شبکه‌های مخابراتی

سید حمید صفوی
دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه محقق اردبیلی
نیمسال دوم ۹۸-۹۹

ارسال مجدد (ARQ)

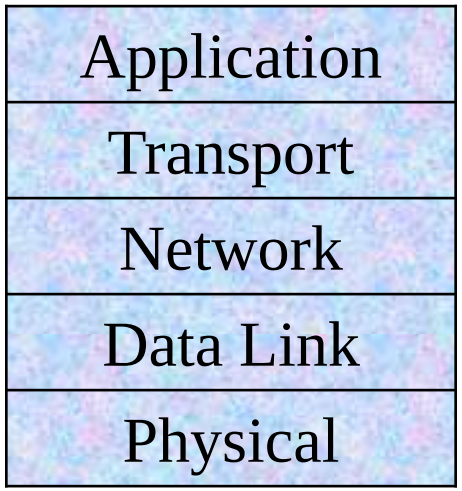
سرفصل

- **دو استراتژی برای مدیریت خطا:**

۱. تشخیص خطا و ارسال مجدد فریم (Automatic Repeat request, ARQ)
   - بحث این جلسه
۲. تصحیح خطا با استفاده از کدهای تصحیح خطا
   - این روش توضیح داده شد.

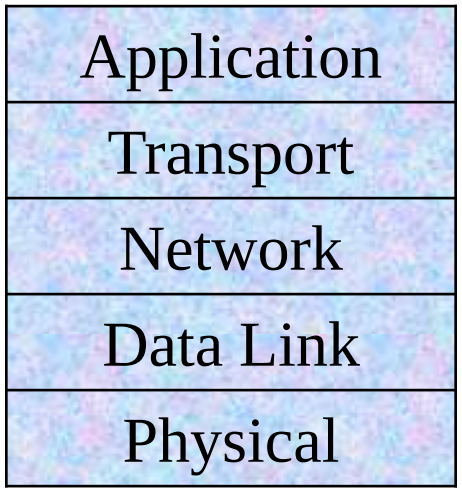
قابلیت اطمینان

- توابع قابلیت اطمینان باید در کدام لایه پروتکل استک گنجانده شوند؟

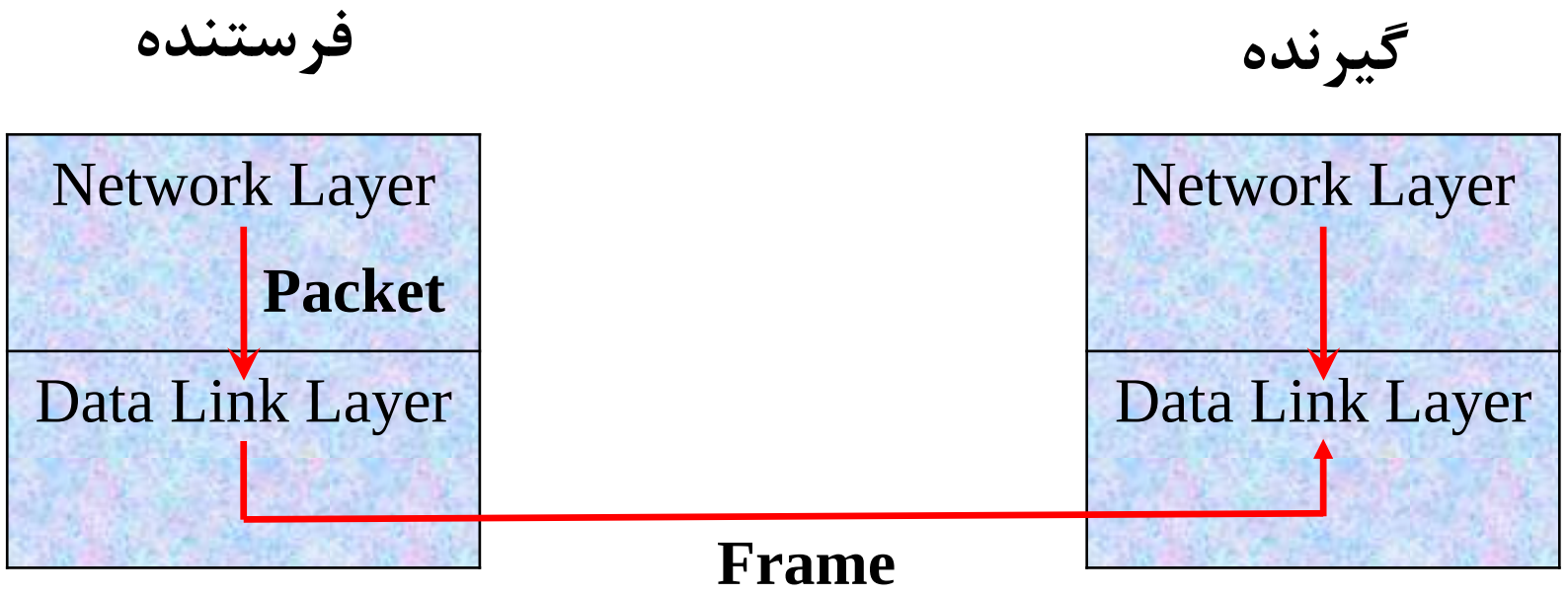


قابلیت اطمینان

- در همه لایه‌ها باید باشد. زیرا مسئله مهمی است.
  - لایه‌های مختلف به شیوه‌های متفاوتی مشارکت می‌کنند.



قابلیت اطمینان در لایه پیوند داده



Frame = Packet + Header

ارسال بدون تأییدیه (ACK)–نیاز به کنترل جریان

