

## CHAOTIC DATA COMMUNICATION SYSTEM DESIGN BY USING RAMAN AMPLIFIER

Remzi YILDIRIM\*  
Gazi Üniversitesi End. Sant.Eğt. Fak. Bil. Böl.-Ankara  
e-mail:remzi@gazi.edu.tr

Fatih V. ÇELEBİ  
Başkent Üniversitesi Teknik Bilimler MYO ANKARA

### ABSTRACT

In this study, an 80 km. long fiber-optic data communication system is designed by using Raman amplifier. Chaotic communication technique is used contrary to regular data communication principles. The components of the chaotic signal are the optical noise by AWGN (Additive White Gaussian Noise,AWGN) technique and ONA (Optical Noise Adder,ONA) in addition to the modulated signal which is obtained by using external optical modulator. Non-return to zero (NRZ) technique is selected in the design.

*Key Words:*Raman amplifier, Chaotic communication, Chaotic modulation, Chaos, Data communication

## RAMAN YÜKSELTECİ KULLANILARAK TASARLANMIŞ KAOTİK VERİ HABERLEŞME SİSTEMİ

### ÖZET

Bu çalışmada Raman yükselteci kullanarak 80 km uzunluğunda fiber optik veri haberleşme sistemi tasarlanmıştır. Sistem, geleneksel veri haberleşme sisteminden farklı olarak kaotik haberleşme tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Harici elektro-optik modülatör kullanılarak elde edilen modüleli işaret, AWGN (Additive White Gaussian Noise,AWGN) tekniğiyle elde edilen optik gürültü ve optik gürültü ekleyici (ONA) (Optical Noise Adder,ONA) ilave edilerek kaotik işaret elde edilmiştir. Ağ tasarımı tekniği olarak ise sıfıra dönüşsüz ağ sistem tekniği (NRZ) seçilmiştir.

*Anahtar Kelimeler:* Raman yükselteç, Kaotik haberleşme, Kaotik modülasyon, Kaos,Veri haberleşmesi

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda hızlı büyüyen internet ve veri haberleşme trafiği haberleşme sistemlerinde pek çok araştırmayı başlatmıştır. Bu araştırmalar da özellikle sistemlerin band genişliğini artırmaya yönelik şekilde yoğunlaşmıştır. Band genişliğini artırmak için değişik altyapıya sahip ağ sistemleri ve yeni modülasyon teknikleri geliştirilmektedir. Mevcut ağ altyapısında ise band genişliğini artırmak için klasik modülasyon teknikleri zorlanmakta ve yeni modülasyon teknikleri uygulanmakta olup araştırmalar devam etmektedir. Bu tekniklerden başlıcaları; kendinden kaymalı faz modülasyonu (Self Phase Modulation,SPM), karşı faz modülasyonu (Cross Phase Modulation,XPM), dört dalga karışımı modülasyon (Four Wave Mixing Modulation, FWMM), yoğun dalga

### 1. INTRODUCTION

In the last few years, rapid increase in the usage of internet and data communication techniques conduct different types of researches. These researches are mainly focused to increase the bandwidths with the help of different old and newly developed modulation techniques and different substructure network systems. The limits of the classical modulation techniques are being forced and new modulation techniques are under investigation. Some of these new modulation techniques are self phase modulation (SPM), cross phase modulation (XPM), four wave mixing modulation (FWMM), dense wavelength division multiplexing (DWDM), sub-carrier multiplexed (SCM), wavelength division multiplexed (WDM), time division multiplexed (TDM), and discrete wavelength

uzunluğu bölmeli çoğullama (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM), alttaşıyıcısı çoğullanmış (Subcarrier Multiplexed), dalga bölmeli çoğullama (Wavelength Division Multiplexed, WDM), zaman bölmeli çoğullama (Time Division Multiplexed, TDM) ve çok tonlu dalgacık modülasyonu (Discrete Wavelet Multitone, DWMT) olmak üzere sıralanabilir. Bu tekniklerin dışında çok geniş band genişliğine ve kanal sayısına sahip olan kaotik haberleşme son yıllarda dikkatleri üzerine çekmekte ve diğer tekniklere göre bilginin de güvenli şekilde taşınmasını temin etmektedir (1-9).

Fiber optik haberleşme sistemleri lazer kaynakları, fiberler, yükselteçler ve diğer aktif ve pasif elemanlardan oluşur. Aktif elemanlar arasında yarıiletken optik yükselteçler (Semiconductor Optical Amplifier, SOA), EDFA fiber (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA), raman fiber yükselteçler (Bidirectional Nonlinear Fiber Amplifier, RAMAN), TDFA (Thulium Doped Fiber Amplifiers, TDFA), EDFA/RAMAN melez fiber yükselteçler ve çoklu dalga boyu pompalanabilir raman yükselteçlerinden oluşur. EDFA/RAMAN melez yükselteçleri henüz araştırma aşamasında olup gelecek için ümit vermektedir (3). Bir diğer araştırma sürecinde olan ise soliton dalgaları taşıyacak olan soliton fiberler ve bunların aktif ve pasif elemanlardır. Bu yükselteç gurubu içerisinde özellikle son zamanlarda raman yükselteçleri öne çıkmıştır (3).

Kaotik haberleşmenin temel özelliklerinden biride alınan ve verilen mesajın güvenli bir şekilde iletilmesidir. Bilgi iletim ortamında taşınırken, bilginin güvenliğinin korunması çeşitli yöntemler kullanılarak sağlanır. Bilgi güvenliğini sağlamanın başka bir teknik yolu da bilgiyi kaotik dalga şekline çevirmek veya kaotik haberleşme sistemleri kullanmaktır. Bilgiler bu sistemlerde taşınırken kodlama veya kriptolama teknikleri kullanılarak gönderilecek olan bilginin gizliliği ve güvenliği ilave olarak artırılır (4-13). Kaotik haberleşme sistemleri çeşitli şekillerde tasarlanabilir. Klasik telli haberleşme sistemlerinde kullanılan elemanları lineer olmayan bölgelerde çalıştırarak kaotik ortam elde edilir veya kaotik dalga elde edilerek telli, telsiz veya optik ortamda bilgi gönderilecek hale getirilir. Bilgi iletimi senkronizasyonlu ve senkronizasyonsuz kaotik haberleşme yönteminden birisi tercih edilerek yapılır (6-9). Kullanım alanları, band genişlikleri ve sistem maliyeti de dikkate alınarak kullanıcı tercihinin yapar. Bu çalışmada ise sayısal olarak modüle edilmiş bilgiye gürültü bindirilerek taşıyıcı ortamda Raman yükselteci kullanılmıştır. Bu teknik gürültü tekniğiyle kaotik haberleşme olarak adlandırılmaktadır.

