

**Fotopolimerizasyon Yöntemi ile Fibere Entegre Yüksek  
Verimli Mod-Seçici Izgara Bağdaştırıcı Üretimi**

**Proje Kodu: 1002**  
**Proje No: 114E006**

Proje Yürütücüsü:  
Prof. Dr. MEHMET SALİH DİNLEYİCİ

Mayıs, 2015  
İZMİR

## ÖNSÖZ

Bu proje, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Elektrik, Elektronik ve Enformatik Araştırma Grubu (EEEAG), Ankara, Türkiye ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye tarafından desteklenmiştir.

Tamamı optik ortamda gelişen haberleşme sistemlerinin her geçen gün daha yaygın olarak kullanılması ve son kullanıcıya daha da yakınlaşması sonucunda, bu tür optik haberleşme hatlarında kullanılacak muhtelif aktif-pasif komponentlerin pratik ve ekonomik olarak üretilebilmesi, çok önemli bir mühendislik araştırma-geliştirme alanı haline gelmiştir.

Proje kapsamında, temel modu ve üstel modu uyarılmış bir optik fiber içerisinde ilerlemekte olan modlardan üstel modu en yüksek verimle ikinci bir fibere kuple edecek, bunu yaparken de temel modu etkilemeden fiber içerisinde ilerlemesine izin verecek bir bağdaştırıcı, mod seçici bir aygıtın üretimi gerçekleştirilmiştir. Aygıtın tasarımı kenarı inceltilmiş optik fiberin üzerine (foto) polimer film yerleştirilmesi ve daha sonra film içerisine kırınım indisi ızgarası yazılması prensibine dayanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Optik Anahtarlama, Fiber Optik, Fiber Optik Haberleşme, Tüm-Optik, Tamamen Optik, Optik Paket Anahtarlama, Fotopolimer, Geçici Kırınım Iızgarası.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
I. GİRİŞ.....	1
Yapılan Çalışmaların Genel Çerçevesi .....	1
II. SABİT KIRINIM IZGARASI İLE MOD KUPLAJLAMA MATEMATİKSEL MODELİ VE VERİMLİLİK HESAPLAMALARI	
2.1 Matematiksel Model ve Benzetim .....	2
2.2 Sabit Izgara Kuplaj Verimlilik Hesaplamaları .....	6
2.3 Fotopolimerize Kırınım Izgarası Yapısı .....	8
2.4 Gauss Kırınım Izgarası Modeli .....	9
III. OPTİK FİBER ÜZERİNE KIRINIM IZGARASI KUPLAJ DENEYSEL ÇALIŞMALARI	
3.1 Deneysel Düzenek .....	13
3.2 Modlar Arası Kuplaj Katsayısının Belirlenmesi ve Doğrulanması	16
3.3 Mod Polarizasyon Özelliği ile Mod İçeriklerinin Belirlenmesi	23
IV. SONUÇ .....	30
KAYNAKÇA.....	31

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Deney Düzeneği .....	1
Şekil 2.1 Sabit Kırınım Izgarası ile Mod Kuplajlama .....	2
Şekil 2.2 Sinüs Biçimli Sabit Kırınım Izgarası İçin Kuplaj Verimlilikleri ..	7
Şekil 2.3 Kılavuz Açıklığına Göre Her Moda Aktarım Enfazla Mesafesi ..	7
Şekil 2.4 Fotopolimerizasyon Dalga Kılavuzları ve Profilmetre Geometrisi ..	8
Şekil 2.5 Gauss Kırınım Izgarası Modeli İçin Kuplaj Verimlilikleri .....	9
Şekil 2.6 Gauss Model için Azami Güç Aktarım Mesafesi .....	10
Şekil 2.7 Kuplaj Verimliliğinin Izgara Periyodu ile Değişimi .....	11
Şekil 3.1 Sabit Izgara İle Mod Kuplaj Verimliliğinin Ölçüm Düzeneği: Prensip Çizimi ve Fotoğrafı .....	13
Şekil 3.2 Yanal Yüzeyi İnceltilmiş Optik Fiber ve Polimer Film Üzerinde Kırınım Indisi Izgarası Olan Deney Örneği .....	14
Şekil 3.3 Çift Moda Ait Işık Yoğunluğu CCD Kaydı .....	15
Şekil 3.4 Desteklenen Modlar .....	16
Şekil 3.5 Mod profili: İki mod birlikte .....	17
Şekil 3.6 Kırınım Izgarası Öncesi Mod Profili .....	17
Şekil 3.7 Kırınım Izgarası Sonrası Mod Profili .....	18
Şekil 3.8 Mod Işık Yoğunluğu Kesit ve Dağılımları .....	19
Şekil 3.9 Mod Işık Yoğunluk Dağılımı Eşlemeleri .....	19
Şekil 3.10 Polarizasyon Analiz Düzeneği ve Resmi .....	23
Şekil 3.11 Mod Filter Aygıt Modeli .....	23
Şekil 3.12 Temel Modlara ait Işık Yoğunluk Dağılımı .....	24
Şekil 3.13 LP01 Yatay ve LP01 Dikey Modlara Ait hesaplanan Işık Yoğunlukları	25
Şekil 3.14 LP01 ve LP11 modlarının 2.bölgede kombinasyonları .....	27

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1. Optik Fiber Özellikleri ve Hesaplanan Kuplör Sayısal Değerleri .....</b>	<b>11</b>
<b>Tablo 2. Corning HI1060 Optik Fiber Parametreleri .....</b>	<b>14</b>
<b>Tablo 3. Toplam güç değişimi .....</b>	<b>15</b>
<b>Tablo 4. Fotopolimer Reçetesi .....</b>	<b>17</b>
<b>Tablo 5. Modlar Arası Kuplaj Değerleri .....</b>	<b>20</b>
<b>Tablo 6. Farklı Örnekler: 632.8 nm ve 852 nm içindir .....</b>	<b>21</b>
<b>Tablo 7. Farklı Örnekler: 632.8 nm ve 852 nm için polarizasyon kontrollü.....</b>	<b>21</b>
<b>Tablo 8. 852 nm İçin Kuplaj Hesaplamaları .....</b>	<b>22</b>
<b>Tablo 9. Giriş fiberine ait (Normal Fiber) Modlar ve Işık Yoğunluk Dağılımları</b>	<b>25</b>
<b>Tablo 10. Kenarı inceltilmiş fibere ait mod kombinasyonları ve CCD kayıtları</b>	<b>28</b>
<b>Tablo 11. Kırınım ızgarasından sonra ki mod kombinasyonları için ışık yoğunluk dağılım grafikleri ve ölçümleri .....</b>	<b>29</b>

## ÖZET

Bu projenin amacı, optik fiber içerisinde ilerlemekte olan modları seçici olarak diğer bir fibere kuple edebilen, yüksek verime sahip, fotopolimerizasyon yöntemi ile üretilecek olan ve böylece optik fibere entegre bir şekilde gerçekleştirilecek bir ızgara bağdaştırıcı cihazın/aygıtın üretimidir. Cihazın çalışma prensibi, teorik ve simülasyon altyapısı ile fotopolimerizasyon süreçleri ve üretim aşamaları, daha önce gerçekleştirilmiş olan TÜBİTAK destekli proje ile tamamlanmıştır. Buna göre, final cihaz üretiminin gerçekleştirilmesi ve böylelikle yapılan teorik çalışma ve hesaplamaların deneysel olarak ispatlanmasıdır.

Optik haberleşme ağlarındaki gelişmelerin yönlendirdiği teknolojinin, paket anahtarlamalı tamamen optik ağlar olacağı ve "triple play" olarak adlandırılan görüntü, ses ve verinin birlikte bu ağlar üzerinde IP protokolü ile çalışacağı öngörülmektedir. Bu tür ağlarda optik yönlendirme, ekle/çıkar çoğullama ve adres tanımlama gibi fonksiyonları optik ortamda gerçekleştirecek ağ bileşenlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanda çok sayıda teorik çalışma olmakla birlikte, gerçekleştirilebilen aygıt sayısı ve nitelikleri çok sınırlıdır. Bu projede üretilecek olan cihaz bütün bu cihazlarda ortak ihtiyaç olan temel bir düğüm/anahtar aygıt niteliğindedir.

## ABSTRACT

The aim of this project to fabricate via photopolymerization a high-efficiency fiber-integrated grating coupler, capable of selectively coupling modes propagating within an optical fiber out to a secondary fiber. The theoretical design and simulation studies of the device have been completed as part of previously completed TÜBİTAK-funded project. Therefore, the aim of the project is to perform the final fabrication of the device which is the end product of all the aforementioned studies, and also to establish experimental proof to verify and support the previously completed studies.

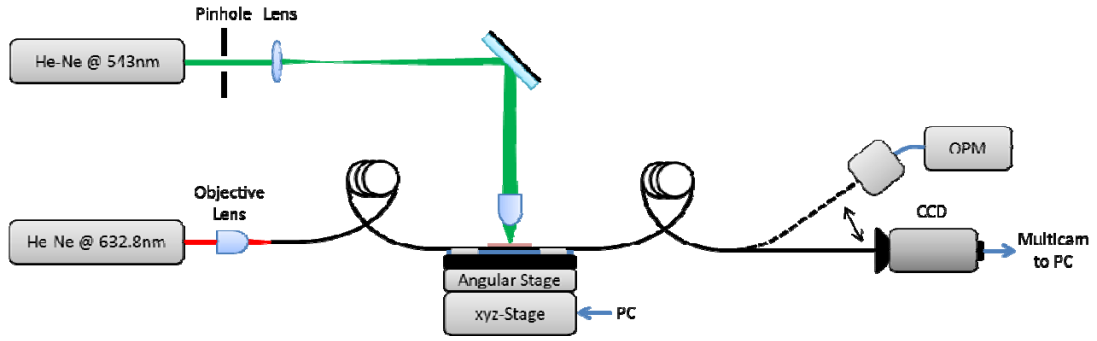
The development in optical communication networks has been driving the technology towards packed switched all-optical networks and it is foreseen that triple play –namely audio, video and data– will be carried together on these networks via IP protocol. These networks require components capable of performing routing, add/drop multiplexing, address identification and related functions in optical domain. Despite the abundance of theoretical work in the area, the quantity and the quality of actually realized devices are yet poor. This project is to realize a core fundamental node required for all of these optical communication devices.

