

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**



**BİYOSENSÖR UYGULAMALARI İÇİN YÜZEY PLAZMON  
REZONANS DENEYSEL SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAADET HANÇE**

**BALIKESİR, MAYIS - 2018**

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**



**BİYOSENSÖR UYGULAMALARI İÇİN YÜZEY PLAZMON  
REZONANS DENEYSEL SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAADET HANÇE**

**Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Tayfun UZUNOĞLU (Tez Danışmanı)**

**Doç. Dr. Yasemin ACAR**

**Doç. Dr. Levent SELBUZ**

**BALIKESİR, MAYIS – 2018**

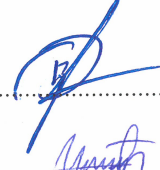
## KABUL VE ONAY SAYFASI

SAADET HANÇE tarafından hazırlanan “BİYOSENSÖR UYGULAMALARI İÇİN YÜZEY PLAZMON REZONANS DENEYSEL SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 21.05.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

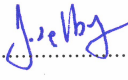
Danışman  
Doç. Dr. Tayfun UZUNOĞLU



Üye  
Doç. Dr. Yasemin ACAR



Üye  
Doç. Dr. Levent SELBUZ



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

## **ÖZET**

**BİYOSENSÖR UYGULAMALARI İÇİN YÜZEY PLAZMON REZONANS  
DENEYSEL SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
SAADET HANÇE  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. TAYFUN UZUNOĞLU)**

**BALIKESİR, MAYIS – 2018**

Elektro-optik altyapısına sahip bir konu olan yüzey plazmon rezonans (SPR), moleküler düzeydeki etkileşimleri herhangi bir etiketleme olmadan tespit eden bir tekniktir. Yüzey plazmon rezonans sensörleri, hassasiyeti ve sonuçların gerçek zamanlı elde edilmesi açısından öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Kretschmann konfigürasyonuna dayalı prizma tabanlı bir yüzey plazmon rezonans sistemi deneysel olarak kurulmuştur. Sistemde altın ince film üzerinde kırılma indeksi değişimleri incelenerek sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel sistemin kontrolü ve verilerin işlenmesi için Labview programı kullanılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Biyosensör, yüzey plazmon rezonans, optik sensör.

## **ABSTRACT**

### **ESTABLISHMENT OF THE SURFACE PLASMON RESONANCE EXPERIMENTAL SYSTEM FOR BIOSENSOR APPLICATIONS**

**MSC THESIS**

**SAADET HANÇE**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**PHYSICS**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. TAYFUN UZUNOĞLU )**

**BALIKESİR, MAY 2018**

Surface plasmon resonance (SPR), a subject with electro-optical background, is a technique that detects interactions at the molecular level without any labeling. Surface plasmon resonance sensors come to the fore in terms of accuracy and real-time results. In this study, a prism-based surface plasmon resonance system based on the Kretschmann configuration was experimentally established. In the system, the refractive index changes on the gold thin film were examined and the results were obtained. The Labview program was used to control the experimental system and process the data.

**KEYWORDS:** Biosensor, surface plasmon resonance, optical sensor.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
SEMBOL LİSTESİ .....	v
ÖNSÖZ.....	vi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. YÜZEY PLAZMON REZONANS .....</b>	<b>4</b>
2.1    Yüzey Plazmon Kavramı.....	4
2.2    Teorik Altyapı .....	5
2.2.1    Evanescent Dalga.....	5
2.2.2    Yüzey Plazmon Rezonans Durumu .....	9
2.3    Yüzey Plazmon Sisteminin Yapılandırılması.....	11
2.3.1    Otto Konfigürasyonu .....	13
2.3.2    Kretschmann Konfigürasyonu .....	13
2.4    Sistemin Genel Yapısı .....	14
2.4.1    Tasarlanacak Sistem .....	14
2.4.2    Sistemde Kullanılacak Malzemeler .....	15
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>23</b>
3.1    Malzeme Seçimindeki Kriterler .....	24
3.1.1    He-Ne Lazer Kaynağı .....	24
3.1.2    Güç Zayıflatıcı .....	25
3.1.3    Demet Ayırıcı .....	26
3.1.4    Lineer Polarizör .....	26
3.1.5    İğne Deliği .....	27
3.1.6    Prizma .....	27
3.1.7    Altın Tabaka .....	28
3.1.8    Fotodedektör .....	29
3.1.9    Step Motor .....	30
3.1.10    MyRio .....	31
3.2    Kullanılacak Yazılım.....	32
<b>4. DENEYSEL BÖLÜM .....</b>	<b>34</b>
4.1    Sistemin Donanımı .....	34
4.2    Sistemin Yazılımı .....	36
4.2.1 $\theta - 2\theta$ Mod .....	37
4.2.2    Kinetik Mod.....	37
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>38</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>40</b>
<b>7. EKLER.....</b>	<b>51</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Plazmon oluşumu .....	4
Şekil 2.2: Evanescent dalga üretimi .....	6
Şekil 2.3: Işığın kırılması.....	7
Şekil 2.4: P- polarize ışının prizma üzerindeki hareketi .....	8
Şekil 2.5: Yüzey plazmon dağılım ilişkisi .....	10
Şekil 2.6: Optik dalga kılavuzu . .....	11
Şekil 2.7: Optik fiber . .....	11
Şekil 2.8: Izgaralı system .....	12
Şekil 2.9: Prizmaya bağlı system .....	12
Şekil 2.10: a) Otto konfigürasyonu b) Kretschmann konfigürasyonu .....	14
Şekil 2.11: Tasarladığımız yüzey plazmon rezonans sistemi .....	15
Şekil 2.12: Lazer kaynağı .....	16
Şekil 2.13: Güç zayıflatıcının çalışması . .....	17
Şekil 2.14: Demet ayırıcı .....	17
Şekil 2.15: Lineer polarizörün çalışma mantığı .....	18
Şekil 2.16: Değişik şekillerdeki prizmalar .....	19
Şekil 2.17: Dik açılı prizmada ışığın izlediği yol . .....	20
Şekil 2.18: Fotodedektör - lazer kaynağı arasındaki çalışma ilişkisi .....	21
Şekil 2.19: Step motorun çalışması. ....	22
Şekil 3.1: He - Ne lazer kaynağı. ....	24
Şekil 3.2: Güç zayıflatıcının şematik yapısı .....	25
Şekil 3.3: Seçilen demet ayırıcı yapısı.....	26
Şekil 3.4: Lineer polarizör yapısı .....	27
Şekil 3.5: İğne deliği .....	27
Şekil 3.6: BK - 7'den yapılmış dik açılı prizma.....	28
Şekil 3.7: Altın ince film .....	29
Şekil 3.8: Seçilen fotodedektörler.....	30
Şekil 3.9: Seçilen step motor ve mikro step sürücüsü .....	31
Şekil 3.10: National Instruments myRIO cihazı .....	31
Şekil 3.11: Örnek bir Labview programında (a) Ön panel, (b) Blok diyagram	32

## SEMBOL LİSTESİ

<b>E</b>	Elektrik Alan
<b><math>\omega</math></b>	Açısal Frekans
<b>k</b>	Dalga Vektörü
<b>n</b>	Kırılma İndisi
<b><math>\lambda</math></b>	Dalgaboyu
<b>c</b>	Işık Hızı
<b><math>\alpha</math></b>	Gelen Işının Açısı
<b><math>\beta</math></b>	Yansıyan Işının Açısı
<b>e</b>	Elektron Yüğü
<b><math>\epsilon</math></b>	Dielektrik Sabiti
<b><math>\theta</math></b>	Prizmaya Gelen Işın Açısı
<b>W</b>	Güç Birimi



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Tayfun UZUNOĞLU'na çok teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım sırasında önerileriyle beni yönlendiren ve görüşleriyle katkıda bulunan Arş. Gör. Dr. Murat EVYAPAN'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca maddi, manevi her türlü desteğini esirgemeyen ve yüksek lisans tezim boyunca yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



# 1. GİRİŞ

1900'lü yılların başında hakkında yapılan ilk araştırmalarla başlayan yüzey plazmon rezonans ilkelerine dayalı algılama sistemleri son yıllarda giderek önemi anlaşılmış ve kullanımı yaygınlaşmış bir teknolojidir [1, 2].

Yüzey plazmon rezonans hakkında yapılan ilk gözlemler polarize ışıktaki kırınım üzerinde çalışan Wood tarafından 1902 yılında elde edildi [3]. Daha sonra pek çok bilim adamı bu alanda araştırmalar yaptı [3].

1941 yılında Fano'nun, Rayleigh'nin teoremi ile Wood'un gözlemleri arasındaki ilişkiyi açıklamasıyla bu araştırmalar devam etti [4]. 1952 yılında Ritchie'nin ince metal filmde kırılan elektron demeti üzerine yaptığı çalışmalarla bu süreç devam etti [4]. 1968 yılında Andreas Otto'nun yanı sıra Heinz Raether ve Erich Kretschmann'ın yüzey plazmon rezonans sistemlerindeki prizma konfigürasyonları ile kapsamlı bir sonuca varılabildi [5]. Otto'nun yaptığı araştırmalar, zayıflatılmış toplam yansıma (ATR) yöntemini ortaya koydu. Işık ile plazmon uyarımı onun fikri olsa da, bazı kısıtlamalar dolayısıyla pratik açıdan uygulaması daha kolay olan Kretschmann konfigürasyonu ticari kullanımda yaygın olarak kullanıldı [3].

1990 yılına gelindiğinde, Pharmacia Biosensor AB, ilk ticari yüzey plazmon rezonans sensörü olan Biacore'u piyasaya sundu [3]. İlk yüzey plazmon rezonans sensör prototipinden, Biacore serisine kadar sensör performansında pek çok gelişme görüldü. Algılama duyarlılığı 20 kat, veri analizinde sağlanan kolaylık 100 kat arttı [4]. Sensör üzerinde yapılan çalışmalar sonucu geliştirilen tasarım ve görüntüleme yöntemleri, teorinin deney tasarımı ile buluşmasını sağladı. Bu durum ise canlılardaki pek çok sürecin incelenmesine vesile oldu [4].

Yüzey plazmon rezonans temelli algılama, metal bir arayüz yardımıyla optik kırılma özelliklerinden yararlanarak incelenen yüzeydeki oldukça küçük değişimlerin bile tespitini sağlar. Bu ilkelere dayalı olarak gerçekteştirilen yüzey plazmon

rezonans sistemlerinin tıp, mühendislik, fizik, kimya, biyoloji, gıda güvenliği gibi pek çok alanda kullanım alanı bulunmaktadır [6].

Günümüzde önemli moleküler düzeyde bağlanma ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmalarla Almanya'daki bilim adamları bu teknolojiyi cep telefonlarına taşıyarak, gebelik-diyabet-zehirlenme gibi durumları tespit etmeyi amaçlamaktadır [7].

Bir çok biyosensöre göre etiketsiz inceleme olanağı sunması moleküler anlamda bir avantajdır. Bu seviyede yapılan araştırmalarda sistemdeki her etkinin cevaba katkısı bulunur [8]. Etiketsiz inceleme ise özellikle bu yöntemle zor molekülleri inceleme kolaylığı sağlamaktadır.

Ayrıca gerçek zamanlı veri elde edilebilmesi, yüzeydeki etkileri yüksek duyarlılıkta algılayabilmesi ve yüksek hızda ölçüm yapması ile öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra aynı yüzeyin birden fazla kullanılabilmesi gibi avantajlara sahiptir [4]. Bu avantajların yanında her sistemde olduğu gibi bazı kısıtlamalarla da karşılaşılabilir. Yüzey analizinde elde edeceğimiz yüzey plazmon rezonans eğrisinde eğimin az olduğu yerlerle ilgili elde edeceğimiz bilgiler sınırlıdır [9].

Yüzey plazmon rezonans yöntemi, en genel şekilde yüzey incelemeleri ve moleküler düzeyde etkileşimlerin analizinde kullanılan bir tekniktir. Özellikle biyofizik alanındaki araştırmalarda hızlı ve portatif bir yöntem olarak öne çıkmaktadır [10].

Bu bölüm tarihçesi verilen ve avantajları anlatılan yüzey karakterizasyon cihaz tasarımının giriş kısmıdır. Bu çalışmanın amacı, Kretschmann konfigürasyonuna dayalı bir prizma ile yüzey plazmon rezonans tabanlı bir algılama sisteminin geliştirilmesidir. Geliştirilen bu sistem açısız bilgiye bağlı değişken durumu incelemek için kullanılacaktır. Gerçek zamanlı veri analizi sağlayan bu sistem sayesinde yoğunluk, kalınlık ve yüzey bilgilerine sahip olacağız [6]. 2. Bölüm yüzey plazmon rezonans hakkında gerekli teorik bilginin verilmesi ile devam etmektedir. Yüzey plazmon rezonans (surface plasmon resonance - SPR) sisteminin gerçekleştirilmesi, tasarlanacak sistem ve kullanılan bileşenler hakkında teorik bilgi yine bu bölümde verilmektedir. 3. Bölümde tasarlanan sistemde kullanılan ekipmanlar ve

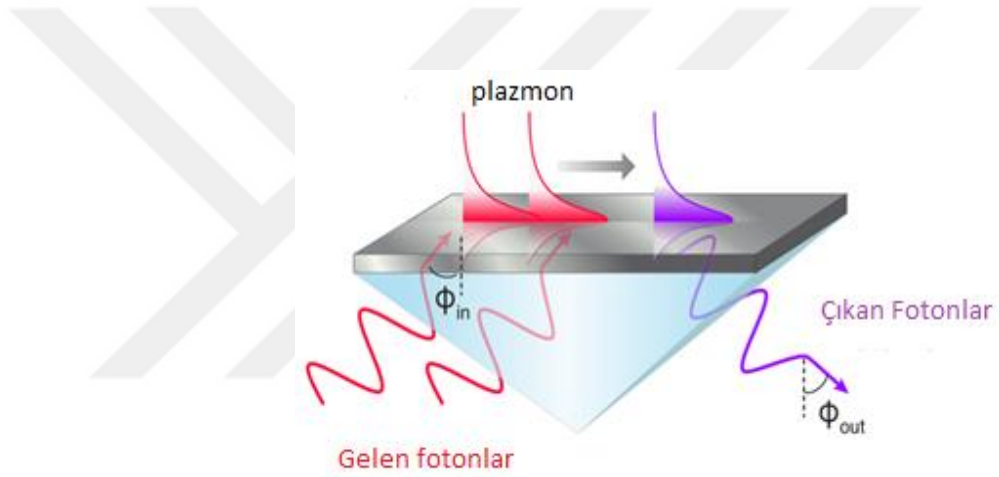
kullanılan yazılım hakkında bilgi verilmektedir. Bölüm 4'te, sistemin çalışmasını adım adım açıklayarak kullanılan programın tasarlandığı kısma yer verilmektedir. Son kısım olan 5. Bölüm ise gerçekleştirilen sistem hakkında yaptıklarımızın sonuçlarını tartışarak, sistemin geliştirilmesi istenirse buna yönelik önerilerin bulunduğu bölümdür.