## 2. RAMAN EŞİTLİKLERİ

Tek modlu işaretin yükseltilmesi, tek modlu pompalamayı temel kabul ederek aşağıdaki eşitlikler ile tanımlanmıştır. Bunlar;

multi-tone (DWMT). Besides these techniques, chaotic communication which enables higher values of bandwidth are using by increased attention and the data communication is securely implemented with in this method (1-9).

Fiber-optic communication systems are composed of different groups which are laser sources, fibers, amplifiers and other active and pasive elements. The names of the active elements group are semiconductor optical amplifiers (SOA), erbium doped fiber amplifiers (EDFA), bi-directional non-linear fiber amplifiers (RAMAN), thulium doped fiber amplifiers (TDFA) and EDFA/RAMAN hybrid fiber amplifiers. EDFA/RAMAN hybrid amplifiers are still in the research stage and the expectation for these amplifiers are in the high level for future developments [3]. Another research topic is the soliton fibers and their active and passive elements. In this group RAMAN amplifiers are one of the most popular elements and these are in the front of the research area (3).

One of the basic properties of the chaotic communication systems is to achieve secure transmission. When the data is in the transmission medium, the security is obtained by using different methods. One of these methods is realized by converting the data into chaotic wave or using chaotic communication systems. The security and the level of secrecy of the data is additionally increased during the data transmission by using coding and cryptology techniques (4-13). These systems can be designed in different ways. The components that can be used in classical communication systems can be operated in non-linear regions where the chaotic environment is achieved. Secondly, chaotic wave is obtained in order to transmit the data by using classical wire, wireless, or optical environment. Chaotic data transmission is achieved by either choosing synchronous or non-synchronous ways (6-9). The designer make his/her own choice by taking the area of usage, bandwidth, and the cost of the system in to consideration. In this study, noise is added to the digitally modulated data and the Raman amplifier is used in the transmitting medium. This method is called chaotic communication by using noise technique.

## 2. RAMAN EQUATIONS

To amplify the single mode signal based on the single mode pumping, the equations that are written below are defined for Raman amplifier;

$$\frac{dI_p}{dz} = -\alpha_p I_p - \frac{\lambda_s}{\lambda_p} g_R(\lambda) I_p I_s \quad [1]$$

$$\frac{dI_s}{dz} = -\alpha_s I_s + g_R(\lambda) I_p I_s \quad [2]$$

eşitliklerde geçen  $I_p$  pompalama yoğunluğu,  $I_s$  işaret yoğunluğu,  $g_R(\lambda)$  malzeme türüne bağlı olarak raman kazanç sabiti,  $\alpha_s$  ve  $\alpha_p$  işaretin dalga boyuna bağlı kayıplar olarak tanımlanmıştır. Raman kazanç sabiti  $g_R(\lambda)$  fiber çapına ve değişik özelliklerdeki katkı maddelerine bağlı olarak değişebilir (3). Raman yükseltecindeki radyal ve eksenel parçalardaki yoğunluk bozulması ise:

$$I = I^{rad}(r, \theta) \cdot I^{ax}(z) \quad [3]$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu nedenle optik gücün ifadesi:

$$P(z) = 2\pi \int_0^{\infty} I(r, \theta) r dr = \langle I(r, \theta) \rangle \quad [4]$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu eşitliğin açılımı:

$$\frac{dP_p}{dz} = -\alpha_p P_p - \frac{\lambda_s}{\lambda_p} \frac{g_R(\lambda)}{A_{eff}^R} P_p P_s \quad [5]$$

$$\frac{dP_s}{dz} = -\alpha_s P_s - \frac{g_R(\lambda)}{A_{eff}^R} P_p P_s \quad [6]$$

şeklinde yapılır. İfade de geçen

$$A_{eff}^R = \frac{\langle I_p^{rad} \rangle \langle I_s^{rad} \rangle}{\langle I_p^{rad} I_s^{rad} \rangle} \quad [7]$$

ile tanımlanmıştır. İşaret gücü yeteri kadar düşük ise raman saçılması ihmal edilerek Eş.5

where  $I_p$  is the pump density,  $I_s$  is the signal density,  $g_R(\lambda)$  is the Raman gain constant based on the material type,  $\alpha_s$  and  $\alpha_p$  are defined as the losses due to the signal wavelength.  $g_R(\lambda)$  can be varied according to fiber diameter and different doping materials (3). In the Raman amplifier, the density deterioration in the radial and axial particles are defined as:

For this reason the expression for the optical power is:

The expansion of this equality:

where  $A_{eff}^R$  is defined as:

If the signal power is sufficiently low, the raman scattering is ignored and the Eq.5 is simplified as:

$$\frac{dP_p}{dz} = -\alpha_p P_p \quad [8]$$

şeklinde sadeleşir. Güç ise

$$P_p = P_p(0) e^{-\alpha_p z} \quad [9]$$

Then the power is:

$$\frac{dP_s}{dz} = -\alpha_s P_s - \frac{g_R(\lambda)}{A_{eff}^R} [P_p(0) e^{-\alpha_p z}] P_s \quad [10]$$

ve eşitlik (10)'u z üzerine integre edilirse ,

The integration of equation (10) with respect to variable z results in:

$$P_s(L) = P_s(0) \exp \left( \frac{g_R(\lambda)}{A_{eff}^R} [P_p(0) L_{eff} - \alpha_s L] \right) \quad [11]$$

$$L_{eff} = \frac{1}{\alpha_p} (1 - e^{-\alpha_p L}) \quad [12]$$

şeklinde verilmiştir. İfadede geçen  $L_{eff}$  fiberin etkin uzunluğu olarak tanımlanmıştır.

Gürültü, G kazançlı iki uçlu eleman için, her iki işaretin elektriksel değerleri dikkate alındığında giriş işaretinin gürültü oranı ( $SNR_i$ ), çıkış işaretinin gürültü oranı ( $SNR_o$ ) olarak tanımlanırsa:

$$SNR_i = \frac{\langle i \rangle^2}{\sigma_i^2} = \frac{P_i^2}{2P_i h\nu B_e} = \frac{P_i}{2h\nu B_e} \quad [13]$$

ile verilir. Bu ifade elektriksel band genişliği olarak tanımlanmıştır. Çıkış işaretinin gürültü oranı ( $SNR_o$ ) ise:

where  $L_{eff}$  is defined as the effective fiber length. If the electrical values of the two signals are taken into consideration for a bilateral element with gain G, both the input signal to noise ratio ( $SNR_i$ ) and output signal to noise ratio ( $SNR_o$ ) are defined as:

This expression ( $SNR_i$ ) is also defined as the electrical bandwidth.

