

PARALEL VE PARALEL OLMAYAN FİBERLERDE KARŞILIKLI KUPLAJ ANALİZİ

Mücahit SELÇUK¹ N. Özlem ÜNVERDİ²

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul

¹ e-posta: mucahitselcuk@gmail.com ² e-posta: unverdi@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler : Optik haberleşme, optik dalga kılavuzu, optik kuplör, Kuple Mod Teorisi

ÖZET

Bu çalışmada, iletişim teknolojisinde önemli konumda bulunan optik dalga kılavuzlarının elektromagnetik dalga propagasyonunu incelenmiş ve birbirine paralel ve paralel olmayan optik fiberlerin karşılıklı kuplaj mekanizması göz önünde tutularak mod analizi yapılmıştır.

Bu kapsamda, Maxwell denklemleri ve sınır koşulları ışığında optik dalga kılavuzlarının elektromagnetik özellikleri incelenmiş ve düzlemsel yapıdaki katmanlı (slab) optik fiberler analiz edilmiştir.

1. GİRİŞ

Optik dalga kılavuzları arasındaki uzaklık, çalışma dalgaboyuna göre çok küçükse, optik dalga kılavuzları birbiriyle etkileşime geçerler. Bir optik dalga kılavuzunda propagasyon yapan modun alan uzantısının, diğer optik dalga kılavuzunda propagasyon yapan modun etki alanına ulaşması veya etkilemesine *kuplaj* denir.

Bu çalışmada, paralel ve paralel olmayan optik dalga kılavuzları arasındaki karşılıklı kuplaj analiz edilmiştir. Kuplaj, farklı optik dalga kılavuzlarının modları arasında olabildiği gibi bir optik dalga kılavuzunun kendi modları arasında da olabilir [1-6].

Çalışmanın 2. Bölüm'ünde optik dalga kılavuzlarındaki karşılıklı kuplaj ele alınmıştır. 3. Bölüm'de paralel optik dalga kılavuzlarında kuplaj mekanizması incelenmiştir. Kuple kılıflı düzlemsel yapıdaki katmanlı (slab) optik fiberlerde TE çift, TE tek, TM çift ve TM tek modlarının kuplajı irdelenmiş, kuplajın propagasyon sabitine olan etkisi analiz edilmiş, kılıf bölgesinin, kuplaj mekanizmasındaki önemi ortaya konulmuştur. 4. Bölüm'de, paralel olmayan optik dalga kılavuzları arasındaki karşılıklı kuplaj analizi yapılmıştır. 5. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yorumlanmıştır.

2. OPTİK DALGA KILAVUZLARI ARASINDAKİ KUPLAJ

Optik dalga kılavuzları arasındaki kuplaj mekanizması, Kuple Mod Teorisi ve Pertürbasyon Teorisi ışığında yapılır.

2.1 KUPLE MOD TEORİSİ

Elektromagnetizma problemlerinde kuple mod kavramı, 1950'li yıllarda gündeme gelmiştir. Kuple Mod Teorisi'nin optik dalga kılavuzlarına uygulanması, 1970'de R. Vanclooster ve P. Phariseau'nun literatürde çok önemli yere sahip çalışmaları ile başlamıştır.

Anahtarlama ve modülasyon devrelerindeki doğrultu kuplörleri, optik sensörler, filtreler, kuple elektrik devreleri gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılır. Kuple Mod Teorisi'nden, birbirlerine kuple olan elemanlardan oluşan sistemlerin analizinde yararlanır ve hemen hemen aynı sonuçları verir [1].

Bu çalışmada, kuple sistemin sadece iki elemandan oluştuğu düşünülmüştür. Kuple mod analizi optik dalga kılavuzlarının zayıf kuplajlanması durumu göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Zayıf kuplajlamanın Kuple Mod Teorisi'ne uygulanması ile doğru sonuçlar alınmış, ayrıca da karmaşık ifadelerden kurtulunmuştur.