## 2. YÜZEY PLAZMON REZONANS

### 2.1 YüzeY Plazmon Kavramı

Plazmon varlığı ilk kez 1952’de David Pines ve David Bohm tarafından ortaya kondu. Maxwell denklemlerine dayalı analizler sonucu plazmon, metallerin ışıkla etkileşimi olarak tanımlanmıştır [11, 12].



Şekil 2.1: Plazmon oluşumu [13].

Nano yapılı metallerin alt inceleme alanlarından biri olan nanoplazmonik, nano boyuttaki kütle ile kaplanmış metallerin elektromanyetik ve optik özelliklerini açıklar [11, 14]. Nanoplazmonik sistemlerde yüzeyle ve ışıkla güçlü etkileşimler sonucu oluşan plazmonlara ise yüzey plazmonları adı verilir [15].

Metallerin iletkenliği son yörüngelerindeki serbest eletronlar ile ölçülmektedir. Metallerdeki elektron hareketini ve davranışını açıklamak üzere, Kinetik Teori'nin bir uygulaması olarak 1900’de Paul Drude tarafından ‘Drude

Modeli' ortaya atıldı [16]. Bu model yüzey plazmon polaritonlarının davranışını açıklamakta kullanıldı [17].

Drude Modeli üzerinden malzeme ile dış ortam arasındaki ilişkiyi açıklayabiliriz. Dielektrik fonksiyonu olarak tanımlanan bu ilişki frekansa bağlı bağlı geçirgenlik alanı olarak tanımlanır. Malzeme ve dış ortam sürekli bir sistem olarak kabul edilir [17].

Yüzey plazmon varlığı ile dielektrik fonksiyonu üzerinden şu sonuçlara varılmıştır :

- 1) Yüzey plazmon varlığı için dielektrik fonksiyonun reel kısmı negatif olmalıdır [17].
- 2) Kayıplar küçük olduğunda yüzey plazmon olarak tanımlanmaktadır [17].

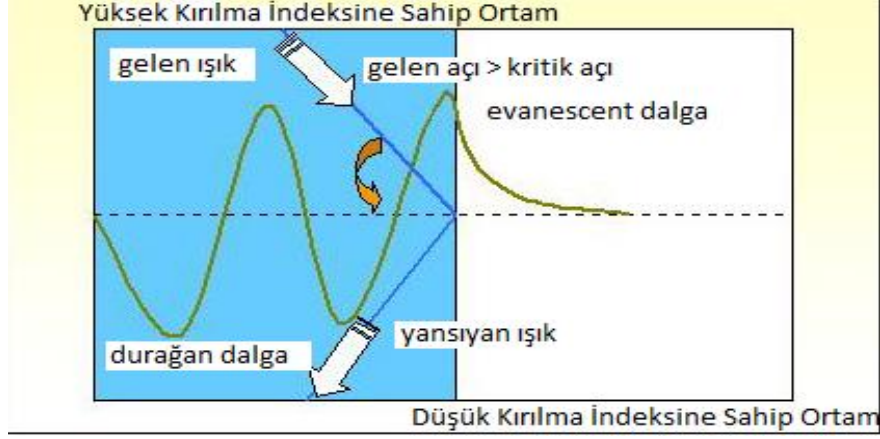
## **2.2 Teorik Altyapı**

### **2.2.1 Evanescent Dalga**

Bir yüzey plazmon rezonans sisteminde meydana gelen fiziksel olayların ifadesi yüzey plazmon rezonans ilkeleri ile ifade edilir. Yüzey plazmon rezonans dalgalarının davranışının incelenmesi, gelen ışının yansınması ve davranışı hakkında elde edeceğimiz bilgiler bize sistemin çalışması hakkında bilgi verir.

Yüzey plazmon rezonans sisteminin çalışmasını incelerken karşılaştığımız ilk kavram evanescent dalgadır [5].

Evanescent dalgayı matematiksel olarak tanımlayan bir kavram olan toplam iç yansıma (TIR), ışığın sınırdan yansınmasını temel alır [5].



**Şekil 2.2:** Evanescent dalga üretimi [18].

Bir sistemde ışığın sınırdan yansımaları iki kurala bağlıdır :

- 1) Gelen ışın çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçmelidir.
- 2) Işığın geldiği açı, kritik açı olarak tanımlanan açıdan büyük olmalıdır [19].

Evanescent dalganın yayılım sabitinin yüzey plazmon rezonans sistemlerinde belirleyici rolü bulunur.

Elektromanyetik bir dalganın elektrik alanı aşağıdaki gibi tanımlanır ;

$$E = E_0 \exp(j\omega t - jk_x x - jk_y y - jk_z z) \quad (2.1)$$

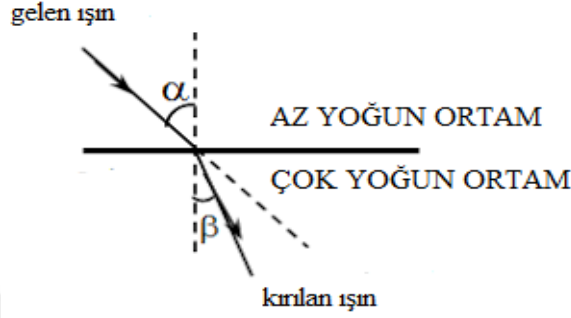
Burada; E elektrik alan,  $E_0$  elektrik alan genliği,  $\omega$  açısal frekans, k dalga vektörüdür [20].

Dalganın yayılım yönüne paralel şekilde yayılan dalga vektörü;

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} = n \frac{2\pi}{\lambda} = n \frac{\omega}{c} \quad (2.2)$$

Burada;  $k$  dalga vektörü,  $n$  kırılma indisi,  $\lambda$  dalga boyu,  $c$  ışık hızı,  $\omega$  açısal frekans olarak tanımlanır [21].

Temel bir fizik prensibi olan Snell Yasası optik ortamlarda farklı kırılma indisli yüzeylerde gelen ışının davranışını incelemeyi sağlar [22].



Şekil 2.3: Işığın kırılması

$x$ ,  $y$ ,  $z$  vektörlerinin olduğu üç boyutlu bir ortamda  $z$  bileşenini sıfır almamız sistemimizi iki boyutlu hale getirir. Böylece Snell yasası bu ortam için kullanılabilir.

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (2.3)$$

eşitliği,

dalga vektörleri cinsinden;

$$k_{x1} = k_{x2} = k_x \quad (2.4)$$

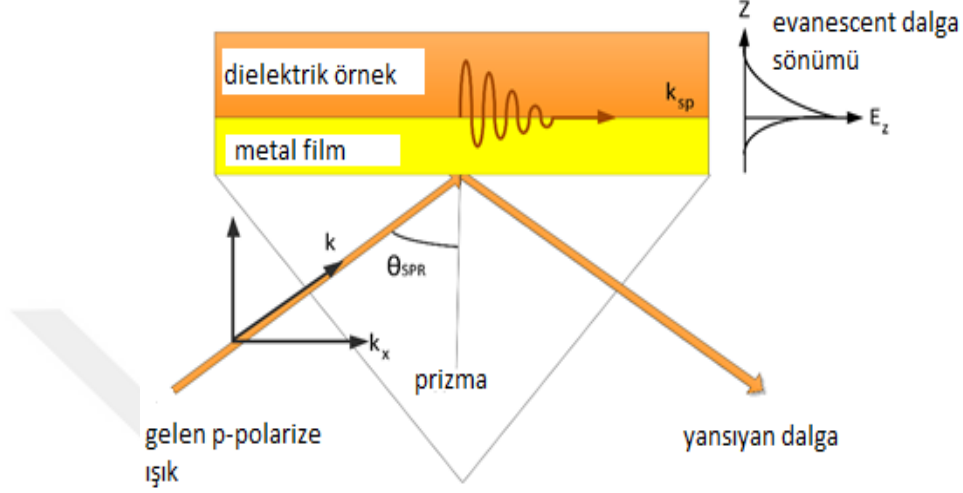
olarak tanımlanır [5].

Bu iki eşitliği kullanarak yüzeye dik olarak gelen dalga vektörü [6];

$$k_y^2 = n_1^2 \frac{(2\pi)^2}{\lambda^2} \left( \frac{n_2^2}{n_1^2} - (\sin \alpha)^2 \right) \quad (2.5)$$



Toplam iç yansıma kuralları ile incelediğimiz sistemde çok yoğun ortamdan az yoğun ortama ışın geçişinin olduğu kabul edilir. Buna göre yapılan işlemlerde  $k_y$  değeri sanal bir değer alır [5].



Şekil 2.4: P- polarize ışının prizma üzerindeki hareketi [23].

$k_y$ 'nin imajiner olması için ışının 2. yüzeyinin arayüzüne paralel hareket eden bir dalga hareketinin varlığını gösterir [24].

Bu arayüzde hareket eden dalga evanescent dalga; ikinci yüzeye ise evanescent alan denir [25].

Evanescent alan yüzey plazmonlarını uyarabilmesi için önemlidir.

Evanescent dalğanın yüzeye paralel yayılım sabiti ise [5];

$$k_{ev} = \frac{\omega}{e} \sqrt{\epsilon_p} \sin \theta \quad (2.6)$$

### 2.2.2 Yüzey Plazmon Rezonans Durumu

Yüzey plazmonlarının dağılımı Raether'ın Maxwell denklemlerini incelemesiyle başlamıştır. Bu çalışmalarını geliştiren Cordona yüzey plazmonları için önemli bir varsayımı temel alır [5]. Cordona varsayımına göre ışığın yüzeyle etkileşen kısmı sadece p-polarize ışındır. Bu ışığın elektrik alanı Fresnel denklemleriyle, yansıma katsayısı ise aşağıdaki gibi gösterilir [5] ;

$$r_p = \frac{E_{gelen}}{E_{yansiyen}} = |r_p| e^{j\varphi} = \left| \frac{\tan(\alpha-\beta)}{\tan(\alpha+\beta)} \right| e^{j\varphi} \quad (2.7)$$

$\alpha$  ve  $\beta$  snell yasasına bağlı;  $\varphi$  ise faz değişimine bağlı değişkenlerdir [5].

Cordona bu denklemi  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri üzerinden iki şekilde inceler;

1)  $\alpha + \beta = \pi/2$  ( $R_p = |r_p|^2 = 0$ ) durumu Brewster modu olarak tanımlanır.  $k_x$  ve  $k_z$  değerleri gerçel değer alır. Bu kısım yüzey dalgalarının tanımlı olmadığı kısımdır. Aynı zamanda dağılım ilişkisi yüksek enerjili mod olarak tanımlanır.

2)  $\alpha - \beta = \pi/2$  ( $R_p = |r_p|^2 = \infty$ ) durumunda  $k_x$  gerçel değer alırken,  $k_z$  sanal değer alır. Arayüz dalgasının tanımlı olduğu bu kısım dağılım ilişkisi düşük enerjili mod olarak tanımlanır [5].

Dağılım enerjisinin düşük olduğu bu kısım rezonans durumudur. Rezonans durumundaki yani  $\alpha - \beta = \pi/2$  olarak kabul edilen durum sırasıyla snell yasası ve dalga vektörü eşitliğine uygulanarak yüzey plazmon rezonansın dağılım ilişkisine ulaşılır [5].