- حالت بدون تأییدیه را در نظر بگیرید. چه مشکلاتی ممکن است پیش بیاید؟
- فرض کنید سرعت ارسال فرستنده بیشتر از سرعت دریافت گیرنده باشد. چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

- یکی از مهم‌ترین مزایای داشتن تأییدیه، کنترل جریان (Flow Control) است.
  - داشتن تأییدیه باعث هم‌زمانی فرستنده و گیرنده به لحاظ سرعت دریافت و ارسال می‌شود.

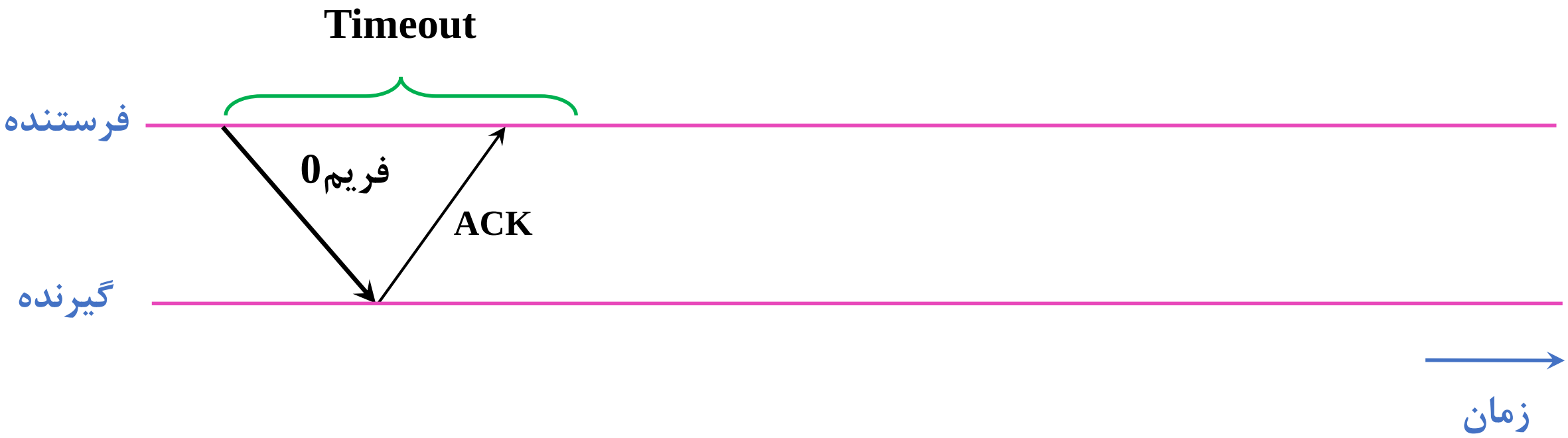
روش ARQ

- **روش ARQ** زمانی استفاده می‌شود که خطاها متداول هستند و یا حتما باید تصحیح شوند.
  - برای مثال: وای فای و TCP

- **قوانین موجود در فرستنده و گیرنده:**
  - **گیرنده** به صورت اتوماتیک، فریم‌های صحیح دریافت شده را با ارسال ACK تایید می‌کند.
  - **فرستنده** به صورت اتوماتیک، بعد از گذشت زمان مشخص (Timeout) تا زمانی که ACK را دریافت نکند، مجدداً ارسال می‌کند.

