında daha yüksek yayım değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Soğurma ve yayım değerlerindeki bu artış kaplama malzemesindeki oksijen varlığından ileri gelmektedir.

yayım değerlerinin düşük çıkması istenilen bir sonuçsa da kaplamaların soğurma değerleri çok düşüktür. Bu nedenle Zr'un yanında AlSi da kullanılarak ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamaları yapılmıştır.

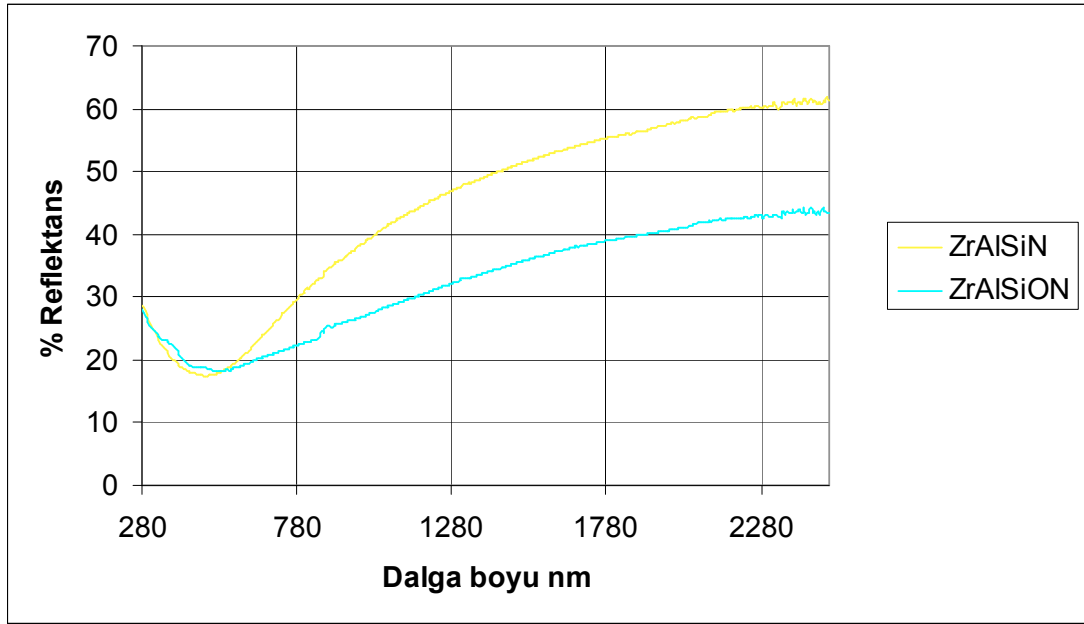
Çizelge 4.2.'de de görüldüğü üzere ZrAlSiN kaplamasına sahip numune ZrAlSiON kaplamasına sahip numuneye kıyasla daha yüksek soğurma değerlerine sahiptir. Ancak yayım değerlerinde yaklaşık %2 lik bir artış söz konusudur.

Çizelge 4.2 : ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrAlSiN	55.52	0.217
ZrAlSiON	67.51	0.344

Şekil 4.2.'de ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrilerini karşılaştırması görülmektedir.

ZrAlSiN seçici yüzey kaplamasının reflektans değerlerinin ZrAlSiON seçici yüzey kaplamasının reflektans değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2 : ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının reflektans eğrileri