2.2 MODLARIN UZAY DOMENİNDE KUPLAJI

+z yönünde ilerleyen ve zamana göre değişimi $\exp(j\omega t)$ olan iki modun propagasyon sabitleri β_1 ve β_2 olmak üzere genlik fonksiyonları,

$$a_1(z) = a_0 \exp(-j\beta_1 z) \quad (1)$$

ve

$$a_2(z) = a_0 \exp(-j\beta_2 z) \quad (2)$$

dir. Burada, a_0 katsayıdır. Kayıpsız durumda, β_1 ve β_2 reel büyüklüklerdir. z yönündeki değişim,

$$\frac{da_1}{dz} = -j\beta_1 a_1 \quad (3)$$

ve

$$\frac{da_2}{dz} = -j\beta_2 a_2 \quad (4)$$

dir. İki fiber birbirini etkileyecek şekilde çok yakın oldukları zaman yukarıdaki eşitlikler yerine,

$$\frac{da_1}{dz} = -j\beta_1 a_1 + c_{12} a_2 \quad (5)$$

ve

$$\frac{da_2}{dz} = -j\beta_2 a_2 + c_{21} a_1 \quad (6)$$

kuple denklemleri kullanılır. Bu eşitliklerde,

$$c_{11} = -j\beta_1 \quad (7)$$

ve

$$c_{22} = -j\beta_2 \quad (8)$$

dir. Burada,

c_{11} : Birinci optik fiberin öz kuplej katsayısı,

c_{12} : Birim uzunlukta ikinci optik fiberin birinci optik fiber üzerindeki etkisini ifade eden kuplej katsayısı,

c_{21} : Birim uzunlukta birinci optik fiberin ikinci optik fiber üzerindeki etkisini ifade eden kuplej katsayısı,

c_{22} : İkinci optik fiberin öz kuplej katsayısıdır.

Zayıf kuplej koşulunda, c_{12} ve c_{21} , β_1 ve β_2 'nin yanında çok küçüktür ve z 'den bağımsızdır. Özdeş optik fiberlerin karşılıklı etkileşiminde, $\beta_1 = \beta_2$ kabul edilebilir. Yukarıdaki ifadeleri değerlendirirken, (+) ve (-) yönde iletilen modlarla, ayırık ve sürekli modların kuplejı gözardı edilmiştir.

Modların grup hızları aynı doğrultuda ise,

$$c_{12} = -c_{21}^* \quad (9)$$

İken, modların grup hızları farklı doğrultuda ise,

$$c_{12} = c_{21}^* \quad (10)$$

dir.

3. OPTİK DALGA KILAVUZLARINDA KUPLAJ ANALİZİ

3.1 PROPAGASYON SABİTİNDEKİ DEĞİŞİM

(5) ve (6) eşitliklerindeki propagasyon sabitlerinin aynı olduğu kabul edildiğinde,

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta \quad (11)$$

olur. Kuple mod denklemleri,

$$\frac{da_1}{dz} = -j\beta a_1 + c_{12} a_2 \quad (12)$$

ve

$$\frac{da_2}{dz} = -j\beta a_2 + c_{21} a_1 \quad (13)$$

olarak yazılır. Burada,

$$a_1 = M_1 \exp\left[\left((c_{12}c_{21})^{\frac{1}{2}} - j\beta\right)z\right] + M_2 \exp\left[-\left((c_{12}c_{21})^{\frac{1}{2}} - j\beta\right)z\right] \quad (14)$$

$$a_2 = M_1 \left(\frac{c_{21}}{c_{12}}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left[\left((c_{12}c_{21})^{\frac{1}{2}} - j\beta\right)z\right] - M_2 \left(\frac{c_{21}}{c_{12}}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left[-\left((c_{12}c_{21})^{\frac{1}{2}} - j\beta\right)z\right] \quad (15)$$

olarak bulunur. Burada $z=0$ için M_1 ve M_2 katsayıları,

$$M_1 = \frac{1}{2} \left[a_1(0) + \left(\frac{c_{12}}{c_{21}}\right)^{\frac{1}{2}} a_2(0) \right] \quad (16)$$

ve

$$M_2 = \frac{1}{2} \left[a_1(0) - \left(\frac{c_{12}}{c_{21}}\right)^{\frac{1}{2}} a_2(0) \right] \quad (17)$$

dir. Bu durumda, kuplej nedeniyle propagasyon sabitinde meydana gelen değişim,

$$\Delta\beta = j(c_{12}c_{21})^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

olur. Kuple iki modun yeni propagasyon sabitlerindeki değişim $\Delta\beta$ ile belirlenir. Kuple kılavuzların kayıplı ve kayıpsız olmasına göre $\Delta\beta$ farklı değerler alır. $\Delta\beta$ kılavuzlar kayıpsız ise reel, kayıplı ise kompleks değer alır.

