

TÜRBÜLANSLI ORTAMDA YAYILAN SUPER LORENTZ-GAUSS LASER DEMETLERİ İÇİN BER ANALİZİ

Muhsin C. GÖKÇE*, Filiz SARI**, Faruk ÖZEK**

*Çankaya Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Elek. ve Hab. Mühendisliği Bölümü, 06810

** Ankara Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06830

mgokce@cankaya.edu.tr, icat@eng.ankara.edu.tr, ozek@eng.ankara.edu.tr

(Geliş/Received: 04.10.2012; Kabul/Accepted: 03.10.2013)

ÖZET

Çalışmada, türbülanslı ortamda yayılan super Lorentz-Gauss laser demetlerinin yatay iletim uzaklıklarındaki BER - SNR değişimi hesaplandı. BER hesaplamalarında kullanılan pırıldama indisleri, genişletilmiş Huygens-Fresnel prensibi ile elde edilmiştir. Matlab kullanılarak BER – SNR değerinin bağlantı uzaklığına ve laser kaynak boyutuna bağlılığı gösterildi. Kısa iletim mesafesinde super Lorentz-Gauss laser demetinin ticari olarak kullanılan Gauss laser demetine göre daha iyi bağlantı performansı sağladığı sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Optiksel telsiz haberleşme, optik dalga yayılımı, pırıldama, bit-hata-oranı, super Lorentz-Gauss laser demetleri

BER ANALYSIS FOR SUPER LORENTZ-GAUSSIAN LASER BEAMS PROPAGATING IN TURBULENT MEDIA

ABSTRACT

In this work, BER-SNR variation of super Lorentz-Gaussian laser beam that propagating horizontally path in turbulent media is analyzed. Using scintillation index which is obtained by extended Huygens-Fresnel principle, BER – SNR value is calculated. Matlab program is used to show BER – SNR variation depending on link distance and beamwidth. To conclude, in short link range, super Lorentz-Gaussian beam is proven to be better link performance superior to commercially available Gaussian beam.

Key Words: Optical wireless communication, optical wave propagation, scintillation, bit-error rates, super Lorentz-Gaussian laser beams

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Optiksel Telsiz Haberleşme (OTH “*Optical Wireless Communication*”) sistemleri ses, veri veya çoklu ortam bilgilerinin modüle edilmiş laser demetini kullanarak görüş hattında bulunan alıcıya atmosfer üzerinden gönderilmesidir. Bu sistemlerin, yüksek band genişliği, lisanssız çalışma, radyo frekansı (RF) tabanlı sistemlerle girişim oluşturmaması, kurulum kolaylığı, iletişim ve bilgi gizliliği gibi avantajları ile giderek yoğunlaşan uygulama alanları bulunmaktadır [1].

Temel bir OTH sistemi optiksel verici (*transmitter*), iletim kanalı ve optik alıcıdan (*receiver*) oluşur.

OTH sistemlerinde iletim kanalı türbülanslı atmosferdir. Türbülans, sıcaklık ve rüzgar değişimlerinin atmosferde farklı kırılma indislerine

sahip hücreler oluşturmasından meydana gelmektedir. Bu hücreler, vericiden iletilen laser demetinde faz sapmaları ve ışık şiddetinde dalgalanmalar meydana getiren pırıldamayı (*scintillation*) oluşturur [2]. Pırıldama, optiksel telsiz iletişimde bit hata oranını (*Bit Error Rate: BER*) arttıran dolayısıyla bağlantı performansını düşüren olumsuz bir etkidir.

Ticari olarak vericide genelde Gauss tipi laser kaynakları kullanılmaktadır. Aynı kaynak parametrelerine sahip ve aynı türbülans ortamında ilerleyen, değişik tipte laser demetlerinin Gauss demetine göre pırıldamadan daha az etkilendiğini gösteren çalışmalar literatürde mevcuttur [3-5]. Bu sebeple farklı tip laser demetlerinin davranışlarının incelenmesi, OTH iletişim kalitesini arttırmak için önem arz etmektedir.

