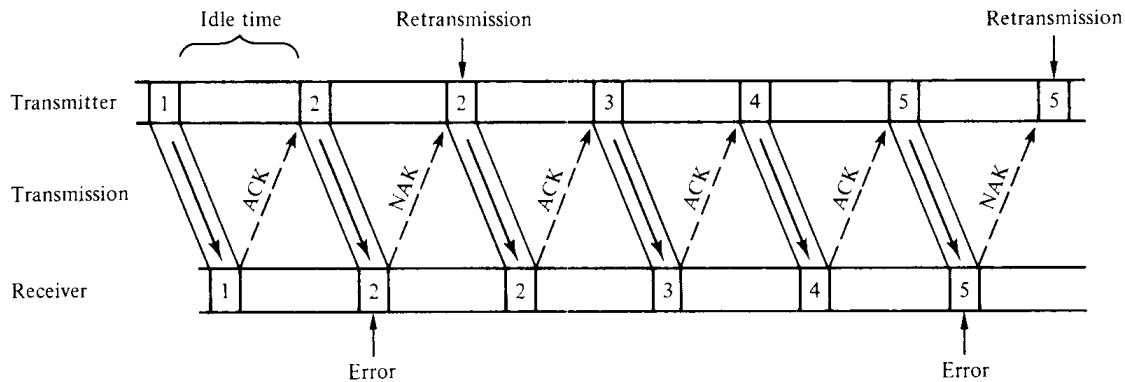


## استراتژیهای ARQ برای ارسال دیتا

چندین استراتژی وجود دارد که می‌تواند در سیستم ARQ مورد استفاده قرار گیرند. در هر یک مشخص شده است که چگونه وقتی فرستنده فریم جدیدی می‌فرستد، گیرنده فرستنده را از وجود خطا خبر کند و چگونه زمانی که خطا آشکار شده است فریم دوباره ارسال شود. این استراتژی برای گره‌های فرستنده و گیرنده درخواست متفاوتی را ایجاد می‌کند. ساده‌ترین استراتژی ARQ، نوع توقف و انتظار<sup>۱</sup> است. در این روش، گره فرستنده یک فریم را ارسال می‌کند سپس منتظر پاسخ از طرف گیرنده می‌شود و هنگامی که پاسخ دریافت شد، فرستنده فریم بعدی را ارسال می‌کند. اگر در زمان مشخصی پاسخ دریافت نشد فریم قبلی دوباره ارسال می‌شود. در کانال‌های ارسال با تاخیر، فرستنده برای دریافت پاسخ، زمان بیشتری را صرف می‌کند (شکل ۱).



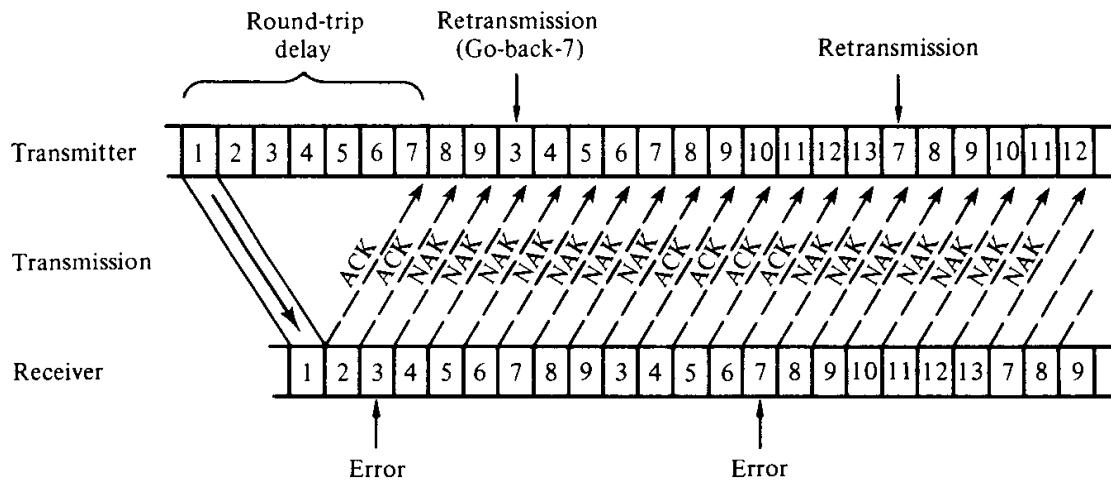
شکل ۱: استراتژی ARQ نوع توقف و انتظار

راه حل این مسئله این است که به فرستنده اجازه داده شود تا زمانی که پاسخ دریافت نکرده است به ارسال فریم داده ادامه دهد. یک تعداد فریم پاسخ داده نشده که اجازه ارسال داده شده‌اند اندازه پنجره<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند. پروتکل‌هایی که از این روش استفاده می‌کنند پنجره لغزان نامیده می‌شوند. اگر اندازه پنجره بزرگتر از تاخیر پاسخ باشد، پاسخ فریم قبلی قبل از آنکه پنجره پر شود خواهد رسید و فرستنده قادر به ارسال فریم بطور پیوسته خواهد بود.

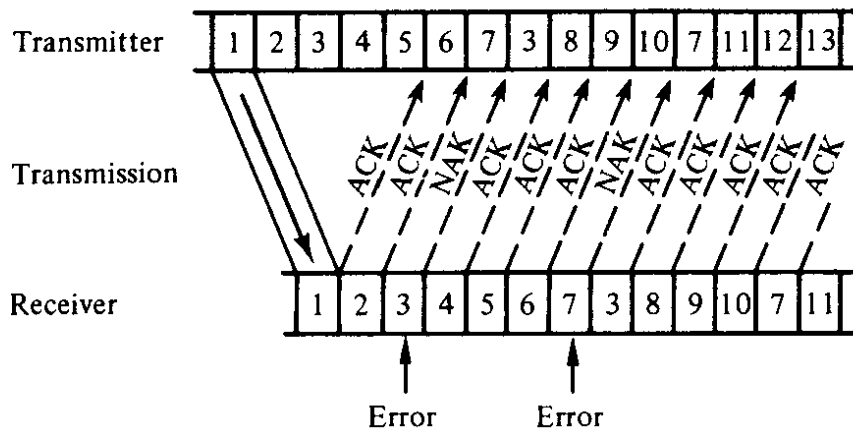
<sup>۱</sup> Stop and wait

<sup>۲</sup> -window size

برای اصلاح خطا دو استراتژی وجود دارد که در پروتکل پنجره لغزان استفاده می‌شود. روش تکرار انتخابی<sup>۳</sup> و روش برگشت به N تای قبلی<sup>۴</sup> روشهای مناسب تری نسبت به روش توقف و انتظار هستند. در پروتکل SR-ARQ<sup>۵</sup> فرستنده فقط فریم هایی که از بین رفته‌اند را دوباره برای گره گیرنده ارسال می‌کند. در پروتکل GBN ARQ فریم گم شده و همه فریم های ارسال نشده دوباره ارسال می‌شوند.



شکل ۲- روش ARQ برگشت به N تای قبلی با  $N=7$



شکل ۳- روش ARQ تکرار انتخابی (SR-ARQ)

با استفاده از یک پروتکل SR-ARQ، فریم های بدون خطا لزوما بطور صحیح به مقصد می‌رسند. یک فریم دوباره ارسال شده ممکن است بعد از چندین فریم صحیح برسد. اگر پروتکل لایه لینک داده، تحویل واحد های داده‌ای

<sup>3</sup> Selective repeat

<sup>4</sup> Go-back-N

<sup>5</sup> Selective repeat automatic repeat request

پروتکل سفارش داده شده را تضمین کند، برای ذخیره فریم های صحیح باید یک بافر "سفارش دوباره" داشته باشد مگر اینکه فریم های دوباره ارسال شده برسند. برای یک SR-ARQ ایده آل یک بافر نامحدود مورد نیاز است. مزیت SR-ARQ این است که کاربرد کانال را بهینه می کند زیرا هیچ فریم دریافت شده صحیحی دوباره ارسال نمی شود. پروتکل GBN ARQ به بافر زیادی نیاز ندارد زیرا گره دریافت کننده می تواند تمام فریمهایی را که خارج از سفارش بوده اند را رها کرده و فریمهای خارج از دستور مشخص می کنند که یک فریم گم شده است و وقتی این موضوع اعلام می شود گره فرستنده باید تمام فریم های ارسال نشده را دوباره ارسال کند. ارسال دوباره همه فریمها بدین معنی است که کارایی سیستم GBN ARQ به خوبی سیستم SR-ARQ نیست. پهنای باند برای فریمهای ارسال شده ای که به درستی دریافت شده اند ولی بعد رها می شوند اتلاف می شود.

همانطور که ذکر شد سیستم ایده آل SR-ARQ به بافر نامحدود در گیرنده و فرستنده نیازمند است. در یک سیستم انتقال فایل این بافرها نامحدود نیستند بلکه به اندازه سائز فایل ارسال شده هستند. بطور کلی فایل دریافتی در سیستم ذخیره انبوه، ذخیره می شود. این سیستم ذخیره انبوه بافرها را برای یک سیستم ایده آل SR-ARQ فراهم می کند. بردن SR-ARQ به سطح عملیاتی (وقتی دسترسی به سیستم انبوه ذخیره امکانپذیر است) بازده بیشتر سیستم ARQ را نتیجه می دهد. گره ارسال کننده (ماهواره یا ایستگاه زمینی) هرگز فریمی را که با موفقیت دریافت شده را دوباره ارسال نمی کند و هیچ وقت بیکار نمی ماند. محموله S&F بعنوان یک گره انتقال دهند فایل فرض می شود و این معماری بسیار کارآمد است.

با داشتن یک پنجره ARQ به اندازه کل پیام، امکان پیاده سازی روشهای اعلام وصول<sup>6</sup> موثر وجود دارد. با در نظر داشتن یک فریم اعلام وصول برای هر فریم داده، یک تک فریم اعلام وصول می تواند تمام پنجره را پوشش دهد. این امر می تواند به صورت نگاشت بیتی<sup>7</sup> پیاده سازی شود. یک پیام به تعدادی از فریمهایی با طول ثابت تقسیم می شود و فریم اعلام وصول نگاشت بیتی شامل یک بیت برای هر فریم داده است که مقدار این بیت (صفر یا یک) به فرستنده می گوید که آیا فریم داده ای (منطبق با بیت خودش) دریافت شده یا خیر. وقتی لینک مناسب باشد و همه فریمهای داده دریافت شدند گره گیرنده یک فریم نگاشت بیتی برای اعلام وصول کل پیام ارسال می کند. وقتی لینک دارای خطا باشد گره گیرنده می تواند منتظر باشد و سیگنال نگاشت بیتی را برای درخواست چند فریم از دست رفته ارسال کند.

---

<sup>6</sup> -Acknowledge(ACK)

<sup>7</sup> -Bit map

با کمی دقت می‌توان دریافت که رسیدن به چنین زمانبندی در ARQ بوسیله سیستم GBN ARQ ممکن نیست. فریمهای اعلام وصول باید توسط فرستنده قبل از آنکه پنجره پر شود دریافت شوند. اگر هیچ اعلام وصولی نرسید انتقال داده متوقف می‌شود و فریم های واریز نشده دوباره ارسال می‌شوند. بنابراین یک سیستم GBN ARQ از یک سیستم SR-ARQ با رویه کم شده ضعیفتر است.

### توان عملیاتی سیستم ARQ

در یک سیستم ARQ، هنگامی که گیرنده یک بردار دریافتی با خطای تشخیص داده نشده را بپذیرد، مرتکب یک خطای دیکود کردن می‌شود. چنین رخدادی، یک "رخدادخطا" نام دارد. فرض کنید که  $P(E)$  نشانگر احتمال یک رخداد خطا باشد. روشن است که برای آنکه یک سیستم ARQ قابل اطمینان باشد،  $P(E)$  باید خیلی کوچک باشد. بنابراین "قابلیت اطمینان" یک سیستم ARQ را با احتمال خطای  $P(E)$  آن اندازه گیری می‌کنند. فرض کنید که کد خطی  $C$ ،  $(n,k)$  برای تشخیص خطا در یک سیستم ARQ بکار گرفته شده است. احتمالات زیر را تعریف می‌کنیم:

$P_c$ : احتمال آنکه یک بردار دریافتی حاوی خطا نباشد.

$P_d$ : احتمال آنکه بردار دریافتی یک الگوی خطا قابل تشخیص باشد.

$P_e$ : احتمال آنکه بردار دریافتی حاوی یک الگوی خطای غیرقابل تشخیص باشد.

مجموع این احتمالات برابر 1 است ( $P_c + P_d + P_e = 1$ ). احتمال  $P_c$  به وضعیت آماری خطای کانال بستگی دارد. احتمالهای  $P_d$  و  $P_e$  هم به وضعیت آماری خطای کانال و هم به انتخاب  $(n,k)$  کد تشخیص دهنده خطا  $C$  بستگی دارند. گیرنده تنها در صورتی یک بردار دریافتی را می‌پذیرد که یا شامل خطا نباشد یا دارای یک الگوی خطای غیرقابل تشخیص باشد. بنابراین احتمال  $P(E)$  که گیرنده مرتکب یک خطا شود، از رابطه زیر، بدست می‌آید.

$$P(E) = (\text{احتمال دریافت گیرنده} / \text{احتمال الگوی خطای غیرقابل تشخیص}) = \frac{P_e}{P_c + P_e} \quad (1)$$

با انتخاب مناسب کد  $C$ ،  $P_e$  می‌تواند نسبت به  $P_c$  خیلی کوچک شود (مثلاً با انتخاب یک کد همینگ طولانی). برای یک کانال BSC، با احتمال انتقال  $P$  داریم:

$$P_c = (1-p)^n \quad (2)$$

از طرف دیگر برای یک کد خطی  $(n,k)$  متوسط داریم:

$$P_e \leq 2^{-(n-k)} [1 - (1-p)^n] \quad (3)$$

از ترکیب سه رابطه فوق می توان یک حد بالایی برای  $P(E)$  بدست آورد.

اندازه گیری دیگری از کارایی یک سیستم ARQ راندمان توان عملیاتی آن است، تعریف توان عملیاتی (throughput) نسبت بین تعداد موثر رقمهای اطلاعاتی که در واحد زمان توسط گیرنده بطور موفقیت آمیز مورد پذیرش قرار می گیرند و تعداد کل رقمهای قابل ارسال در واحد زمان می باشد. در نهایت تمامی سه روش اساسی ARQ به یک میزان از قابلیت اطمینان میل می کنند، هر چند که دارای توان عملیاتی های متفاوتی می باشند. در ادامه توان عملیاتی برای هر یک از سه روش اصلی ARQ را مورد بررسی قرار می دهیم. برای سادگی فرض می کنیم که کانال بازگشت عاری از خطا می باشد، هرچند این فرض ممکن است واقعیت نداشته باشد اما نتایج آن، دریافت خوبی را از میزان کارآمدی هریک از روشهای ARQ بدست می دهد.

### روش ارسال مجدد انتخابگرانه

در ابتدا، توان عملیاتی روش ارسال مجدد انتخابگرانه را مورد بررسی قرار می دهیم. مجدداً یادآوری می کنیم که در این روش، فرستنده، بردارهای کد را بصورت پیوسته و پشت سرهم، به گیرنده ارسال می کند و فقط بردارهای کدی را که اعلام وصول منفی برای آنها رسیده است، ارسال مجدد می نماید. احتمال آنکه یک بردار دریافتی توسط گیرنده مورد پذیرش قرار گیرد، برابر است با:

$$P = P_c + P_e$$

در حالت عادی که  $P_e \ll P_c$  و در نتیجه  $P \approx P_c$  است. احتمال آنکه یک بردار کد، مجدداً ارسال شود عبارتست از:

$$P_d = 1 - P \approx 1 - P_c$$

برای آنکه یک بردار کد در گیرنده با موفقیت مورد پذیرش واقع شود، تعداد متوسط ارسالهای مجدد ( با احتساب ارسال اولیه) مورد نیاز عبارتست از:

$$T_{SR} = 1.P + 2.P(1-P) + 3.P(1-P)^2 + \dots + 1.P(1-P)^{l-1} + \dots = \frac{1}{P}$$

آنگاه توان عملیاتی روش ارسال مجدد انتخابگرانه ARQ برابر خواهد بود با:

$$\eta_{SR} = \frac{1}{T_{SR}} \left( \frac{k}{n} \right) = \left( \frac{k}{n} \right) P \quad (4)$$

که در آن  $k/n$  نرخ کد  $(n,k)$  مورد استفاده در سیستم است. دیده می شود که توان عملیاتی  $\eta_{SR}$  تنها به نرخ خطاهای کانال بستگی دارد.

### سیستم ARQ به روش بازگشت به N

در یک سیستم ARQ به روش بازگشت به N، هنگامی که برای یک بردار کد اعلام وصول منفی دریافت می شود، فرستنده آن بردار کد و  $N-1$  بردار کد پس از آن را که قبلاً ارسال کرده بود، مجدداً ارسال می کند. بنابراین برای آنکه یک بردار کد در گیرنده با موفقیت مورد پذیرش قرار گیرد تعداد ارسالهای مجدد (با در نظر گرفتن ارسال اولیه) مورد نیاز، عبارتست از:

$$T_{GBN} = 1.P + (N+1) P(1-P) + (2N+1) P(1-P)^2 + \dots + (IN+1)P(1-P)^I + \dots$$

$$= 1 + \frac{N(1-P)}{P}$$

در نتیجه راندمان قابلیت عملیاتی یک سیستم ARQ به روش بازگشت به N برابر خواهد بود با:

$$\eta_{GBN} = \frac{1}{T_{GBN}} \left( \frac{k}{n} \right) = \frac{P}{P + (1-P)N} \left( \frac{k}{n} \right) \quad (5)$$

دیده می شود که توان عملیاتی  $\eta_{GBN}$  هم به نرخ خطای کانال  $(1-P)$  و هم به تاخیر رفت و برگشت N، بستگی دارد. هنگامی که نرخ خطای کانال کم باشد، تاثیر تاخیر رفت و برگشت چندان مهم نیست و توان عملیاتی، بالا خواهد بود. هرچند تاثیر  $(1-P)N$  هنگامی که نرخ خطای کانال بالا باشد، زیاد بوده و توان عملیاتی بصورت سریع کاهش می یابد. در صورتیکه تاخیر رفت و برگشت کوچک باشد و نرخ ارسال اطلاعات خیلی زیاد نباشد، ARQ با بازگشت به N توان عملیاتی رضایت بخشی را فراهم می آورد. در غیر اینصورت توان عملیاتی ناکافی خواهد بود.

### سیستم ARQ بروش توقف و انتظار

در بدست آوردن توان عملیاتی برای یک سیستم ARQ بروش توقف و انتظار، زمان بیکاری صرف شده برای دریافت اعلام وصول به ازاء هر بردار کد باید در نظر گرفته شود. فرض کنید D نشانگر زمان بیکاری از انتهای ارسال یک بردار کد تا ابتدای ارسال بعدی باشد. اگر  $\tau$  را نرخ ارسالی فرستنده برحسب بیت در ثانیه در نظر بگیریم، در یک زمان تاخیر رفت و برگشت فرستنده اگر بیکار نماند قادر خواهد بود  $n+D.\tau$  رقم را ارسال کند.

دربازه زمانی بین آغاز ارسال یک بردار کد تا دریافت اعلام وصول مثبت برای آن بردار کد، تعداد متوسط رقمهایی که فرستنده می تواند ارسال کند (با در نظر گرفتن اثر بیکاری) برابر مقدار زیر خواهد بود:

$$T_{sw} = (n+D\tau) P + 2(n+D\tau) P (1-P) + 3(n+D\tau) P (1-P)^2 + \dots = \frac{n + D\eta}{P}$$

بنابراین راندمان توان عملیاتی یک سیستم ARQ به روش توقف و انتظار به ترتیب زیر خواهد بود:

$$\eta_{sw} = \frac{\text{ارسال}}{T_{sw}} = \frac{\text{تعداد داده}}{T_{sw}} = \frac{k}{T_{sw}} = \frac{P}{1 + \frac{D\tau}{n}} \left( \frac{k}{n} \right) \quad (6)$$

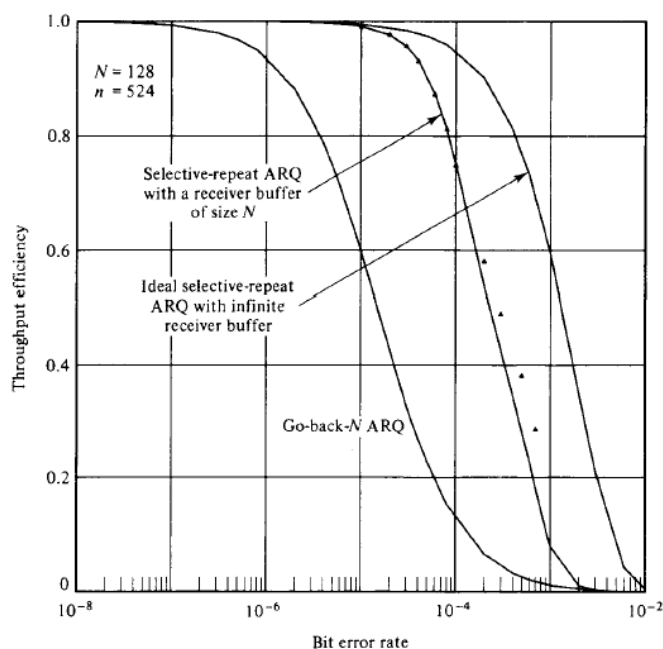
فاکتور  $D\tau/n$  را می توان بصورت تعداد بردارهای کدی تغییر کرد که امکان ارسال آنها در زمان بیکاری فرستنده وجود دارد دیده می شود حتی اگر کانال بدون نویز در نظر گرفته شود، توان عملیاتی نمی تواند به مقدار ماکزیمم  $k/n$  برسد. برای سیستمهای اطلاعاتی که در آنها نرخ ارسال دیتا کم و تاخیر رفت و برگشت کوتاه است،  $D\tau$  می تواند نسبت به طول کد  $n$  کوچکتر باشد. در این حالت روش توقف و انتظار از توان عملیاتی قابل قبولی برخوردار خواهد بود. هرچند در مورد سیستمهایی که نرخ ارسال اطلاعات آنها بالا و تاخیر رفت و برگشت نیز زیاد است، مانند سیستمهای ماهواره ای، توان عملیاتی غیرقابل قبول است.

### مقایسه روشهای ARQ

از آنچه در مورد آنالیز توان عملیاتی ارائه شد، مشاهده می شود که روش ارسال مجدد انتخابگرانه در ARQ بیشترین و روش توقف و انتظار، کمترین راندمان توان عملیاتی را دارد. توان عملیاتی روش ارسال مجدد انتخابگرانه، به تاخیر رفت و برگشت سیستم بستگی ندارد. هرچند توان عملیاتی دو روش دیگر، وابسته به تاخیر رفت و برگشت می باشد. در سیستمهای مخابراتی با نرخ بالای ارسال اطلاعات و تاخیر رفت و برگشت زیاد،  $N$  برای روش بازگشت به  $N$  و پارامتر  $D\tau/n$  برای روش توقف و انتظار، مقادیر بالایی خواهند داشت. در این حالت توان عملیاتی روش بازگشت به  $N$  با افزایش نرخ خطای کانال بسرعت کاهش می یابد و توان عملیاتی روش توقف و انتظار، غیرقابل پذیرش خواهد بود.

توان عملیاتی بالا در روش ارسال مجدد انتخابگرانه در قبال هزینه بافر کردن اضافی در گیرنده و لاجیک پیچیده تری در فرستنده و گیرنده حاصل می شود. بطور نوعی برای رسیدن به راندمان  $(k/n)P$ ، به بافری با طول بی نهایت نیاز است. اگر در گیرنده از بافر متناهی استفاده شود، ممکن است در اثر سرریز شدن بافر، توان عملیاتی

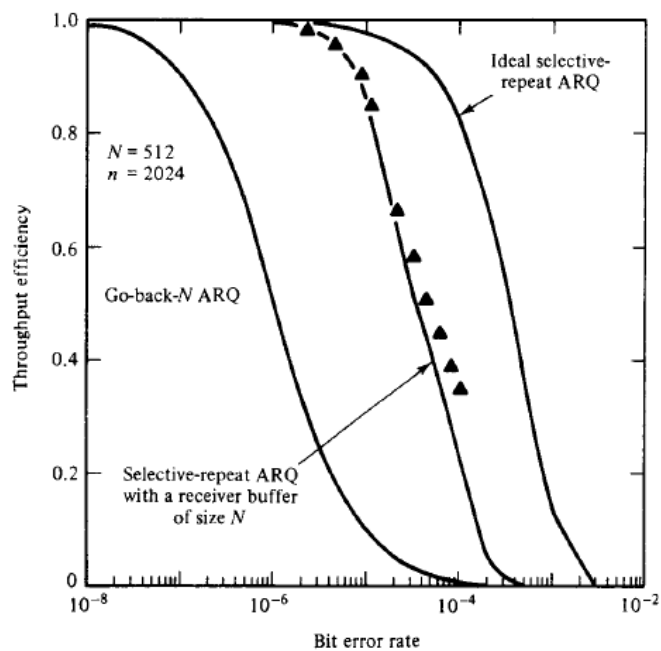
سیستم کاهش یابد. البته اگر بافر کافی (مثلاً بافری که توانایی ذخیره  $N$  بردار کد را داشته باشد) در گیرنده مورد استفاده قرار گیرد، حتی با کاهش در توان عملیاتی هنوز در سیستمهایی که نرخ ارسال داده ها و تاخیر رفت و برگشت آنها بالا است، نسبت به دو روش دیگر از توان عملیاتی بالاتری برخوردار خواهد بود. شکل‌های (۴) تا (۶)، نشانگر توان عملیاتی برای روشهای ارسال مجدد انتخابگرانه و بازگشت به  $N$  به ازاء طول کدها و تاخیر رفت و برگشتهای متفاوت می باشند. کانال در نظر گرفته شده از نوع BSC است. انواع مختلفی از روشهای بازگشت به  $N$  در ARQ پیشنهاد شده اند که راندمان آن را افزایش می دهند ولی با این وجود راندمان آن هنوز کمتر از روش ارسال مجدد انتخابگرانه است.



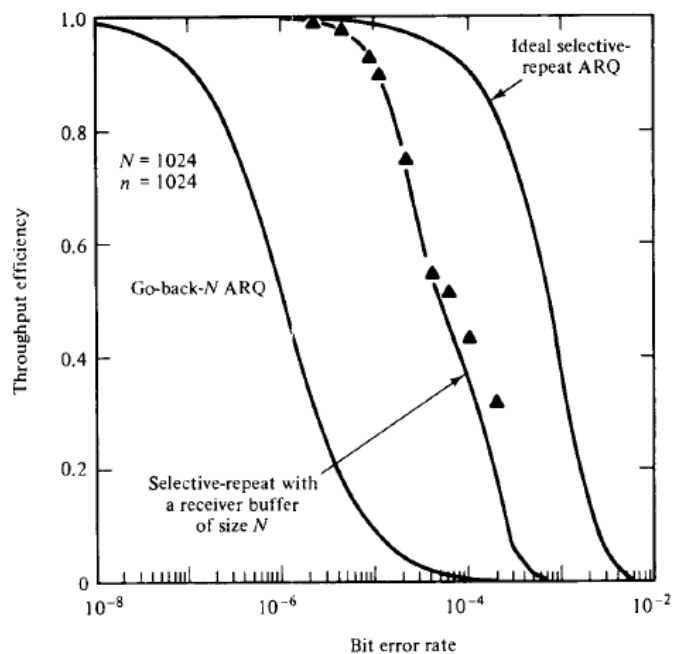
شکل (۴) - راندمان های توان عملیاتی، SR ایده‌آل با بافر گیرنده نامحدود، SR با بافری به اندازه  $N=128$  و

بازگشت به  $N$





شکل (۵) - راندمان های توان عملیاتی، SR ایده آل با بافر گیرنده نامحدود، SR با بافری به اندازه  $N=512$  و بازگشت به  $N$



شکل (۶) - راندمان های توان عملیاتی، SR ایده آل با بافر گیرنده نامحدود، SR با بافری به اندازه  $N=1024$  و بازگشت به  $N$