3.2 KUPLAJ KATSAYILARI

Pertürbasyon Teorisi, düzlemsel yapıdaki katmanlı optik dalga kılavuzlarının ve silindirik yapıdaki optik dalga kılavuzlarının karşılıklı etkileşmelerinde kullanılan önemli bir teoridir. Amaç, matematiksel ifadeleri basit formlara indirgemektir. Pertürbasyon Teorisi'nin uygulandığı kuple kılavuzlarda alan ifadeleri,

$$E = aE_1 + bE_2 + E_0 \quad (19)$$

ve

$$E = aH_1 + bH_2 + H_0 \quad (20)$$

şeklinde. a ve b Pertürbasyon teorisi yardımıyla bulunan katsayılar, E_0 ve H_0 pertürbasyon terimleridir.

Alan ifadeleri matematiksel olarak basite indirgindikten sonra uygulanan Maxwell denklemleri sonucu propagasyon sabiti değişimi,

$$\Delta\beta = \pm \frac{\omega\epsilon_0}{4P} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (n_2^2 - n_3^2) E_2^* E_1 dx dy \quad (21)$$

olarak bulunur. Bu denklemler yardımıyla kuplaj katsayıları,

$$|c_{12}| = \frac{\omega\epsilon_0}{4P} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (n_1^2 - n_3^2) E_1^* E_2 dx dy \quad (22)$$

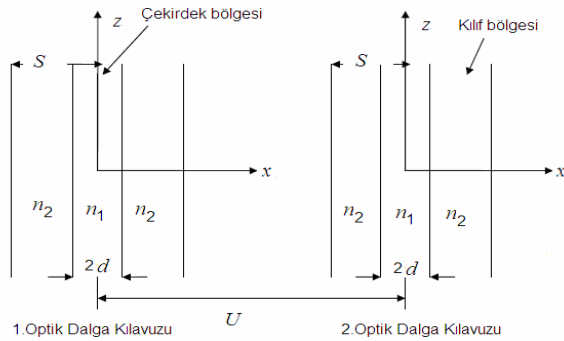
ve

$$|c_{21}| = \frac{\omega\epsilon_0}{4P} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (n_2^2 - n_3^2) E_2^* E_1 dx dy \quad (23)$$

olarak bulunur.

4. PARALEL OPTİK DALGA KILAVUZLARI ARASINDAKİ KUPLAJLAMA

Bu bölümde, kuple kılıflı düzlemsel yapıdaki katmanlı (slab) optik dalga kılavuzlarının kuplajı, propagasyon sabiti değişimi ve kuplaj katsayısı incelenmiştir.



Şekil-1: Paralel kılıflı slab yapıdaki optik dalga kılavuzları.

Şekil-1'de kuple kılıflı düzlemsel yapıdaki katmanlı iki optik dalga kılavuzu bulunmaktadır. y doğrultusunda sonsuza doğru uzanan kılavuzlarda z doğrultusunda propagasyon mevcuttur.

Şekilde, n_1 , n_2 ve n_3 , sırasıyla çekirdek bölgesinin, kılıf bölgesinin ve kılavuzları saran ortamın kırılma indisi,

d : Optik dalga kılavuzlarının çekirdek bölgesinin yarıçapı,

S : Optik dalga kılavuzlarının kılıfla beraber çekirdek yarıçapı,

U : İki çekirdek eksenleri arasındaki uzaklıktır.

4.1 ÇİFT VE TEK TE MODLARI

Çift ve tek TE modları için çekirdek bölgesi, kılıf bölgesi ve kılıfı saran bölgede elektrik alan ifadesi,

$$E_y = \begin{cases} A \begin{cases} \cos(\kappa x) \\ \sin(\kappa x) \end{cases} & 0 \leq x \leq d \\ B \exp(\gamma x) + C \exp(-\gamma x) & d \leq x \leq S \\ F \exp(-\rho x) & S \leq x \leq \infty \end{cases} \quad (24)$$