## I. GİRİŞ

Kenarı inceltirilmiş optik fiberin üzerine yerleştirilen polimer film ve üzerine yazılan kırının indisi ızgarası parametrelerini değiştirerek, ilerlemekte olan modların katsayılarını (kayıp-kuplaj) belirlemek mümkün olabilmektedir. Matematiksel modeli ve benzetim çalışmaları daha önce tamamlanan bu aygıt ile ilgili bir tanıtımdan sonra asıl deneysel sonuçlara odaklananan bu projenin ıktıları verilecek ve tartişılacaktır.

Deneysel çalışmalarla kullanılmak üzere 7 adet aygıt (cihaz) farklı dalgaboyları (632.8 nm ve 852 nm) için hazırlanmış ve test edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan kuplaj oranları (verimliliği) yanında mod profilleri incelenerek, hangi modun ne kadar etkinlendiği araştırılmıştır. Bu çalışmalara ait sonuçlar ve görseller 3. kısımda verilmektedir. şekil 1 de projede kullanılan deney düzeneği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre mod seçici filtre özelliği net olarak ortaya konabilmiştir. Diğer sonuçlar en son kısımda tartişilmektedir.



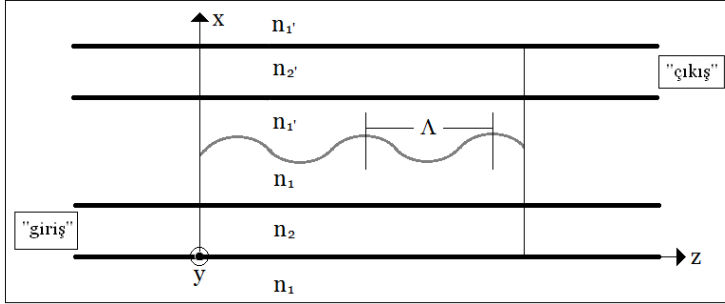
şekil 1.1 Deney düzeneği



## II. SABİT KIRINIM IZGARASI İLE MOD KUPLAJLAMA MATEMATİKSEL MODELİ VE VERİMLİLİK HESAPLAMALARI

### 2.1 Matematiksel Model Ve Benzetim

İki modu destekleyen optik fiber hattında anahtarlama ile uyarılan (geçici kırınım ızgarası yardımı ile) ikinci modun bir başka fibere aktarılması ile optik anahtarlama tamamlanmış olacaktır. İkinci moddan diğer fibere aktarım için sabit olarak yazılmış (fotopolimerizasyon ile) kırınım ızgarası kullanılacaktır. Şekil 2.1 de iki optik fiber ve aralarındaki sinüsoid kırınım ızgarası betimlenmektedir. Diğer farklı (sinüsoidal olmayan) indis kırınım ızgaralarında Fourier serisi açılımı kullanılarak benzer şekilde incelenebilir.



Şekil 2.1 Sabit Kırınım Iızgarası ile Mod Kuplajlama

Sabit kırınım ızgarası, fotopolimer film içerisine (ve yüzeyine) lazer ışığı ile yapılan polimerizasyon yöntemiyle oluşturulmaktadır. Elde edilen fotopolimerize kırınım ızgarasının yapısı daha sonra detaylı olarak incelenmiş ve gerçekçi kırınım indisi geometrisi modele dahil edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen kırınım ızgaralarının gerçek geometrisi üç boyutlu olmakla birlikte fiber kalınlığından dolayı iki boyutta incelenebilmektedir. Genel olarak, boylamasına periodik kırınım ızgarasının bir fonksiyonla ifadesi şöyledir (Yariv, 2008),

$$\Delta n^2(z) = 2d \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right) \quad d = \frac{n_1^2 - n_1'^2}{\pi} \quad 2.1$$

'd' kırınım indisi değişimi en fazla değerini vermektedir. Ancak,

esas olan kuple edilecek modlar arasında yayılım sabiti farkından kaynaklanan fazın eşlenmesidir. Bunun için gerekli koşul denkem 2.2 ile verilmiştir.

$$\frac{2\pi}{\Lambda} \cong \gamma_a - \gamma_b \equiv 2\Delta\gamma \quad 2.2$$

Üstteki ifadede 'Λ' kırınım ızgarası periyodu ile;  $\gamma_a$  ve  $\gamma_b$  eşlenmek istenen modların ızgara etkisiyle değişikliğe uğramış propagasyon sabitleridir, açık ifadeleri şöyledir:

$$\gamma_p = \beta_p + \frac{(K_{pp} - cK_{qp})}{1-c^2} \quad \text{ve} \quad \gamma_q = \beta_q + \frac{(K_{qq} - cK_{pq})}{1-c^2} \quad 2.3$$

Burada 'c' ile gösterilen kuple edilecek modların örtüşme integrali, 'K' ile gösterilenler ise kuple denklemlerinden gelen mod kuplaj katsayıları ve 'p,q' ilgili modları ifade etmektedir.

$$c_{pq} = \frac{1}{2} \int \int_{-\infty}^{\infty} [E_t^{(p)} \times H_t^{(q)}] dx dy \quad c = \frac{1}{2} (c_{pq} + c_{qp}) \quad 2.4$$

Her bir fiberin iki modu desteklediğini kabul ederek, modlar arasındaki güç aktarımını kuple denklemler ile formülize edebiliriz. Modlara (a,b) ait enine dalga alanlarını ve boylamsal değişimi ifade eden katsayıları (a(z) ve b(z)) ile toplam enine alan vektörleri 2.5 de ki gibi ifade edilebilir.

$$E_{t(x,y,z)} \cong a(z) E_t^{(a)}(x,y) e^{-\beta_a z} + b(z) E_t^{(b)}(x,y) e^{-\beta_b z}$$

$$H_{t(x,y,z)} \cong a(z) H_t^{(a)}(x,y) e^{-\beta_a z} + b(z) H_t^{(b)}(x,y) e^{-\beta_b z} \quad 2.5$$

Ref[Griffel, 1991] deki formülasyonu takip edilerek mod kuplajlarına ait katsayılar için kuple denklemleri şöyle yazılır:

$$\frac{d}{dz} a(z) = idk_{ab} e^{-i2\delta z} b(z)$$

$$\frac{d}{dz} b(z) = idk_{ba} e^{i2\delta z} a(z) \quad 2.6$$

'd' kırınım indisi değişimi genliğini ifade etmektedir (2.1). Kuplaj katsayıları  $k_{ab}$  ve  $k_{ba}$  ile çapraz ve kendi kendine mod kuplaj katsayıları sırasıyla  $K_{pq}$  ve  $K_{pp}$  şöyle ilişkilendirilebilir;

$$k_{pq} = \frac{(K_{qp} - cK_{qq})}{1 - c^2} \quad ; \quad k_{qp} = \frac{(K_{pq} - cK_{pp})}{1 - c^2} \quad 2.7$$

Yine 'c' normalize mod örtüşme integrali değerini vermektedir. Mod kuplaj katsayılarının ifadesi ise şöyledir,

$$K_{pq} = \frac{\omega}{4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta \varepsilon^{(q)} \left[ E_t^{(p)} E_t^{(q)} - \frac{\varepsilon^{(p)}}{\varepsilon} E_z^{(p)} E_z^{(q)} \right] dx dy \quad 2.8$$

' $\Delta \varepsilon$ ' enine dielektrik sabiti dağılımını vermektedir ve ' $\varepsilon^{(p)}$ ' ise sadece 'p' dalga kılavuzunun enine düzlemdeki dielektrik sabiti dağılımını vermektedir. Bu integral, kırınım ızgarası nedeniyle mod dikliğinin bozulması sonucu ortaya çıkmaktadır ve dolayısıyla dielektrik sabiti farkı ' $\Delta \varepsilon$ ' çarpanına direk bağlıdır, kırınım indisi ile ilişkisi de şöyledir,

$$\Delta \varepsilon(x, y, z) = \varepsilon_o f(x, y) \Delta n^2(z) \quad 2.9$$

Tamamen periyodik olmayan dielektrik yapılarda; Fourier serisi şeklinde yazılabilir ve bu integral her bir Fourier katsayısı için ayrı ayrı yazılmalıdır. Kuplaj denklemlerinin (2.6) çözümü

aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Burada  $K_{pq}$  ile  $K_{qp}$  katsayılarının eşitliği kabul edilmiş ve 'K' ile gösterilmiştir,

$$a(z) = e^{-i\delta z} \left[ \left( \cos(sz) + i\delta \frac{\sin(sz)}{s} \right) a(0) - iK \frac{\sin(sz)}{s} b(0) \right] \quad 2.10$$

$$b(z) = e^{i\delta z} \left[ -iK^* \frac{\sin(sz)}{s} a(0) + \left( \cos(sz) - i\delta \frac{\sin(sz)}{s} \right) b(0) \right]$$

$s^2 = \delta^2 + KK^*$  ilişkisi kullanılmıştır, 's' toplam kuplaj ilişkisini belirlerken;  $\delta = \Delta\gamma - \pi/\Lambda$  kırınım izgarası içerisindeki modların faz uyumsuzluğunu, yani faz eşlemesinden ne kadar uzak olduğunun göstergesidir. Elde edilen sonuçlar için sınır değer koşullarını uyguladığımızda istediğimiz mod kuplaj verimliliği hesaplanabilir. İlk olarak bir modun (a) başlangıç noktasında ( $z=0$ ) tetiklendiğini ve ikinci dalga kılavuzundaki (b) modun ise bu noktada sıfır değere sahip olduğunu varsayabiliriz. Modlar fiber boyunca ( $z$ -yönünde) ilerledikçe, ikinci moddaki ışık gücü bizim verimliliğimizi belirleyen katsayı olacaktır.

$$\eta = \left| \frac{b(z)}{a(0)} \right|^2 \quad 2.11$$

Genel olarak 'a' ve 'b' modlarının farklı dalga kılavuzlarında olması ve farklı dalga kılavuzlardaki farklı modlar olması mümkündür. Bizim modelimizde ikinci moddan temel moda kuplajın yüksek ama temel moddan -temel moda kuplajın ise düşük olması gerekmektedir. Mod kuplaj verimliliği için açık ifade,

$$\eta(z) = c^2 + 1 - \frac{c^2}{1 + \zeta^2} \sin^2 \left[ d \sqrt{k_{pq} \cdot k_{qp}} (1 + \zeta^2)^{\frac{1}{2}} z \right] \quad 2.12$$

$$\zeta = \delta / d \sqrt{k_{pq} \cdot k_{qp}}$$

' $\zeta$ ' akort parametresidir.