$$SNR_o = \frac{\langle o \rangle^2}{\sigma_o^2} = \frac{P_o^2}{\sigma_o^2} = \frac{G^2 P_i^2}{\sigma_o^2} \quad [14]$$

$$F_N = \frac{SNR_i}{SNR_o} = \frac{\sigma_o^2}{2G^2 P_i h\nu B_e} \quad [15]$$

İşaretin yükseltilmiş kendiliğinden ışımali (Amplified Spontaneous Emission, ASE) durumunda ve gürültünün baskın halinde:

when the noise is dominant, under the amplified spontaneous emission (ASE) signal  $\sigma_o^2$  is equal to:

$$\sigma_o^2 = 4P_o P_{ASE} + 2P_o h\nu B_e \quad [16]$$

şeklinde tanımlanmıştır. İfade de geçen  $P_{ASE} = \eta_{sp} (G-1)h\nu B_e$  olarak tanımlanmış ve  $\eta_{sp}$  ise kendiliğinden ışımaya faktörüdür.  $\eta_{sp} \geq 1$  durumu için

where  $P_{ASE} = \eta_{sp} (G-1)h\nu B_e$  and  $\eta_{sp}$  is the spontaneous emission factor.

When  $\eta_{sp} \geq 1$  then:

$$F_N = \frac{SNR_i}{SNR_o} = \frac{\sigma_o^2}{2G^2 P_i h\nu B_e} = \frac{4P_o P_{ASE} + 2P_o h\nu B_e}{2G^2 P_i h\nu B_e} = \frac{1}{G} \left[ \frac{2P_{ASE}}{h\nu B_e} + 1 \right] = \frac{1}{G} [2(G-1)\eta_{sp} + 1] \quad [17]$$

In the absence of power pumping ASE noise is sufficiently low. The ASE power spectral density is given as:

$$S_{ASE}(v) = (G-1)h\nu \frac{N_2}{N_2 - N_1} \quad [18]$$

şeklinde tanımlanmıştır. Güç pompalanmadığı zaman raman yükselteçlerindeki ASE gürültüsü yeteri kadar düşüktür. ASE güç spektral yoğunluğu:

where  $N_2$  and  $N_1$  represents the upper and lower level population inversions respectively. The noise is then defined as:

$$NF = \frac{1}{G} \frac{2S_{ASE}(v)}{h\nu + 1} \quad [19]$$

ile tanımlanmıştır. İfadelerde geçen ve tanımı verilmeyen diğer terimler ise bilinen değişkenlerdir. Raman yükselteçlerinde dört önemli gürültü türü vardır. Bunlar;

The parameters in the expressions which are not mentioned are the known ones.

In Raman amplifiers there are four primary sources of noise;

1. İşaretin kendi darbesinden dolayı oluşan gürültü
2. Pompalama işaretinin çapraz karışmadan (crosstalk)

1. Signal spontaneous beating.

3. Pompalama ortamı işaret çapraz karışması
4. Çoklu yol girişimlerinden dolayı oluşan gürültü olarak tanımlanmıştır (1-3).

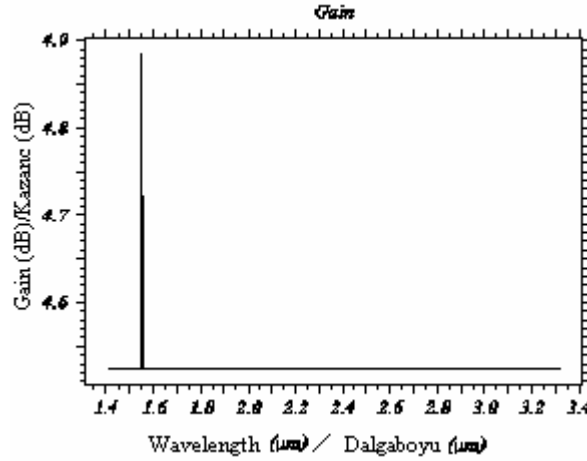
### 3. SİSTEMİN ANALİZİ

Şekil 1'de Raman yükseltecinin dalga boyuna bağlı olarak kazanç değişimini göstermektedir. Yükselteç 1550nm'lik dalga boyunda en yüksek kazançla sahiptir. Lazer kaynağı olarak 1550nm'lik kaynak kullanılmıştır. Çok-modlu lazer kaynağı kullanıldığında beklenen sistem veriminden uzak değerler elde edilir.

2. Pump signal crosstalk.
3. Pump-mediated signal crosstalk.
4. Multiple path interference (1-3).

### 3. ANALYSIS OF THE SYSTEM

Figure 1 shows the gain variation of the Raman amplifier as a function of wavelength. The peak gain is also obtained at the mentioned wavelength. In the amplifier, 1550 nm laser source is used. In the case of a multi-mode laser, the expected system efficiency can not be achieved.



**Figure 1.** Gain variation in Raman amplifier with respect to wavelength  
**Şekil 1.** Raman yükseltecinin dalga boyuna bağlı kazanç değişimi

ASE'nin etkisi ise Şekil 2 de görülmektedir. ASE'nin değeri yaklaşık 1538-1562nm dalga boyunda yaklaşık aynı değerleri almaktadır. Bu aralık aynı zamanda 1550nm'lik WDM uygulamalarında kanal boşlukları olarak alınır. WDM yapıları ağ sistemlerinde 4nm'lik aralıklarla 6 kanal ağ sistemine cevap verilmektedir. Kanal aralığı 3nm alınırsa 8 kanallı WDM ağ sistemini karşılar. WDM sistemleri son yıllardaki çalışmalarla kanal aralıkları daraltılmış ve geliştirilmiş olup 160 kanal sayısına kadar çıkartılmıştır (3). WDM ağ sistemlerinde kanal sayısını artırmanın diğer yolu ise DWDM tekniğini uygulamaktır. Kanal sayısının artması, ticari ağ işletmelerinin band genişliklerini artırarak ve daha çok kullanıcıya hizmet vermekte, işletme giderlerini düşürmekte ve ağ sistemini kar eden yatırıma dönüşmesini ve hizmetin devamlılığını sağlamaktadır.