şeklinde. Burada, n_3 optik fiberlerin kılıflarını saran dış ortamın kırılma indisidir ve ρ da bu dış ortamın özdeğeri olmak üzere,

$$\rho = (\beta^2 - n_3^2 k_0^2)^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

dir. Elektrik alanın diğer bileşenleri ve magnetik alan bileşenleri Maxwell denklemleri yardımıyla bulunur ve sınır koşulları uyarınca,

$$B = \frac{A}{2} \frac{\kappa}{(\kappa^2 + \gamma^2)^{\frac{1}{2}}} \frac{\gamma - \rho}{\gamma + \rho} \exp[-2\gamma(S - d)] \quad (26)$$

$$C = A \exp(\gamma d) \begin{cases} \cos(\kappa d) \\ \sin(\kappa d) \end{cases} \quad (27)$$

$$F = \frac{2\kappa\gamma A}{(\gamma + \rho)(\kappa^2 + \gamma^2)^{\frac{1}{2}}} \exp(\rho S) \exp[-\gamma(S - d)] \quad (28)$$

katsayıları elde edilir. (26) eşitliğinden görüleceği gibi, kılıf bölgesinin kalınlığı olan S değeri arttıkça, B katsayısı sıfıra yakınsar.

Özdeş iki optik fiberde, $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ propagasyon sabitiyle ilerleyen modlar için propagasyon sabitindeki değişim,

$$|\Delta\beta| = \frac{4\kappa^2 \gamma^3 \rho}{\beta(1 + \gamma d)(\gamma + \rho)^2 (\kappa^2 + \gamma^2)^{\frac{1}{2}}} e^{-2\gamma(S-d)} e^{-\rho(U-2S)} \quad (29)$$

olarak ifade edilir.

4.2 ÇİFT VE TEK TM MODLARI

Magnetik alan ifadesi çekirdek bölgesi, kılıf bölgesi ve kılıfı saran dış ortamda,

$$H_y = \begin{cases} A_1 \begin{cases} \cos(\kappa x) \\ \sin(\kappa x) \end{cases} & 0 \leq x \leq d \\ B_1 e^{(\gamma x)} + C_1 e^{(-\gamma x)} & d \leq x \leq S \\ F_1 e^{(-\gamma x)} & S \leq x \leq \infty \end{cases} \quad (30)$$

dir. Özdeş olan kuple optik fiberlerde propagasyon sabiti değişimi çift TM modları için,

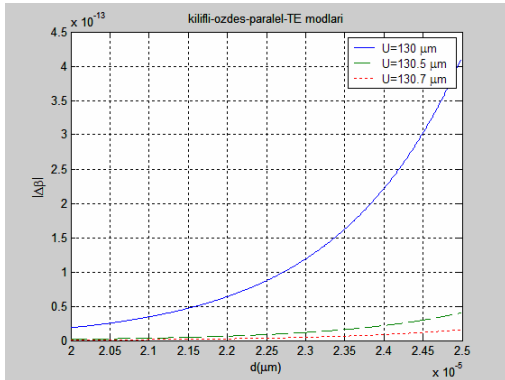
$$\Delta\beta = \frac{n_1^2 n_2^2 \kappa^2 \gamma^2 [2e^{((\gamma-\rho)(S-d))} - 1] e^{(-2\gamma(S-d))} e^{(-\rho(U-2S))}}{\beta[(n_2^4 \kappa^2 + n_1^4 \gamma^2) \gamma d + n_1^2 n_2^2 (\kappa^2 + \gamma^2)]} \quad (31)$$

olarak bulunur.

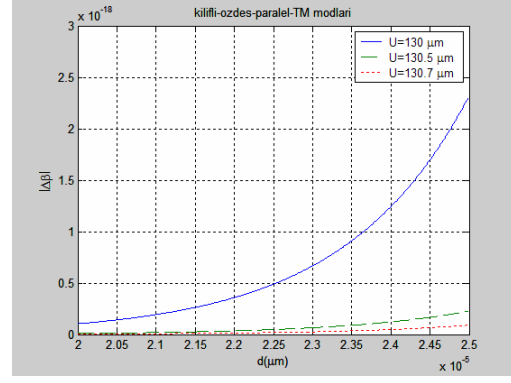
4.3 TASARIM UYGULAMALARI

Bu çalışmada, düzlemsel yapıdaki katmanlı, kuple kılıflı, özdeş ve paralel iki optik dalga kılavuzunun çeşitli parametre değerlerinde kuplaj analizi yapılmış farklı değerler için kuplaj olayı gözlemlenmiş ve hangi parametrenin kuplaj olayını nasıl etkilediği incelenmiştir [1-6].