Bu durum aşağıdaki yol izlenerek elde edilir [5].

$$\alpha - \beta = \frac{\pi}{2} \quad (2.8)$$

$$\cos \alpha = -\sin \beta \quad (2.9)$$

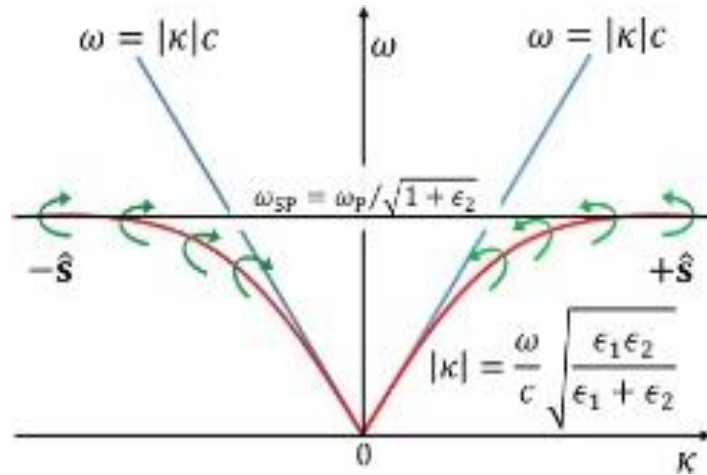
$$\tan \alpha = \frac{k_{1x}}{k_{1y}} = \frac{-n_2}{n_1} \quad (2.10)$$

$$k_x^2 = k_1^2 = -k_{y1}^2 = k_1^2 - k_x^2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \quad (2.11)$$

$$k_x = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad (2.12)$$

(2.12)' de elde edilen bu denklemleri şu şekilde genelleştirebiliriz [26].

$$k_{y_i} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_i^2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad (2.13)$$

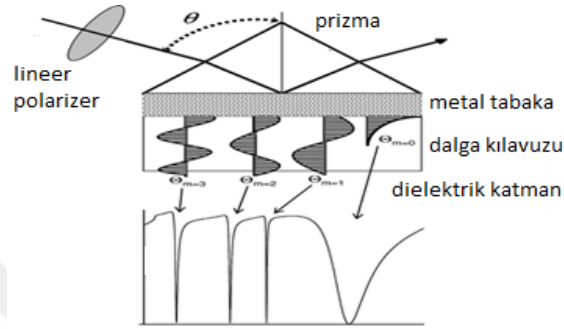


şekil 2.5: Yüzey plazmon dağılım ilişkisi [27].

### 2.3 YüzeY Plazmon Sisteminin Yapılandırılması

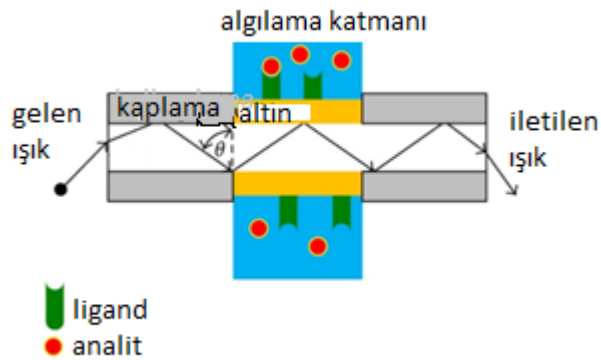
YüzeY plazmon rezonans durumu farklı metodlarla gerçekleştirilebilir [28];

- 1) Optik dalga kılavuzu: Optik yolun küçük olması sebebiyle tercih edilen yöntemde yüzeYle malzemeyi birleştirirken belli algoritmalar kullanılır [29].



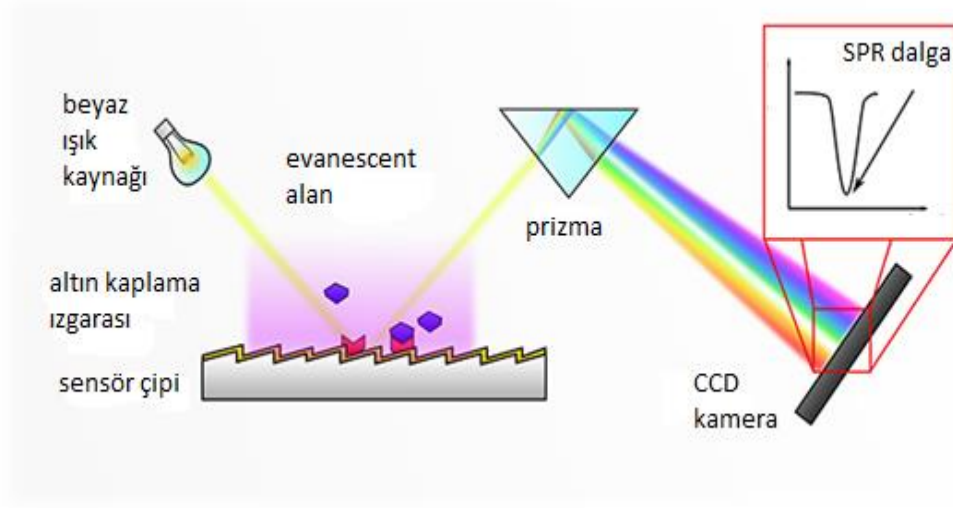
şekil 2.6: Optik dalga kılavuzu [30].

- 2) Optik fiber: Toplam iç yansıma kuralının temel oluşturduğu bu sistemler çok modlu fiber kullanarak elde edilir [31].



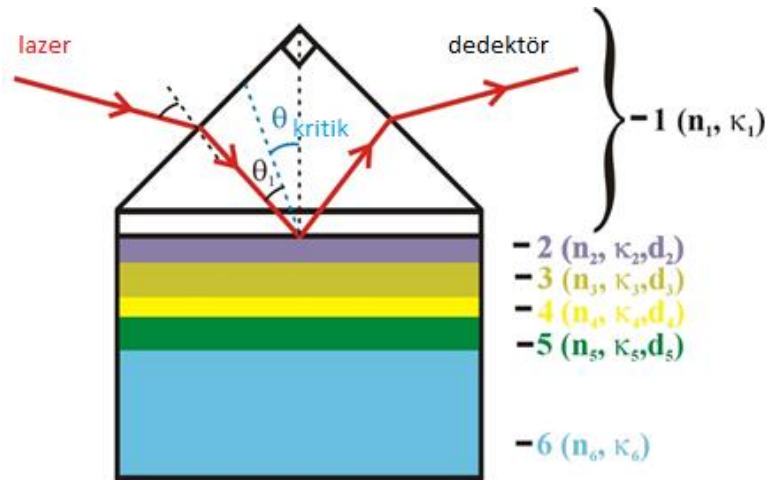
şekil 2.7: Optik fiber [32].

- 3) Izgaralı sistem: Düşük maliyetli yüzey plazmon rezonans sistemlerinde kullanılan bu yöntemde cam prizma yerine altından ızgara benzeri yapılar kullanılır [33].



Şekil 2.8: Izgaralı sistem [34].

- 4) Prizmaya bağlı sistem: Prizma kullanılarak tasarlanan yüzey plazmon rezonans sistemleri metal-dielektrik tabakaların kullanımıyla farklılaşan sistemlerdir [35].



Şekil 2.9: Prizmaya bağlı sistem [36].

İlk olarak Otto tarafından geliştirilen bu sistemler Kretschmann'ın yorumuyla kullanımı ticari boyutlara varmıştır. Prizmalı yüzey plazmon rezonans sistemlerinin diğer yöntemlere göre daha kullanışlı, üretimi ve analizi kolay sistemler olması sebebiyle bu yöntem ticari açıdan kullanılan sensörlerde yaygındır.

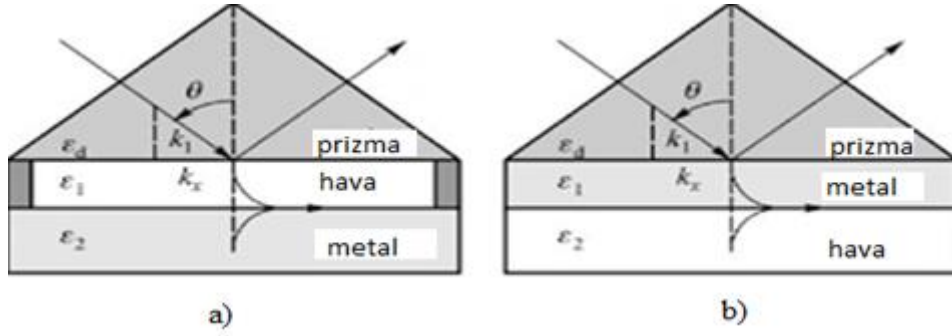
### **2.3.1 Otto Konfigürasyonu**

Otto konfigürasyonunda, prizma sistemlerinde kullanılan metal tabakaya ek olarak hava kullanılır [37].

DeneySEL olarak kurulumu zor olan bu yöntem yerini Kretschmann konfigürasyonuna bıraksa da hassas algılamalarda hala kullanılmaktadır. Temassız yapılması gereken tek kristal incelemesi gibi araştırmalarda bu konfigürasyon kullanılır [37].

### **2.3.2 Kretschmann Konfigürasyonu**

Kretschmann konfigürasyonunda Otto'dan farklı olarak hava yerine metal tabaka kullanılır. Metal tabakanın prizma ile birleştiği arayüzde evanescent dalgalar oluşur [37].



Şekil 2.10: a) Otto konfigürasyonu b) Kretschmann konfigürasyonu [38].

Yüzey plazmonlarının uyarımını sağlayan p-polarize ışının geldiği metal-prizma arayüzünde evanescent dalgalar üretir. Bu evanescent dalgalar yüzey plazmon dalgalarıyla eşleşir.

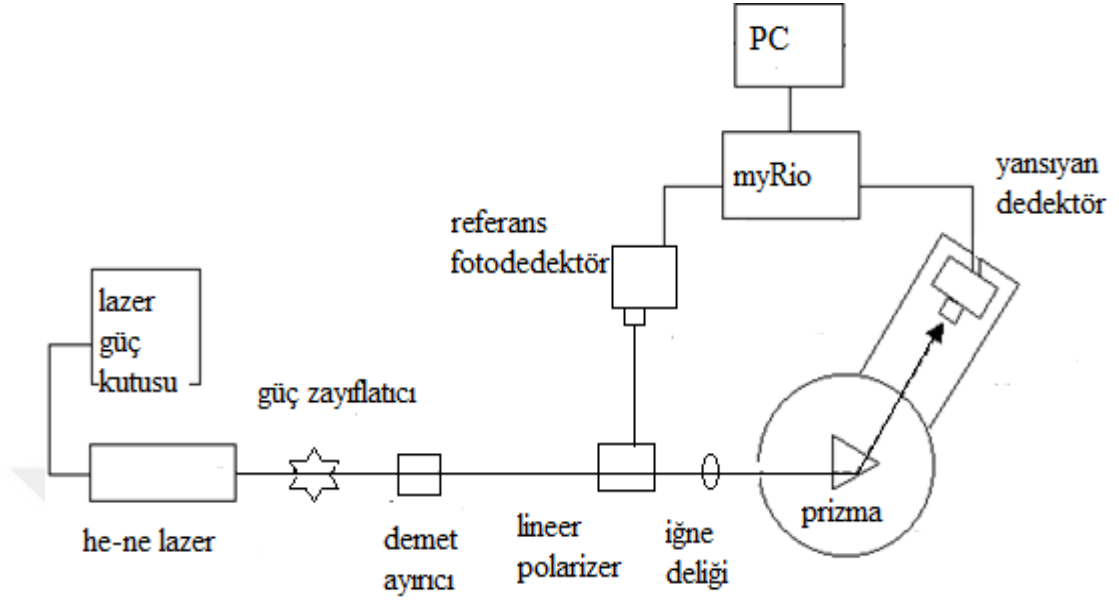
Bu yapılandırmada hava akımının olmaması sayesinde daha fazla yüzey plazmon rezonans durumu oluşur ve elde edilen sonuçlar daha doğru olur. Bu yüzden ticari yüzey plazmon sistemlerde bu konfigürasyon tercih edilir [39].

## 2.4 Sistemin Genel Yapısı

### 2.4.1 Tasarlanacak Sistem

Tasarlanacak bir yüzey plazmon rezonans sensörü başlıca iki bileşenden oluşur. Bunlar lazer kaynağı ve prizmatik yapıdır. Prizma üzerindeki örneğin incelenebilmesi için gelen ışığın prizma yüzeyinde yerdıştirmesi yani tarama yapması gerekir. Bu da lazer kaynağı yada prizma yapısından birisinin hareketli bir taban üzerinde oturtulması ile olur. Tasarlanacak sistemde gerçek zamanlı ölçüm yapabilmek ve yüksek hassasiyete sahip olmasını istediğimiz için lazer kaynağı ve prizma yapısı arasında başka bileşenlere de ihtiyaç duyarız. Bu yüzden en elverişli yöntem prizma yapısının döner bir taban üzerinde kontrol edilmesidir.

Aşağıdaki şekilde bu prensiplere uyarak tasarlanmış bir yüzey plazmon rezonans sensörünün yapısı verilmiştir;



Şekil 2.11: Tasarladığımız yüzey plazmon rezonans sistemi

Bu bölümde yukarıda şekli verilen sensörün içerdiği bileşenler hakkında genel bilgiler verilecektir.

## 2.4.2 Sistemde Kullanılacak Malzemeler

### 2.4.2.1 Lazer Kaynağı

Lazer kelimesi Uyarılmış Yayılım ile Işığın Yükseltilmesi (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) tanımının baş harflerinin oluşturduğu bir kelimedir [40].

Einstein'in, Planck'ın yasalarından yola çıkarak 1917 yılında teorisini ortaya koymasıyla devam eden süreç, 1960 yılına geldiğinde Theodore Malman ilk pratik



lazeri icadıyla devam etti [40]. Bu lazer 694 nm dalgaboylu kırmızı bir radyasyon yayımlayan bir yapıya sahiptir [40].