Şekil 3 ve 4 de ise geri yansıyan ve ilerleyen güç görülmektedir. Şekil 3 geri yansıyan gücün dalga boyuna bağlı olarak dBm türünden kazancını göstermektedir. Raman yükselteçte, işaret artı pompalama gücü 1550nm'lik dalga boyunda maksimum değere ulaşmaktadır. Buna karşılık gürültü miktarı -70dBm daha düşük değerdedir. Dalga boyu büyüdüğünde gürültü miktarı -200dBm'den daha aşağılara düşmektedir. Şekil.4'de ilerleyen çıkış İAP gücün 1550nm'lik dalga boyunda yine maksimum kazançla ulaşmaktadır. Raman yükselteci 1450nm dalga boyunda CW lazer ile pompalanmıştır. İlerleyen İAP toplam güç ile gürültü arasında yaklaşık olarak 100nm'lik boşluk bulunmaktadır. Raman yükseltecinde pompalamaya başlandıktan sonra önce gürültü oluşmakta ve daha sonra ise yükseltecin

The effect of ASE is shown in Figure 2. The value of ASE (Amplified Spontaneous Emission, ASE) is approximately the same between the wavelength range 1538-1562nm. This interval is selected as channel spacings for WDM applications at 1550 nm. In WDM network systems, 4 nm. intervals meet the need for 6 channel network systems. If the channel space is taken as 3nm., this corresponds to 8 channel WDM network systems. In recent years, the channel spaces are reduced in size and the number of channels is increased to 160 (3). Another method to increase the number of channels in WDM systems is to apply DWDM technique. By increasing the number of channels, the bandwidths are increased for commercial network companies enabling them much more users. This means a profitable investment and continuous service providing.

Backward reflected and forward powers are shown in figures 3 and 4 respectively. In Figure 3, gain of the backward reflected power is shown in terms of dBm. In Raman amplifier, signal plus pumping (SPP) power is maximized at 1550 nm. The corresponding noise level is -70 dBm. lower. If the wavelength is increased, the noise value is decreased below -200 dBm. The forward power which is shown in fig. 4 is also maximized like SPP power at the value of 1550 nm. The Raman amplifier is pumped by a CW laser at 1450 nm. There are 100 nm. space between forward SPP total power and the noise. When the Raman amplifier is pumped, noise is firstly formed. When the working wavelength is achieved in the amplifier, SPP power starts to increase. If the laser source is not a single-mode one or the wavelength is not stable, excessive noise

çalışma dalga boyuna geldiğinde İAP gücünü yükseltmektedir. Eğer kullanılan lazer kaynaklarının dalga boyları tek modlu değilse veya kullanılan kaynağın dalga boyu kararsız ise aşırı gürültü oluşmaktadır. Sonuç olarak sistemin bağıl şiddet gürültü değeri standart değerlerden uzaklaşarak işaret gürültü oranı da büyür. Bu nedenle kaynağın dalga boyu kararlı ve tek modlu olmalıdır. Etkin gürültü kazancı dalga boyuna bağlı olarak Şekil.5 de görüldüğü gibi 1550nm de maksimum değerine ulaşmaktadır. Bunun nedeni ise, raman, işareti yükseltirken gürültüyü de beraberinde yükseltmekte ve en büyük değerine ulaştırmaktadır. Yükselen gürültü miktarı optik ve elektronik süzgeçler kullanılarak makul seviyelere indirilebilir.

is formed. Consequently, the relative intensity noise is far away from the standard values and SNR value is increased. For this reason, the source must be single-mode and wavelength stable. As shown in Fig. 5 effective noise gain is also maximized at 1550 nm. The reason is due to the amplified signal which also amplifies the noise together to the peak value. The amplified noise can be reduced to an acceptable level by using optical and electronic filters.

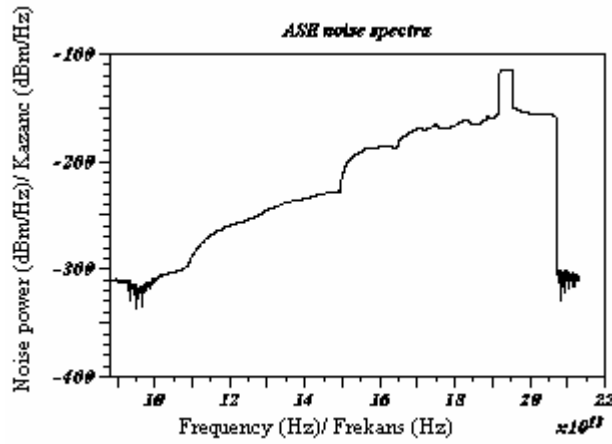


Figure 2. Gain variation of the ASE noise in Raman amplifier  
Şekil 2. Raman yükseltecinin ASE gürültüsünün frekansa bağlı kazanç değişimi

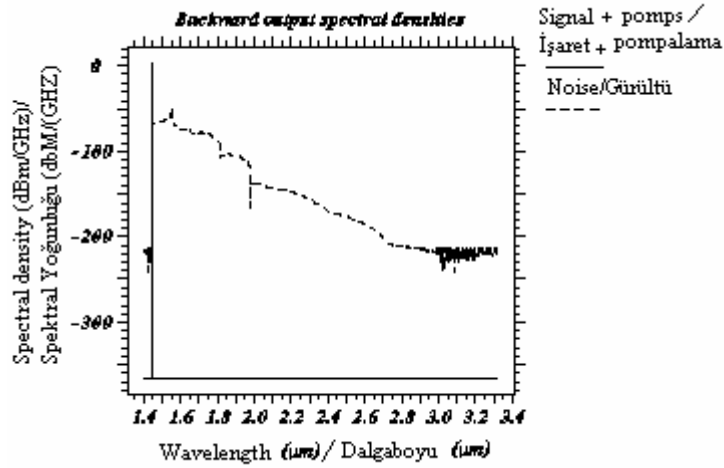


Figure 3. Backward power spectral density  
Şekil 3. Geriyansıyan çıkış spektral yoğunluğu

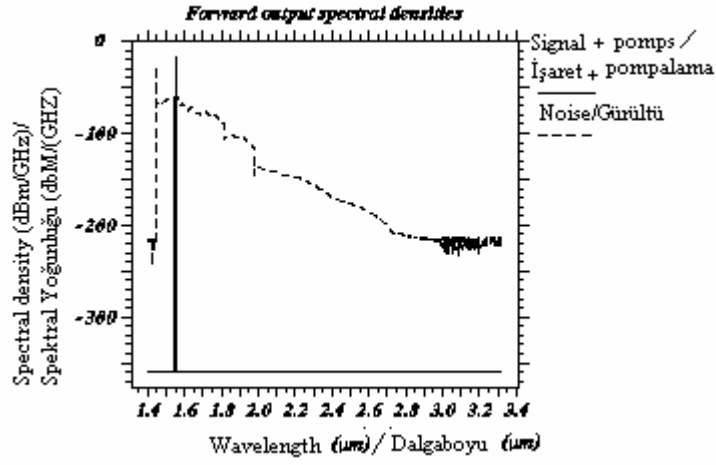


Figure 4. Forward power spectral density  
Şekil 4. İlerleyen çıkış spektral yoğunluğu