Enyüksek verimlilik için gereken boylamasına mesafe ise şöyle hesaplanmıştır,

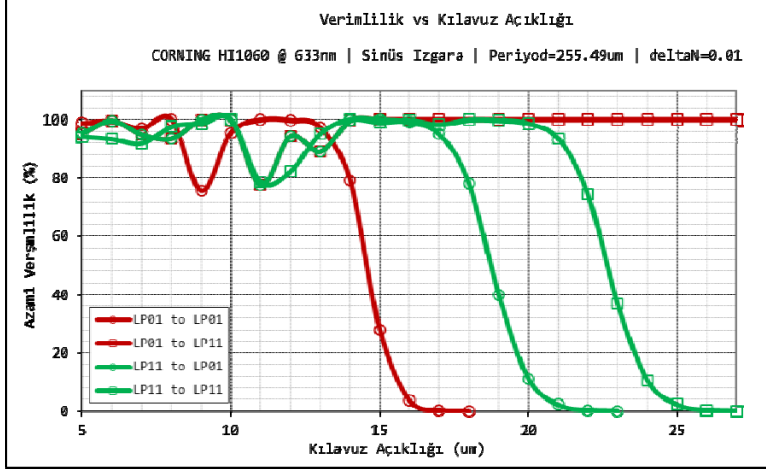
$$l_{\max} = \frac{\pi}{2d \sqrt{k_{ab} k_{ba} (1 + \zeta^2)^{\frac{1}{2}}}} \quad 2.13$$

Mükemmel faz eşleme durumunda ' $\zeta$ ' sifıra eşit olacaktır;  $l = \pi/2dk$  ( $k=k_{ab}=k_{ba}$ ) ifadesinde eğer mod dikliği bozulmamışsa ( $k=0$ ) gerekli mesafe sonsuz çıkacaktır, yani enerji aktarımı ideal modlar için sonsuz mesafeye ihtiyaç duyacak, yada aktarım olmayacaktır, diyebiliriz.

## 2.2 Sabit Izgara Kuplaj Verimlilik Hesapları

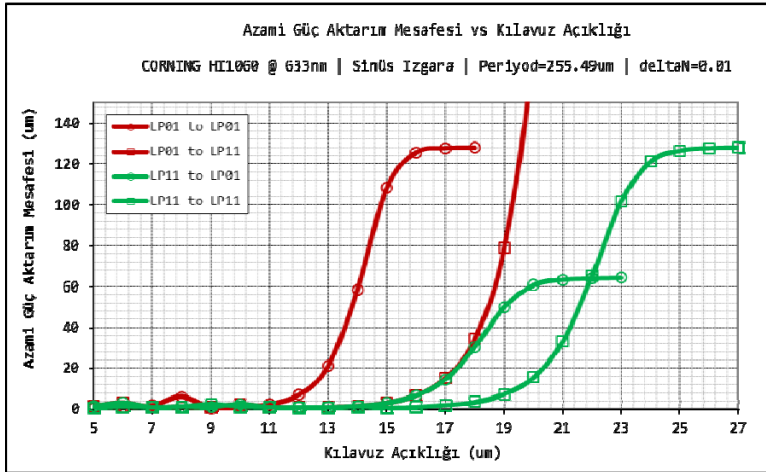
Corning HI1060 optik fiber, projede kuplörler için kullanılacak fiber olmasından dolayı iki modu destekleyecek şekilde 633 nm lazer ışığıyla modellenmiş ve modlar arasındaki kuplaj verimliliği hesaplanmıştır. Fiber parametreleri çekirdek kırılma indisi:  $n_{\text{Core}}=1.4572$ , kılıf kırılma indisi:  $n_{\text{Clad}}=1.4507$  ve çekirdek yarıçapı:  $a=2.65\mu\text{m}$  olarak alındığında iki modu desteklemektedir; yayılım sabitleri  $\beta_{01} = 1.444714490226709 \times 10^7$  (1/m) ve  $\beta_{11} = 1.442255268723464 \times 10^7$  (1/m).

Tüm mod alanlarının kılavuzlar boyunca propagasyonu hesaplanmış ve her bir modun her bir moda kuplaj verimliliği propagasyon mesafesine bağlı olarak elde edilmiştir. Esas alınan hedef kuplaj girişindeki ikinci moddan ( $LP_{11}$ ) çıkıştaki modlara gerçekleşen kuplajdır ve temel moddan ( $LP_{01}$ ) bunun dışında kalan modlara gerçekleşecek kuplajın minimuma indirilmesidir. Önceki bölümde verilen ifadeler kullanılarak girişteki ikinci moddan ( $LP_{11}$ ) çıkıştaki temel moda ( $LP_{01}$ ) faz eşlemesini sağlayan ızgara periyodu  $255.49\mu\text{m}$ 'dir. Buna göre elde edilen sonuçlar Şekil 2.2 de aşağıda verilmiştir.



**Şekil 2.2 Sinüs Biçimli Sabit Kırınım Izgarası İçin Kuplaj Verimlilikleri**

Şekilde sinüs biçimli kırınım ızgarası değişimi kabul edilerek yapılan verimlilik hesabı sonuçları görülmektedir. Yüzde yüz verimlilik, hiç kayıp olmadığı teorik bir sonuçtur, ayrıca LP<sub>01</sub> modundan LP<sub>11</sub> moduna her zaman enyüksek verimlilikle kuplaj gerçekleşmektedir, çünkü faz eşlemesi bu modlar içinde sağlanmaktadır.

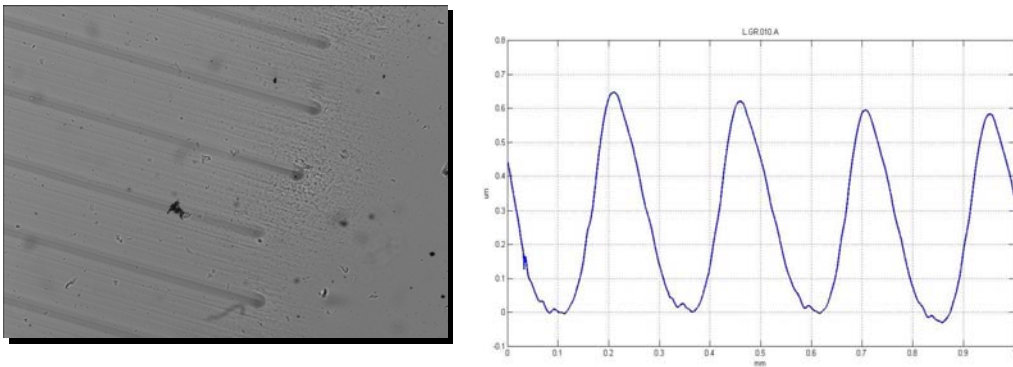


**Şekil 2.3 Kılavuz Açıklığına Göre Her Moda Aktarım Enfazla Mesafesi**

Giriş fiberinde her iki moda ait ışık enerjisinin enyüksek verimlilikle kuplaj edileceği mesafesinin, dalga kılavuzlarının aralığına göre değişimi gözükmemektedir. Grafik üzerinde her bir noktanın kuplörün gerçekleşme/tasarım özelliğini belirtmektedir ve böylece çalışma özelliğini karakterize etmektedir. Temel  $LP_{01}$  modunun 17 micronluk bir kılavuz . açıklığından sonra kuple olmadığı, ancak  $LP_{11}$  den  $LP_{01}$  ve  $LP_{11}$  çıkış fiber modlarına aktarımın gerçekleştiği gözükmemektedir. Elde edilmiş olan sonuçlar, tasarlanan yapı ile selektif olarak mod kuplajı elde etmenin mümkün olduğunu, bunun yanında mod geçirgenliği ve seçici kuplaj için gerek kılavuz açıklığı gerekse azami kuplaj mesafesi parametrelerinin hassas bir şekilde ayarlanması gerektiğini göstermektedir.

### 2.3 Fotopolimerize Kırınım Izgara Yapısı

Gerçekçi bir model için dalga kılavuzları arasındaki kırınım ızgarasının fotopolimerizasyon ile elde edildiği gerçeğinin hesaplamalara yansıtılması gerekmektedir. Tasarlanan kırınım ızgarasının periyotları fotopolimerizasyonu yapan lazerin (ışın) adımlarıyla belirlenmektedir ve tam istenilen aralıklarda gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte her bir fotopolimerizasyon çizgisinin geometrisi ve kırınım indisi dağılımı kesin değildir. Yüzey geometrisi profilometre ve/veya SEM ile belirlenebilsede polimerin alt katmanında ki kırınım ızgarasının dağılımını tanımlamak kolay değildir. Karmaşık geometrik kırınım indisinin yapısının belirlenmesi için bir difraksiyon yöntemi geliştirilmiş ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir (Dinleyici, 2011). Aşağıdaki şekilde, fotopolimerizasyon ile yazılan dalga kılavuzlarının kırınım indisi dağılımının polarize optik mikroskop ile alınan görüntüsü ve kırınım ızgarasının profilometre çizimi verilmektedir.

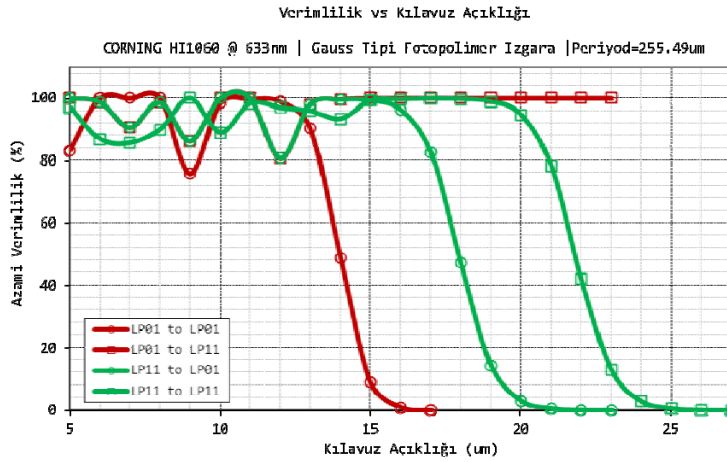


**Şekil 2.4 Fotopolimerizasyon Dalga Kılavuzları ve Profilometre Geometrisi**

Fotopolimerize dalga kılavuzlarının enine geometrisi birden fazla Gauss fonksiyonu ile modellenebilir. Ayrıca, dalga kılavuzlarının derinliğine indis dağılımı ise difraksiyon yöntemiyle belirlenebilir (Dinleyici, 2011). Kırınım ızgarası için elde edilen gerçekçi modellerin matematiksel hesaplamalara dahil edilmesiyle modlar arasında ki kuplaj verimlilikleri daha yüksek hassasiyetle hesaplanabilmektedir. Daha sonraki bölümlerde karakterizasyon ve modelleme çalışmaları detaylandırılmıştır, bundan önce gerçekçi modele dayalı kuplaj verimlilikleri bir sonraki bölümde hesaplanmıştır.

