

به نام زیبایی

پاسخ تمرینات سری دوم درس شبکه های مخابرات نوری

### سوال (۱)

برای فیبری به طول ۵۰ کیلومتر و تضعیف ۰/۵dB/km، مقدار تلفات کل برابر ۲۵dB خواهد بود. از طرفی، در هر ۵ کیلومتر طول فیبر، یک مفصل قرار دارد که دارای تلفات ۰/۲dB است. چون تعداد این مفصل ها برابر ۹ است، در نتیجه، تلفات کلی که به ترتیب از فیبر، مفصل های وسط فیبر و کانکتورهای دو سر فیبر بر سیگنال تحمیل می شود برابر است با ۲۵dB، ۱/۸dB و ۰/۲dB. بنابراین، کل تلفات تحمیلی بر سیگنال، برابر است با ۲۸/۸dB. از آنجا که توان ورودی گیرنده باید از آستانه حساسیت  $0.3 \mu W \equiv -35.23 \text{ dBm}$  بیشتر باشد، در نتیجه، حداقل توان مجاز جهت ارسال سیگنال برابر  $-35.23 \text{ dBm} + 28.8 \text{ dB} = -6.43 \text{ dBm}$  خواهد بود.

### سوال (۲)

الف) داریم:

$$\begin{aligned}\lambda &= 1.55 \times 10^{-6} \\ A_{eff} &= 40 \times 10^{-12} \\ \bar{n}_r &= 1.46 \times 10^{-20} \\ L_{eff} &= \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} = 18273. \\ \phi_{NL} &= \pi\end{aligned}$$

بنابراین، طبق رابطه  $\gamma = \frac{2\pi\bar{n}_r}{A_{eff}\lambda}$  داریم  $\gamma = 2.63 \times 10^{-2}$ . پس، از رابطه  $\phi_{NL} = \gamma P_{in} L_{eff}$  مقدار  $P_{in}$  به صورت زیر به دست می آید:

$$P_{in} = \frac{\phi_{NL}}{\gamma L_{eff}} = 0.065 \text{ W}.$$

ب) مشابه قسمت قبل، برای  $\gamma$  به مقدار  $2.11 \times 10^{-2}$  می رسم. در حالتی که فیبر بدون تلفات باشد،  $L_{eff} = L$ . بنابراین، با جایگذاری در رابطه  $\phi_{NL} = \gamma P_{in} L_{eff}$  خواهیم داشت:

$$L = L_{eff} = \frac{\phi_{NL}}{P_{in}\gamma} = 748.74 \text{ km}.$$

### سوال (۳)

مجموع تلفات فیبرهای SMF و NZ-DSF عبارتست از  $\alpha_{SMF} L_{SMF} + \alpha_{NZ-DSF} L_{NZ-DSF}$ . این مقدار باید حداکثر برابر ۲۰dB باشد. بنابراین

$$0.2 [L_{SMF}(\text{km}) + L_{NZ-DSF}(\text{km})] = 20.$$

در نتیجه،

$$L_{SMF} + L_{NZ-DSF} = 95.24 km.$$

از طرفی، پاشندگی باید به طور کامل جبران شود و از شرط جبران سازی پاشندگی خواهیم داشت:

$$25L_{SMF} = 16L_{NZ-DSF}.$$

با حل این دو معادله، طول فیبرها به صورت زیر است:

$$L_{SMF} = 37.17 km$$

$$L_{NZ-DSF} = 58.07 km.$$

ب) نویز EDFA از رابطه  $\sigma^2 = h\nu GF$  به دست می آید که  $h$  ثابت پلانک  $(6.626 \times 10^{-34})$ ،  $\nu$  فرکانس حامل های نوری،  $F$  عدد نویز تقویت کننده و  $G$  بهره ی تقویت کننده است. فرکانس حامل های نوری در طول موج 1550 نانومتر عبارت است از

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1550 \times 10^{-9}} = 193.55 THz.$$

همچنین، بهره ی تقویت کننده، با تلفات فیبرها برابر است. بنابراین  $100 \equiv G = 20 dB$ . مقدار عدد نویز تقویت کننده عبارت است از  $3.55 \equiv F = 5.5 dB$ . بنابراین، اندازه ی طیف توان نویز تقویت کننده برابر است با

$$45.53 \frac{\mu W}{THz}.$$

#### سوال (4)

فرض کنیم بهره ی تقویت کننده های Raman و EDFA، به ترتیب برابر  $G_{Raman}$  و  $G_{EDFA}$  باشد. به دلیل آن که این دو تقویت کننده باید تلفات فیبر را به طور کامل جبران کنند، در نتیجه

$$G_{Raman}(dB) + G_{EDFA}(dB) = 20.$$

از طرفی، عدد نویز کلی ناشی از دو تقویت کننده از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$NF = NF_{Raman} + \frac{NF_{EDFA} - 1}{G_{Raman}}.$$

مقدار  $NF_{EDFA}$  به طور ثابت برابر  $4 \equiv 6 dB$  و رابطه ی  $NF_{Raman}$  با بهره ی تقویت کننده به صورت  $10^{-0.025G_{Raman}(dB)+2.425}$  است. در نتیجه

$$NF = 10^{-0.025G_{Raman}(dB)+2.425} + 3 \cdot 10^{-0.8G_{Raman}(dB)}.$$

واضح است که این تابع بر حسب  $G_{Raman}$  نزولی اکید است. در نتیجه کمترین مقدار آن به ازای بیشترین مقدار  $G_{Raman}$  که 18dB است، اتفاق می افتد. بنابراین، مقدار بهره ی EDFA برابر 2dB و مقدار عدد نویز کلی برابر 19.75dB خواهد بود.

## سوال ۵)

الف) از آنجا که بهره‌ی کلی تمام لینک‌ها برابر ۱ است، توان سیگنال در تمام لینک‌ها با هم برابر است. همچنین، واریانس نویز ناشی از تمام لینک‌ها، در انتهای آخرین لینک با یکدیگر جمع می‌شوند. بنابراین، واریانس نویز کلی‌ای که به سیگنال تحمیل می‌شود برابر است با

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2$$

که  $\sigma_i^2$ ، توان نویز تحمیلی به سیگنال توسط لینک  $i$  ام است. از طرفی، به دلیل اینکه توان سیگنال در خروجی تمام لینک‌ها با هم برابر است، مقدار SNR ارسال در انتهای لینک  $i$  ام و همچنین، در انتهای تمام لینک‌ها به ترتیب برابر  $\frac{P}{\sigma^2}$  و  $\frac{P}{\sigma_i^2}$  خواهد بود. بنابراین

$$\frac{1}{SNR} = \frac{\sigma^2}{P} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_i^2}{P} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{SNR_i}.$$

ب) رابطه‌ی SNR به صورت زیر است:

$$SNR = \frac{P}{\sigma_{ASE}^2 + \eta_{NLI} P^2}.$$

برای به دست آوردن بیشترین SNR، باید مشتق SNR نسبت به  $P$  را برابر صفر قرار دهیم. در نتیجه،

$$\begin{aligned} \frac{dSNR}{dP} = 0 &\implies \sigma_{ASE}^2 + \eta_{NLI} P^2 - 2\eta_{NLI} P^3 = 0 \\ \implies \sigma_{ASE}^2 - 2\eta_{NLI} P^3 &= 0 \implies P_{opt} = \sqrt[3]{\frac{\sigma_{ASE}^2}{2\eta_{NLI}}}. \end{aligned}$$