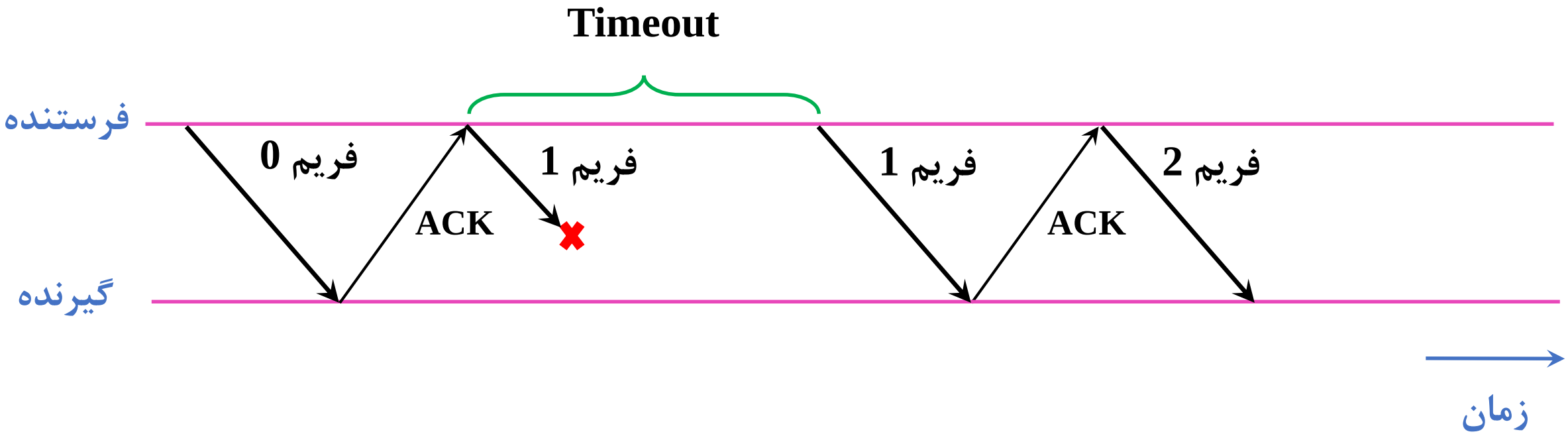
روش ARQ، سناریوهای محتمل

- حالت نرمال (بدون خطا)



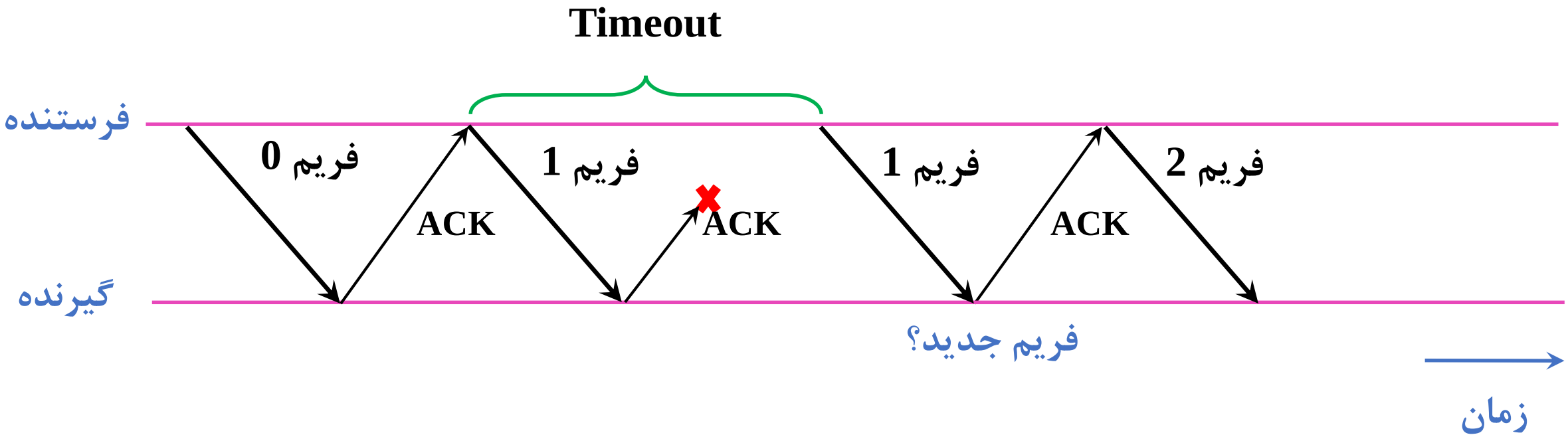
روش ARQ، سناریوهای محتمل (۲)