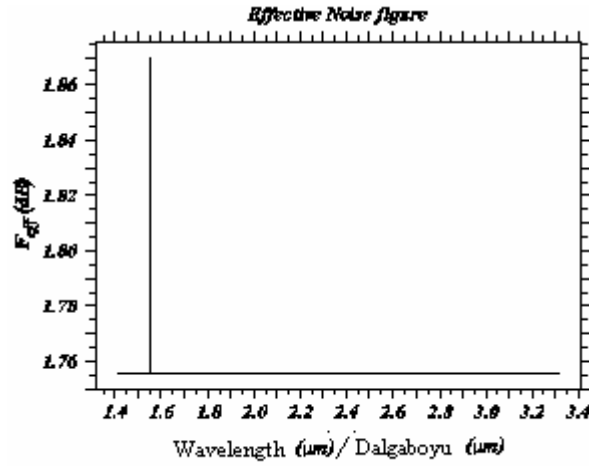


Figure 5. Effective noise gain.  
Şekil 5. Etkin gürültünün etkilediği dalga boyu

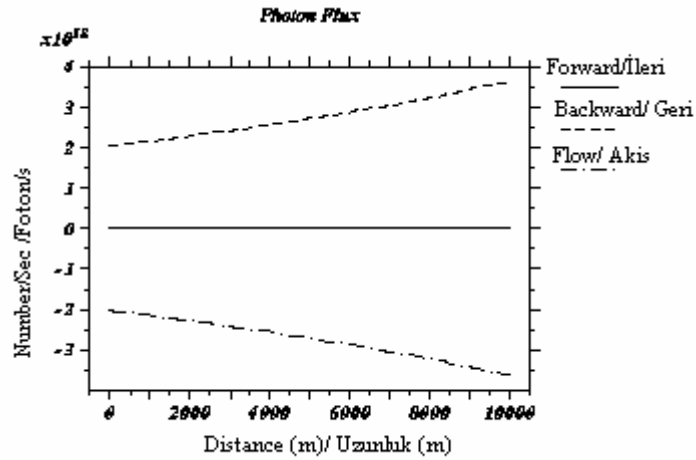


Figure 6. Photon variation in the Raman amplifier  
Şekil 6. Raman yükseltecin uzunluğuna bağlı foton sayısı

Raman yükseltecinde uzunluğa bağlı olarak foton yada güç değişimi Şekil.6 da görülmektedir. Yükselteç de ilerleyen güç, geriye yansıyan güç ve akan güç olmak üzere üç değişik güç durumu mevcuttur. Geriye yansıyan güç pompalama gücünden dolayı uzunluğa bağlı olarak artmaktadır. Bu artış ise ASE'nin artmasına sebep olur. ASE gürültüsü arttıkça sistemdeki toplam gürültü artışını etkileyerek işaret gürültü oranını değiştirebilir. Akan güç ise uzunluğa bağlı olarak zayıflama gösterir. Raman yükseltecin uzunluğu, çok uzun tutulduğunda diğer güçlere oranla küçük değerlere düşerek ihmal edilecek seviyeye gelebilir. İleri doğru akan güçte ise fiber uzunluğuna bağlı olarak kısa mesafelerde pek değişiklik görünmez. Şekil.7 de ise işaret gücünün uzunluğa bağlı olarak değişimi görülmektedir. Teorik olarak ilerleyen işaret raman yükseltecin uzunluğu arttıkça, işaret gücünün arttığı anlamına gelir. Bu durumdan faydalanarak son yıllarda 800 km gibi uzun fiber optik haberleşme sistemleri kurulurken raman yükseltecin bu özelliği de dikkate alındığından tercih edilmektedir (9). Bundan dolayı fiber optik haberleşme sistemlerinin altyapı maliyetlerinde ciddi düşüş sağlamakta ve EDFA' dan daha çok tercih edilmektedir. Bir diğer avantajı ise uzunluk artmasına rağmen ilerleyen ve geriye yansıyan gürültü miktarında hemen hemen hiç artma olmayıp sabit değerlerde görülmesidir.

Power or photon variation in the Raman amplifier in terms of distance is shown in fig. 6. There are three kinds of power in the amplifier which are forward, backward reflected, and propagating powers. Due to the pumping power, backward reflected power is increased due to the length which also increase the ASE. The increase in ASE affects the total noise in the system which may change the SNR ratio. The propagating power is reduced in terms of length which can be neglected for longer amplifier lengths compared to the other powers. The change in the forward power is not noticeable for smaller lengths dependent on the length of the fiber. Figure 7. shows the signal power variation as a function of distance. When the length of the Raman amplifier is increased, this means that the signal power is also increased due to the theoretically forwarding signal. In recent years, by taking this property of the Raman amplifiers in to consideration, fiber optic systems are built up to 800 kilometers (9). For this reason, the cost of the substructure in fiber optic systems is significantly reduced and more preferable than EDFAs. Another advantage of the Raman amplifiers is the almost constant value of forward and backward reflected powers even though the length is increased.