Son yıllarda Gawhary ve Severini tarafından Lorentz demetinin varlığı ve bir laser diyod ile uygulanabilirliği ifade edilmiştir [6-7]. Bu sayede Lorentz-Gauss (LG) ve Super Lorentz-Gauss (SLG) demetleri araştırmacılar tarafından ilgi konusu olmuştur [8-9]. Bu çalışmaları takiben, SLG demetlerinin pırıldama indisi tarafımızca incelenmiştir [10-11].

OTH sistemlerinde belirli bir iletim uzaklığı, laser demeti, kaynak ve ortam parametreleri belirlendikten sonra bağlantı (*link*) performansı, sinyal gürültü oranı (*Signal to Noise Ratio*: SNR) ve BER ile ilişkili olarak ifade edilmektedir [2]. Pırıldamadan ve enstantane gürültüden kaynaklanan BER hesaplamaları literatürde mevcuttur [12-16]. Bu çalışmalardan ilgili olanları şunlardır:

Tyson ve Canning 2003 yılındaki deneysel çalışmasında, optik bir bağlantıdaki BER değerini ölçerek ve teorideki değerini hesaplayarak sistem performansını artırıcı adaptif optik yöntemini önermiştir [12].

Riclin ve Davidson 2003 yılında eş fazlı olmayan Gauss demeti için BER hesaplamaları yapmıştır [13]. Bu çalışma sonucunda, kaynağın boyutunu, odak uzaklığını, eş fazlılık parametresi değiştirerek, belirli atmosfer koşullarında en düşük BER değerini sağlayacak optimum parametreler belirlenmiştir.

Majumdar 2005 yılında yayınladığı raporunda türbülanslı ve türbülans bulunmayan ortamlarda, farklı modülasyon türleri için SNR ve BER değerlerinin nasıl hesaplanacağını ifade etmiştir [14].

2008 ve 2009 yılında Arpali ve arkadaşları kolime (*collimated*) ve yakınsak (*convergent*) laser demetler (Gauss, cos-Gauss, cosh-Gauss, annular) için zayıf türbülanslı ortamda BER hesaplamaları yapmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, uzun ve kısa iletim uzaklıkları için en düşük BER değerini veren demet ve kaynak parametreleri elde edilmiştir [15-16].

OTH sistemlerinin yeryüzü uygulamalarının geliştirilmesi için SLG laser demetinin BER-SNR analizi önemlidir. OTH sistemlerinin yeryüzü uygulamalarına konut, üniversite, ticari yapı gruplarından oluşan yerleşelerde çatıdan çatıya geçici veya kalıcı bağlantılar (yerel alan ağları) örnek olarak verilebilir. Çalışmanın amacı, SLG laser

demetinin bağlantı performansının ticari sistemlerde kullanılan Gauss laser demeti ile karşılaştırılmasıdır.