## 2.4 Gauss Kırınım ızgarası modeli

Optik fiberlerin arasına yerleştirilen kırınım ızgarasının daha gerçekçi olarak, fiziksel ölçümlere dayalı olarak modellenmesi ve verimliliğin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Kırınım indisi geometrik modelinin Fourier serisi açılımı ile ifade edilmesi ve her bir harmonik için verimliliğin hesaplanması; son olarak toplam (kümülatif) verimliliğin elde edilmesiyle aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

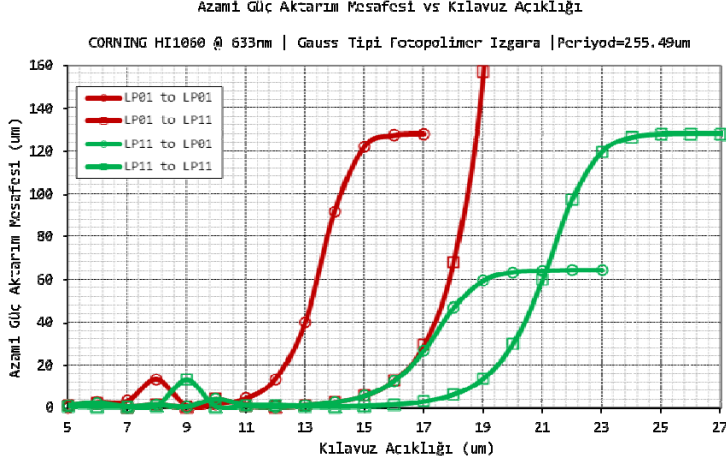


### Şekil 2.5 Gauss Kırınım ızgarası Modeli İçin Kuplaj Verimlilikleri

Sinüs verimlilik değerleriyle Gauss modelinin çok benzer olduğu ancak küçük kılavuz açıklıklarında verimlilik grafiğinin salınımının değiştiği gözlenmiştir. Bu durum temel



periyotun çok net olarak aynı kaldığı, sadece kırınım ızgarasını oluşturan dalga kılavuzlarının enine modelinin değiştirilmiş olması gerçeğiyle açıklanması mümkündür. 17 Microndan büyük kılavuz açıklığı için  $LP_{01}$  den  $LP_{01}$  mod kuplajı sıfırlanmaktadır.



**Şekil 2.6 Gauss Model için Azami Güç Aktarım Mesafesi**

Ancak, aynı zamanda  $LP_{11}$  den  $LP_{11}$  ve/veya  $LP_{01}$  kuplajının en fazla olması istenmektedir ki bu durumu grafikteki yeşil çizim ile gösterilen eğrilerin en fazla değere sahip olmasına denk gelmektedir. Benzer şekilde simetri olduğu için  $LP_{01}$  den  $LP_{11}$  geçişinde en az olması istenmektedir ki bunu sağlamak kolay değildir çünkü  $LP_{11}$  den  $LP_{01}$  moduna kuplaj için aynı anda fazı eşlenmektedir. Bu durumda azami kuplajın  $LP_{11}$  den  $LP_{11}$ 'e olacak şekilde kuplaj parametrelerinin ayarlanması daha doğru olacaktır.

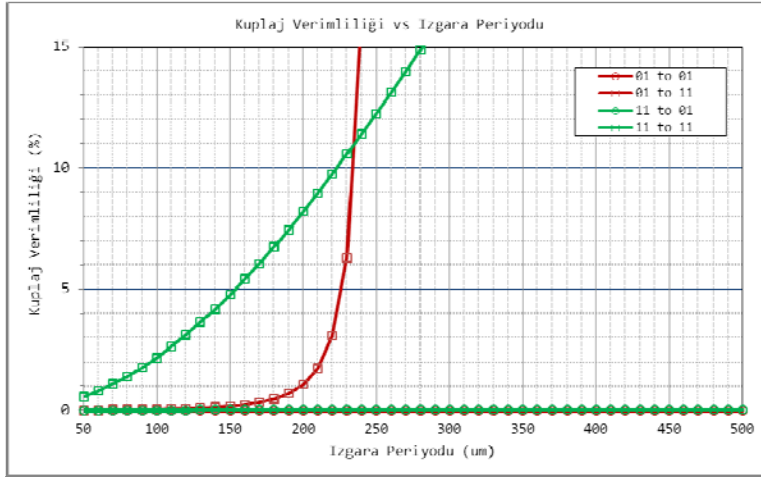
Yukarıda belirtildiği gibi  $LP_{11}$  den  $LP_{11}$  e kuplajın azami olması için kılavuz açıklığının 23 micron civarında seçilmesi gerekmektedir. Bu durum için elde edilen sayısal değerler şöyledir;

**Tablo 1. Optik Fiber Özellikleri ve Hesaplanan Kuplör Sayısal Değerleri**

Giriş Fiberi	Fiber Tipi	Corning HI1060
	Çekirdek indisi	1.4572
	Kılıf indisi	1.4507

	Çekirdek yarıçapı	2.65 $\mu$ m
	İşaret Dalgaboyu	632.8nm
	Desteklenen Modlar	LP01, LP11
	Kılavuz Açıklığı	23 $\mu$ m
	Aygıt Uzunluğu	0.83mm
Kuplaj Verimliliği	LP <sub>01</sub> 'den LP <sub>01</sub> 'e	0.00%
	LP <sub>01</sub> 'den LP <sub>11</sub> 'e	8.44%
	LP <sub>11</sub> 'den LP <sub>01</sub> 'e	0.02%
	LP <sub>11</sub> 'den LP <sub>11</sub> 'e	12.70%

Kuplör uzunluğu (aygıt uzunluğu) LP<sub>11</sub>'den LP<sub>11</sub>'e kuplajı azami yapmak için enuygun olarak vuru mesafesine göre seçilmiştir. Görüldüğü üzere % 12.7 verimlilik hala oldukça düşüktür. Bu nedenle başta girdi olarak alınan LP<sub>11</sub>'den LP<sub>01</sub>'e faz eşleyen ızgara periyodu değiştirilerek aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



**Şekil 2.7 Kuplaj Verimliliğinin Izgara Periyodu ile Değişimi**

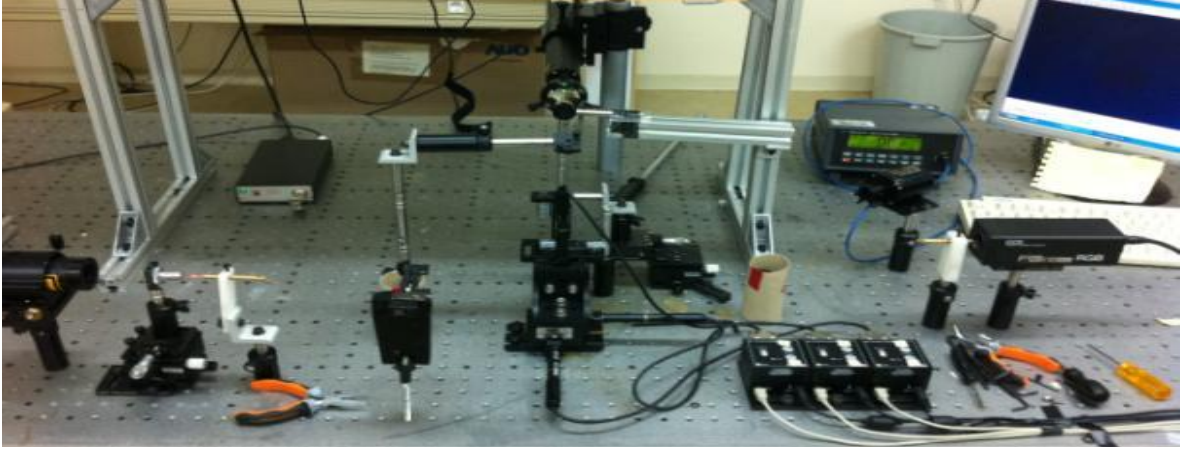
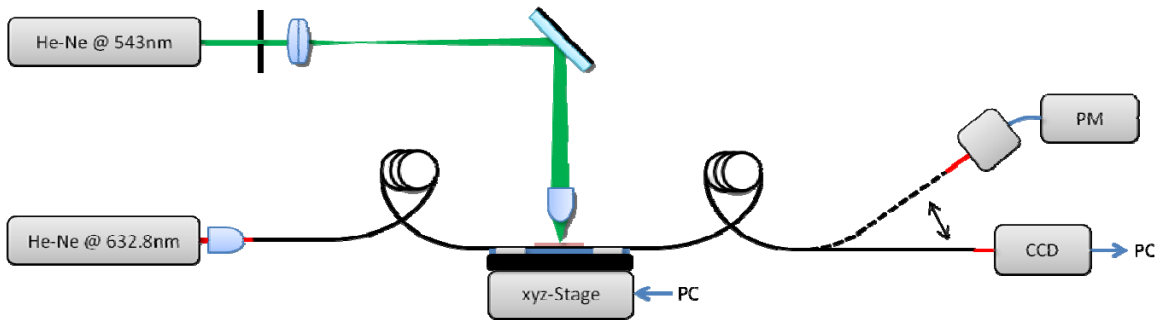
Kırınım ızgarasının periodunu değiştirerek bir miktar daha verimliliğin artırılması mümkün gözükmektedir. Faz eşlemesini sağlayan periyodun az miktarda da olsa değiştirilmesi LP<sub>11</sub>'den LP<sub>11</sub>'e kuplaj verimliliğini artırırken, LP<sub>11</sub>'den LP<sub>01</sub>'e olan faz eşleminin bozulması nedeniyle verimliliği düşürmektedir. Pratik olarak kırınım ızgarasının gerçekleştirilmesinin bir çok parametreye bağlı olduğu ve istenilen çözünürlükte ve geometride elde edilmesi

mümkün olmadığı gerçeğini de gözönünde bulundurmak gerekmektedir. Bu nedenle fotopolimerize kırınım ızgarası deneysel olarak detaylı olarak incelenmiştir.