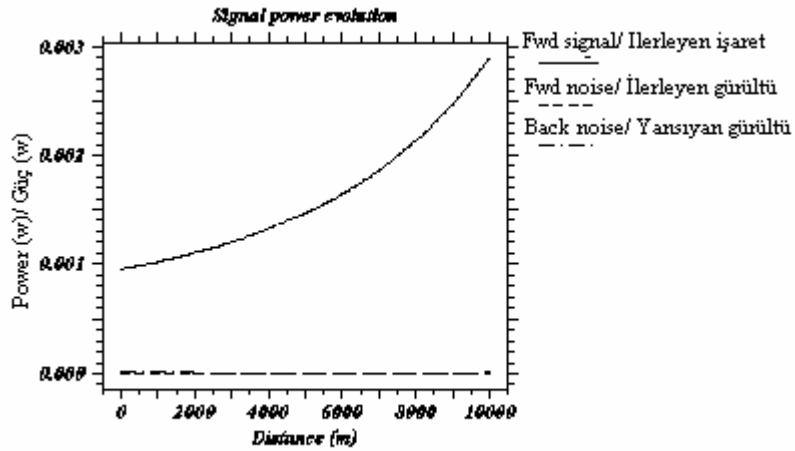


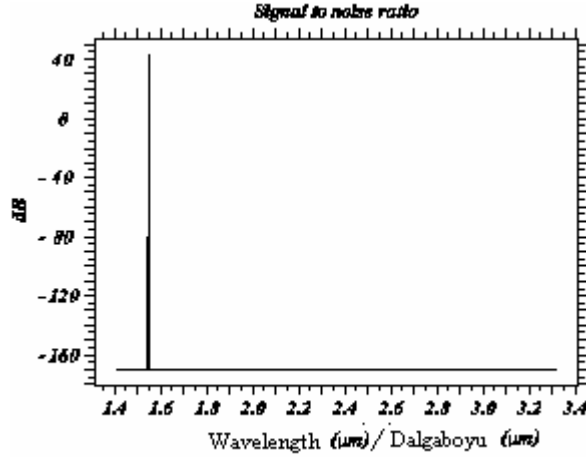
Figure 7. Signal power variation

Şekil 7. Raman yükseltecinde uzunluğuna bağlı olarak güç değişimi

Şekil 8 de işaret gürültü oranı görülmektedir. Gürültü oranı, normal değerinden yaklaşık olarak 160dB daha yüksektir. Normal olarak işaret gürültü oranı -110 dB dir. Şekil 8 de ise bu oran çok yüksektir. Bunun anlamı ise gürültünün genliği işaretin genliğinden  $10^{5.5}$  kadar küçük olmasındandır. Gürültü kullanılarak yapılan bu kaotik haberleşme çalışmasında, gürültünün genliği işaretin genliğinden  $10^8$  kat daha büyüktür. Böylece kaotik haberleşme elde edilmiştir. Kaotik haberleşme çok değişik yollarla ve değişik tekniklerle elde edilebilir. Bu tamamen tasarımcının tercihine ve sistemin altyapı maliyetinin karşılanmasına bağlıdır.

SNR ratio is shown in Fig. 8. The value of noise is 160 dB. higher than its normal value which is -110 dB. This ratio is extremely high which is shown in Fig. 8. This means that the noise amplitude is  $10^{5.5}$  times smaller than the signal amplitude. In this study, the noise amplitude is  $10^8$  times higher than the signal amplitude which is necessary to obtain chaotic communication by using noise. Chaotic communication technique can be obtained by using different ways and techniques. This is completely depends on the designers selection and the cost of the substructure.

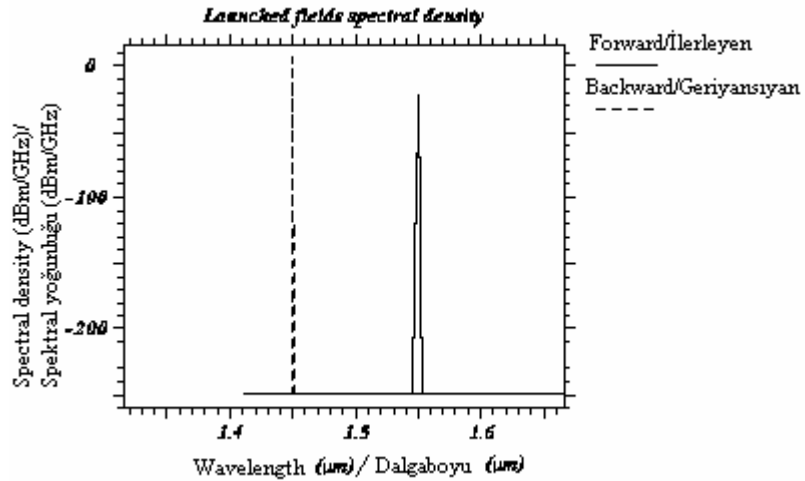




**Figure 8.** Signal to noise ratio  
**Şekil 8.** İşaret gürültü oranı

Şekil 9 da ise pompalama spektral yoğunluğunun dalga boyuna göre değişimi görülmektedir. Spektral yoğunluğu 1450nm ve 1550nm de yoğunlaşmaktadır. Geri yansıyan güç 1450nm de ilerleyen güç ise 1550nm de oluşmaktadır. İlerleyen gücün 1550nm de oluşması ise kullanılan kaynağın aynı dalga boyunda seçilmesindedir. Raman yükselteçlerinin belli bir rezonans frekansı yoktur (3). Bu özelliğinden dolayı raman yükselteçleri veri iletimi ağ tasarımında geniş olarak kullanılmakta ve tercih edilmektedir.

Figure 9 shows the pumping spectral density variation as a function of wavelength. This variation becomes dense at the wavelength values of 1450 and 1550 nanometers. Backward reflected and propagating powers occur at 1450 nm. and 1550 nm. respectively. Forward power occurs at 1550 nm. due to the same wavelength with the source. There is no specific frequency in Raman amplifiers (3). Due to this property, Raman amplifiers are widely used and preferred in data communication network design.



**Figure 9.** Pumping spectral density variation  
**Şekil.9.** Pompalama durumuna göre akış güçleri

Kaotik dalganın elde edilmesi değişik teknikler kullanılarak yapılır. Bunlardan bazıları kaos kaydırma anahtarlama, kaos maskeleyme ve ilave kaos modülasyon tekniğidir

Chaotic wave is obtained by using different techniques. Some of these techniques are chaos shift keying, chaos masking, and additional chaos modulation technique.

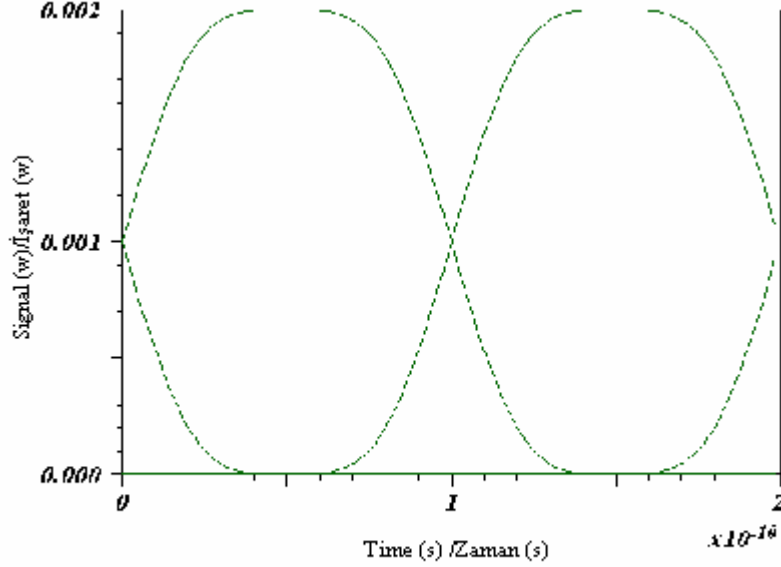


Figure 10. Input eye diagram

Şekil 10. Giriş işaretinin göz-şekli

Optik sistemlerde kaotik dalga şeklini elde etmek için üç değişik lazer sistemi kullanılır. Bunlar: optik injeksiyon, optoelektronik ve optik geribeslemeli lazer sistemleridir. Bu sistemler kaotik dalgayı kaynağa üretirler (5-6,12). Kaynak dışında elde edilen kaotik dalgalar ise harici modülatör kullanılarak yapılır.