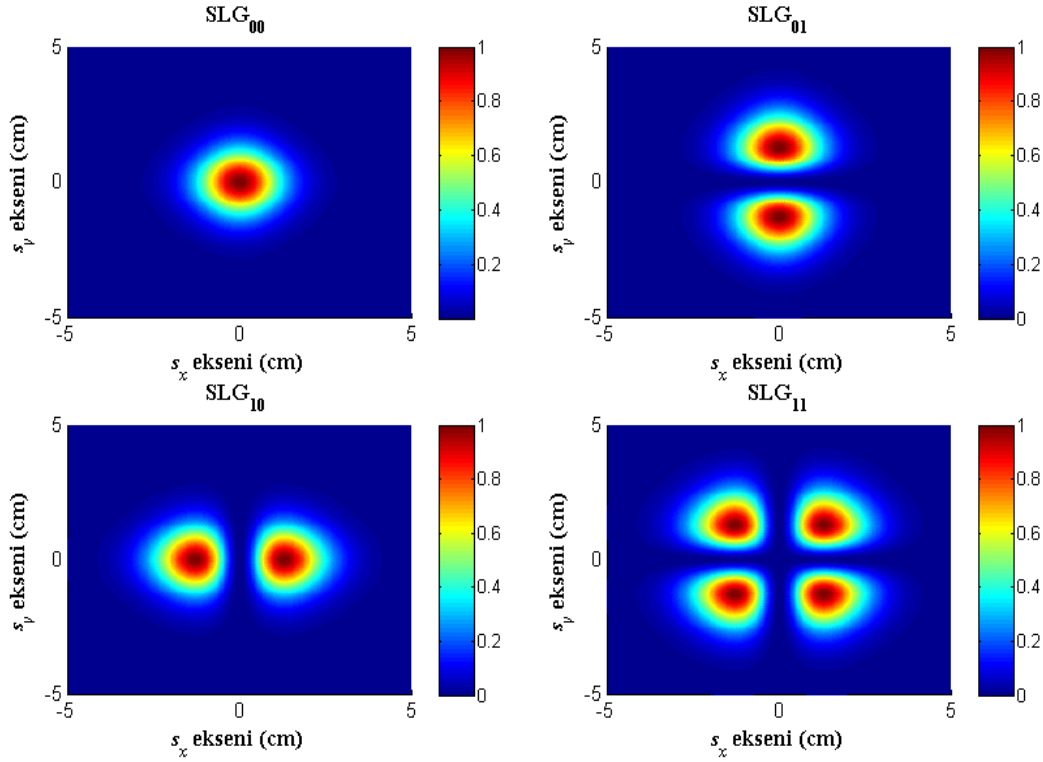
SLG demetlerinin, zayıf türbülanslı atmosfer koşullarında, yatay iletim uzaklıklarında, BER - SNR analizi literatürde mevcut değildir. Bu doğrultuda çalışmamızda, doğrudan algılamalı bir alıcı için açma kapama anahtarlama (*On-Off Keying* : *OOK*) modülasyonu kullanımı göz önünde bulunduruldu. Ortam zayıf türbülanslı atmosfer seçildiğinden ışık şiddetindeki sapmaların olasılık yoğunluk fonksiyonu için log-normal dağılım modeli kullanılmıştır.

2. SUPER LORENTZ-GAUSS LASER DEMETİ VE PIRILDAMA İNDİSİ (SUPER LORENTZ-GAUSS LASER BEAM AND ITS SCINTILLATION)

Aktif bölgesi 0,1µm olan Ga_(1-x)Al_xAs türü laser kaynakları, SLG laser demetini oluşturmaktadır [6]. SLG laser demetinin analitik eşitliği (Eşitlik (1)) Super Lorentz ve Gauss demet profillerinin analitik ifadesinin çarpımı ile elde edilir [6,9,10].

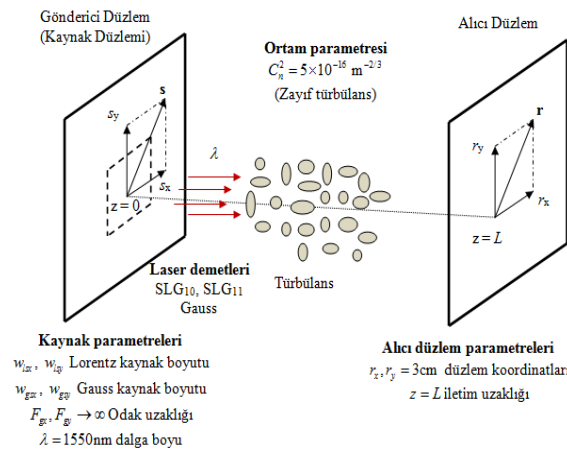
$$u_{a,b}(s_x, s_y, z=0) = \underbrace{\frac{s_x^a}{1+s_x^2 w_{lsx}^{-2}} \frac{s_y^b}{1+s_y^2 w_{lsy}^{-2}}}_{\text{super Lorentz Profili}} \cdot \underbrace{\exp(-0.5k(w_{gx} s_x^2 + w_{gy} s_y^2))}_{\text{Gauss Profili}} \quad (1)$$