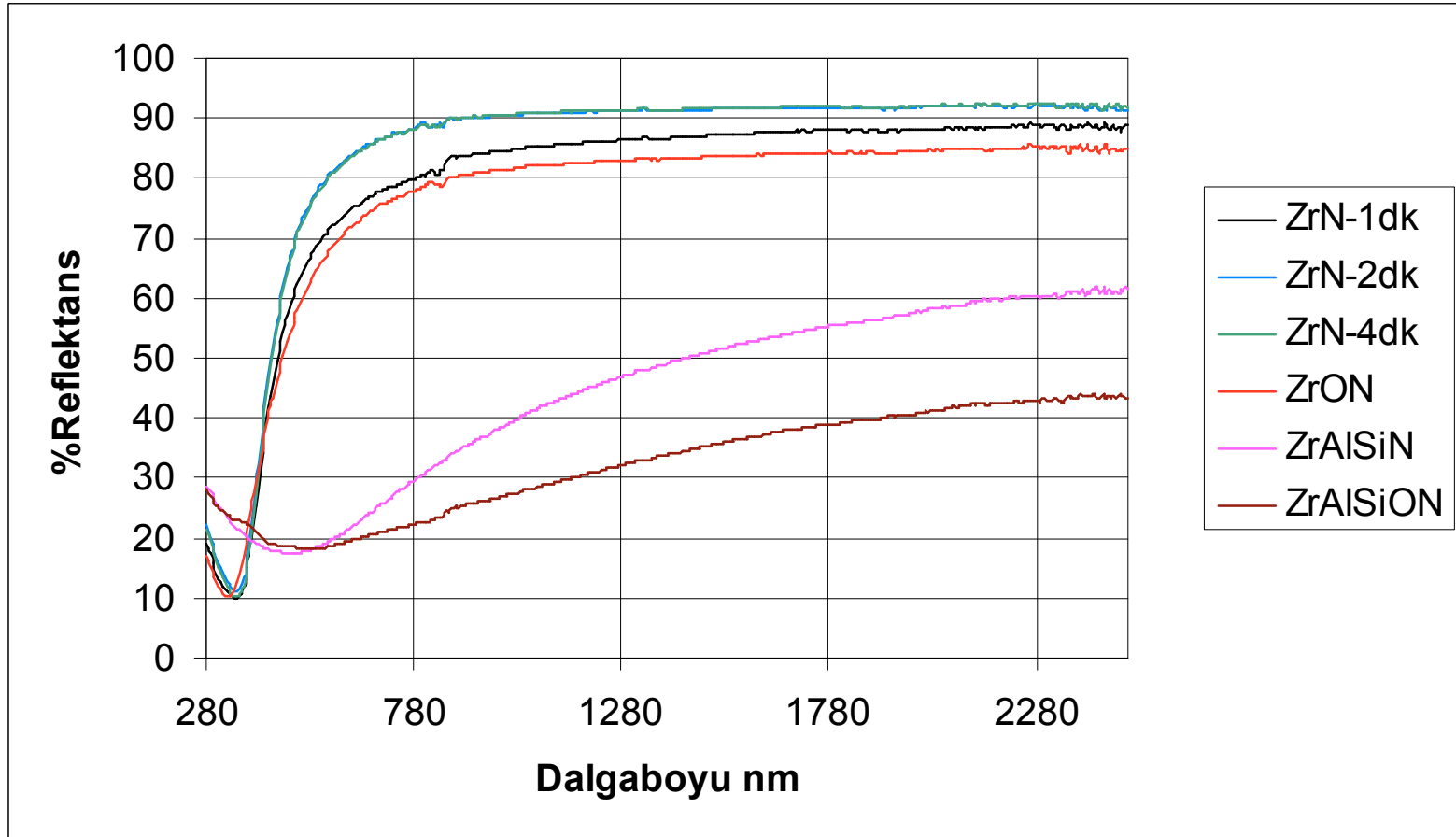
Çizelge 4.3.'de yapılan kaplamaların soğurma ve yayım değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3 : ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının soğurma ve yayım değerleri