Bu çalışmada ise harici elektro-optik modülatör yardımı ile modülasyon yapılmıştır. Modüle edici kaynak olarak ise 1550nm dalga boyunda sürekli dalgalı çok-yollu (CW multipath laser) lazer kullanılmıştır. Elde edilen işaretin Şekil 10 da göz, Şekil 11 de ise giriş işareti görülmektedir. Özellikle Şekil 10 daki göz-şekli analiz edildiğinde veri bit uzunluğu, işaret artı gürültü, gürültü, geçiş (jitter), iyi örnekleme periyodu, gürültü sınırları (marjı) ve tepe bozulması (peak distortion) gibi göz analiz ölçülerinin normal olduğu görülmektedir. Elektro-optik modülatör çıkışından elde edilmiş bu işaret optik gürültü ekleyici yardımıyla, modüleli işarete AWGN tekniğiyle üretilmiş optik gürültü ilave edilmiştir. Gürültü artı modüleli dalganın göz-şekli ise Şekil 12 de görülmektedir. Raman yükseltece girmeden önce işaretin göz-şeklinde tamamen bozulma ve gürültü hakimdir. Veri hiçbir şekilde seçilecek durumda olmadığından kaotik işaret elde edilmiştir. Bu işaret sıfıra dönüşsüz (NRZ) 80km uzunluğunda Raman yükselteci kullanılarak tasarlanmış ağ sistemine uygulanmıştır. Kullanılan Raman yükseltecin tipik karakteristikleri: etkin öz alanı  $55 \mu\text{m}^2$ , raman kazanç sabiti  $0.7 \cdot 10^{-13} \text{ mW}$ , kayıp  $0.2 \text{ dB/km}$  ( $0.046/\text{km}$ ) dir. Raman yükseltecini pompalamak için ise  $1450\text{nm}$ 'lik çok-yollu CW lazer kullanılmıştır.

In order to obtain the chaotic wave in optical systems, there are three different laser systems are used. These are optical injection, optoelectronic, and optical feedbacks. These systems produce the chaotic wave at the source (5-6,12). The other chaotic waves outside the source are obtained by using an external modulator.

In this study, the modulation is performed by using an external electro-optics modulator. The modulated source is a CW multi-path laser operating at 1550 nm. The input eye diagram of the signal obtained is shown in fig. 10 and the input signal is shown in Fig. 11. When the eye diagram is specifically analyzed, data-bit length, signal plus noise, noise, jitter, sampling period, noise margin, and peak distortion values are in the normal range. With the help of the optical noise adder, optical noise is added to the signal that is coming from the output of external optical modulator which is produced by AWGN technique. The eye diagram of the noise plus modulated wave is shown in Figure 12. The eye diagram of the signal at the input of the Raman amplifier is completely distorted and noise is dominant. The data cannot be selected at any way and therefore the chaotic signal is obtained. This signal is applied to the designed network system of 80 km. which is composed of a Raman amplifier with NRZ technique. The typical characteristics of the Raman amplifier used in the analysis are as follows: effective core area is  $55 \mu\text{m}^2$ , RAMAN gain constant is  $0.7 \cdot 10^{-13} \text{ mW}$ , and losses are  $0.2 \text{ dB/km}$ . ( $0.046/\text{km}$ ). The pumping is achieved by a multi-path CW laser at  $1450 \text{ nm}$ .

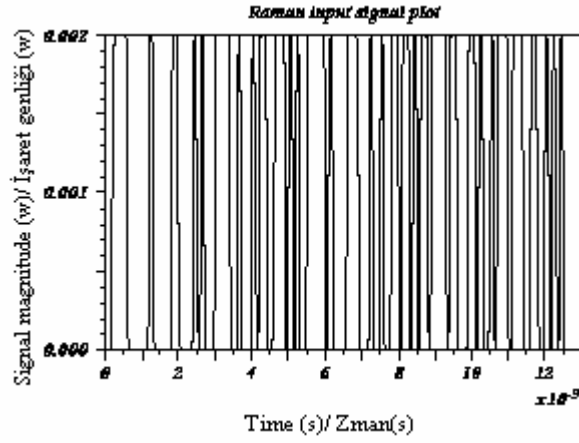


Figure 11. Raman input signal  
Şekil.11. Raman giriş işareti

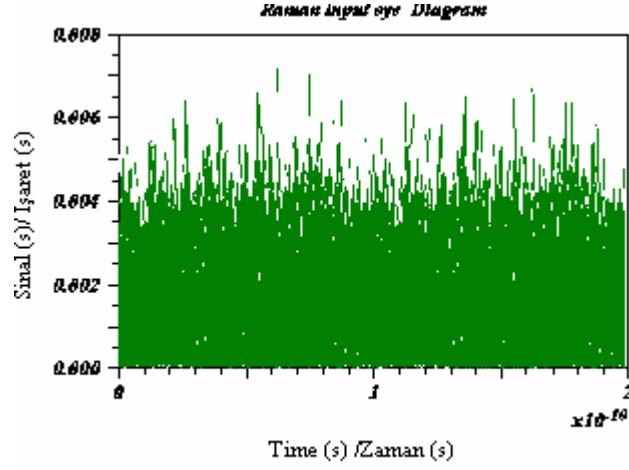


Figure 12. Eye diagram of the noise plus modulated wave  
Şekil 12. Modüle edilmiş işaretin kaotik işarete dönüşmüş şekli

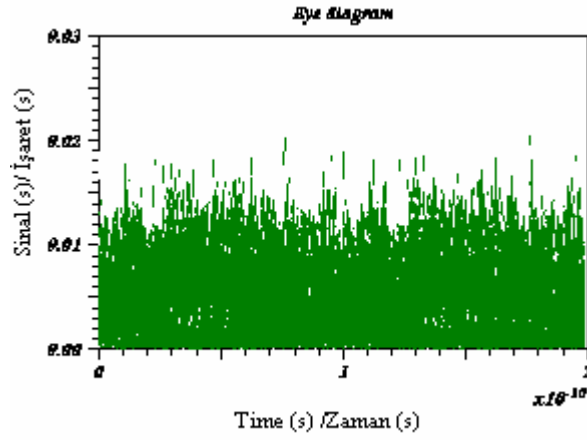
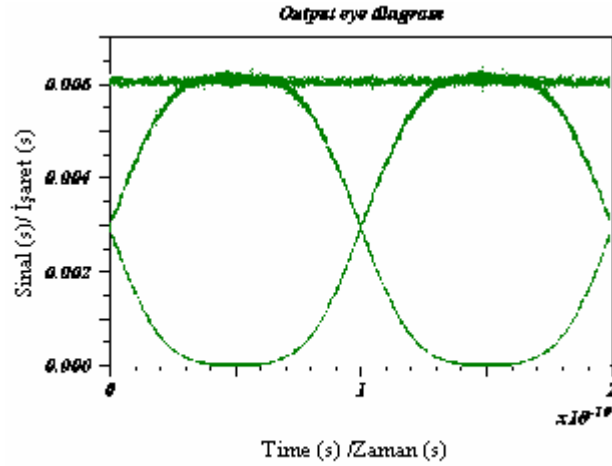