burada s_x, s_y kaynak düzlemi koordinatlarını, w_{lsx} ve w_{lsy} Lorentz kaynak boyutunu, $k = 2\pi/\lambda$ dalga sayısını ifade etmektedir. Gauss kaynak boyutu (w_{gxx}, w_{gyy}) ve dalga eğrilik yarıçapı (F_{gx}, F_{gy}) ile ilişkili kompleks parametre $w_{gx} = 1/(kw_{gxx}^2) + i/F_{gx}$, $w_{gy} = 1/(kw_{gyy}^2) + i/F_{gy}$ eşitliği ile verilir. a ve b indisleri 0 değerini aldığımda Lorentz - Gauss, 1-0 veya 1-1 olduğunda SLG demeti olarak adlandırılır. $a=0, b=0$ ve $w_{lsx}, w_{lsy} \rightarrow \infty$ alınarak Eşitlik (1) Gauss demetine indirgenir ve SLG modlarını Gauss demetiyle karşılaştırma kolaylığı sağlanır. SLG laser demetleri için kaynak düzlemindeki normalize ışık şiddeti dağılımları, kaynak boyutu $w_{lsx}, w_{lsy} = 2$ cm, $w_{gxx}, w_{gyy} = 2$ cm seçilerek Matlab programı yardımıyla Şekil 1'de incelenmiştir.



Şekil 1. SLG laser demetlerinin normalize ışık şiddeti profilleri (Normalized beam profile of SLG laser beams)

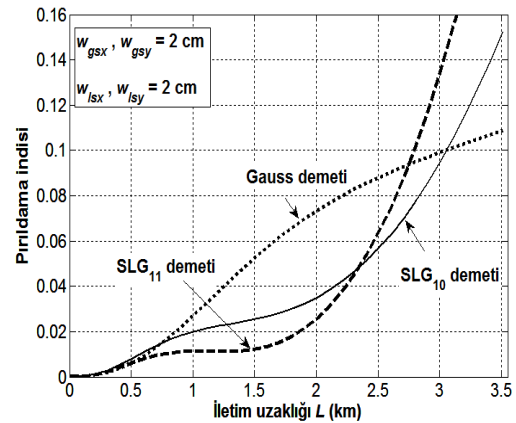
OTH sistemleri için türbülanslı ortamda yayılan SLG laser demetinin pırıldama analizinde kullanılan parametreler Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Pırıldama analizinde kullanılan parametreler (Parameters of analyzing scintillation)

OTH sistemlerinin yeryüzü uygulamalarında, türbülans seviyesinin belirlenmesi için kullanılan pratik ölçüt, türbülans yapı sabiti (C_n^2), dalga sayısı (k) ve iletim uzaklığının (L) fonksiyonu olan Rytov varyansdır. Düzlemsel dalganın Rytov varyansı $\sigma_R^2 = 1,23C_n^2 k^{7/6} L^{11/6}$ eşitliğiyle ifade edilmektedir ve zayıf türbülanslı ortamda, $\sigma_R^2 < 1$ olarak tanımlıdır [1-2].

SLG laser demetlerinin pırıldama indisi, genişletilmiş Huygens-Fresnel integrali kullanılarak, yarı analitik çözüm yöntemi ile hesaplanmıştır [3,10,11]. Referans [10]’daki Eşitlik (6) kullanılarak iletim uzaklığına bağlı Gauss ve SLG laser demetlerinin, alıcıda orjin dışındaki bir noktada (*off axis position*), pırıldama indisi değişimi Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. Pırıldama indisinin iletim uzaklığı ile değişimi (Variations in scintillation index versus range)

Şekil 3’de laser demetlerinin uzaklığa bağlı olarak; $L < 2,3$ km için SLG₁₁, $2,3 < L < 3$ km için SLG₁₀ ve $L > 3$ km için Gauss laser demetinin pırıldama indisinin en az olduğu gözlenmiştir.

3. SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANI (BIT ERROR RATE: BER)

OTH sistemlerinde bağlantı performansı SNR ve BER ile ifade edilmektedir. Doğrudan algılamalı alıcıda, OOK modülasyonu için türbülanslı bir ortamdaki SNR Eşitlik (2)'de sunulmuştur [2].

$$\langle \text{SNR} \rangle = \frac{\text{SNR}_0}{\sqrt{\frac{P_{SO}}{\langle P_S \rangle} + m_{ab}^2 \text{SNR}_0^2}} \quad (2)$$

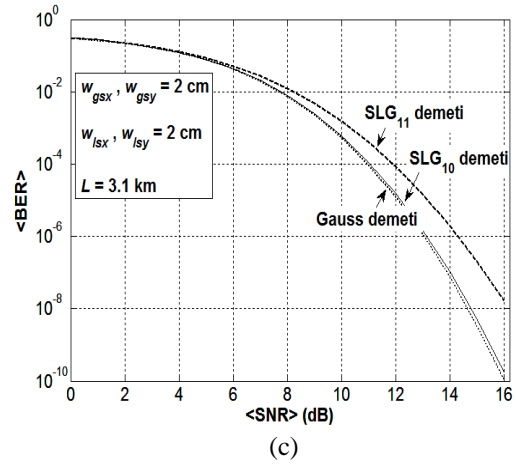
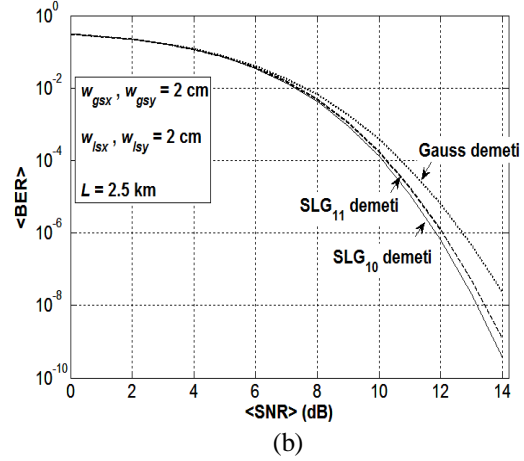
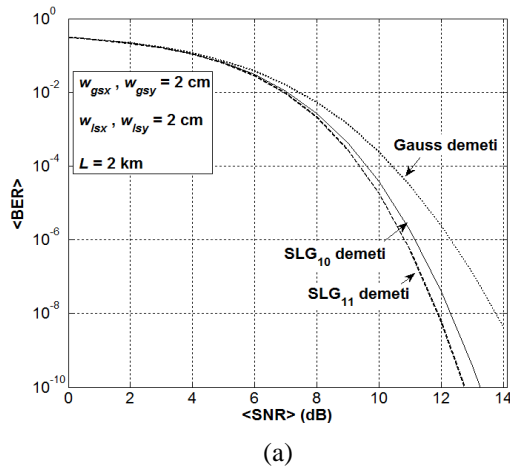
Burada, P_{SO} türbülanssız ortamda alıcıdaki sinyal gücü, $\langle P_S \rangle$ türbülanslı ortamdaki sinyal gücü, SNR_0 türbülanssız ortamda dedektör sinyal akımının gürültü akımına oranı, m_{ab}^2 pırıldama indisidir. Türbülanslı bir ortamdaki BER Eşitlik (3)'de verilmiştir [2].

$$\langle \text{BER} \rangle = \frac{1}{2} \int_0^\infty p_I(u) \text{erfc} \left(\frac{\langle \text{SNR} \rangle u}{2\sqrt{2}} \right) du \quad (3)$$

Eşitlik 3'de $p_I(u)$ ışık şiddetindeki sapmaların olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Çalışmada zayıf türbülanslı ortam için BER analizi Eşitlik (4)'de verilen log-normal dağılım modeli kullanılarak yapılmıştır.