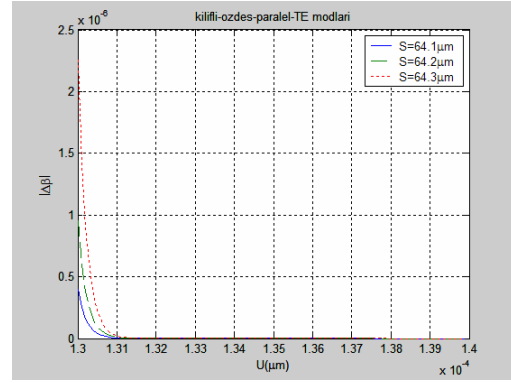
Çalışmada, 200 THz'de çalışan kuple kılıflı paralel iki özdeş fiberde, $n_1=1.5$, $n_2=1.49$, $n_3=1$, $\beta=0.625 \times 10^7 m^{-1}$ 'dir. Kılavuzlanan TE ve TM modlarının kuplajıyla oluşan propagasyon sabiti değişimi ($|\Delta\beta|$)'nin, optik fiber çekirdek yarıçapı (d)'nin $d = 20 \times 10^{-6} m$ 'den $d = 25 \times 10^{-6} m$ 'ye kadar olan değerleri ile olan değişimi gözlenmiştir. Konuyla ilgili değişimler, Şekil-2 ile Şekil-6 arasında yer almaktadır.



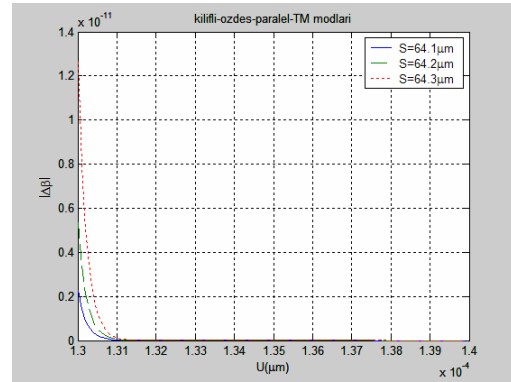
Şekil-2: TE modlarının kuplajında propagasyon sabitindeki değişimin çekirdek bölgesinin yarıçapına göre değişimi.



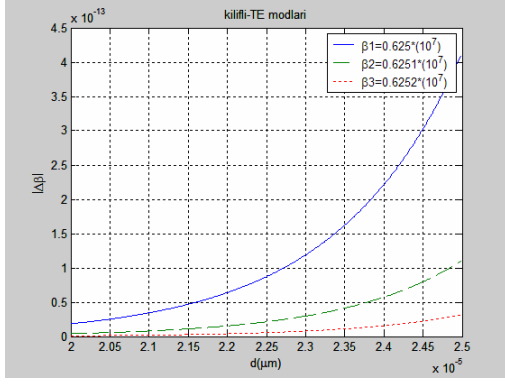
Şekil-3: TM modlarının kuplajında propagasyon sabitindeki değişimin çekirdek bölgesinin yarıçapına göre değişimi.



Şekil-4: TE modlarının kuplajında propagasyon sabitindeki değişimin optik fiberler arasındaki uzaklığa göre değişimi.



Şekil-5: TM modlarının kuplajında propagasyon sabitindeki değişimin optik fiberler arasındaki uzaklığa göre değişimi.



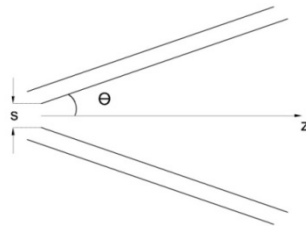
Şekil-6: TE çift modlarının kuplajında propagasyon sabitindeki değişimin çekirdek bölgesinin yarıçapına göre değişimi.

5. PARALEL OLMAYAN OPTİK DALGA KILAVUZLARI ARASINDAKİ KUPLAJ ANALİZİ

Optik anahtar, yönlü kuplör, modülatör ve mikromekanik optik anahtar gibi optik dalga kılavuzu cihazları, paralel olmayan optik dalga kılavuzu komponentleri içerirler. Dolayısıyla paralel olmayan optik cihazlardaki ışığın propagasyon karakteristiklerini ve özellikle de paralel olmayan dalga kılavuzlarının kuplaj karakteristiklerinin çalışılması önemlidir.