- خطا در ارسال فریم، سپس ارسال مجدد



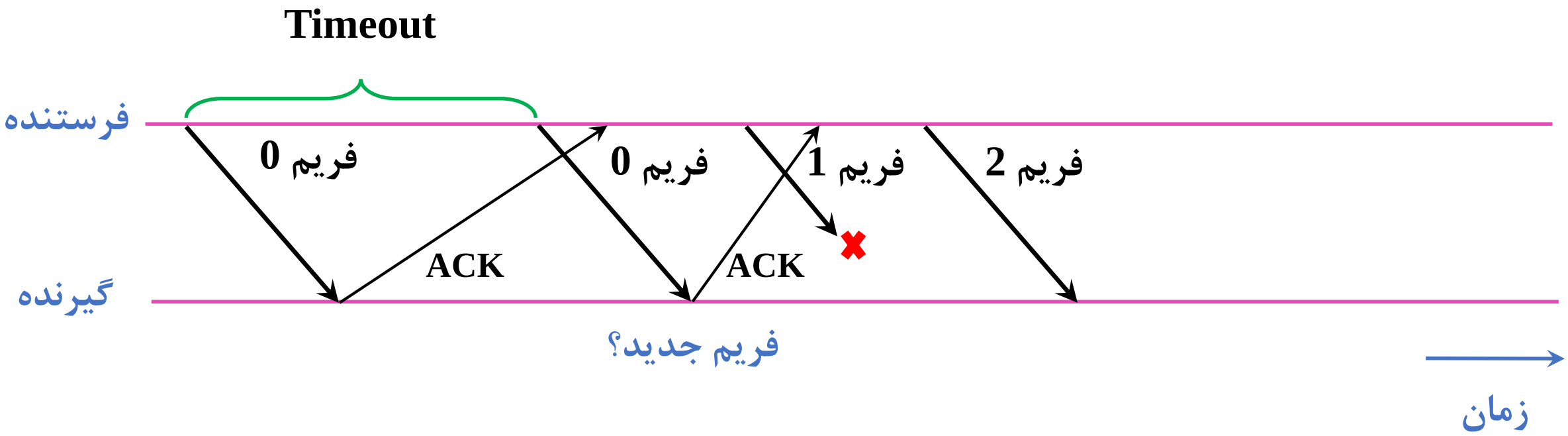
روش ARQ، سناریوهای محتمل (۳)

- خطا در ارسال ACK، سپس ارسال مجدد



روش ARQ، سناریوهای محتمل (۴)