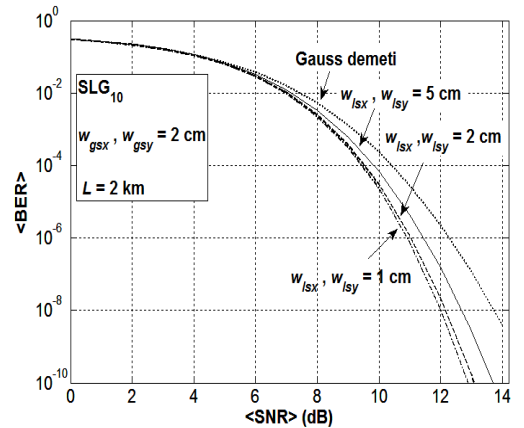
$$p_I(u) = \frac{1}{um_{a,b}\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{\left[\ln(u) + \frac{1}{2}m_{a,b}^2 \right]^2}{2m_{a,b}^2} \right), u > 0 \quad (4)$$

Şekil 2'deki parametreler ve Şekil 3'deki pırıldama indis değerleri göz önünde bulundurularak, farklı uzaklık değerleri için BER-SNR değişimleri Şekil 4'de çizdirilmiştir. 3 km den az yatay iletim uzaklığında SLG laser demetlerinin bağlantı performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir.

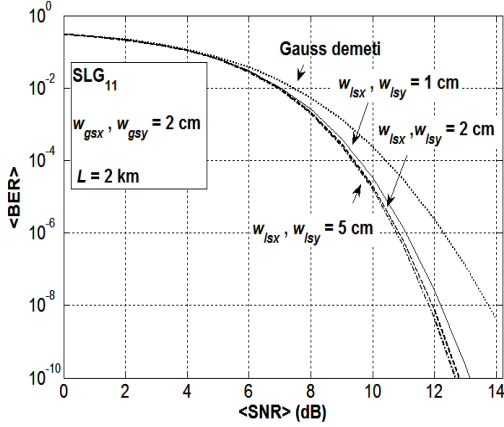


Şekil 4. BER – SNR değişimi (Variation of BER – SNR) (a) $L = 2$ km, (b) $L = 2,5$ km, (c) $L = 3,1$ km

SLG demetinin Lorentz ya da Gauss özelliğinin baskın olduğunu w_{isx}/w_{gsx} oranı belirler. w_{gsx} sabit tutulup w_{isx} azaltıldığında Lorentz özelliği artarken, w_{gsx} sabit tutulup w_{isx} arttırıldığında Gauss özelliği artmaktadır [6, 10, 11]. SLG₁₀ ve SLG₁₁ demetleri için Lorentz kaynak boyutu değiştirilerek $L=2$ km'deki BER-SNR değişimi incelenmiştir (Şekil 5 ve 6).



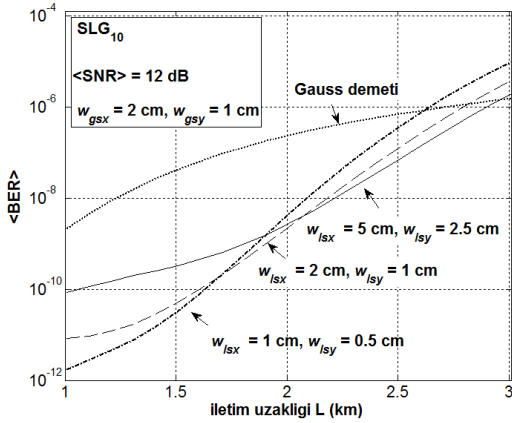
Şekil 5. SLG₁₀ için BER – SNR değişimi (BER – SNR variations for SLG₁₀)