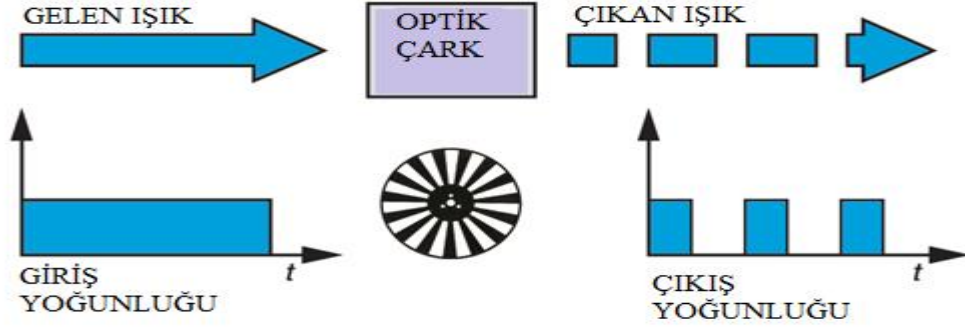


**Şekil 2.12:** Lazer kaynağı [41].

Aynı yıl İranlı bilim adamları Javan ve Bennet görünür bölgede ışık yayan ilk yarıiletken lazeri geliştirdi [42]. Bu lazer çeşidi optik laboratuvarlarda en çok kullanılan lazer oldu. Yapısında helyum ve neon gazlarının bulunduğu için He-Ne lazer adını aldı [42].

#### **2.4.2.2 Güç Zayıflatıcı**

Bir sistemde zayıflatıcı pasif eleman olarak adlandırılır. Güç zayıflatıcı sistemlerin çalışmasına örnek olarak bir radyo alıcısına gelen sinyalin çıkışta seviyesinin daha azaltılmış olması örnek verilebilir [43].



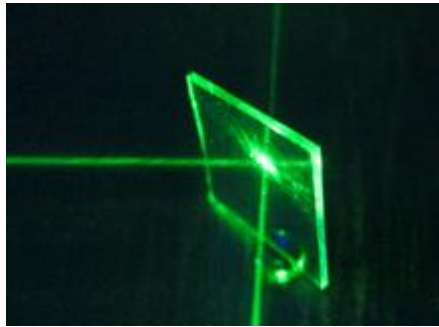
**Şekil 2.13:** Güç zayıflatıcının çalışması [44].

Yüzey plazmon rezonans sensörlerinde bu zayıflatıcı lazer kaynağından gelen ışının gücünü azaltmak üzere kullanılır.

#### 2.4.2.3 Demet Ayırıcı

Demet ayırıcı bileşenler lazer kaynağından gelen ışını, demet ayırıcının tasarlandığı oranda iki parçaya ayırma amaçlı kullanılır.

Şekil itibariyle küp ve tabaka olarak ikiye ayrılır. Küp olanlar iki dik prizmadan, tabaka olanlar ise düz bir cam plakadan oluşur [45].



**Şekil 2.14:** Demet ayırıcı [46].

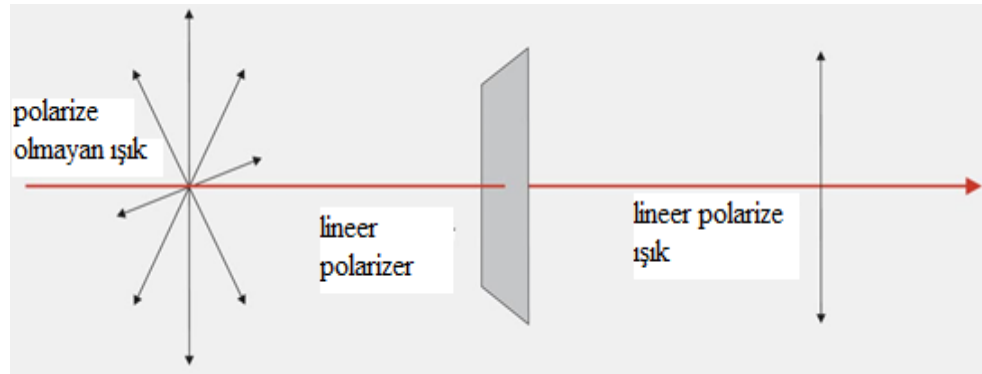
Yapısı itibariyle demet ayırıcılar polarize olmamış ve polarize demet ayırıcılar olmak üzere ikiye ayrılır [45].

Polarize demet ayırıcılar gelen ışığı s-polarize ışın ve p-polarize ışın olmak üzere iki eşit parçaya ayırır.

#### 2.4.2.4 Lineer Polarizör

Polarizasyon kelime anlamı olarak Yunanca'dan gelen polo kelimesinden türemiştir [47].

Işık elektromanyetik bir dalga olup, birbirine dik iki bileşenden oluşur. Lineer polarizör, üzerine gelen ışını bu birbirine dik olan iki bileşene yani s-polarize ışın ve p-polarize ışın şekline ayırır [47].



Şekil 2.15: Lineer polarizörün çalışma mantığı [48].

Yüzey plazmon rezonans teorisinde yüzey plazmonlarını uyaran kısım ışığın p-polarize kısmıdır. Bu sebeple yüzey plazmon rezonans sensörlerinde böyle cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır.

### 2.4.2.5 İğne Deliği

Günümüz kameralarının yapısında bulunan ve gelen ışığı odaklama özelliğindeki bu bileşen yüzey plazmon rezonans sistemlerinde de bu amaçla kullanılmaktadır [49].

### 2.4.2.6 Prizma

Prizmalar camdan yapılmış, geometrik ve optik açıdan çeşitlendirilmiş elemanlardır. Gelen ışın hakkında açı, konum gibi bilgileri elde edebileceğimiz bileşenlerdir [50].

Teleskop ve dürbün gibi optik yapılarda gelen beyaz ışığı bileşenlerine ayırmada kullanılır [50].

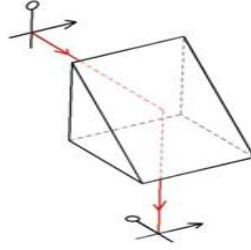
Prizmalar temelde dört grupta incelenir ;

- 1) Dağılma prizmaları
- 2) Dönme prizmaları
- 3) Yerdeğıştirme prizmaları
- 4) Sapma/ yansıma prizmaları [50]



Şekil 2.16: Değışik şekillerdeki prizmalar [51].

Prizma yapısını anlamak için incelenebilecek en temel prizma yapısı dik açılı bir prizmadır [52].

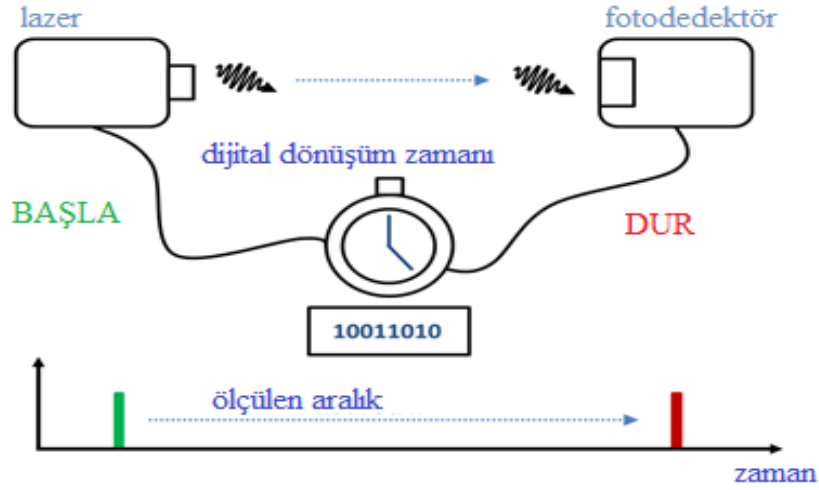


**Şekil 2.17:** Dik açılı prizmada ışığın izlediği yol [53].

Dik açılı prizmalarda ışın dikey bir yüzeyden girerek hipotenüs diye adlandırılan kenardan yansıma yapar [52]. Yansıyan ışın diğer dikey yüzeyden çıkarak yola devam eder [52].

#### **2.4.2.7 Fotodedektör**

Kullanım alanlarına göre farklı yarıiletkenlerden (InSb, CdS, Ge, Si, GaAs, InAs) yapılan ve cihaza gelen fotonları ölçülebilir bir elektriksel sinyale çeviren optik elemanlardır [54, 55].



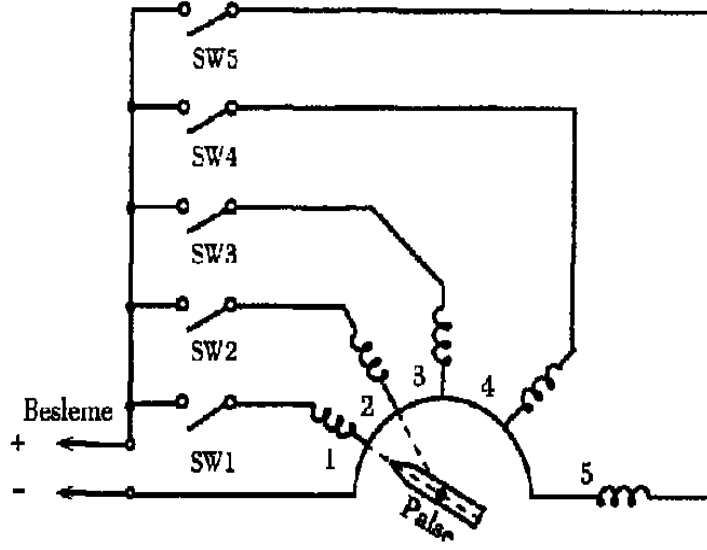
**Şekil 2.18:** Fotodetektör - lazer kaynağı arasındaki çalışma ilişkisi [56].

İşlenilen birimin ışık olması sebebiyle gelen sinyalin işleme hızı mikrosaniye seviyesindedir [55].

Spektroskopi, laboratuvar ortamları, tıbbi görüntüleme gibi alanlar fotodetektörlerin uygulama alanlarındandır [55].

#### 2.4.2.8 Step Motor

Step motorlar konumunu adımlar halinde değiştiren, doğru akım motorlarıdır. Yapısında bobin grupları olan bu motorlar, sırasıyla fazlarına verilen enerjiler sayesinde hareket eder [57].



Şekil 2.19: Step motorun çalışması [58].

Düşük hızlarda ve yüksek hassasiyet gerektiren alanlarda kullanılmaya elverişlidir [59]. Yazıcı, CNC ( computer numerical control ) gibi pek çok alanda kullanımı bulunmaktadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir sistem tasarlarırken sistemin performansı bileşenlerin özelliğinin sisteme uygunluğu ve sistemin elde etmesini istediğimiz sonuçların ne derece hassas ve doğru olduğu ile ilgilidir.

Yüzey plazmon rezonans sensörlerinin ana malzemesi bir lazer kaynağıdır. Bu da sistemimizin çalışmasının optik kurallarına bağlı olmasını gerektirir. Tasarlanacak bir yüzey plazmon sisteminin başlangıçta karar verilmesi gereken ilk adımı sistemin konfigürasyonudur.

İnterferometri optiksel sistemlerdeki değişikliklerin ölçülmesidir [60]. Yüzey plazmon rezonans sistemleri de optiksel bir sistem olduğu için sistemin değişikliklerindeki hassasiyeti bu yöntemle belli olur [60].

Küçük yerdeğişirmelerin olduğu metal plaka yüzeyindeki değişikliklerin ölçümü hassasiyet gerektirir. Bunun için seçilen yöntem önem kazanır.

İnterferometrik yöntemlerin yanı sıra yüzey plazmon rezonans sistemlerinde tarama yöntemi kullanılmaktadır. Lazer kaynağından gelen ışının, metal yüzeyi belli bir aralıkta taraması ve yansıyan ışının ulaştığı dedektörde oluşturduğu sinyale göre analiz sağlayan sistem tarama yöntemi olarak adlandırılır [8].

Tasarlayacağımız sistem kolay üretimi, hassasiyet ve elde edilecek bilgilerin gerçek zamanlı analizi istendiği için tarama yöntemine göre tasarlanmıştır.

Tarama yöntemiyle oluşturduğumuz yüzey plazmon rezonans sensöründe lazer ışınının incelenecek örnek üzerindeki değişikliği tespit edebilmesi için ışının yansımaya yada kırınıma uğraması için kullandığımız temel yapı prizmadır.

Böylece oluşturulan sistemin ana bileşenleri lazer kaynağı ve seçilen konfigürasyona göre yapılandırılmış prizma sistemidir. Bu bileşenlerin yanı sıra sistemde stabilite ve hassas ölçüm sağlayan diğer ekipmanlar da en az lazer kaynağı ve prizma yapısının tasarımı kadar önemlidir.



Bu bölümde prizma kullanılmış bir yüzey plazmon rezonans sensörünü oluşturan bileşenlerin seçilme kriterleri ele alınacaktır.

### 3.1 Malzeme Seçimindeki Kriterler

#### 3.1.1 He-Ne Lazer Kaynağı

1961 yılında Bell laboratuvarında Javan ve Bennet tarafından keşfedilen He-Ne lazerler ilk yarıiletken görünür ışık yayan lazer kaynağıdır [61]. Bir He-Ne lazerin yapısında % 10 Ne, % 90 He soygazları bulunmaktadır. Bu iki soygazın seçimiyle birlikte ilk sürekli lazer icat edildi [62]. Soygazların seçiminde Schawlow Touine'un lazerler için neon gazını kullanması, spektroskopi de ise helyum kullanılması soygazların seçimi konusuna yardımcı oldu [42]. He-Ne lazerler çalışırken öncelikle He atomunu uyararak elektronlara uygulanan DC besleme sayesinde He atomu enerjisini Ne atomuna iletir [63]. Ne atomu da dalga boyu 632 nm'lik bir kırmızı foton yayır [63].



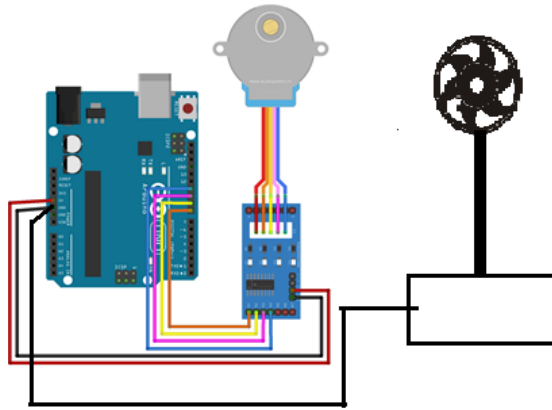
Şekil 3.1: He - Ne lazer kaynağı [64].