### III. Deneysel Optik Fiber Üzerine Kırınım Izgarası Kuplaj Çalışmaları

#### 3.1 Deneysel Düzenek

Karakterizasyonu yapılan fotopolimerize dalga kılavuzlarından oluşturulan kırınım izgaralarının mod transfer verimliliğinin test edilebilmesi için aşağıdaki düzenek kurulmuştur.



**Şekil 3.1 Sabit Izgara İle Mod Kuplaj Verimliliğinin Ölçüm Düzenegi: Prensip Çizimi ve Fotoğrafi**

Yanal yüzeyi inceltilmiş optik fiberin (Corning, HI1060) üzerine yerleştirilen polimerin özellikleri ve reçetesi önceki çalışmalarda verilmişti . 543 nm Lazer ile işlenebilen polimerin 632.8 nm de sadece iki modu desteklediği bilinmektedir. Deneysel çalışmada, iki modun 632.8 nm kaynaktan sürülmesiyle başlayan süreç; polimer yapının (film) optik fiberin inceltilmiş yüzeyine

yerleştirilmesi, kırınım ızgarasının adım adım yazılması ile devam eden ve polimerin kurutulmasıyla sonlanan bir zaman dilimini kapsamaktadır.

**Tablo 2. Corning HI1060 Optik Fiber Parametreleri**

Corning HI1060	Value	Unit
Nominal çalışma dalga boyu	> 980	nm
Kesim dalga boyu	$920 \pm 50$	nm
Kılıf Çapı	$125 \pm 0.5$	$\mu\text{m}$
Nüve Çapı	5.3	$\mu\text{m}$
Kaplama Çapı	$245 \pm 15$	$\mu\text{m}$

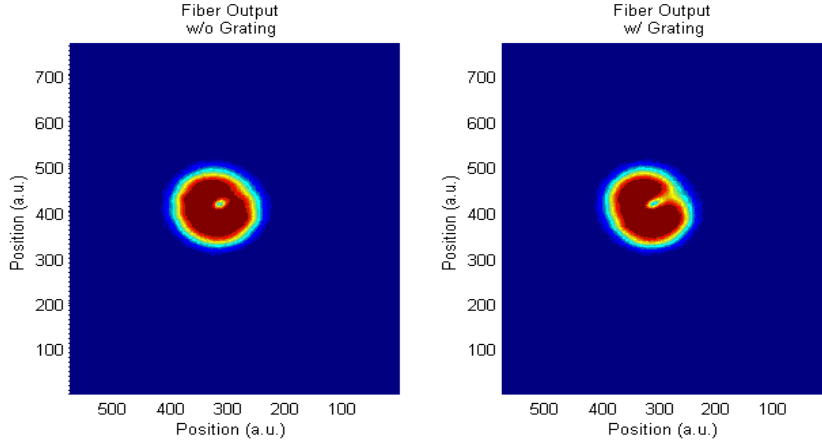
Tüm süreç boyunca iki modun taşıdığı ışık gücünün monitör edilmesiyle (optik güç metre), modlar arasında ki geçiş (güç aktarımı) ve modlara ait gücün değişimi izlenmektedir (CCD kamera ile).



**Şekil 3.2 Yanal Yüzeyi İnceltilmiş Optik Fiber ve Polimer Film Üzerinde Kırınım Indisi Iızgarası Olan Deney Örneği**

Modlara ait güçlerin belirlenmesi için modların yakın alan difraksiyon modelleri ve mod dikliği kullanılmaktadır. CCD kamera ile kaydedilen yakın alan difraksiyon deseni, iki moda ait difraksiyon desen modellerinin katsayılarla çarpılması ve toplanması sonucu elde edilen desenle

eşlenmektedir (katsayı oranını belirler) ve toplam ışık gücünün güç metre ile okunan değere ayarlanmasıyla katsayılar belirlenmektedir.



**Şekil 3.3 Çift Moda Ait Işık Yoğunluğu CCD Kaydı**

Fiberin desteklediği iki modun kırınım ızgarası ile etkileştiğinde modlardaki ışık gücü değişimi modlar arası aktarım verimliliğini ifade etmektedir, ancak ikinci bir optik fiber olmadığı için gerçekten kuple olan ışık gücünü vermemektedir. Benzetim çalışmalarında ortaya koyduğumuz kılavuzlanmış modlar arasındaki güç aktarımı yerine, kılavuzlanmış modlardan ışınım modlarına kuple olan güç aktarımı söz konusudur. Bu nedenle, çalışmada test edilen aygıtın, kırınım ızgarasının karakterizasyonu elde edilmiş olmaktadır. İki modun kırınım ızgarası ile etkileşimi sonucu, faz eşlemesi sağlanan aynı fibere ait modlar arasında güç aktarımı beklenmektedir. Şekil 2.16 da iki moda ait ışık yoğunluk diyagramları kırınım ızgarası varken ve yokken görünmektedir. Modlar arasında güç aktarımı görülmekle birlikte oldukça düşük değerlerdedir.

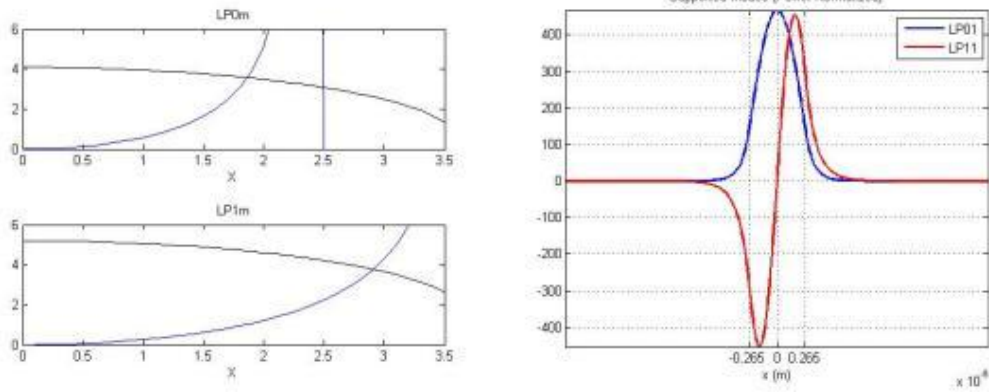
**Tablo 3. Toplam güç değişimi**

Çıplak fiber çıkış gücü	<b>558±10nW</b>
İşlenmemiş polimer kaplı fiber çıkış gücü	<b>79,5±10nW</b>
44 adım ızgara yazılmış fiber çıkış gücü	<b>79,5±10nW</b>

Yanal yüzeyi inceltilmiş optik fiberin üzerine yerleştirilen polimerin kırınım indisi 1.503 civarındadır( 1.531'e kadar çıkabilmektedir) ve yerini aldığı fiberin kılıfının kırınım indisi 1.4507 dir. Bu durumda modlara ait ışık gücünün çok büyük kısmı ışınım modları tarafında saçılmaktadır, çok az bir miktarı fiber içerisinde kalabilmektedir (Dinleyici, 1998). Ölçüm sonuçları Tablo 3 de verilmektedir, başlangıçta 558 nW olan modların toplam gücü, polimer yerleştirildikten sonra 79.5 nW değerine düşmekte, kırınım ızgarasının yazılmasından sonra ise toplam güç değişmemekle birlikte, modlar arası geçiş olduğu gözlemlenmektedir. Modlar arasında faz eşleşmesinin sağlandığını bunun sonucunda modların taşıdığı ışık gücünün modlararasıda yeniden dağıldığını söyleyebiliriz.

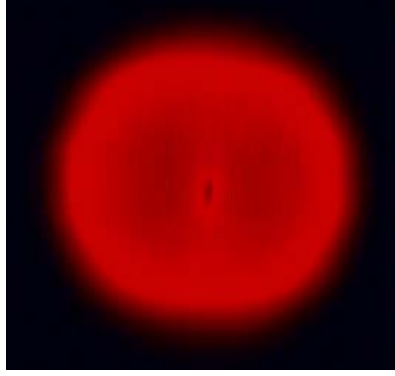
### 3.2 Modlar Arası Kuplaj Katsayısının Belirlenmesi ve Doğrulanması

Corning HI1060 fiber 632.8 de iki modu desteklemektedir, bunlar  $LP_{01}$  and  $LP_{11}$ .



**Şekil 3.4 Desteklenen Modlar**

Bahsedilen iki modun fiber çıkışında ölçülen güç oranı ve profili 632.8 nm için şöyledir: Fiber çıkış gücü 558 nW ölçülmüştür ve profili şekilde verilmektedir. Fiberin sadece kenarı inceltilmiş durumda, henüz fotopolimer film yerleştirilmemiştir.



Şekil 3.5 Mod profili: İki mod birlikte

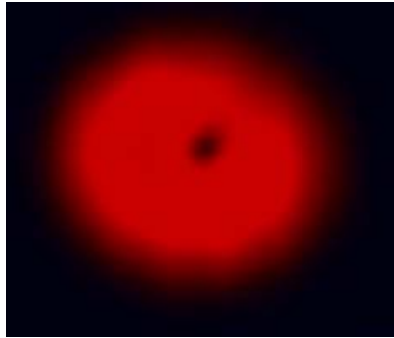
Fiber içinde ilerleyen iki modun toplam ışık yoğunluk dağılımı Şekil 3.2.3 de verilmektedir.

Fiber üzerine yerleştirilecek fotopolimer için kullanılan tarif şöyledir:

Tablo 4. Fotopolimer Reçetesi

Material	Ratio in the solution	Calculated amount in 15ml aqueous solution	Form
H <sub>2</sub> O	-	(15g)	Liquid
PVA	10% w/v H <sub>2</sub> O	1.5g	Powder
TEA	0.199M	0.445g	Liquid
AA	0.446M	0.475g	Powder
YE	2.5x10 <sup>-4</sup> M	2.4mg	Powder

Elde edilen polimer fiber üzerine dökülmüş ve kalınlığı doktor blade metodu ile ayarlanarak film haline getirilmiş, daha sonra 24 saat boyunca kür edilmiştir. Süreç sonunda elde edilen örneğin fiber çıkış gücü 79.5 nW ve mod profili şekilde verilmektedir.