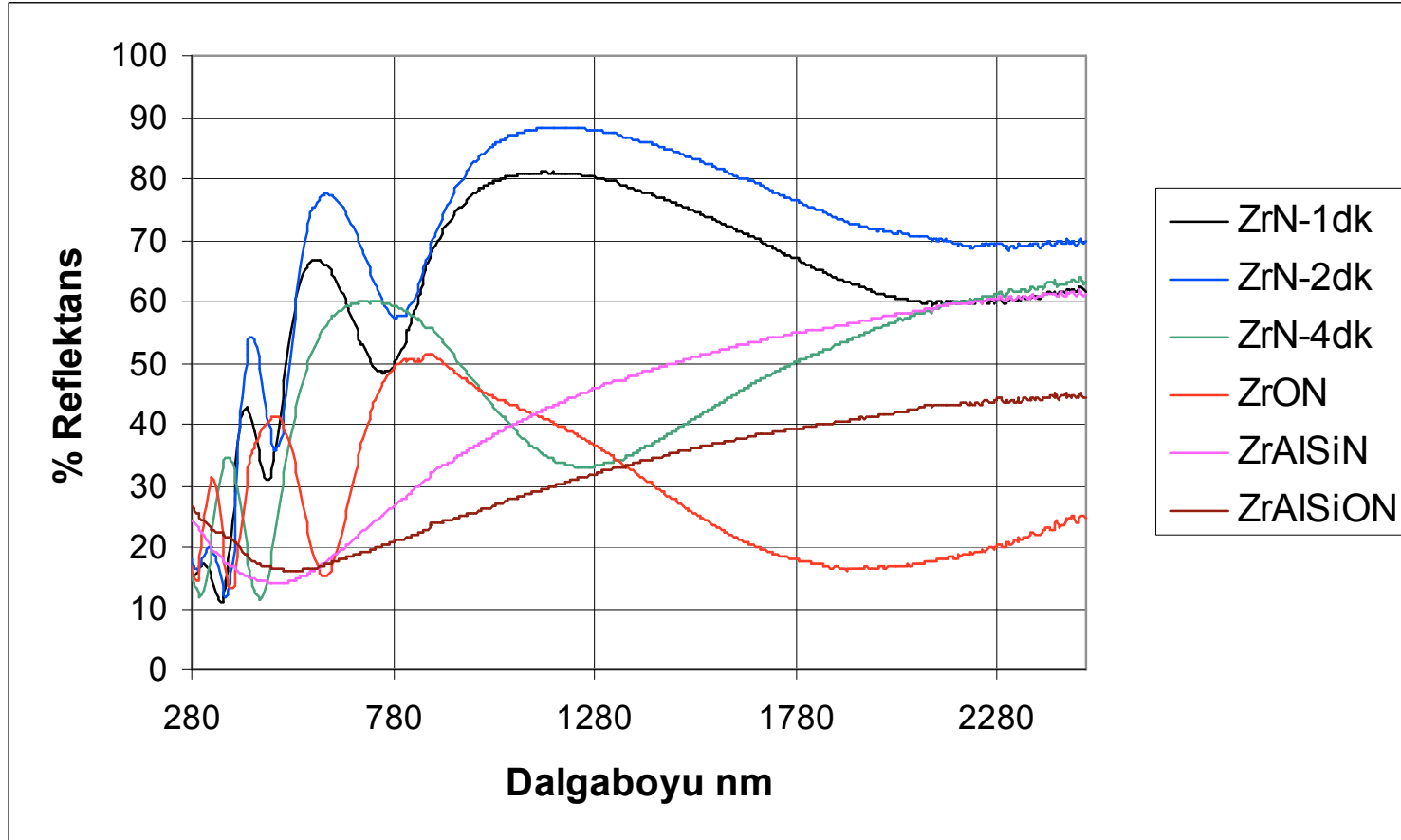
Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrN (1dk)	20.50	0.055
ZrN (2dk)	15.53	0.058
ZrN (4dk)	15.56	0.056
ZrON (1dk)	23.57	0.097
ZrAlSiN	55.52	0.217
ZrAlSiON	67.51	0.344

Sonuç olarak çizelge 4.3.'de görüldüğü üzere yapılan seçici yüzey kaplamaları arasında en düşük yayım değerine sahip olan 0.055 ile ZrN (1dk) kaplamalı numunedir. En yüksek soğurma değerine ise ZrAlSiON kaplamalı numune sahiptir. Soğurma değeri %67.51'dir. AlSi soğurma değerinde yaklaşık %50'lik bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Yayım değerinde ise %1,5 yükselme gözlemlenmiştir.

Şekil 4.3. ve 4.4'de yapılan bütün kaplamaların ısıtım işlem öncesi ve sonrası reflektans eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 4.3 : ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısı işlem öncesi reflektans eğrileri



Şekil 4.4 : ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısı işlem sonrası reflektans eğrileri

Çizelge 4.4.'de yapılan kaplamaların soğurma ve yayım değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4 : ZrN, ZrON, ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarının ısıtım işlem sonrası soğurma ve yayım değerleri

Numuneler	Soğurma	Yayım
ZrN (1dk)	36,74	0.079
ZrN (2dk)	28,96	0.077
ZrN (4dk)	53,08	0.171
ZrON (1dk)	71,23	0.163
ZrAlSiN	56,96	0.213
ZrAlSiON	67.86	0.34

Isıtım işlem sonrası ZrAlSiN ve ZrAlSiON seçici yüzey kaplamalarına sahip numunelerin soğurma ve yayım değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmezken, ZrN kaplı numunelerden farklılıklar tespit edilmiştir.

ZrN kaplı numunelerin yüzeyinde ısıtım işlem sonucu oluşan oksit tabakası yüzey parlaklığını azaltmıştır. Yüzey parlaklığının soğurma üzerindeki olumsuz etkisinin ortadan kalkması ile kaplama kalınlığı en yüksek olan ZrN (4dk) kaplı numunenin soğurma değerinde % 38 mertebesinde bir artış görülmüştür. Numune yüzeylerinde oluşan oksit tabakası aynı zamanda yayım değerlerinde de artışa sebep olmuştur.