Ne atomunun farklı uyarım seviyeleri sayesinde yeşil ve kızılötesi gibi ışınlar da yayımlayabilir [63].

Bizim seçiminin He-Ne lazer kaynağı olmasının sebebi optik laboratuvar uygulamalarında en çok kullanılan ve optik şartlarda çalışması en uygun lazer kaynağı olmasıdır.

### 3.1.2 Güç Zayıflatıcı

Lazer kaynağından gelen ışığın gücünü zayıflatmak için kurduğumuz güç zayıflatıcının kontrolü sensör sisteminden bağımsız çalışmaktadır. Güç zayıflatıcının hızına deneysel olarak alınan ölçümler sonucunda karar verilecektir. Bu bileşen sistemde, gelen lazer ışınının dedektörlerde tam olarak algılanabilmesini sağlar. Güç zayıflatıcı olarak Arduino UNO ile kontrol edilen step motora bağlı döner dairesel bir çark oluşturulur. Lazer kaynağından gelen ışının karşısına hizalanarak sisteme yerleştirilmiştir. Kurduğumuz güç zayıflatıcı sistemi şematik olarak aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.2: Güç zayıflatıcının şematik yapısı

### 3.1.3 Demet Ayırıcı

Güç zayıflatıcıdan sonra bir diğer sisteme yerleştirilen bileşen demet ayırıcıdır. Prizma sistemine gelen ışın ile prizma öncesindeki ışın arasındaki değişimlerin ölçüleceği sistemimizde gelen ışığı 50:50 oranında ayıran bir demet ayırıcı kullanabiliriz. Böylece referans ve yansıyan ışın karşılaştırmasını doğru bir şekilde elde ederiz.



Şekil 3.3: Seçilen demet ayırıcı yapısı [65].

### 3.1.4 Lineer Polarizör

Polarizör kelime anlamı olarak kutuplandırma anlamına gelir. Eliptik, dairesel ve doğrusal polarizör üzerine gelen doğrusal ışını kutuplaştırmaya yarar [66]. Tasarım gereği p-polarizasyon ışığı polarize eden ışın yüzey plazmon rezonans sistemlerde kullanılması için ideal bir bileşendir. Çünkü yüzey plazmonlarının uyarımını sadece p- polarize ışın sağlar.



**Şekil 3.4:** Lineer polarizör yapısı [67].

### 3.1.5 İğne Deliği

Lazer kaynağı, demet ayırıcı, polarizör devamında hizalanan bu eleman lazer kaynağından gelen ışığın prizma üzerine odaklanmasını sağlar.



**Şekil 3.5:** İğne deliği [68].

### 3.1.6 Prizma

Yansıtıcı yüzey olarak kullanılacak prizma olarak BK-7 malzemesinden yapılan prizma seçilmiştir. Bu malzeme görünür bölgede en iyi performansı

sağlayan, kolay üretilen bir malzemedir [69]. Yüksek homojen yapısı hassas ölçümlerde ve optik tabanlı sistemlerde BK-7'yi en kullanışlı malzeme yapar [69].



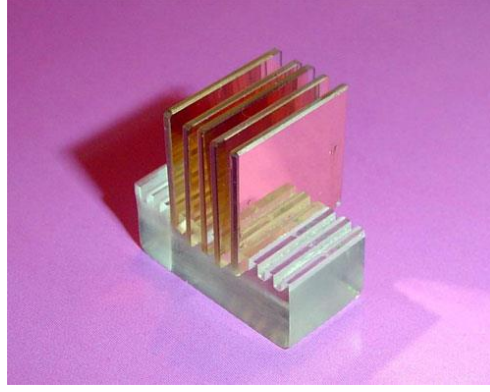
**Şekil 3.6:** BK - 7'den yapılmış dik açılı prizma [70].

### 3.1.7 Altın Tabaka

Yüzey plazmon rezonans sensöründen elde edeceğimiz verilerin analizi bize bir eğri grafiği şeklinde verilir. Bu eğriyi yorumlarken dikkat edeceğimiz kısım eğrinin genişliğidir. Bu eğrinin dar olması istediğimiz durumdur. Böylece kırılma indeksi / açı arasındaki korelasyona bağlı değişimlerin hassasiyeti daha net anlaşılır [71]. Bu durum yüzey plazmon rezonans sensörlerinin performansını etkileyen en önemli etkidir.

Yüzey plazmon rezonans eğrisindeki hassasiyetin belirlenmesinde, sensörde kullanacağımız metal tabakanın seçimi ve kalınlığı büyük önem taşır. Yüzey plazmon rezonans temelli sistemlerde yüzey etkileşiminde kullanılan metaller altın (Au) veya gümüş (Ag) plakalardır [72].

Görünür bölgede yüzey plazmon rezonans sistemlerinde kullanılacak en uygun metal tabaka gümüştür. Altın ile karşılaştırıldığında gümüşün dielektrik sabitinin gerçel kısmı daha büyük olduğu için altına göre üstünlük sağlar [72]. Fakat altın tabakanın su, alkol gibi maddelerle bile etkileşime girmeyen yüksek kimyasal kararlılığı ve gümüşün uzun vadede stabilitesinin zayıflığı nedeniyle altın tabaka tercih edilir [72, 73, 74].



**Şekil 3.7:** Altın ince film [75].

Kullanılacak tabakanın altın olmasına karar verdikten sonra sensör performansında ikinci karar verilecek konu kullanılan tabakanın kalınlığıdır. Deneysel olarak 20 nm kalınlığın üzerinde Au (altın) plaka kullanılmasının gerektiği belirlenmiştir. Altın plaka kalınlığına bağlı olarak da SPR (surface plasmon resonance) eğrisinin genişliği daralmaktadır [72]. Kullanılan lazer kaynağının dalgaboyu 632,8 nm'dir. Literatür araştırmalarına göre bu dalgaboyunda optimum şartları sağlayan altın tabaka kalınlığı 50 nm'dir [72]. Bu yüzden tasarladığımız SPR sisteminde 50 nm kalınlıklı altın plaka kullanılır.

### **3.1.8 Fotodedektör**

Tasarladığımız sistemde iki farklı amaçla farklı özelliklere sahip silikon fotodedektör kullanılır. Birincisi, referans dedektör olarak adlandıracağımız demet ayırıcının yanına hizalanmış ve ayırıcıdan ayrılan ışının denk geleceği dedektördür. Bu dedektör sistemde sabit monteli olacaktır. Lazer kaynağındaki güç dalgalanmasını ölçmek için kullanılır [8]. Diğer dedektör ise yansıyan dedektör olarak adlandırılır. Prizma ortamından yansıyan ışını yakalayacak ve tarama boyunca sistemde çıkış sinyalini oluşturacak olan dedektördür.

Dedektör seçiminde çalışma ortamında kullanılan ışının dalgaboyu ve dedektörün aktif alanı yani ışığı işleyebildiği alan performansı belirleyen niteliklerdir [76]. Lazer kaynağımız 632,8 nm'lik dalgaboyunda ışın yayınladığından çalışma alanı 200-1100 nm olan Si (silikon) dedektör tercih edilir [76].



Şekil 3.8: Seçilen fotodedektörler [77].

Kullandığımız dedektör özelliklerindeki aktif alan değerleri ise sabit olan referans dedektörde, prizmayı takip eden dedektöre göre daha düşüktür. Hareketli olan dedektörün sistemdeki titreşimlerden etkilenebileceği göz önüne alınarak aktif alanı daha büyük seçilmiştir.

### 3.1.9 Step Motor

Tarama yöntemi kullanılan SPR sistemlerinde prizma hareketli döner bir zemin üzerine yerleştirilmiştir. Bu hareketli sistemin dönmesini sağlayan step motorlar, istenilen açılarda konum değiştiren ve sisteme hassasiyet sağlayan sinyallerle hareket eder [78]. Adım motorlarında adımlar motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Dolayısıyla motora uygulanan sinyal frekansı ve sırası değiştirilerek motorun hızı ve dönüş yönü belirlenir [78]. Motorlar sistemde tek başına kullanılmazlar. Her motorun bir sürücüsü vardır.



Şekil 3.9: Seçilen step motor ve mikro step sürücüsü [79, 80].

SPR sistemde motor sürücüsünün bağlı olacağı bir veri toplama kartı da kullanılacaktır. Bu bileşen içerisindeki ADC (analog-dijital converter) birimi elde ettiği analog verileri bilgisayarda işlenebilecek dijital verilere dönüştürülür. Sistemde kullanacağımız daq (data acquisition) kart aynı zamanda sistemin yazılımının da ait olduğu NI grubunun myRIO adlı bileşendir.

### 3.1.10 MyRio

Step motor ve fotodedektörden alacağımız sinyalleri işlemek üzere bu kartı kullanacağız. Kullandığımız bu kart Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



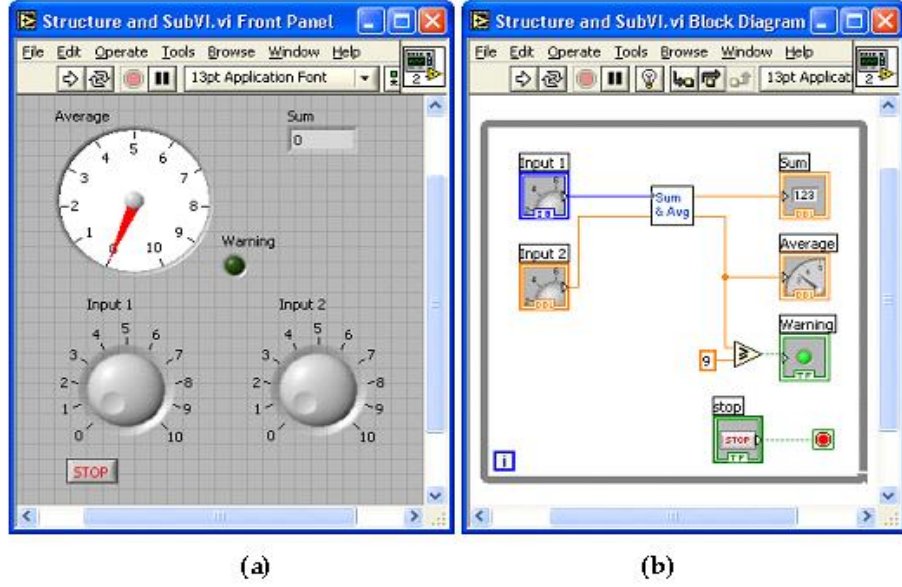
Şekil 3.10: National Instruments myRIO cihazı [81].



Cihaz üzerinde MXP ve MSP adlı giriş/ çıkışa sahip yuvanın bulunduğu Wi-fi desteği bulunan, üzerinde led/ buton gibi kısımların da olduğu bir bileşendir [82]. Cihaz yapısındaki FPGA kısmı sayesinde çok küçük değerlerde motor kontrolünü yaparken adım kaçırmamayı sağlar, ayrıca kullanacağımız programla uyumlu olduğu için tercih sebebidir.

### 3.2 Kullanılacak Yazılım

Sistemde kullanılan step motorun kontrolü ve fotodedektörden elde edilen sinyallerin işlenmesi için NI Labview kullanılacaktır. Sanal araçlar denilen Labview programı, elde edilen verileri analizi ve saklanması için farklı bir sürü kısımdan oluşur [83].



**Şekil 3.11:** Örnek bir Labview programında (a) Ön panel, (b) Blok diyagram [84].

Oluşturulan program kullanıcının göreceği ön panel ve ön paneldeki araçları kullanmak için gerekli kod kısmı olan blok diyagram olarak ikiye ayrılır [83].



## 4. DENEYSEL BÖLÜM

1990 yılında gerçekleştirilen ilk ticari SPR sensörden günümüze kadar geliştirilen sensör tiplerinin hazır ürün şeklindeki sunumu oldukça maliyetlidir. Bu sebeple kullanmak istediğimiz sistemi hazır almak yerine sistem gereklerine göre tasarlayıp dörtte bir fiyatına kadar maliyeti düşürebiliriz.

Maddi sebeplerin yanı sıra tasarlayacağımız sistem kapalı bir sistem olmaması sebebiyle geliştirmeye açık hali bize avantaj sağlayan bir durumdur. Örneğin kullandığımız dedektörler yerine üç boyutlu yüzey görüntüleri elde etmek istersek CCD kamera kullanabiliriz. Analiz edeceğimiz örneğin durumu, hassasiyetine göre prizma geometrisi değiştirilebilir. Eklenebilir / çıkartılabilir olarak tasarlanan sistemin yapısı bu haliyle maliyetin yanı sıra sistemde esneklik sağlar . Ayrıca sistemin çalışmasında kullanılan bileşenlerin özelliklerinin seçiminde gösterilen hassasiyetle sistemin istenilen şartlarda gerçekleşmesi sağlanır.

### 4.1 Sistemin Donanımı

Tarama yöntemi kullanılarak gerçekleştireceğimiz sistemde prizma yapısının döner sehpa üzerinde olması ve diğer bileşenlerin lazer ile prizma yapısının arasına hizalanmasına karar verilmiştir.

Lazer kaynağımız 632,8 nm ve 2 mW gücüne sahip He-Ne lazer kaynağıdır. Lazer kaynağından gelen ışın sistemde ilk olarak güç zayıflatıcıya gelmektedir. Bu bileşenin sistemde kullanılması opsiyoneldir. Deneye veya lazer kaynağının durumuna göre sisteme dahil edilecektir.