Şekil 3.6 Kırınım Izgarası Öncesi Mod Profili



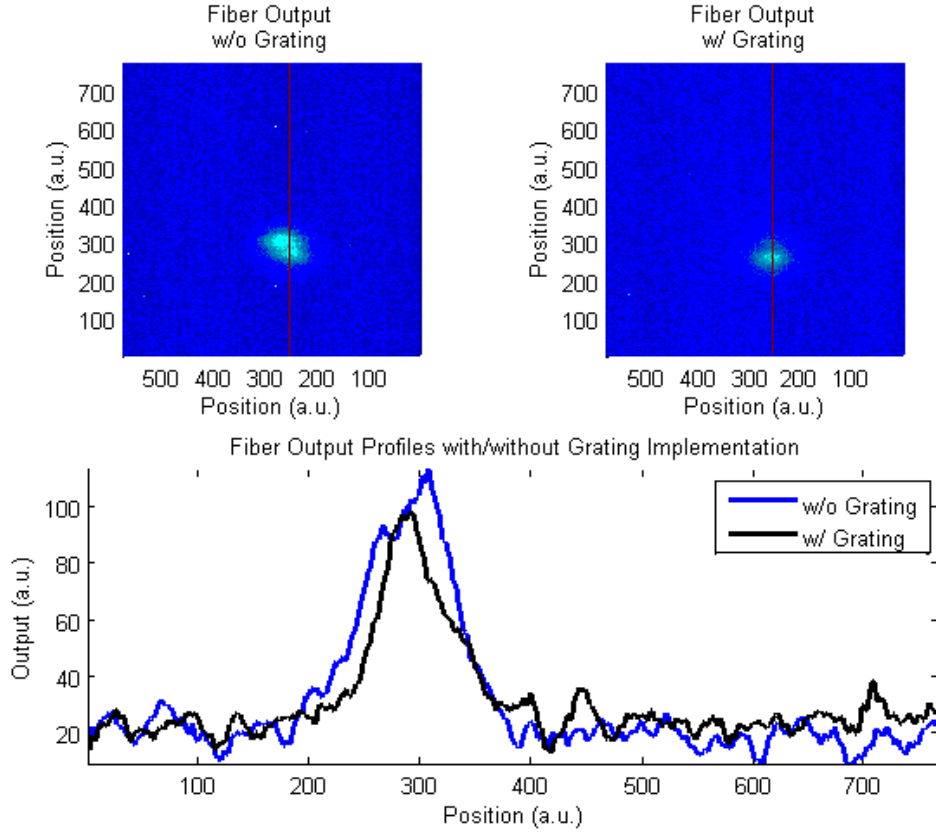
Kenarı inceltiilmiş fiber in yanal yüzeyi üzerine yerleştirilen polimer film fiberde ilerlemekte olan modlara ait ışık miktarını ciddi bir şekilde etkilemektedir. Bu durum literatürde de var olan ve yüksek kırınım indisi nedeni ile güç çekimi (sink) etkisi ile açıklanmaktadır.

Son adım olarak polimer film üzerine doğrudan lazer ile yazım tekniği kullanılarak ızgara oluşturulması çalışmasıdır. Şekilde ızgara yazılmış iki mod fiberin çıkış ışık yoğunluk dağılımı gözükmektedir. Önceki şekil ile karşılaştırıldığında mod dağılımındaki değişim gözükmektedir. Çıkış toplam güç miktarında ciddi bir değişiklik gözlenmemiştir, bu da etkileşimin yeterince güçlü olmadığı anlamına gelmektedir.



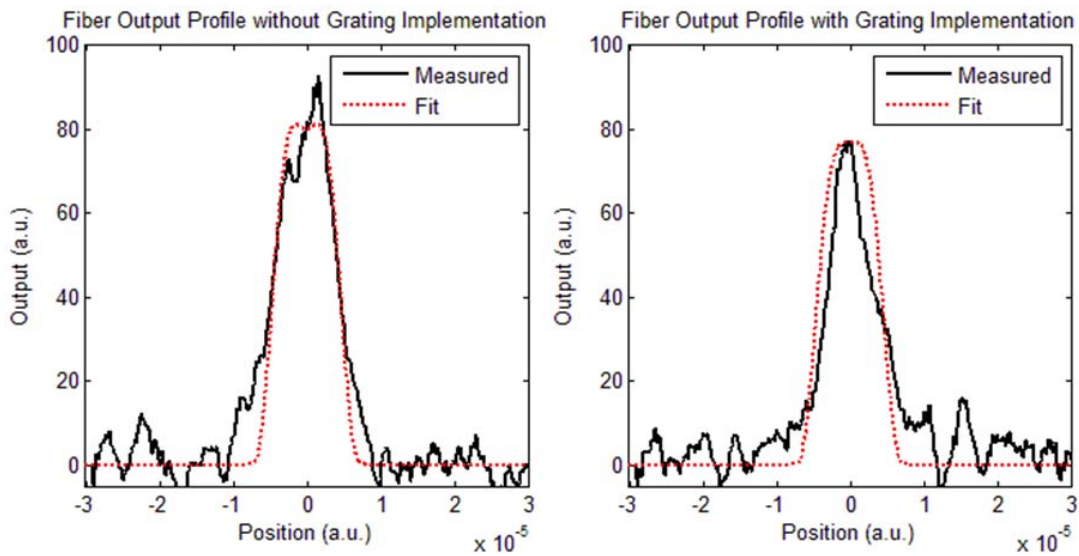
**Şekil 3.7 Kırınım Iızgarası Sonrası Mod Profili**

Üretim sürecinin optimize edilmesi ve kalitesinin yükseltilmesiyle bir dizi örnek hazırlanmıştır. Bu örneklere ait çıkış dağılım ve ışık yoğunluk bilgileri kullanılarak mod seçicilik özelliği hesaplanabilmiştir. Şekilde verilen iki ayrı duruma ait birleşik mod dağılımları ve kesit çizimleri gözükmektedir. Mod profillerinin örtüşme katsayılarının hesaplanması ile modlar arası güç aktarımı daha net olarak ortaya konabilmiştir.



**Şekil 3.8 Mod Işık Yoğunluğu Kesit ve Dağılımları**

Resimler üzerindeki çizgiler boyunca alınan kesit ışık yoğunluk dağılımları kullanılarak mod katsayıları (içerikleri) hesaplanabilmektedir.



**Şekil 3.9 Mod Işık Yoğunluk Dağılımı Eşlemeleri**

Her bir durum için modlar ölçülen profile uydurulduğunda (fit) katsayılar belirlenebilmiştir. Kırınım ızgarası olan durumda mod seçici filtre özelliğinin ispatlanması için LP<sub>11</sub> modundan LP<sub>11</sub> moduna aktarılan güç ile LP<sub>01</sub> dan LP<sub>01</sub> ömoduna aktarılan güçlerin karşılaştırılması gerekmektedir. Teorik hesaplamalarda birincisi için yüzde 12 lik bir verimlilik beklenirken ikinci kuplajda sıfıra yakın bir değer beklenmektedir.


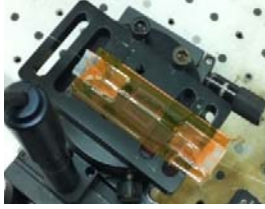

**Tablo 5. Modlar Arası Kuplaj Değerleri**

<b>Input fiber</b>	<b>Type</b>	Corning HI1060
	<b>Core index</b>	1.4572
	<b>Clad index</b>	1.4507
	<b>Core radius</b>	2.65 $\mu$ m
<b>Signal wavelength</b>		632.8nm
<b>Supported modes</b>		LP <sub>01</sub> , LP <sub>11</sub>
<b>Waveguide separation</b>		23 $\mu$ m
<b>Device length</b>		0.83mm
<b>Calculated coupling efficiency</b>	<b>LP<sub>01</sub> to LP<sub>01</sub></b>	0.00%
	<b>LP<sub>01</sub> to LP<sub>11</sub></b>	8.44%
	<b>LP<sub>11</sub> to LP<sub>01</sub></b>	0.02%
	<b>LP<sub>11</sub> to LP<sub>11</sub></b>	12.70%

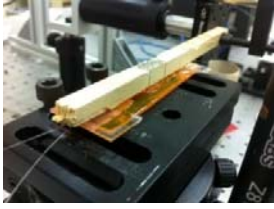
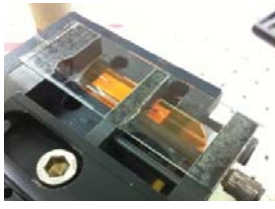
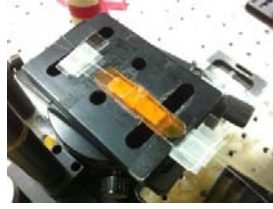
Yapılan ölçümler sonucunda kuplaj verimliliğinin yüzde 7.635 olduğu ortaya çıkarılmıştır, bu değer teorik beklentiden yüzde beş kadar daha azdır.

Benzer şekilde bir kaç örnek daha hazırlanmıştır ve bunlara ait detaylar tablo olarak aşağıda verilmiştir.

**Tablo 6. Farklı Örnekler: 632.8 nm ve 852 nm içindir**

#	Trial 1	Trial 2	Trial 3
Device			
Operation wavelength	632.8nm	632.8nm	852nm
Calculated efficiency	12.70%	12.70%	68.64%
Measured efficiency	2.23%	7.64%	15.74%
Measurement techniques	CCD, OPM	CCD, OPM, modal fit	OPM

**Tablo 7. Farklı Örnekler: 632.8 nm ve 852 nm için polarizasyon kontrollü**

#	Trial 4	Trial 5	Trial 7
Device			
Operation wavelength	852nm	852nm	632.8nm
Calculated efficiency	68.64%	68.64%	12.70%
Measured efficiency	33.27%	38.88%	7.45%
Measurement techniques	OPM	OPM, OSA	OPM, OSA, polarizer+CCD

Üçüncü, dördüncü ve beşinci örnekler 852 nm için hazırlanmıştır. Bu örnekler için teorik hesaplamalar daha yüksek bir kuplaj verimliliği öngörmektedir, Tablo 7 de verilmiştir.