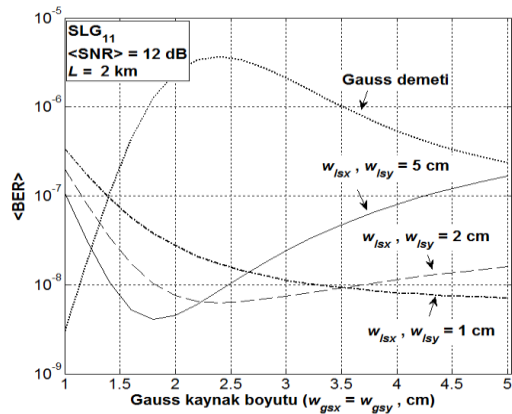
Şekil 6. SLG₁₁ için BER – SNR değişimi (BER – SNR variations for SLG₁₁)

$L=2$ km iletim uzaklığı baz alınarak yapılan karşılaştırmada, Şekil 5'de kaynağın Lorentz özelliği arttığında, Şekil 6'da ise kaynağın Gauss özelliği arttığında, BER değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Sinyal gürültü oranı $\langle \text{SNR} \rangle = 12$ dB olacak şekilde hesaplanan, asimetrik kaynak boyutlu SLG₁₀ demeti için BER - iletim uzaklığı değişimi ve SLG₁₁ demeti için BER - Gauss kaynak boyutu değişimi, Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.



Şekil 7. SLG₁₀ için BER – iletim uzaklığı değişimi (BER – range variations for SLG₁₀)



Şekil 8. SLG₁₁ için BER – Gauss kaynak boyutu değişimi (BER – Gaussian beamwidth variations for SLG₁₁)

Şekil 7 ve 8'de Lorentz özelliği, Gauss özelliği ve iletim uzaklığı değişiminin demetler üzerindeki etkisi çok boyutlu incelenmiştir. SNR sabit tutularak yapılan analizlerde; asimetrik kaynak boyutlu SLG₁₀ laser demetlerinin 2,6 km'den az yatay iletim uzaklığında, Şekil 7, $L=2$ km'deki SLG₁₁ laser demetlerinin Gauss kaynak boyutu 1,4 cm'den büyük olduğunda, Şekil 8, BER değerlerinin Gauss demetine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Optiksel telsiz sistemlerinde atmosferdeki pırlıdamaya kaynaktan gönderilen laser sinyalinin zayıflamasına ve dalgalanmasına neden olur. Bu nedenle iletim uzaklığına bağlı olarak, verici laser demetinin seçimi pırlıdamayı azaltmada önemli rol oynar. Bu amaç doğrultusunda çalışmada, super Lorentz-Gauss laser demetinin pırlıdamadan kaynaklanan BER-SNR değişim analizi yapıldı. SLG demeti, Gauss tipi laser kaynağı kullanıldığında elde edilmiş pırlıdamaya değerleri ile karşılaştırıldı ve bağlantı performansı (BER-SNR değişimi) incelendi.

Zayıf türbülanslı atmosferde, açma kapama anahtarlar modülasyonu kullanımı göz önünde bulundurularak, iletilen SLG ve Gauss demetlerinin bağlantı performansı doğrudan algılamalı bir alıcı için karşılaştırıldı (Şekil 4). İletim uzaklığı $L < 3$ km için SLG laser demetlerinin Gauss demetine göre BER değerinin daha düşük olduğu yani daha iyi bağlantı performansı sağladığı belirlendi.

$L=2$ km iletim uzaklığında, Lorentz kaynak boyutu değiştirilerek yapılan BER – SNR analizinde (Şekil 5 ve 6), SLG₁₀ için kaynağın Lorentz özelliği artırıldığında, SLG₁₁'de ise kaynağın Gauss özelliği artırıldığında BER değerinin düştüğü ve Gauss laser demetine göre daha iyi performans sağladığı sonucuna varıldı.