Güç zayıflatıcıdan sonra ışın ilk olarak demet ayırıcının üzerine düşer. Demet ayırıcı 50:50 oranında seçilmiştir. Yani gelen ışının yarısı bileşen üzerinden hiçbir kırınımına uğramadan yoluna devam ederken diğer yarısı 90 derecelik bir kırınım ile referans dedektör olarak adlandırdığımız dedektör üzerine düşmektedir.

Lazer kaynağımız olarak seçtiğimiz He-Ne lazer yapısı bakımından ilk çalıştığı saatte gücünde önemli değişiklikler görülür. Lazer kaynağı çıkışındaki gücün dalgalanmasını en aza indirip stabil bir durum sağlamak için lazer kaynağının en az 20 dk ısınma sresinden sonra deneye başlaması önerilir. Bu srenin optimum değeri 50-60 dk arasındadır. Bu durumun tespiti için referans dedektör olarak adlandırdığımız prizma sistemine gelmeden önce sistemde bulunan dedektör kullanılır. Bu dedektör aynı zamanda deney öncesi sonrası ölçümler için de referans değerlerin elde edildiği bileşendir.

Demet ayırıcıdan hiçbir kırımına uğramadan geçen lazer ışını demet ayırıcının hizasında bulunan doğrusal polarizör üzerine düşer. Bu bileşen üzerine düşen ışını plazmon uyarımını sağlayan p-polarize kısım ile plazmon uyarımında bir etkisi olmayan s-polarize ışın olarak ayırır. Böylece prizma yapısının üzerine düşen sadece p-polarize ışın olur.

Lineer polarizrden sonra sisteme hizalanan diğer bir eleman iğne deliğidir. Optik bir eleman olarak kullanacağımız bu bileşen üzerine düşen ışığın prizma üzerine odaklanarak düşmesini sağlar.

Prizma kullanarak tarama yöntemiyle gerçekleştireceğimiz SPR sensörünün prizma yapılandırması Kretschmann konfigürasyonuna uygun tasarlanmıştır.

Lazer kaynağına hizalanarak yerleştirilmiş bileşenlerden geçerek gelen ışın BK7 prizma yüzeyine gelir. Yüzeye gelen ışın yüzey plazmonlarını uyararak incelenen örneğin yapısındaki değişiklikleri algılar. Bu da kırılma indeksinde değişimlere sebep olur.

Prizma yapısı ile yansıyan ışının denk geleceği dedektörün üzerinde bulunduğu döner sehpa altında step motorun kullanıldığı motorize sistem bulunur. Bu motorize sistemde kullanılan dişli yapısı ile sadece bir motor kullanılarak prizma yapısı ve dedektörün hareketi sağlanır. Prizmadan yansıyan ışın yansıyan dedektör üzerine düşer. Prizma hareketi için motora gelen her sinyal prizmanın durumunda mikro adımlarla değişime sebep olur. Prizma yüzeyine gelen ışın sabit olduğu için prizma hareket ettikçe yansıyan ışının açısı da buna bağlı olarak değişecektir. Bu şekilde gerçekleştireceğimiz SPR sistemi tarama yoluyla yüzeydeki değişiklikleri

algılamayı sağlayacaktır. Prizma yüzeyinden yansıyan ışının hareketini yakalayan dedektör, prizmanın dönme açısının iki katı kadar ölçüde dönmek üzere monte edilmiştir. Bu montaj yöntemi sayesinde prizma – dedektör sistemi  $\Theta - 2\Theta$  mod dediğimiz ayarda çalışır. Yani prizma yapısı step motora gelen her sinyalde bir adım ilerlerken, dedektör ise 2 adım ilerleyecektir. Adım hareketi açısal olarak ifade edilirse prizmanın dönerken katettiği her  $\Theta$  'lık açı dedektörde  $2\Theta$ 'lık açıya denk gelir.

Sistemin çalışmasında yapacağımız analiz öncesi prizma ve dedektör yeriyile ilgili belli kombinasyonlar yapılır. Sistem çalışırken ilk kontrol edeceğimiz durum ışının prizma üzerine düşüp düşmediğidir. Bu durumun kontrolü lazer kaynağından gelen ışının prizma yüzeyine çarpıp yansıdıktan sonra lazer kaynağına geri dönmesinin ayarlanması ile sağlanır. Her farklı deney öncesi ilk yapılacak işlem budur. İkinci kontrol edilip ayarını yapılacağı durum ise yansıyan dedektör ile prizma hipotenüsü diye adlandıracağımız lazer ışının düştüğü nokta arasında 45 derecelik açı olmasıdır. Bu iki adımdan sonraki her işlem deneyde seçilecek moda göre aynı sırada devam etmektedir.

## 4.2 Sistemin Yazılımı

Tasarladığımız SPR sisteminde motor kontrolü ve dedektöre gelen çıkış sinyallerinin incelenmesi NI Labview programı ile gerçekleştirilmiştir.

Yazılan programın kullanıcı arayüzü olan ön panel kısmı ekte verilmiştir.

SPR sistemi iki şekilde sonuç elde etmek üzerine kurulmuştur;

- 1)  $\Theta - 2\Theta$  mod
- 2) Kinetik mod

#### 4.2.1 $\Theta - 2\Theta$ Mod

Lazer kaynağından gelen ışın prizma üzerine düştükten sonra yansıma yaparak yansıyan dedektör üzerine düşer. Bu şekilde yapılan taramada kullandığımız motorize sistemde prizma yapısının step motor ile  $\Theta$  kadar açıyla dönmesine karşılık yansıyan dedektörün  $2\Theta$  açı kadar dönmesiyle elde ettiğimiz yöntem  $\Theta - 2\Theta$  mod olarak adlandırılır. Bu yöntemle elde ettiğimiz grafikteki eğride belli bir açı değerine karşılık gelen minimum değer bizim rezonans açımız olacaktır.

Genel bir veri analizi için her adım sayısında belirlenen örnekleme seviyesinde dedektörde karşılığı olan çıkış sinyali ile ona denk gelen prizma açısı arasındaki ilişki grafiğe yansıtılır.

Programın akış diyagramı ekte verilmiştir.

#### 4.2.2 Kinetik Mod

Bu kısımda kullanıcı tarafından girilmiş belli bir zaman aralığında aynı rezonans açısına karşılık gelen yansıyan dedektör değerinin grafiksel yorumu ele alınır.

$\Theta - 2\Theta$  modda elde ettiğimiz rezonans açısına karşılık gelen yansıyan dedektördeki değeri kullanmaktadır.

Programın akış diyagramı ekte verilmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yüzey karakterizasyon amaçlı kullanılan bir yüzey plazmon rezonans temelli elektro-optik bir sensör oluşturuldu. Altın bir ince film üzerinde büyütülen örneğin üzerine gönderilen He-Ne lazer ışının yaptığı yansıma açıları ile kırılma indisleri arasındaki ilişki incelenecek şekilde bir çalışma sağlandı.

Cihazın kapalı tasarımının ticari sunumu piyasada üretilmesine rağmen maliyetinin oldukça yüksek olması nedeniyle piyasada mevcut materyallerin sahip olduğu spesifik özelliklerle bir araya getirilen açık bir sistem oluşturulması amaçlandı.

Sistemin tarama yoluyla elde edeceği sonuçlar için lazer kaynağının sabit, prizma yapısının hareketli olması sisteme başka bileşenlerin eklenmesi konusunda esneklik sağladı. Kullanılan bileşenlerin kapalı bir yapı yerine açık bir sistemde olmasıyla sistemin çalışması sırasında meydana gelecek bir hataya müdahale etme ve hatayı belirleme açısından kolaylık sağlayacak yapıda olması amaçlandı.

Sistemi oluşturan bileşen seçimi ve sistemin çalışması tezin ana amacıdır ve yapılan işlemler de bu amaca yönelik geliştirme ve iyileştirmelerdir.

632,8 nm dalga boylu He-Ne lazer kaynağı optik laboratuvarlarda en yaygın kullanılan ekipmanlardan biridir. Bu dalga boyuna bağlı olarak optimum çalışmayı sağlayan ince film 50 nm kalınlığındaki Altın ince filmidir.

Seçtiğimiz prizma yapılandırmasında Kretschmann konfigürasyonu günümüz ticari yüzey plazmon rezonans sensörlerinde kullanılan bir tasarımdır.

Prizma yüzeyinden yansıyan ışın ile referans olarak aldığımız ışının işlenmesinde kullandığımız dedektörler çalışma dalga boyu ve aktif alan terimi göz önüne alınarak belirlendi. Yansıyan dedektörün hareketli olması nedeniyle ölçümlerdeki hassasiyeti koruması için titreşimlerden etkilenme ihtimalini göz önüne alarak çalışma aktif alanı referans dedektörden büyük seçildi.

Etiketsiz inceleme sağlamasıyla öne çıkan yüzey plazmon rezonans sensörleri ile oldukça hassas ölçümler elde edebilmek için hareketli prizma yapısının motorize kısmında step motor ve mikro step sürücü kullanıldı. Mikro step sürücü ve fotodedektörlerden gelen analog verilerin bilgisayarlarda işlenebilecek digital verilere dönüştürülebilmesi için National Instruments grubunun myRIO adlı kompakt kartı kullanıldı.

Hassasiyeti ile öne çıkan deneysel sistemin bu durumunu sağlayan mikro step sürücü ve myRIO kartı içerisinde bulunan ve step motor hareketindeki adım kaçırmaı engelleyen FPGA modülünde yazılan yazılımdır. Motorize sistemin ve deneysel sistemin kontrolü için kullandığımız Labview programı kullanıcı açısından kolay bir arayüz sağlayan grafiksel bir program olması ve myRIO aynı grubun ürünü olmasından dolayı göstereceği uyumdan dolayı seçilmiştir. Deneysel sistemde elde edeceğimiz verilerin grafiksel yorumu ve Excell dosyası halindeki sunumu sistemin çalışmasıyla gerçek zamanlı olarak elde edilecek şekilde tasarlanmıştır.

Açık sistem olarak gerçekleştirilen bu deneysel sistemin geliştirilmesi üzerine farklı bakış açıları geliştirilebilir. Kullanılan fotodedektörler yerine CCD kameralar kullanarak incelenen örneğin üç boyutlu görüntüsü elde edilebilir. Prizma konfigürasyonuna birden fazla metal eklenerek sonuçların hassasiyeti sorgulanabilir. Ayrıca daha karmaşık bir prizma yapısı oluşturularak elde edilecek sonuçlar üzerine yorumlar yapılabilir.



## 6. KAYNAKLAR

- [1] Tang, Y., Zeng, X. And Liang, J., “ Surface Plasmon Resonance: An Introduction to a Surface Spectroscopy Technique” , J. Chem. Educ., 87(7), 742-746, (2010).
- [2] Mao, Y., Bao, Y., Wang, W., Li, Z., Li, F., Niu, L., “ Development and Application of Time-Resolved Surface Plasmon Resonance Spectrometer” , American Journal of Analytical Chemistry, 2, 589-604, (2011).
- [3] Cao, J., “ Creation of Novel Gold- Nanorod- Based Localized Surface Plasmon Resonance Biosensors”, Ph. D Thesis, City University, London, (2013).
- [4] Theory of Surface Plasmon Resonance, (27 Şubat 2017), [http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1222289\\_2013\\_cap\\_2.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1222289_2013_cap_2.pdf)
- [5] Kooyman, R. P. H., “ Physics of Surface Plasmon Resonance”, (eds: Richard B.M. Schasfoort and Anna J. Tudos ) , Handbooks of Surface Plasmon Resonance, RSC Publishing, 15-34, (2008).
- [6] Salah, N. S., “ Surface Plasmon Resonance Sensing and Characterisation of Nano – Colloids for Nanotoxicology Application ”, Ph.D Thesis, Plymouth University, United Kingdom, (2015).
- [7] Liu, Y., Liu, Q., Chen, S., Cheng, F., Wang, H., Peng, W., “ Surface Plasmon Resonance Biosensor Based on Smart Phone Platforms ” , Scientific Reports, 5, 12864, (2015).
- [8] Greenley, M., “ Design, Characterization and Evaluation of a Surface Plasmon Resonance Sensor ” , Master Thesis, Duke University, U.S..A. , (2012).

- [9] Badjatya, V., “Tunable Laser Interrogation of Surface Plasmon Resonance Sensors” , Master Thesis , University of Kentucky, U.S.A. , (2009).
- [10] Daghestani, H.N., Day, B.W., “ Theory and Applications of Surface Plasmon Resonance, Resonant Mirror, Resonant Waveguide Grating, and Dual Polarization Interferometry Biosensors ” , Sensors, 10, 9630-9646, (2010).
- [11] Pines, D., Bohm, D., “ A Collective Description of Election Interactions: II. Collective vs. Individual Particle Aspects of the Interactions ” , Phys. Rev., 85, 338, (1952).
- [12] Jackson, J.D., “ 10.8 Plasma Oscillations” , Classical Electrodynamics, (1962).
- [13] Dionne, J. A., “Viewpoint: Mirror”, (1 Mart 2017),  
[https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=PBafWpCHDMHQgAafrY-QAw&q=plasmons&oq=plasmons&gs\\_l=psy-ab.3..0i19k1j0i5i30i19k1.36154.36154.0.36724.1.1.0.0.0.152.152.0j1.1.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.1.151...0.XDj-58jndq8#imgrc=0bsbY19-2p1OOM:](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=PBafWpCHDMHQgAafrY-QAw&q=plasmons&oq=plasmons&gs_l=psy-ab.3..0i19k1j0i5i30i19k1.36154.36154.0.36724.1.1.0.0.0.152.152.0j1.1.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.1.151...0.XDj-58jndq8#imgrc=0bsbY19-2p1OOM:) , (2012).
- [14] Stockman, M. I., “ Nanoplasmonics: From Present Into Future ” , (ed: Jerzy Leszczynski), Plasmonics: Theory and Applications, Springer, 1-101, (2013).
- [15] Zeng, S., Yu, X., Law, W. C., Zhang, Y., “ Size Dependence of Au Np-Enhanced SPR Based and Differential Phase Measurement ” , Sensors and Actuators B : Chemical, 176, 1128-1133, (2013).
- [16] Drude, P., “ Zur Elektronentheorie der Metalle ” , Annalen der Physik , (1990) .
- [17] Wikipedia, “Surface Plasmon Resonance”, (5 Mart 2017),  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_plasmon\\_resonance](https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_plasmon_resonance)

- [18] International School of Photonics, "Evanescent Waves", (10 Mart 2017),  
[https://www.google.com.tr/search?q=evanescent+dalga&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiAgZXW4djZAhVGjqQKHVuFAO4Q\\_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=a40ZgOkhsxApPM](https://www.google.com.tr/search?q=evanescent+dalga&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiAgZXW4djZAhVGjqQKHVuFAO4Q_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=a40ZgOkhsxApPM):
- [19] The Physics Classroom, "The Law of Reflection", (17 Mart 2017),  
<http://www.physicsclassroom.com/class/refln/Lesson-1/The-Law-of-Reflection>
- [20] M.I.T. OCW, "Introduction to Electrodynamics", (20 Mart 2017),  
[https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-013-electromagnetics-and-applications-spring2009/readings/MIT6\\_013S09\\_chap02.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-013-electromagnetics-and-applications-spring2009/readings/MIT6_013S09_chap02.pdf), (2009).
- [21] Demtröder, W., "Laser Spectroscopy 1: Basic Principles", Springer, 5<sup>th</sup> Edition, (2014).
- [22] The Editors of Encyclopaedia Britannica, "Snell's Law", (10 Temmuz 2017), <https://www.britannica.com/science/Snells-law>
- [23] Kashif, M., Bakar, A., Arsad, N., Shaari, S., "Development of Phase Detection Schemes Based on Surface Plasmon Resonance Using Interferometry", Sensors 2014, 14(9), 15914-15938, (2014).
- [24] The Surface Science Society of Japan Editor, "Compendium of Surface and Interface Analysis", Springer, (2018).
- [25] (19Ekim2017),  
<https://www.andrew.cmu.edu/user/dcprieve/Evanescent%20waves.htm>
- [26] Chiu, N-F., Huang, T-Y., Lai, H-C., "Graphene Oxide Based Surface Plasmon Resonance Biosensors", Advances in Graphene Science, (2013).
- [27] Mechelen, T., Jacob, Z., "Universal Spin-Momentum Locking of Evanescent Waves", OSA Publishing, Optica, 118-126, (2016).

- [28] Englebienne, P., Hoonacker, A.V., Verhas, M., “Surface Plasmon Resonance: Principles, Methods and Applications in Biomedical Sciences”, 255-273, (2003).
- [29] Yang, L., Wang, J., Yang, L.-Z., Hu, Z.-D., Wu, X., Zheng, G., “Characteristics of Multiple Fano Resonance in Waveguide-Coupled Surface Plasmon Resonance Sensors Based on Waveguide Theory” , Scientific Reports 8, Article Number:2560, (2018).
- [30] Cameron, P.J., Jenkins, A.T., Knoll, W., Marken, F., Milsom, E., Williams, T., “Optical Waveguide Spectroscopy Study of the Transport and Binding of Cytochrome C in Mesoporous Titanium Dioxide Electrodes” , Journal of Material Chemistry, 2008, 4304-4310, (2008).
- [31] Rp-Photonics,”Passive Fiber Optics”, (13 Ocak 2018), [https://www.rp-photonics.com/passive\\_fiber\\_optics1.htm](https://www.rp-photonics.com/passive_fiber_optics1.htm)
- [32] Ritzefeld, M., Sewald, N., “Real-Time Analysis of Specific Protein-DNA Interactions with Surface Plasmon Resonance”, Review Article, Journal of Amino Acids , 816032, (2012).
- [33] Türker, B., “Yüzey Plazmon Rezonansına Dayalı Yeni Bir Algılayıcı Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, Y.T.Ü. , (2013).
- [34] Xantec Bioanalytics, “Tech Notes: Optics”, (13 Aralık 2017), [https://www.google.com.tr/search?q=grating+system+spr&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiig6vG\\_tnZAhXGUhQKHUEuAxYQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgcr=8fR80\\_8rV7kktM:](https://www.google.com.tr/search?q=grating+system+spr&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiig6vG_tnZAhXGUhQKHUEuAxYQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgcr=8fR80_8rV7kktM:)
- [35] Mohatpara, S., Moirangthem, R., “Theoretical Study of Modulated Multi-Layer SPR Device for Improved Refractive Index Sensing”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 310, (2018).
- [36] Current Research in D. Roy’s Group, “Surface Plasmon Resonance Studies of Thin-Film Interfaces”, (11 Kasım 2017), <https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=9ryfWpWQBMA2UbbOt9AJ&q=prism+system+spr&oq=prism+systr>

[em+spr&gs\\_l=psyab.3...56288.58768.0.59121.12.10.0.0.0.303.1182.0j6j0j1.7.0....0...1c.1.64.psyab..5.2.428...0i5i30k1j0i8i30k1j0i8i7i30k1.0.7JPG5H4EoXk#imgcr=i4c8f1OLaS2MXM:](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=172fWom0OIu7UZ6MjNgJ&q=otto+configuration&oq=otto+config&gs_l=psyab.3...56288.58768.0.59121.12.10.0.0.0.303.1182.0j6j0j1.7.0....0...1c.1.64.psyab..5.2.428...0i5i30k1j0i8i30k1j0i8i7i30k1.0.7JPG5H4EoXk#imgcr=i4c8f1OLaS2MXM:)

[37] Akimov, Y., “ Optical Resonances in Kretschmann and Otto Configurations”, Optical Letters, 1195-1198, (2018).

[38] (28 Mayıs 2017),

[https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=172fWom0OIu7UZ6MjNgJ&q=otto+configuration&oq=otto+config&gs\\_l=psyab.3.0.0i19k1.4542.6435.0.7964.4.3.1.0.0.0.359.645.0j2j0j1.3.0....0...1c.1.64.psyab..0.1.141....0.fPUfubqO3I#imgcr=hwAF8BO8ljcGeM:](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=172fWom0OIu7UZ6MjNgJ&q=otto+configuration&oq=otto+config&gs_l=psyab.3.0.0i19k1.4542.6435.0.7964.4.3.1.0.0.0.359.645.0j2j0j1.3.0....0...1c.1.64.psyab..0.1.141....0.fPUfubqO3I#imgcr=hwAF8BO8ljcGeM:)

[39] Andersson, O., “Imaging Surface Plasmon Resonance”, Ph. D. Thesis, Linköping University, Sweden, (2008).

[40] Singh, S.C., Zeng, H., Guo, C., Cai, W., “ Lasers: Fundamentals, Types, and Operations”, Nanometaterials: Processing and Characterization with Lasers, 1-34, (2012).

[41] (6 Kasım 2017), <https://techmoran.com/south-african-research-team-unveils-worlds-first-digital-laser/laser/>

[42] LD Didactic, “He-Ne Laser”, (3 Ağustos 2017), <https://www.ld-didactic.de/documents/en-US/EXP/PHO/4747104EN.pdf> , (2010).

[43] Editors by All About Circuits, “Amplifiers and Active Devices”, (1 Kasım 2017) ,

<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-1/attenuators/>

[44] Editors by Thorlabs, “Optical Chopper System and Chopper Wheels”, (6 Ekim 2017) ,

<https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=BmyqWpuwF8uRsAHwt6zwBg&q=optical+chopper&oq=optical+chopper>

[https://www.google.com.tr/search?q=beam+splitter&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjEv\\_rxkNrZAhVkJ0i67k1j0i30k1j0i10i19k1.0.QKYwSyNeP6c#imgrc=WaWWxGJdyT9IAM:](https://www.google.com.tr/search?q=beam+splitter&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjEv_rxkNrZAhVkJ0i67k1j0i30k1j0i10i19k1.0.QKYwSyNeP6c#imgrc=WaWWxGJdyT9IAM:)

[45] Editors by Edmund Optics, “What are Beamsplitters? ”, (8 Ocak 2018), <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/optics/what-are-beamsplitters/>

[46] Wikipedia, “Beam Splitter”, (5 Ocak 2017), [https://www.google.com.tr/search?q=beam+splitter&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjEv\\_rxkNrZAhVkJ0i67k1j0i30k1j0i10i19k1.0.QKYwSyNeP6c#imgrc=TxbIhgTTQYbuxM:](https://www.google.com.tr/search?q=beam+splitter&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjEv_rxkNrZAhVkJ0i67k1j0i30k1j0i10i19k1.0.QKYwSyNeP6c#imgrc=TxbIhgTTQYbuxM:), (2014).

[47] (26 Temmuz 2017), <http://instructor.physics.lsa.umich.edu/int-labs/Chapter4.pdf>

[48] Editors by Holmarc OptoMechatronics, ”Linear Film Polarizers”, (1 Mart 2017), [https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=kdcFwPSPodGtKwX3qa2wCw&q=linear+polarizer&oq=linear+polarizer&gs\\_l=psyab.3.0.0i19k113.111609.118067.0.119184.16.15.0.1.1.0.401.2768.0j12j1j0j1.14.0...0...1c.1.64.psyab..1.15.2769...0j0i67k1j0i10k1j0i30k1j0i30i19k1j0i10i30i19k1j0i8i30i19k1.0.cUJovQUIMaO#imgrc=VUTNVGMKUKevM:](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=kdcFwPSPodGtKwX3qa2wCw&q=linear+polarizer&oq=linear+polarizer&gs_l=psyab.3.0.0i19k113.111609.118067.0.119184.16.15.0.1.1.0.401.2768.0j12j1j0j1.14.0...0...1c.1.64.psyab..1.15.2769...0j0i67k1j0i10k1j0i30k1j0i30i19k1j0i10i30i19k1j0i8i30i19k1.0.cUJovQUIMaO#imgrc=VUTNVGMKUKevM:), (2016).

[49] (28Aralık2017), <https://www.horizonsd.ca/Services/Curriculum/Documents/Physics%20C%20-%20LESSON%20%20-%20Pinhole%20Camera.pdf>

[50] Editors by Edmund Optics, “Introduction to Optical Prisms”, (2 Mart 2017),<https://www.edmundoptics.com/resources/applicationnotes/optics/introduction-to-optical-prisms/>

[51] Editors by Perkins Precision Developments, “Prisms” , (14 Ağustos 2017),[https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=Bd2fWumtKs\\_1kwXh9LFw&q=optical+prism&oq=optical+p](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=Bd2fWumtKs_1kwXh9LFw&q=optical+prism&oq=optical+p)

[rism&gs\\_l=psyab.3..0i19k1j0i7i30i19k1j0i5i30i19k1.25254.29558.0.30090.14.13.1.0.0.0.309.1814.0j8j1j1.10.0...0...1c.1.64.psyab..3.7.1115...0i13k1j0i7i30k1j0i8i7i30k1j0i8i7i30i19k1.0.AjF4tuzhZoM#imgrc=VDBsNjGNrjSmvM:](http://www.elsevier.com/locate/psyab)

- [52] Wolfe, L. W., “ Chapter 4: Nondispersive Prisms ”, Handbook of Optics: Devices, Measurements, & Properties (eds: Michael Bass, Eric W. Van Stryland, David R. Williams, William L. Wolfe ) , McGraw- Hill Books, Second Edition, Volume-II , (1995).
- [53] (5 Mart 2017),<http://www.precisionoptical.com/porro-prism-right-angle-prism.php>
- [54] Brennan, K. F. “ 10.Optoelectronics Devices-Emitters, Light Amplifiers, and Detectors” , Introduction to Semiconductor Devices for Computing and Telecommunication Applications, Cambridge University Press, 230-274, (2005).
- [55] Saleh, B. E. A., Teich, M. C., “ 17. Semiconductor Photon Detectors” , Fundamentals of Photonics, Wiley& Sons Inc, (2001).
- [56] (7 Ocak 2018), <https://proteus.ac.uk/technology/detectors/detector-breakthroughs/>
- [57] (27 Aralık 2017), <https://learn.adafruit.com/all-about-stepper-motors?view=all>
- [58] (27 Aralık 2017), <http://solarbotics.net/library/pdflib/pdf/motorbas.pdf>
- [59] Kashif, M., Bakar, A. A. A. , Arsad, N. , Shaari , S., “ Development of Phase Detection Schemes Based on Surface Plasmon Resonance Using Interferometry ” , Sensors, 14 , 15914-15938 , (2014).
- [60] Verdeyen , J. T. , “ 9. General Characteristics of Lasers ” , Lasers Electronics , Prentice Hall , 260-346 , (1995) .
- [61] (23 Şubat 2018), [http://edurev.in/studytube/PROPERTIES-OF-HELIUM-NEON-LASERS/68fc50d6-0810-4c98-b075-98d6ee1F65ea\\_p](http://edurev.in/studytube/PROPERTIES-OF-HELIUM-NEON-LASERS/68fc50d6-0810-4c98-b075-98d6ee1F65ea_p)

- [62] Klotzkin, D. J. , “ 2. The Basics of Lasers ” , Introduction to Semiconductor Lasers for Optical Communications , Springer Science , 11-29 , (2014) .
- [63] (1 Temmuz 2017),  
<https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=HGR020>
- [64] (1 Temmuz 2017),  
[https://www.thorlabs.com/NewGroupPage9\\_PF.cfm?Guide=10&Category\\_ID=155&ObjectGroup\\_ID=6249](https://www.thorlabs.com/NewGroupPage9_PF.cfm?Guide=10&Category_ID=155&ObjectGroup_ID=6249)
- [65] (1 Kasım 2017),  
<https://www.edmundoptics.com/optics/polarizers/linear-polarizers/>
- [66] (30 Ağustos 2017), <https://www.newport.com/c/linear-polarizers>
- [67] (30 Ağustos 2017), <https://www.newport.com/f/precision-xy-objective-pinhole-positioners>
- [68] (25 Haziran 2017), <https://www.newport.com/f/n-bk7-parallel-windows>
- [69] (28 Haziran 2017), <http://www.ealingcatalog.com/25-mm-equilateral-prism-bk7-glass.html>
- [70] (7 Temmuz 2017),  
[http://shodganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/134897/10/11\\_chapter2.pdf](http://shodganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/134897/10/11_chapter2.pdf)
- [71] Majeed , H., Alam, J., Anwar, M. S. , “ Angular Interrogation of Surface Plasmon Resonance” , Report : Version 2015 – 1 , (2015) .
- [72] Lecaruyer , P. , Maillart, E. , Canva, M. , Rolland, J. , “ Generalization of the Rouard Method to an Absorbing Thin Film Stack and Application to Surface Plasmon Resonance ” , Applied Optics , Optical Society of America , 8419- 8423 , (2006) .