**Tablo 8. 852 nm İçin Kuplaj Hesaplamaları**

<b>Input fiber</b>	<b>Type</b>	Corning HI1060
	<b>Core index</b>	1.4572
	<b>Clad index</b>	1.4507
	<b>Core radius</b>	2.65 $\mu$ m
<b>Signal wavelength</b>		852nm
<b>Supported modes</b>		LP <sub>01</sub> , LP <sub>11</sub>
<b>Waveguide separation</b>		55 $\mu$ m
<b>Device length</b>		10.88mm
<b>Calculated coupling efficiency</b>	LP <sub>01</sub> to LP <sub>01</sub>	0.00%
	LP <sub>01</sub> to LP <sub>11</sub>	2.08%
	LP <sub>11</sub> to LP <sub>01</sub>	1.99%
	LP <sub>11</sub> to LP <sub>11</sub>	68.64%

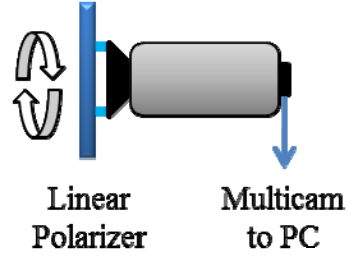
Ölçüm sonuçları 632.8 nm için yapılanlardan daha iyi olmakla birlikte (yüzde 15.74) 3.örnek için tahmin edilen değerlerden (yüzde 68.64) oldukça aşağıda kalmaktadır.

Diğer örnekler için geliştirilmiş süreç yöntemi uygulanarak daha hassas değerlerde aygıtlar hazırlanmıştır. Dördüncü ve beşinci örnekler de verimlilik sırasıyla % 33.27 ve % 38.88 olarak bulunmuştur ki beklentinin % 68.64 olduğu bir durum için oldukça iyidir.

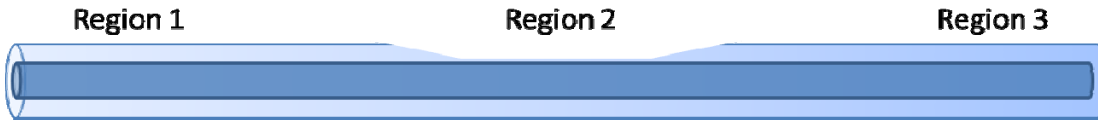
Son olarak 632.8 nm için hazırlanan örneğin OSA (Optik Spektrum Analizatör) ile incelemesi yapılmış ve polarizasyon etkileri de incelenmiştir.

### 3.3 Mod Polarizasyon Özellikleri ile Mod İçeriklerinin Belirlenmesi

Polarizasyon ölçümleri için CCD kamera önüne yaprak polarizer (sheet polarizer) yerleştirilerek açısal değişime karşılık mod değişimleri incelenmiştir. Şekilde 3.2.7 de düzenek gözükmektedir.



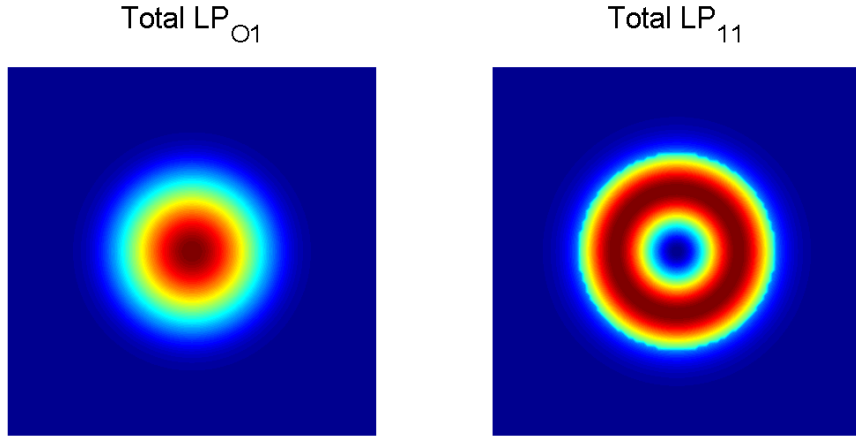
Şekil 3.10 Polarizasyon Analiz Düzeneği ve Resmi



Şekil 3.11 Mod Filter Aygıt Modeli

Şekil 3.8 de verilen aygıt modelinde giriş fiberi ile çıkış fiberi arasında kenarı inceltilmiş optik fiber (ikinci bölüm) bölümü bulunmaktadır. Başlangıçta (giriş fiberinde) sadece iki mod yüklense bile ikinci bölümde bu modların yanal yüzeye dik ve paralel olmak üzere iki mod gurubuna ayrıldığını hesaba katmak gerekmektedir.

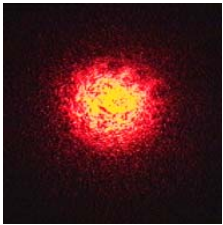
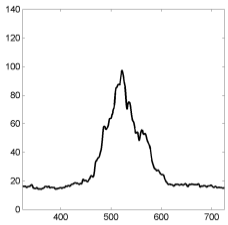
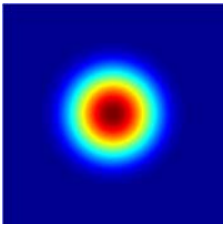
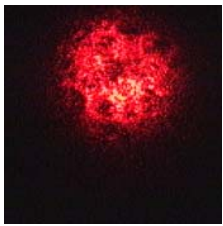
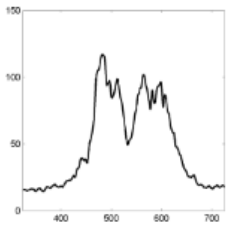
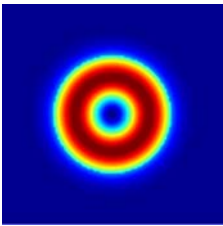
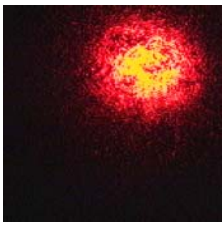
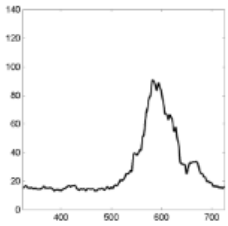
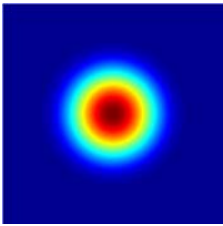
Giriş fiber modlarına ait hesaplanan ışık yoğunluk dağılımları şöyledir:

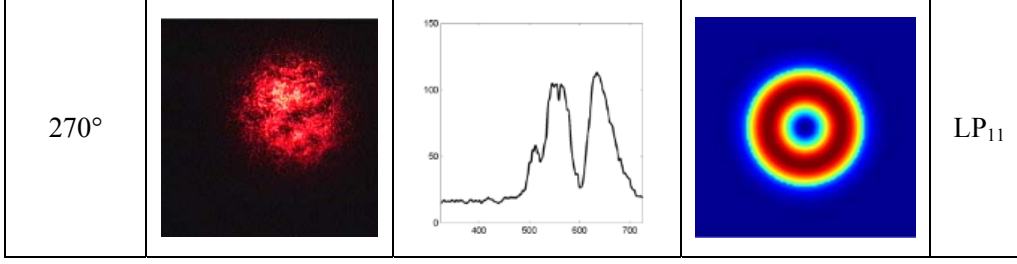


**Şekil 3.12 Temel Modlara ait Işık Yoğunluk Dağılımı**

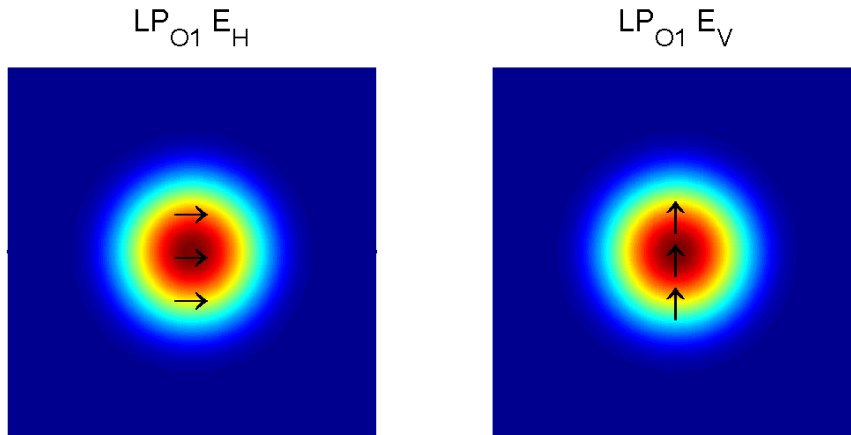
Temel modlara ait farklı polarizasyon açılarında ki ışık yoğunluk dağılım ölçümleri ve hesaplamalar ile birlikte kesit çizimleri Tablo 8 de verilmektedir.

**Tablo 9. Giriş fiberine ait (Normal Fiber) Modlar ve Işık Yoğunluk Dağılımları**

Polarizer angle	Measured	Cross-section	Calculated	Mode
0°				LP <sub>01</sub>
90°				LP <sub>11</sub>
180°				LP <sub>01</sub>

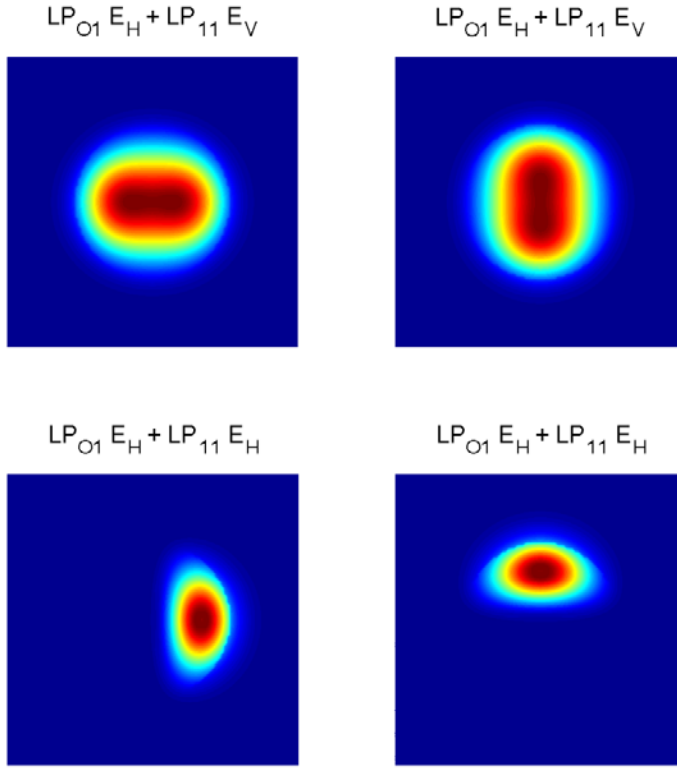


İkinci bölgedeki LP01 modlarına ait hesaplanan ışık yoğunluk dağılımları aşağıda ki şekilde verilmektedir.