Diğer numunelere kıyasla ısıtım işlem öncesi soğurma değeri düşükken ısıtım işlem sonrası en büyük artışı gösterip, en yüksek soğurma değerine sahip olan kaplamanın ZrON seçici yüzey kaplaması olduğu gözlemlenmiştir. Yayım değeri ısıtım işlem sonrası 0.07'lik bir artış ile 0.16'ya çıkmıştır. Bu değer günümüzde endüstride kullanılan seçici yüzey kaplamalarının yayım değerinden daha düşüktür.

ZrON seçici yüzey kaplamasının XRD analizlerinde ZrN ve ZrON piklerinin yanında ısıtım işlem sonrası ZrO_2 pikinin de bulunduğu tespit edilmiştir. XPS analizlerinde ise yüzeyden itibaren sırası ile ZrO_2 ve ZrON katmanlarının bulunduğu görülmüştür. Kaplama yüzeyinin oksit tabakasından metalik katmana kademeli geçiş seçici soğurucu kaplamanın özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Yüzeydeki oksit tabakası ısı kaybını engellerken, alttaki metalik katmanlar ısıyı hızlı bir şekilde

iletilmesini sağlamaktadır. Oksit tabakasından metalik katmana olan kademeli geçiş ise ısının iletimini hızlandırmaktadır. Bu durum literatürdeki benzer çalışmalar ile de uyum göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<http://www.gunes.sistemleri.com/tarihsel.php>> alındığı tarih 6.10.2009.
- [2] **Ültanır, M.Ö.**, 1996: 21. Yüzyılın eşiğinde güneş enerjisi
- [3] **Url-2** <<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/yogunlastiricilar.html>> alındığı tarih 6.10.2009.
- [4] **Url-3** <<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>> alındığı tarih 6.10.2009.
- [5] **Doğan İ.**, 2006: *Güneş Enerjisi Uygulamaları*, Bileşim Yayınları
- [6] **Nejati, M.**, 2008: *Cermet Base Solar Selective Absorbers; Further Selectivity Improvement and Developing New Fabrication Technique*
- [7] **Url-4** <http://www.medicine.ankara.edu.tr/temel_tip/biyokimya/files/Spektrofotometri.doc> alındığı tarih 28.10.2009.
- [8] **Kumashiro, Y.**, 2005: *Electric Refractory Materials*, 307-320
- [9] **Url-5** <http://www.abengoasolar.com/sites/solar/en/technologies/concentrated_solar_power/parabolic_trough/index.html> alındığı tarih 28.10.2009.
- [10] **Kennedy, C. E.**, 2002: *Rewiew of Mid to High Temperature Solar Selective Absorber Materials*
- [11] **Xinkang, D., Cong, W., Tianmin, W., Long, Z., Builang, C., Ning, R.**, 2007: *Microstructure and Spektral Selectivity of Mo-Al₂O₃ Solar Selective Absorbing Coatings After Annealing*
- [12] **Barshiliaa, H. C., Selvakumara, N., Rajama, K.S., Biswas, A.**, 2007: *Spectrally Selective NbAlN/NbAlON/Si₃N₄ Tandem Absorber for High-Temperature Solar Applications*
- [13] **Barshiliaa, H. C., Selvakumara, N., Rajama, K.S., Biswas, A.**, 2008: *Optical Properties and Thermal Stability of TiN/AlON Tandem Absorber Prepared by Reactive DC/RF Magnetron Sputtering*
- [14] **Pierson, H. O.**, 1996: *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*
- [15] **Blickensderfer, B., Albany, D. K., Dearloff, R. L.**, 1978: *Spectrally Selective Solar Absorbers*

- [16] **Lee, K. D.**, 2009: *Optical and Thermal Characteristics of Zr-O Solar Selective Coatings*
- [17] **Url-6** <http://www.abengoasolar.com/sites/solar/en/technologies/concentrated_solar_power/parabolic_trough/index.html> alındığı tarih 28.10.2009.
- [18] **Kumar, K. R., Reddy K.S.**, 2008: *Thermal analysis of solar parabolic trough with porous disc receiver*
- [19] **Lüpfert, E., Riffelmann, K. J., Price, H., Burkholder, F., Moss, T.**, 2008: *Experimental Analysis of Overall Thermal Properties of Parabolic Trough Receivers*
- [20] **Url-7** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Katodik-Ark_Biriktirme> alındığı tarih 28.10.2009.
- [21] **Kennedy, C. E.**, 2008: *Progress To Develop An Advanced Solar Selective Coating*
- [22] **Bellosi, Silvestroni, L., Sciti D.**, 2009: *Hafnium Carbide-based ceramics: processing and properties*

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Fatma Hande Soyyiğit

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar 04.09.1984

Lisans Üniversite: Metalurji ve Malzeme Müh. İstanbul Teknik Üniversitesi