Literatürdeki çalışmaların çoğunda, paralel dalga kılavuzlarının kuplaj karakteristikleri incelenmiştir. Paralel olmayan dalga kılavuzları yapısı için, dalga kılavuzları arasında uygun kuplaj yüzeyleri vardır ve paralel olmayan dalga kılavuzlarının kuplaj karakteristikleri, dalga kılavuzlarının farklı kuplaj yüzeyleri arasındaki ayrılma uzaklığının fonksiyonunun, paralel dalga kılavuzlarının kuplaj denklemleri ve kuplaj katsayıları ifadelerinde kullanılarak elde edilir.

Paralel dalga kılavuzlarının herhangi bir karşılıklı bölümü sabit bir faz alanına sahiptir. Paralel olmayan dalga kılavuzlarının karşılıklı bölümlerinin üzerindeki faz dağılımı ise sabit değildir ve propagasyon uzaklığı ile değişir.



Şekil-7: İki paralel olmayan dalga kılavuzunun kuplaj sistemi.

Bu bölümde, paralel olmayan, aynı malzemeden yapılmış, aralarında θ açısı olan ve aynı boyuttaki iki optik dalga kılavuzu Şekil-7'deki gibi ele alınarak aralarındaki kuplaj katsayıları ve kuplaj denklemleri elde edilmiştir.

Aynı malzemeden yapılmış ve aynı boyutlardaki paralel optik dalga kılavuzları arasındaki kuplaj katsayısı,

$$c_{12} = c_{21} = c = \frac{2\rho h^2}{\beta(t + 2/\rho)(h^2 + \rho^2)} \exp(-\rho s) \quad (32)$$

dir. Burada, $\rho^2 = \beta^2 - n_2^2 k^2$, $h^2 = n_1^2 k^2 - \beta^2$ ve $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dir. β , birinci ve ikinci dalga kılavuzlarının

propagasyon sabitidir. Paralel iki optik dalga kılavuzunun kuplaj denklemleri,

$$\frac{dA_1}{dz} = -j c_{12} A_2 \exp(-j2\delta z) \quad (33)$$

ve

$$\frac{dA_2}{dz} = -j c_{21} A_1 \exp(j2\delta z) \quad (34)$$

dir. Buradaki A_1 ve A_2 , alan genlikleridir. Şekil-7'deki paralel olmayan durum için,

$$s = s + 2z \tan \theta \quad (35)$$

olarak ele alınır. Bu ifade, paralel dalga kılavuzları için bulunan kuplaj katsayı ifadesinde yerine konulursa, aynı malzemeden yapılmış ve aynı boyutlardaki paralel olmayan optik dalga kılavuzları arasındaki kuplaj katsayısı,

$$c_{np} = \frac{2\rho h^2}{\beta t(h^2 + \rho^2)} \exp(-\rho s - 2\rho z \tan \theta) \quad (36)$$

olarak elde edilir. Dolayısıyla paralel ve paralel olmayan optik dalga kılavuzlarının kuplaj katsayıları arasında

$$c_{np} = c \exp(-2Rz \tan \theta) \quad (37)$$

Bağıntısı vardır. Paralel olmayan iki optik dalga kılavuzunun kuplaj denklemleri,

$$\frac{dA_1}{dz} = -j c A_2 \exp(-2\rho z \tan \theta) \quad (38)$$

ve

$$\frac{dA_2}{dz} = -j c A_1 \exp(-2\rho z \tan \theta) \quad (39)$$

olarak bulunur. Analitik çözümler sonucu,

$$A_1 = -j \sin \left\{ \frac{c}{2\rho \tan \theta} [1 - \exp(-2\rho z \tan \theta)] \right\} \quad (40)$$

ve

$$A_2 = \cos \left\{ \frac{c}{2\rho \tan \theta} [1 - \exp(-2\rho z \tan \theta)] \right\} \quad (41)$$

olur. Birinci ve ikinci dalga kılavuzlarının çıkış gücü,

$$P_1 = |A_1|^2 = \sin^2 \left\{ \frac{K}{2\rho \tan \theta} [1 - \exp(-2\rho z \tan \theta)] \right\} \quad (42)$$

ve

$$P_2 = |A_2|^2 = \cos^2 \left\{ \frac{K}{2\rho \tan \theta} [1 - \exp(-2\rho z \tan \theta)] \right\} \quad (43)$$

formunda elde edilir.

5.1 TASARIM UYGULAMALARI

Bu bölümde, paralel olmayan iki optik dalga kılavuzu için uygulama geliştirilmiştir. Uygulamada ele alınan koşullar aşağıda yer almaktadır:

Optik dalga kılavuzlarının aynı malzemeden yapıldığı ve boyutlarının da aynı olduğu varsayılmıştır.

$$\lambda = 1.55 \mu\text{m}, \beta_1 = \beta_2 = \beta = 0.6272 \times 10^7 \text{ rad / m}, n_1 = 1.4888,$$

$$n_2 = 1.4888 \text{ ve } n_s = 1.466 \text{ alınmıştır.}$$

Burada, n_1 , n_2 ve n_s , sırasıyla birinci, ikinci dalga kılavuzu ve kılıfın kırılma indisi,

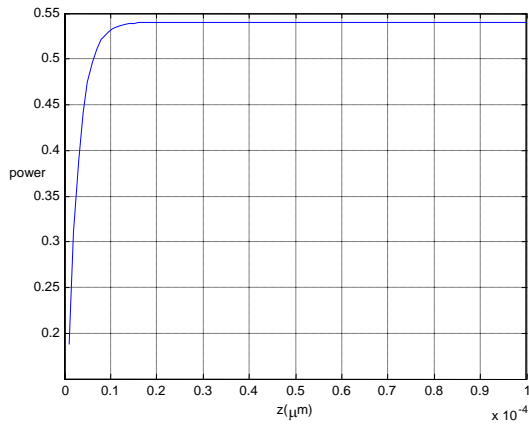
β : Kılavuzların propagasyon sabiti,

λ : Işığın dalgaboyu,

θ Dalga kılavuzları arasındaki açı,

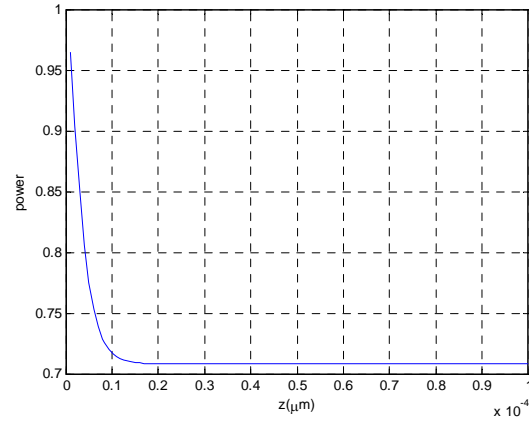
S: Dalga kılavuzları (giriş portları) arasındaki uzaklık

t: Dalga kılavuzlarının genişliği olmak üzere paralel

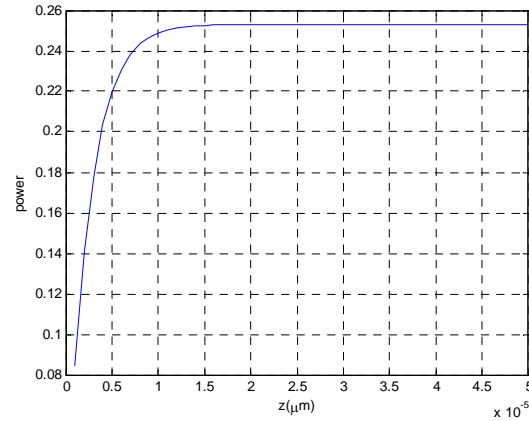


Şekil-8: Birinci dalga kılavuzundaki optik gücün z propagasyon doğrultusu boyunca değişimi ($s = 0.1 \times 10^{-6} \text{ m}, t = 6 \times 10^{-6} \text{ m}, \theta = 0.1$).

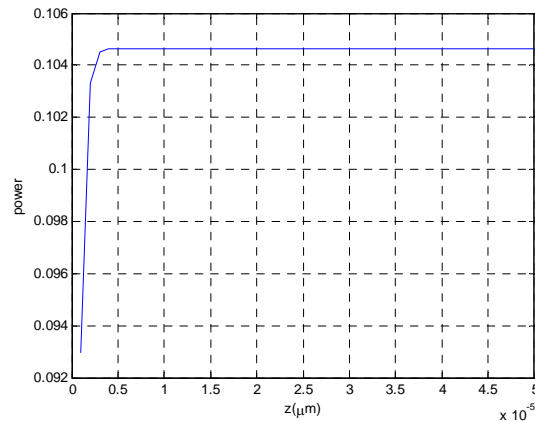
olmayan iki dalga kılavuzunun arasındaki kuplaj incelenmiş ve birinci ve ikinci dalga kılavuzlarındaki güç değişimi belirlenmiştir.



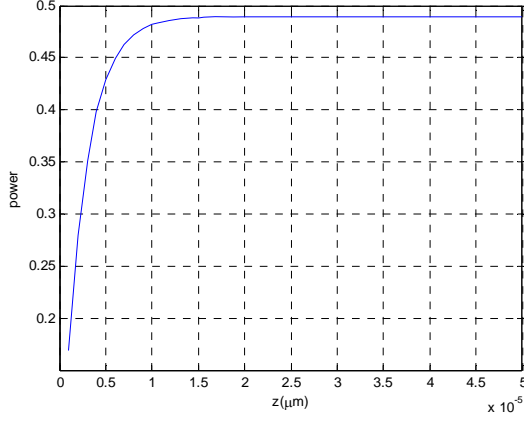
Şekil-9: İkinci dalga kılavuzundaki optik gücün z propagasyon doğrultusu boyunca değişimi ($s = 0.1 \times 10^{-6} \text{ m}, t = 6 \times 10^{-6} \text{ m}, \theta = 0.1$).



Şekil-10: Birinci dalga kılavuzundaki optik gücün z propagasyon doğrultusu boyunca değişimi ($s = 0.5 \times 10^{-6} \text{ m}, t = 6 \times 10^{-6} \text{ m}, \theta = 0.1$).



Şekil-11: Birinci dalga kılavuzundaki optik gücün z propagasyon doğrultusu boyunca değişimi ($s = 0.1 \times 10^{-6} \text{ m}, t = 6 \times 10^{-6} \text{ m}, \theta = 0.5$).



Şekil-12: Birinci dalga kılavuzundaki optik gücün z propagasyon doğrultusu boyunca değişimi ($s = 0.5 \times 10^{-6} m$, $t = 3 \times 10^{-6} m$, $\theta = 0.1$).

6. SONUÇ

Bu çalışmada, kuple paralel kılıflı iki özdeş optik fiber arasındaki uzaklık arttığında, propagasyon sabitindeki değişimin azaldığı görülmüştür. TE ve TM modlarının kuplajında, optik fiberin çekirdek bölgesinin yarıçapındaki artış ile propagasyon sabitindeki değişim arttığı belirlenmiştir.

TE ve TM modlarının kuplajları karşılaştırıldığında, TE modları arasındaki kuplajın, TM modları arasındaki kuplajdan daha etkin olduğu görülmüştür.

Paralel olmayan optik dalga kılavuzları içindeki güç, gücün optik dalga kılavuzuna girdiği noktadan uzaklaştıkça, kararlı bir değere ulaşmıştır. Giriş

yakınlarındaki optik güç propagasyon mesafesi ile daha şiddetli olarak değişmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ünverdi N. Ö., *Düz ve Bükülmüş Optik Dalga Kılavuzlarının Karşılıklı Kuplajına Kılavuzlanmış Modların Evanescent Alanlarının ve Sızıntılı Modların Etkisi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
- [2] Yariv A., "Coupled-Mode Theory for Guided-Wave Optics", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-9, no. 9, p.p. 913-933, Sep. 1973.
- [3] Haus H. A. and Huang W., "Coupled-Mode Theory", *Proc. IEEE*, vol.79, no. 10, p.p. 1505-1518, October. 1974.
- [4] Haus H. A., Huang W., Kawakami S. and Whitaker N. A., "Coupled-Mode Theory of Optical Waveguides", *J. Lightwave Tech.*, vol. LT-5, no. 1, p.p. 16-23, Jan. 1987.
- [5] Huang W.P. and Little B. E., "Power Exchange in Tapered Optical Couplers", *J. of Quantum Electronics.*, vol. 27, no. 7, p.p. 1932-1938, July. 1991.
- [6] McIntyre P. D. and Snyder A. W., "Power Transfer Between Optical Fibers", *J. of the Optical Society of America.*, vol. 63, no. 12, p.p. 1518-1527, December. 1973.