- [73] Lecaruyer, P. , Canva, M., Rolland, J., “ Metallic Film Optimization in a Surface Plasmon Resonance Biosensor by the Extended Rouard Method ”, Applied Optics, Optical Society of America , 2361-2369 , (2007).
- [74] (6 Mayıs 2017),  
[https://www.google.com.tr/search?q=surface+plasmon+resonance+au+film&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwidq2ymuzZAhUF2aQKHQv4AnwQ\\_AUICygC&biw=1366&bih=662#imgrc=8xRKVEQ9p65b0M:](https://www.google.com.tr/search?q=surface+plasmon+resonance+au+film&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwidq2ymuzZAhUF2aQKHQv4AnwQ_AUICygC&biw=1366&bih=662#imgrc=8xRKVEQ9p65b0M:)
- [75] (3 Mart 2017),  
<https://www.edmundoptics.com/testingdetection/dedectors/Silicon-Dedectors/>
- [76] (5 Nisan 2017),  
[https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=crCqWvzmFOvLgAbQqYIBQ&q=thorlabs+photodetector&oq=thorlabs+photodetector&gs\\_l=psyab.3...12148.22671.0.22853.35.23.7.3.3.0.134.2537.0j22.22.0...0...1c.1.64.psyab..4.14.1075...0i19k1j0i8i30i19k1j0i24k1.0.G4k0m\\_LdQq0#imgrc=LPQAa14q32Os1M:](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=crCqWvzmFOvLgAbQqYIBQ&q=thorlabs+photodetector&oq=thorlabs+photodetector&gs_l=psyab.3...12148.22671.0.22853.35.23.7.3.3.0.134.2537.0j22.22.0...0...1c.1.64.psyab..4.14.1075...0i19k1j0i8i30i19k1j0i24k1.0.G4k0m_LdQq0#imgrc=LPQAa14q32Os1M:)
- [77] Megep, “ Step ve Servo Motorlar” , Elektrik – Elektronik Teknolojisi , 3-23 , (2011).
- [78] (23 Nisan 2017),  
[https://www.google.com.tr/search?q=42byg&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH6oCwnezZAhVG46QKHeLqD1QQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=AVBe-xibdFMyYM:](https://www.google.com.tr/search?q=42byg&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH6oCwnezZAhVG46QKHeLqD1QQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=AVBe-xibdFMyYM:)
- [79] (27 Mayıs 2017),  
[https://www.google.com.tr/search?q=me+2h+microstep+driver&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjvYzRnezZAhWL-KQKHa2nC-Q\\_AUICygC&biw=1366&bih=662#imgrc=vRSx\\_Iw\\_-jx76M:](https://www.google.com.tr/search?q=me+2h+microstep+driver&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjvYzRnezZAhWL-KQKHa2nC-Q_AUICygC&biw=1366&bih=662#imgrc=vRSx_Iw_-jx76M:)
- [80] Editors by National Instruments, “myRIO Student Embedded Device”, (7 Şubat 2017),

[https://www.google.com.tr/search?q=n%C4%B1+myrio&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjqo6ex8u7ZAhUhG5oKHQLIBrEQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=\\_jWnoG8Hw-v0aM](https://www.google.com.tr/search?q=n%C4%B1+myrio&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjqo6ex8u7ZAhUhG5oKHQLIBrEQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=_jWnoG8Hw-v0aM)

[81] (13 Haziran 2017), <https://www.ni.com/en-tr/shop/select/myrio-student-embedded-device>

[82] (13 Haziran 2017), <http://www.ni.com/pdf/manuals/373427j.pdf>

[83] Editors by Edgefx Kits&Solutions, “What is Labview Programming and Why You Should Use It”, (11 Temmuz 2017), [https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=KeafWq31AY6dkgXyk5QY&q=labview+block+diagram+front+panel&oq=labview+block+diagram+front+panel&gs\\_l=psyab.3..0i8i30k1.34782.46573.0.47058.18.17.1.0.0.0.157.2239.0j17.17.0....0...1c.1.64.psyab..0.15.1855...0j0i30k1j0i19k1j0i30i19k1j0i8i30i19k1.0.mEjn0jA61I#imgrc=b6JDoKx1IUGgNM](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=KeafWq31AY6dkgXyk5QY&q=labview+block+diagram+front+panel&oq=labview+block+diagram+front+panel&gs_l=psyab.3..0i8i30k1.34782.46573.0.47058.18.17.1.0.0.0.157.2239.0j17.17.0....0...1c.1.64.psyab..0.15.1855...0j0i30k1j0i19k1j0i30i19k1j0i8i30i19k1.0.mEjn0jA61I#imgrc=b6JDoKx1IUGgNM)

[84] (25 Mayıs 2017), [https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=KeafWq31AY6dkgXyk5QY&q=labview+block+diagram+front+panel&oq=labview+block+diagram+front+panel&gs\\_l=psyab.3..0i8i30k1.34782.46573.0.47058.18.17.1.0.0.0.157.2239.0j17.17.0....0...1c.1.64.psyab..0.15.1855...0j0i30k1j0i19k1j0i30i19k1j0i8i30i19k1.0.mEjn0jA61I#imgrc=b6JDoKx1IUGgNM](https://www.google.com.tr/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=KeafWq31AY6dkgXyk5QY&q=labview+block+diagram+front+panel&oq=labview+block+diagram+front+panel&gs_l=psyab.3..0i8i30k1.34782.46573.0.47058.18.17.1.0.0.0.157.2239.0j17.17.0....0...1c.1.64.psyab..0.15.1855...0j0i30k1j0i19k1j0i30i19k1j0i8i30i19k1.0.mEjn0jA61I#imgrc=b6JDoKx1IUGgNM)



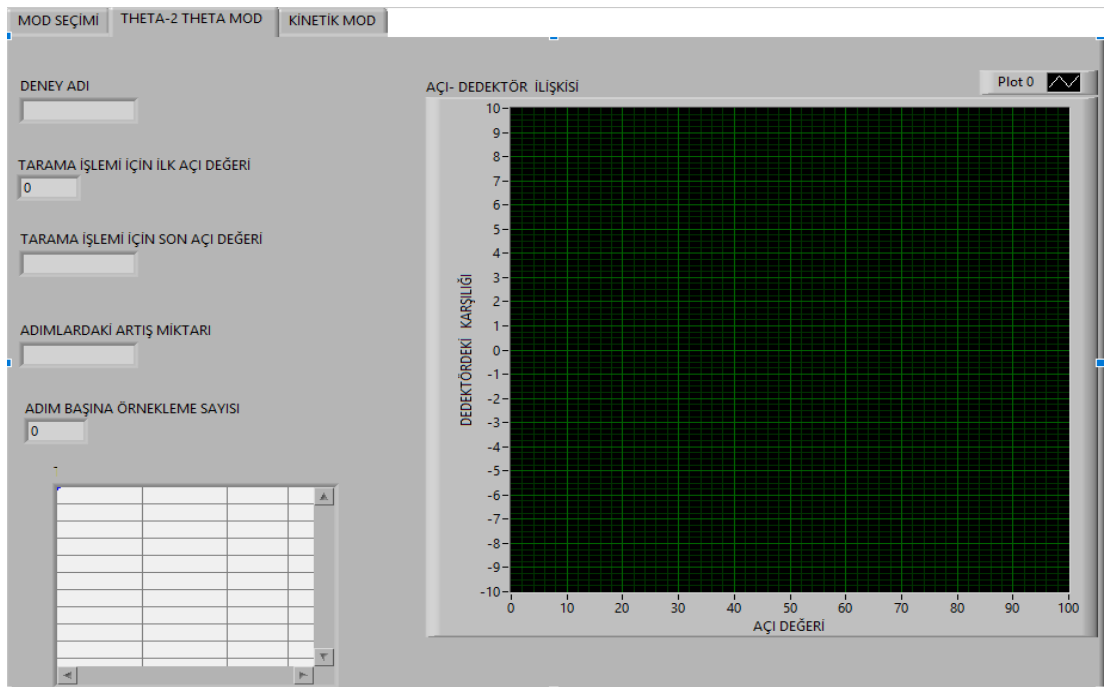
# **EKLER**

## 7. EKLER

### EK A Mod Seçim Ekranı

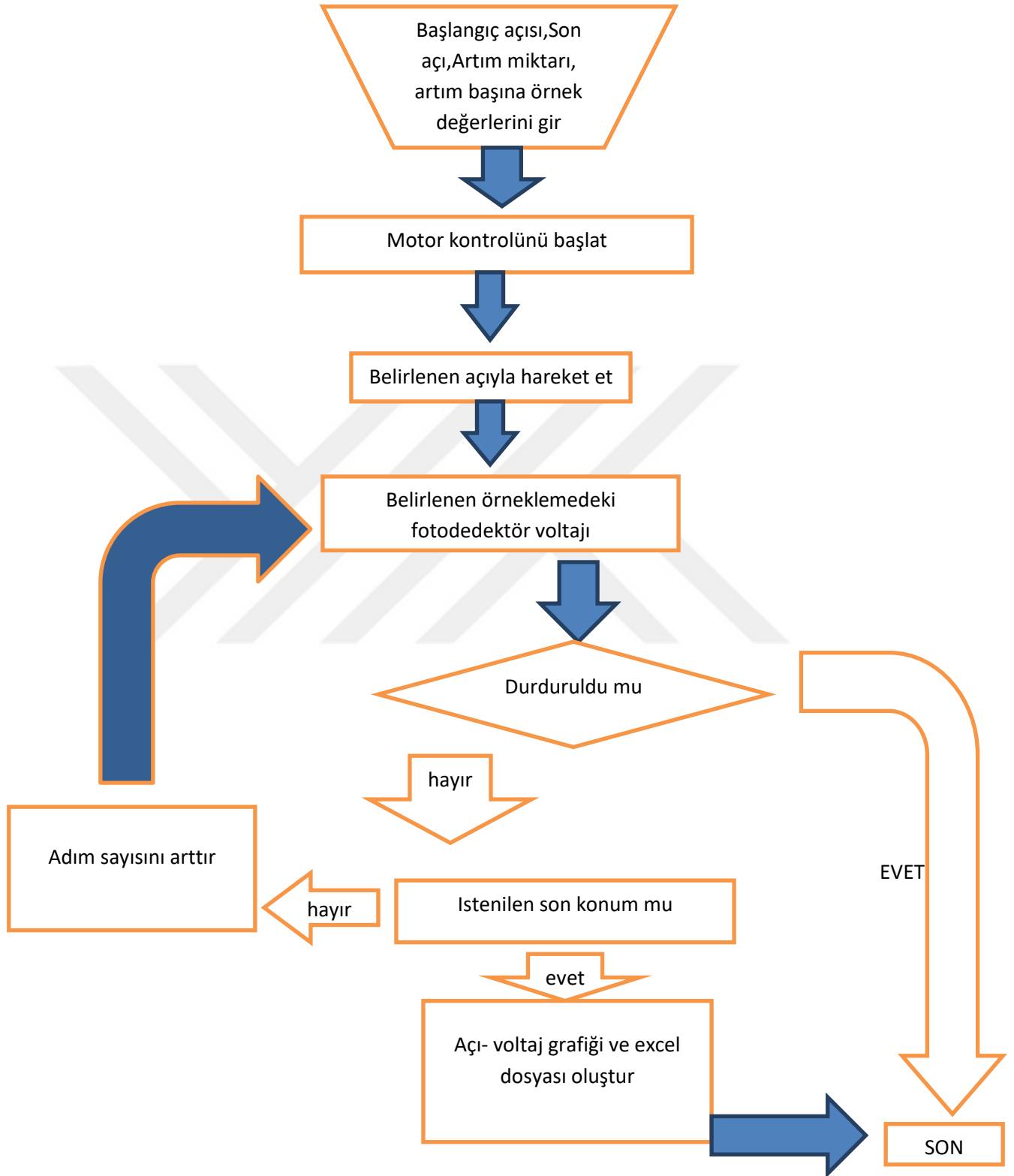


### EK B Theta-2 Theta Mod





## EK D 0 - 20 Mod Akış Diyagramı



## EK E Kinetik Mod Akış Diyagramı