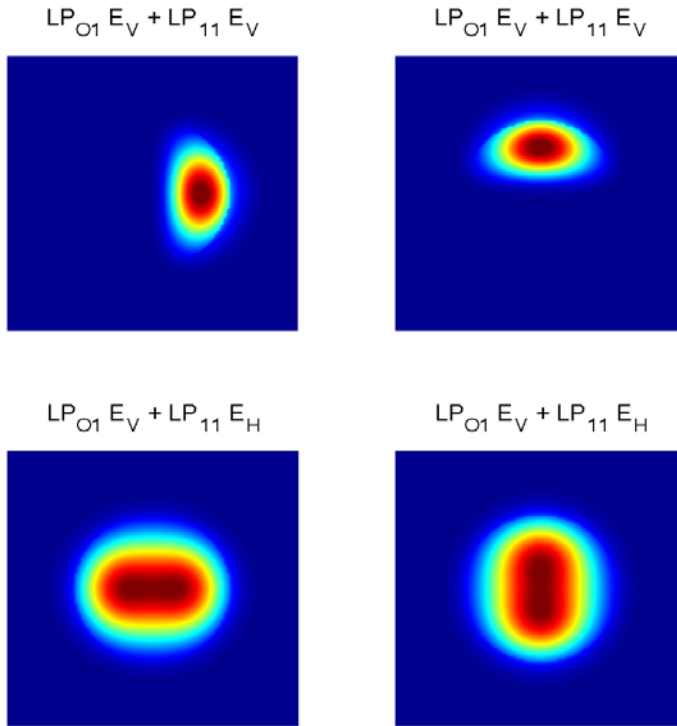


**Şekil 3.13 LP01 Yatay ve LP01 Dikey Modlara Ait hesaplanan Işık Yoğunlukları**  
 LP11 moduna ait ikinci bölge modlarının kombinasyonları şekil 3.2.11 da verilmektedir.





**Şekil 3.14 LP01 ve LP11 modlarının 2.bölgede kombinasyonları**



**Şekil 3.14 Devamı**

Bu modların farklı kombinasyonları ile görüntülenen modlara ait ışık yoğunluk dağılımları ya da kuplaj katsayıları hesaplanabilir/ bulunabilir.

Farklı polarizasyon açılarıyla alınan görüntülerden oluşan ışık yoğunlukları ile karşılık gelen modlara ait kombinasyonlar aşağıdaki tablolarda verilmektedir. 45 derecelik açılarla alınan görüntüler LP01 ve LP11 modlarının içeriğinde yer alan HE, TE ve TM modlarının kombinasyonundan oluşan ışık yoğunluk dağılımı-görüntüsünü vermektedir.

Tablolarda ki dördüncü kolonda verilen çizimler çıkış fiberinde ki mod içeriklerinin kombinasyonunu vermektedir. İkinci kolonda verilen deneysel resimler ve üçüncü kolonda verilen kesit çizimler katsayı hesaplaması için kullanılmaktadır.

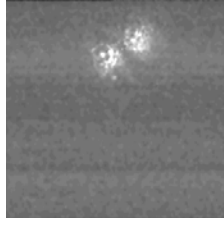
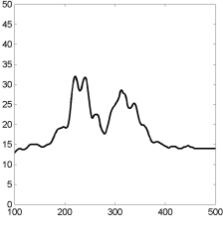
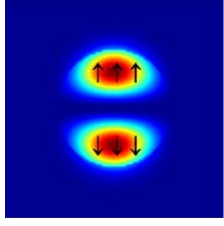
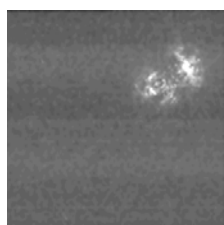
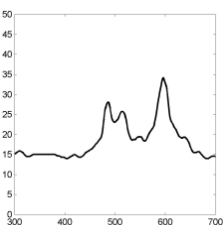
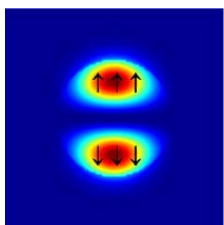
**Tablo 10. Kenarı inceltilmiş fibere ait mod kombinasyonları ve CCD kayıtları**

Polarizer angle	Measured	Cross-section	Calculated	Mode
0°				LP <sub>11</sub> E <sub>V</sub>
45°				LP <sub>01</sub> E <sub>H</sub> + LP <sub>11</sub> E <sub>V</sub>
90°				LP <sub>11</sub> E <sub>H</sub>
135°				LP <sub>11</sub> E <sub>V</sub> + LP <sub>11</sub> E <sub>H</sub>

180°				$LP_{11} E_V$
225°				$LP_{01} E_H$ + $LP_{11} E_V$
270°				$LP_{11} E_H$
315°				$LP_{11} E_V$ + $LP_{11} E_H$

180 derece polarizasyon açısı farkı olan durumlarda elde edilen ışık yoğunluklarının deney sürecinin tekrarlanabilirliğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte her bir ölçümde küçük farklılıkların kaçınılmaz bir şekilde ortaya çıktığını da gözlemleyebiliyoruz.

**Tablo 11. Kırınım ızgarasından sonra ki mod kombinasyonları için ışık yoğunluk dağılım grafikleri ve ölçümleri**

Polarizer angle	Measured	Cross-section	Calculated	Mode
0°				LP <sub>11</sub> E <sub>V</sub>
180°				LP <sub>11</sub> E <sub>V</sub>

Sadece LP11 modunun dik polarizasyon kombinasyonunun ağırlıklı olarak çıkış fiberinde bulunduğu ortaya konmuştur. Bu iki dağılım tıpkı aynı olmasa bile loplara bulunduğu noktalar ve uzaklıkları ile simetri özellikleri aynı mod bileşenlerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bir çok modun bir arada bulunduğu ortamda faz farklılıklarının kritik bir önemi bulunmaktadır. Bir birini yok edecek olan mode alan değerlerinin küçük bir farktan dolayı tam sıfırlanamaması söz konusu olabilmektedir. Mod fazlarının çevresel koşullara ve fiber özelliklerine ne kadar duyarlı olduğu çok iyi bilinen bir durumdur.

#### **IV. Sonuç**

Projenin temel amacı fiber üzerinde mod seçici bir filitrenin tasarlanarak gerçekleştirilmesi ve modlar üzerinde ki etkisinin araştırılması olarak belirtilmiştir. Fotopolimerin ile optik aygıt yapılması da lazer ile doğrudan yazım tekniği ile kırınım değişikliği yaratılması yenilikçi olmasa da bunların birleştirilerek kenarı inceltilmiş optik fiber üzerine bir aygıt tasarlamak yenilikçi bir çalışma olarak gerçekleştirilmiştir.

Kenarı inceltilmiş optik fiberlerin üzerine farklı özelliklerde polimer filmler yerleştirilmiş ve daha sonra da bu filmlerin içerisine doğrudan lazer ışığıyla kırınım indisi ızgarası yazılmıştır. Bu yapının fiber modları üzerine etkisi detaylı bir şekilde incelenmiş ve mod seçici filtre özelliği ortaya konmuştur. LP11 modunun % 38, 88 verimlilikle kuple edilmesi sağlanmış ve LP01 modu bloke edilebilmiştir. Teorik beklentilerin altında kalan bu sonuçlar temel prensiplerin doğrulanması, matematiksel model değerlendirilmesi ve aygıt üretimine ait süreçleri kanıtlaması açısından son derece önemli sonuçlar ortaya koymuştur.

Uygulanan tekniğin tümleşik-fiber optik aygıt tasarımı ve aygıt geliştirilmesi için önemli bir yol gösterici olduğunu söyleyebiliriz.

## **Kaynakça**

Born, M. and Wolf, E. 1999 “*Principles of Optics*,” Cambridge University

Corning Inc., 2010. "Corning® HI 1060 & RC HI 1060 Specialty Optical Fibers,"  
Technical Specifications, Revision M0100008

Dinleyici, M.S. and Sümer, C., 2011. “*Characterization and estimation of refractive index profile of laser-written photopolymer optical waveguides*,” *Optics Communications*, 284, no.21, pp. 5067-5071. doi: 10.1016/j.optcom.2011.07.038.

Sabatyan, A. and Tavassoly, M.T., 2007. “*Application of Fresnel diffraction to nondestructive measurement of the refractive index of optical fibers*”, *Optical Engineering*, Volume 46, Issue 12.

Saleh, B.E.A. and Teich, M.C. 2007. "*Fundamentals of Photonics*," John Wiley and Sons Inc.

Sümer, C. and Dinleyici, M.S., 2013. “*A fiber-integrated optical component fabricated via photopolymerization: Mode-selective grating coupler*”, *Optics Communications*, Vol.308, p.36-42, Nov. 2013.

Yariv, A. and Yeh, P., 2006. “*Photonics: Optical Electronics in Modern Communications*,” (The Oxford Series in Electrical and Computer Engineering). New York: Oxford Univ. Press

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. MEHMET SALİH DİNLEYİCİ
Proje No:	114E006
Proje Başlığı:	Fotopolimerizasyon Yöntemi İle Fibere Entegre Yüksek Verimli Mod-Seçici Izgara Bağdaştırıcı Üretimi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENS. MÜHENDİSLİK F. ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/04/2014 - 01/04/2015
Onaylanan Bütçe:	10136.0
Harcanan Bütçe:	7719.43
Öz:	<p>Optik fiber içerisinde ilerlemekte olan modları seçici olarak diğer bir fibere kuple edebilen, fotopolimerizasyon yöntemi ile üretilen ve böylece optik fibere entegre bir şekilde gerçekleştirilecek bir ızgara bağdaştırıcı cihazın/aygıtın üretimidir.</p> <p>Optik haberleşme ağlarındaki gelişmelerin yönlendirdiği teknolojinin, paket anahtarlamalı tamamen optik ağlar olacağı bellidir. Bu tür ağlarda optik yönlendirme, ekle/çıkarma ve adres tanımlama gibi fonksiyonları optik ortamda gerçekleştirecek ağ bileşenlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanda çok sayıda teorik çalışma olmakla birlikte, gerçekleştirilebilen aygıt sayısı ve nitelikleri çok sınırlıdır. Bu projede üretilen aygıt bütün bu cihazlarda ortak ihtiyaç olan temel bir düğüm/anahtar aygıt niteliğindedir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Optik Anahtarlama, Fiber Optik, Fiber Optik Haberleşme, Tüm-Optik, Fotopolimer
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır