

KUPLE KILIFLI DÜZLEMSEL YAPIDAKİ KATMANLI (SLAB) OPTİK DALGA KILAVUZLARININ FİZİKSEL PARAMETRELERİNİN TE MODLARINDA PROPAGASYON SABİTİ DEĞİŞİMİNE ETKİSİ

Pınar ÖZKAN BAKBAK¹ N. Özlem ÜNVERDİ²

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

¹e-posta: pozkan@yildiz.edu.tr

²e-posta: unverdi@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler : Optik haberleşme, optik fiber, optik kablör, propagasyon sabiti, Kuple Mod Teorisi

ÖZET

Bu çalışmada, düzlemsel katmanlı (slab) yapıdaki kılıflı, kayıpsız ve özdeş iki optik dalga kılavuzunun birbirlerine zayıfça kuple oldukları durumda TE modları arasındaki kuplaj analiz edilerek optik dalga kılavuzlarının fiziksel parametrelerine göre propagasyon sabiti değişimi analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ

Optik haberleşmenin temelini oluşturan optik fiberlerin kaybının az ve band genişliğinin büyük olması nedeniyle kullanımı telekomünikasyondan tıba, askeriye kadar ulaşımına kadar birçok alanı kapsamaktadır.

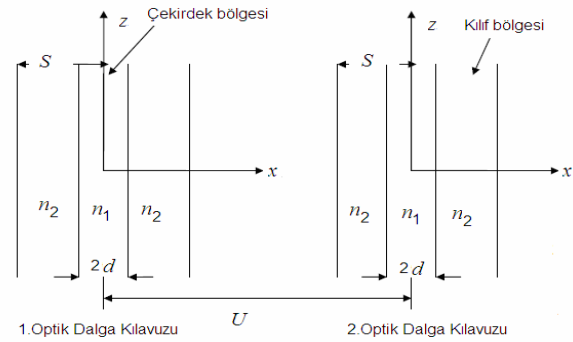
Bu çalışmada, düzlemsel katmanlı (slab) yapıdaki kılıflı, kayıpsız ve özdeş iki optik dalga kılavuzunun birbirlerine zayıfça kuple oldukları durumda TE modları arasındaki kuplaj analiz edilerek optik dalga kılavuzlarının fiziksel parametrelerine göre propagasyon sabiti değişimi incelenmiş ve sonuçlar grafiklerle verilmiştir.

Çalışmanın 2. Bölümü'nde, optik fiberler arasındaki karşılıklı kuplaj, Kuple Mod Teorisi yardımıyla ortaya konmuş ve propagasyon sabiti değişimi elde edilerek katmanlı yapıdaki kılıflı, kayıpsız ve özdeş iki optik fiberde aynı propagasyon sabitine sahip modlar arasındaki kuplaj sonucu TE modlarında meydana gelen propagasyon sabiti değişimi belirlenmiştir. 3. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yorumlanmıştır.

2. KUPLE OPTİK FİBERLER

Optik dalga kılavuzları arasındaki uzaklık, çalışma dalgaboyuna göre çok küçük olduğu zaman, kılavuzlar birbirlerini etkiler. Bir kılavuzda propagasyon yapan modun alan uzantısının diğer kılavuzdaki modun etki alanına ulaşması kuplaja neden olur. Kuplaj, farklı kılavuzlardaki modlar

arasında olabildiği gibi aynı kılavuz içindeki modlar arasında da olabilir. Bu çalışmada, birbirine paralel iki optik dalga kılavuzu arasındaki kuplaj incelenmiş ve bu sistem, *kuple optik fiberler* olarak adlandırılmıştır.



Şekil-1: Kuple kılıflı ve düzlemsel yapıdaki katmanlı paralel iki optik dalga kılavuzu.

Şekil-1'de kuple kılıflı düzlemsel yapıdaki katmanlı iki optik dalga kılavuzu yer almaktadır; d yarıçaplı bu optik dalga kılavuzlarının kılıf bölgesinin yarıçapı S ve kılavuzların optik eksenleri arasındaki uzaklık U 'dur. Çekirdek bölgesinin kırılma indisi n_1 , kılıf bölgesinin kırılma indisi n_2 , optik fiberleri saran dış ortamın kırılma indisi n_3 'tür ve y doğrultusunda sonsuza doğru uzanan kılavuzlarda z doğrultusunda propagasyon mevcuttur.

2.1 KUPLE MOD TEORİSİ

Kuple Mod Teorisi, kılavuzlardan birisindeki modun propagasyon sabitinin, diğer kılavuzdaki modun etkisiyle nasıl değişeceğini ortaya koyar. İki dalga kılavuzunun kuplajı zayıf olduğu zaman, bu dalga kılavuzlarının alanı Pertürbasyon Teorisi yardımıyla analiz edilir. Pertürbasyon Teorisi, düzlemsel yapıdaki katmanlı optik dalga kılavuzlarının ve silindirik yapıdaki optik dalga kılavuzlarının karşılıklı etkileşmelerinde kullanılan önemli bir teoridir. Burada

amaç, matematiksel ifadeleri basit formlara indirgemektir. Pertürbasyon Teorisi'nin uygulandığı kuple kılavuzlarda alan ifadeleri,

$$E = aE_1 + bE_2 + E_0 \quad (1)$$

ve

$$H = aH_1 + bH_2 + H_0 \quad (2)$$

olmak üzere basite indirgenerek Maxwell denklemleri uygulanır. Burada, a ve b , Pertürbasyon Teorisi yardımıyla bulunan katsayılar, E_0 ve H_0 pertürbasyon terimleridir. Uygulanan Maxwell denklemleri sonucunda, propagasyon sabitinde meydana gelen değişim,

$$\Delta\beta = \pm \frac{\omega\epsilon_0}{4P} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (n_2^2 - n_3^2) E_2^* E_1 dx dy \quad (3)$$

eşitliği yardımıyla bulunur. Burada, P , iletilen gücü ifade eder; $\Delta\beta$ ise, kuple iki modun propagasyon sabitlerinde, kuplajın durumuna göre artma veya azalma şeklinde meydana gelen propagasyon sabiti değişimidir. Kuple kılavuzların kayıplı ve kayıpsız olmasına göre $\Delta\beta$ farklı değerler alır; $\Delta\beta$, kılavuzlar kayıpsız ise reel, kayıplı ise kompleks değer alır.

2.2 TE MODLARINDA PROPAGASYON SABİTİ DEĞİŞİMİ

TE çift ve tek modlarında çekirdek bölgesi, kılıf bölgesi ve optik dalga kılavuzlarını saran bölgede elektrik alan ifadesi,

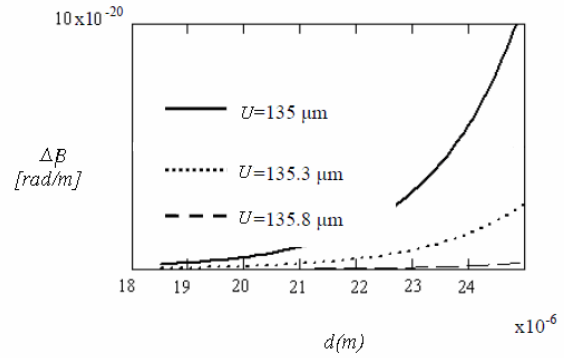
$$E_y = \begin{cases} A \begin{cases} \cos(\kappa x) \\ \sin(\kappa x) \end{cases} & 0 \leq x \leq d \\ B \exp(\gamma x) + C \exp(-\gamma x) & d \leq x \leq S \\ F \exp(-\rho x) & S \leq x \leq \infty \end{cases} \quad (4)$$

şekindedir [1]. Burada, κ , çekirdek bölgesinin, γ , kılıf bölgesinin, ρ ise, optik dalga kılavuzlarını saran dış bölgenin özdeğeridir.

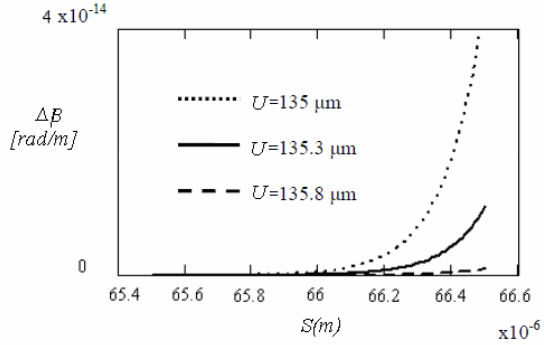
Özdeş iki optik fiberde, $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ propagasyon sabitine sahip olan modlar için propagasyon sabiti değişimi TE çift ve TE tek modları için,

$$|\Delta\beta| = \frac{4\kappa^2\gamma^3\rho}{\beta(1+\gamma d)(\gamma+\rho)^2(\kappa^2+\gamma^2)^{1/2}} \exp[-2\gamma(S-d)] \exp[-\rho(U-2S)] \quad (5)$$

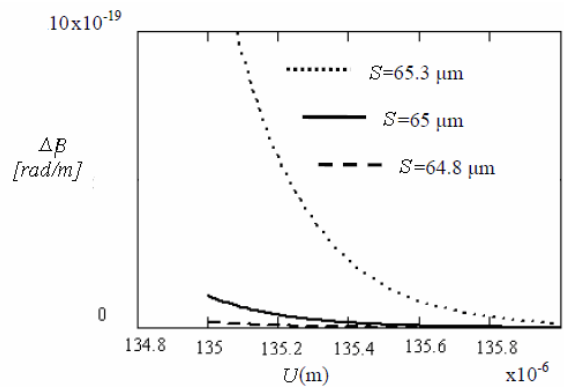
olarak elde edilir [2-5].



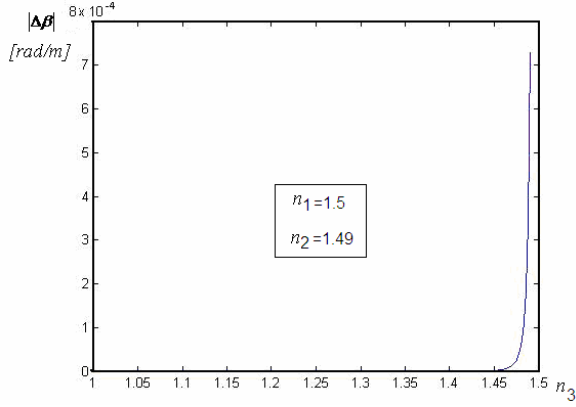
Şekil-2: Özdeş, simetrik ve düzlemsel yapıdaki katmanlı iki dalga kılavuzunda, TE modlarının kuplajında, $S=65\mu\text{m}$ alınarak, farklı U değerleri için propagasyon sabitindeki değişimin çekirdek bölgesinin yarıçapına göre değişimi.



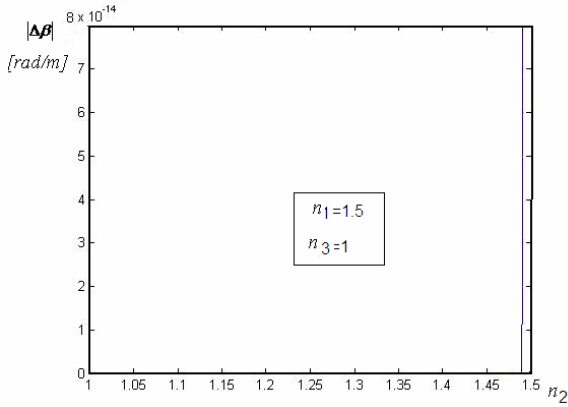
Şekil-3: Özdeş, simetrik ve düzlemsel yapıdaki katmanlı iki dalga kılavuzunda, TE modlarının kuplajında, $d=25\mu\text{m}$ alınarak, farklı U değerleri için propagasyon sabitindeki değişimin kılıflı bölgenin yarıçapına göre değişimi.



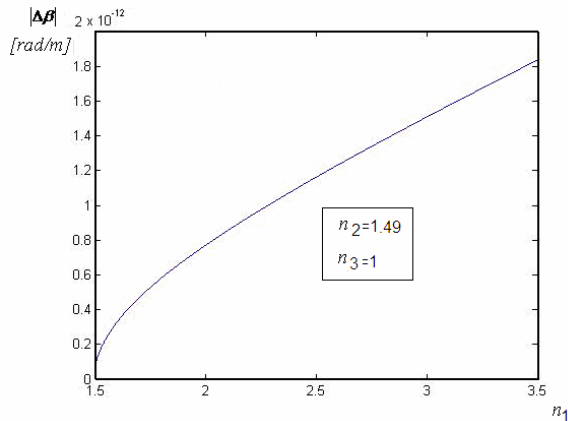
Şekil-4: Özdeş, simetrik ve düzlemsel yapıdaki katmanlı iki dalga kılavuzunda, TE modlarının kuplajında, $d=25\mu\text{m}$ alınarak, farklı S değerleri için propagasyon sabitindeki değişimin optik fiberler arasındaki uzaklığa göre değişimi.



Şekil-5: Düzlemsel yapıda katmanlı, kılıflı, özdeş ve paralel iki optik dalga kılavuzunda, $n_1=1.5$ ve $n_2=1.49$ durumunda, TE modlarının kuplajında propagasyon sabitindeki değişimin kılıf bölgesini saran dış ortamın kırılma indisine göre değişimi.



Şekil-6: Düzlemsel yapıda katmanlı, kılıflı, özdeş ve paralel iki optik dalga kılavuzunda, $n_1=1.5$ ve $n_3=1$ durumunda, TE modlarının kuplajında, propagasyon sabitindeki değişimin kılıf bölgesinin kırılma indisine göre değişimi.



Şekil-7: Düzlemsel yapıda katmanlı, kılıflı, özdeş ve paralel iki optik dalga kılavuzunda, $n_2=1.49$ ve $n_3=1$ durumunda, TE modlarının kuplajında, propagasyon sabitindeki değişimin çekirdek bölgesinin kırılma indisine göre değişimi.

Çalışma frekansı $f=200$ THz’de, $P = 1\text{mW}$, $n_1=1.5$, $n_2=1.49$ ve $n_3=1$ kırılma indisi değerlerinde $\beta = 0.625 \times 10^7$ rad/m olmak üzere TE modlarındaki çalışmaların grafikleri, Şekil-2, Şekil-3, Şekil-4, Şekil-5, Şekil-6 ve Şekil-7’de yer almaktadır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, kuple optik dalga kılavuzlarında, propagasyon sabitindeki değişimin optik dalga kılavuzlarının çekirdek bölgelerinin yarıçaplarının ve kılıf bölgelerinin yarıçaplarının artması ile eksponansiyel olarak arttığı, kılavuzların arasındaki uzaklığın artması ile azaldığı görülmüştür.

Kılıf bölgesi ve kılavuzları saran dış bölgenin kırılma indislerinin artması, propagasyon sabitindeki değişimin artmasına neden olurken, çekirdek bölgesinin kırılma indisinin artması da propagasyon sabitinin artmasına neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Snyder A. W. and Love J. D., *Optical Waveguide Theory*, J. W. Arrowsmith, Bristol, 1983.
- [1] Louisell W.H., *Coupled Mode Parametric Electronics*, John Wiley&Sons, New York, 1960.
- [2] Marcuse D., *Pulse Propagation in Multimode Dielectric Waveguides*, BELL SYST. TECH. J., vol.51, no.6, pp.1199-1232, 1972.
- [3] Ünverdi N. Ö., *Düz ve Bükülmüş Optik Dalga Kılavuzlarının Kuplajına Kılavuzlanmış Modların Evanescent Alanlarının ve Sızıntılı Modların Etkisi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
- [4] Huang H.S. and Chang H.C., “Vector Coupled-Mode Analysis of Coupling Between Two Identical Optical Fiber Core”s, *Opt. Lett.*, vol.14, no.1, pp. 90-92, 1989.
- [5] Bakbak P. Ö., *Optik Kuplör Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.