Figure 13. Amplified eye diagram at the Raman output  
Şekil.13. Raman yükseltecin çıkısındaki yükseltilmiş göz-şekli

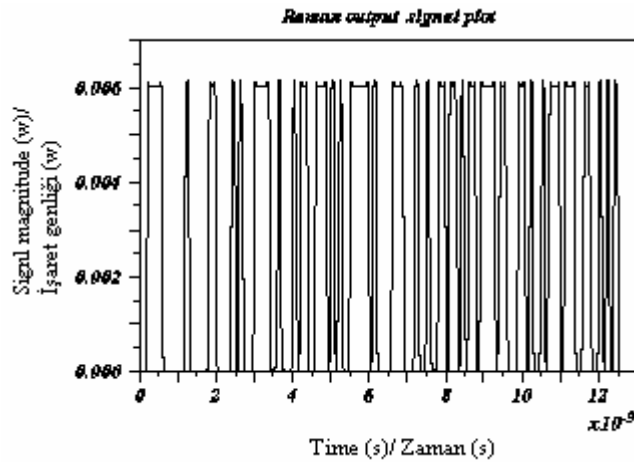


**Figure 14.** Filtered eye diagram at the Raman output

**Şekil.14.** Raman çıkışındaki kaotik işaretin süzöldükten sonraki göz-şekli

Şekil 13'de Raman yükseltcin çıkışındaki göz-şeklinin yükseltilmiş hali Şekil 14'de raman yükseltcin göz-şeklinin süzöldükten sonraki ve Şekil'15 de ise Raman çıkışındaki işaret genliğinin alıcıya girmeden önceki son hali görülmektedir.

Figure 13 shows the amplified eye diagram at the output of the Raman amplifier. The filtered eye diagram of the signal at the output of the Raman amplifier is shown in Fig. 14. Finally, the signal amplitude at the output of the Raman amplifier before arriving to the receiver is shown in Fig. 15.



**Figure 15.** Signal amplitude at the Raman output

**Şekil 15.** Raman çıkışındaki kaotik işaretin alıcıya girmeden önceki son hali

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Raman yükseltci kullanılarak 80 km uzunluğunda ve sıfıra dönüşüz veri haberleşmesi ağ sistemi tasarlanmıştır. Ağ çıkışında gürültü uygun süzgeçten geçtikten sonra elde edilen göz-şeklinde belirli seviyede gürültü görülmüştür. Gürültü tamamen süzölememekle birlikte kabul edilebilir bir seviyeye indirilmiştir. Gürültü, ardışık süzgeçler kullanılarak daha düşük seviyeye indirilebilir ancak optik gücün kaybı artabilir. Çıkış da elde edilen göz-şekli, göz analiz ölçüleri, sınır değerleri içerisinde. Bu nedenle bilgi seçilebilmekte ve göz ölçüleri standart değerler arasında kalmaktadır.

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, data communication network system with NRZ which is 80 km. is designed by using a Raman amplifier. A definite noise level is seen in the eye pattern after the filtering process at the network output. Although the noise cannot be eliminated completely, the noise level is reduced to an acceptable level. The noise can be reduced further by using cascaded filters but the loss in optical power will increase. The values obtained in terms of eye diagram, and eye analysis measurements are in acceptable levels. For that reason, the original data can be selected at the output of the system.

**TEŞEKKÜR**

Bu analizde kullanılan yazılımı (LINKSIM) sağlayan RSOFT şirketine teşekkür ederiz.

**ACKNOWLEDGEMENT**

We are grateful to RSOFT for providing the software used (LINKSIM) in the analysis.

**KAYNAKLAR/REFERENCES**

1. Agrawal, G.P., *Application of Nonlinear Fiber Optics*, **Academic Press**, San Diago (2001).
2. Agrawal, G.P., "Nonlinear Fiber Optics" Second. Ed. Academic Press. San Diago, (1995).
3. Islam, M.N. , "Raman Amplifiers for Telecommunications", *IEEE.STQ*. Vol:8, No:3 pp548-559 (2003).
4. Yan, M., Chen,J., Jiang,W., Li,J., Chen,J. and Li,X., "Pump Depletion Induced Noise and Crosstalk in Distributed Optical Fiber Raman Amplifiers", *IEEE. PTL*, Vol:13, No:7 : 651-653 (2001).
5. Liu, J., Chen, H., and Tang, S., "Synchronized Chaotic Optical Communications at Hight Bit Rates", *IEEE. J.QE*, Vol:38, No:9 : 1184-1196 (2002).
6. Tang, S., "Chaos Synchronization in Semiconductor Lasers With Optoelectronic Feedback", *IEEE. J.QE*, Vol: 39, No:4 : 708-715 (2003).
7. Kolumban, G., Kennedy, M.P., Chua, L. O., " The Role of Synchronization in Digital communications Using Chaos Part I: Fundamentals of Digital Communications", *IEEE Trans. CAS-I*, Vol:44, No.10 : 927-936 (1997).
8. Kolumban, G., Kennedy, M.P., Chua,L. O., " The Role of Synchronization in Digital Communications Using Chaos Part II: Chaotic Modulation and Chaotic Synchronization", *IEEE Trans. CAS-I*, Vol:45, No.11 :1129-1140 (1998).
9. Kolumban, G., Kennedy, M.P., Chua, L. O., " The Role of Synchronization in Digital Communications Using Chaos Part III: Performance Bouds for Correlation Recivers", *IEEE Trans. CAS-I*, Vol:47 No.11 : 1673-1683 (2000).
10. Tang, S., Chen, H.F., Hwang, S.K. and Liu, J.M., "Message "Encoding and Decoding Through Chaos Modulation in Chaotic Optical Communications", *IEEE Trans. CAS-I*, Vol:49, No.2 : 163-169 (2002).
11. Tang, S. and Liu, J.M., " Chaos Synchronization in Semiconductor Lasers with Optoelectronic Feedback", *IEEE. J.QE*. Vol.39, No.6 (2003).
12. Fukushima, T. and Sakamoto, T. "Chaos in Coupled Semiconductor Lasers with an Electronic Delayed Feedback Caused by Injection Locking", *IEEE. J.QE*, Vol.34 ,No.5 (1998).
13. Dachselt, F. and Schwartz, W., " Chaos and Cryptography" , *IEEE Trans. CAS-I*, Vol:48 ,No.12 : 1498-1509, (2001).

Received/ Geliş Tarihi: 13.10.2003 Accepted/Kabul Tarihi: 24.06.2004