Parametre değişiminin demetler üzerindeki etkisini çok boyutlu incelemek amacıyla $\langle \text{SNR} \rangle = 12$ dB'ye sabitlenerek BER hesaplamaları yapıldı (Şekil 7 ve 8). Asimetrik kaynak boyutlu SLG₁₀ laser demetinin $L \leq 2,6$ km yatay iletim uzaklığında, $L=2$ km'deki SLG₁₁ laser demetinin Gauss kaynak boyutu 1,4 cm'den büyük olduğunda BER değerlerinin Gauss demetine göre daha düşük olduğu gözlemlendi.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Majumdar, A. K., Ricklin, J. C., **Free-Space Laser Communications Principles and Advances**, Optics & Lasers, New York, A.B.D., 2008.
2. Andrews, L.C., Phillips, R.L., **Laser Beam Propagation Through Random Media**, PM 152, SPIE, Washington, A.B.D. 2005.

3. Eyyuboglu, H.T., Baykal, Y.K., Cai, Y., “Scintillation calculations for partially coherent general beams via extended Huygens–Fresnel integral and self-designed Matlab function”, **Applied Physics B Lasers and Optics**, Cilt 100, No 3, 597-609, 2009.
4. Eyyuboglu, H.T., “Partially coherent Lorentz-Gaussian Beam and its scintillation”, **Applied Physics B Lasers and Optics**, Cilt 103, No 3, 755-762, 2011.
5. Gerçekcioğlu, H., Baykal, Y.K., “Annular beam scintillations in non-Kolmogorov weak turbulence”, **Applied Physics B Lasers and Optics**, Cilt 106, No 4, 933-937, 2012.
6. Gawhary, O., Severini S., “Lorentz beams and symmetry properties in paraxial optics”, **J.Opt. A: Pure and Applied Optics**, Cilt 8, No 5, 409-414, 2006.
7. Gawhary, O., Severini S., “Lorentz beams as a basis for a new class of rectangularly symmetric optical fields”, **Optics Communications**, Cilt 269, No 2, 274-284, 2007.
8. Zhou, G., “Average intensity and spreading of a super Lorentz-Gauss modes in a turbulent atmosphere”, **Applied Physics B Lasers and Optics**, Cilt 101, No 1-2, 371-379, 2010.
9. Zhou, G., “Super Lorentz-Gauss modes and their paraxial propagation properties”, **Journal of the Optical Society of America A Optics Image Science and Vision**, Cilt 27, No 3, 563-571, 2010.
10. Gökçe, M.C., Eyyuboglu, H.T., “Irradiance fluctuation of partially coherent super Lorentz – Gaussian beams”, **Optics Communications**, Cilt 284, No 20, 4857 – 4861, 2011.
11. Gökçe, M.C., **Optiksel Telsiz İçin Yüksek Dereceli Lorentz-Gauss Laser demetlerinin Pırdama Analizi ve Değerlendirilmesi**, Master Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
12. Tayson, R.K., Canning, D.E., “Indirect measurement of a laser communications bit-error-rate reduction with low-order adaptive optics”, **Applied Optics**, Cilt 42, No 21, 4239-4243, 2003.
13. Ricklin, J.C., Davidson, F.M., “Atmospheric optical communication with a Gaussian Schell beam”, **Journal of the Optical Society of America A Optics Image Science and Vision**, Cilt 20, No 5, 856-866, 2003.
14. Majumdar, A.K., “Free-space laser communication performance in the atmospheric channel”, **Journal of Optical Fiber Communication**, Cilt 2, No 4, 345-396, 2005.
15. Arpali, S.A., Eyyuboglu, H.T., Baykal Y., “Bit error rates for general beams”, **Applied Optics**, Cilt 47, No 32, 5971-5975, 2008.
16. Arpali, S.A., Baykal, Y., “Bit Error Rates for Focused General-type beams”, **Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS)**, Moscow, 1600-1603, 12-21 Ağustos, 2009.