- دریافت با تأخیر ACK به دلیل کم بودن زمان Timeout، سپس ارسال مجدد فریم قبلی



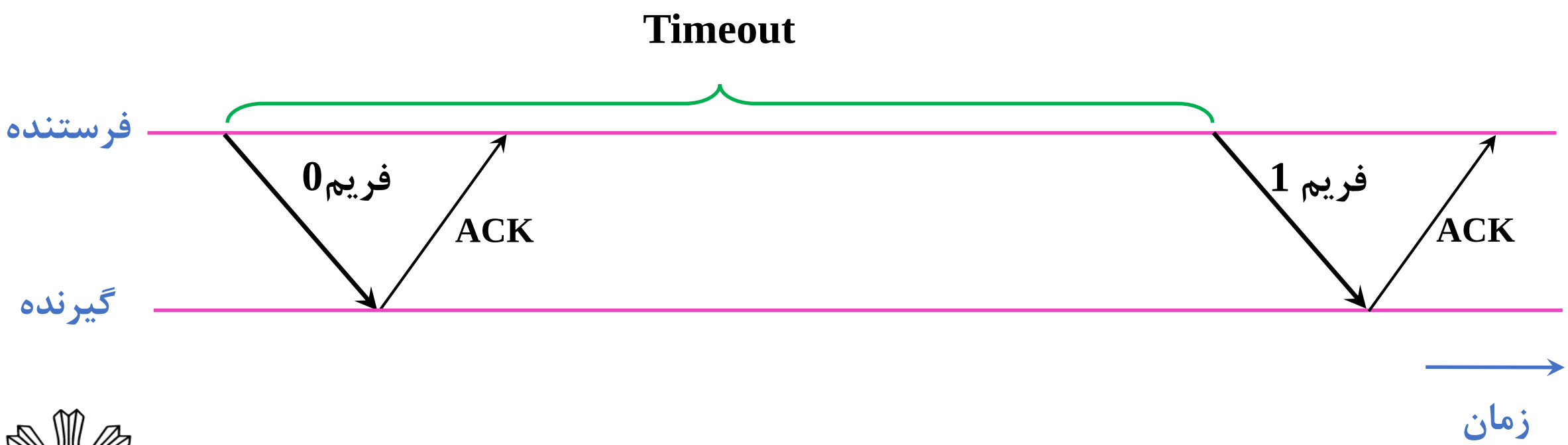
ادامه روش ARQ

- با توجه به اسلایدهای قبل، با دو مسئله مهم روبرو هستیم:
  - زمان Timeout چقدر باید باشد؟
  - چگونه از دریافت کپی‌های فریم به عنوان فریم‌های جدید جلوگیری کنیم؟

Timeouts

- زمان Timeout باید:

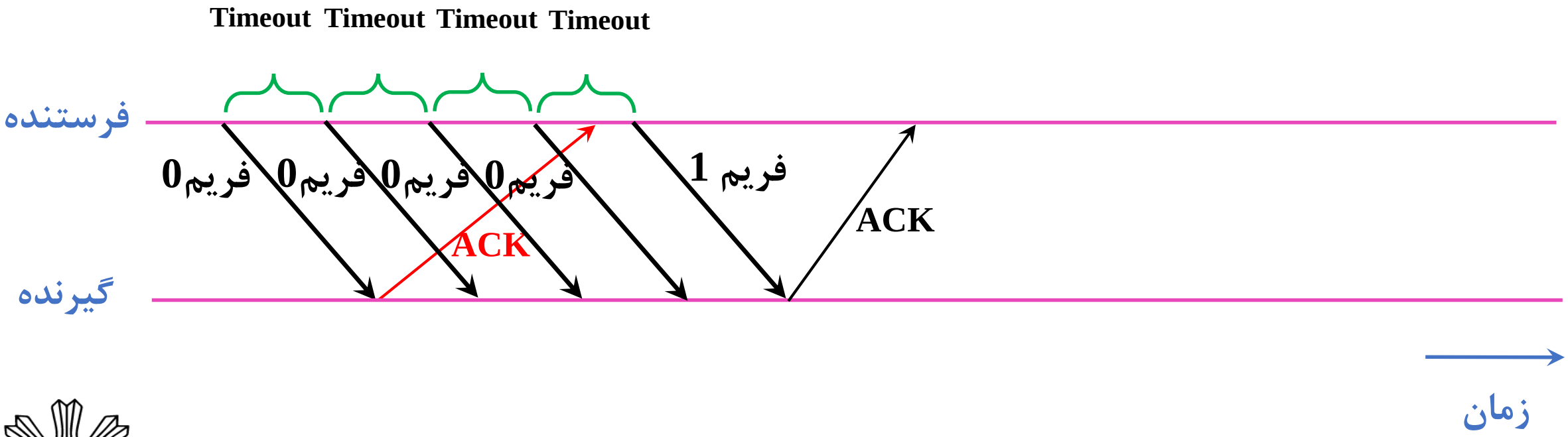
– **خیلی بزرگ نباشد.** زیرا لینک به حالت ایده‌آل درمی‌آید و استفاده درستی از منابع نمی‌شود.



Timeouts

- زمان Timeout باید:

  - **خیلی کوچک نباشد.** جلوگیری از ارسال مجددهای زیاد



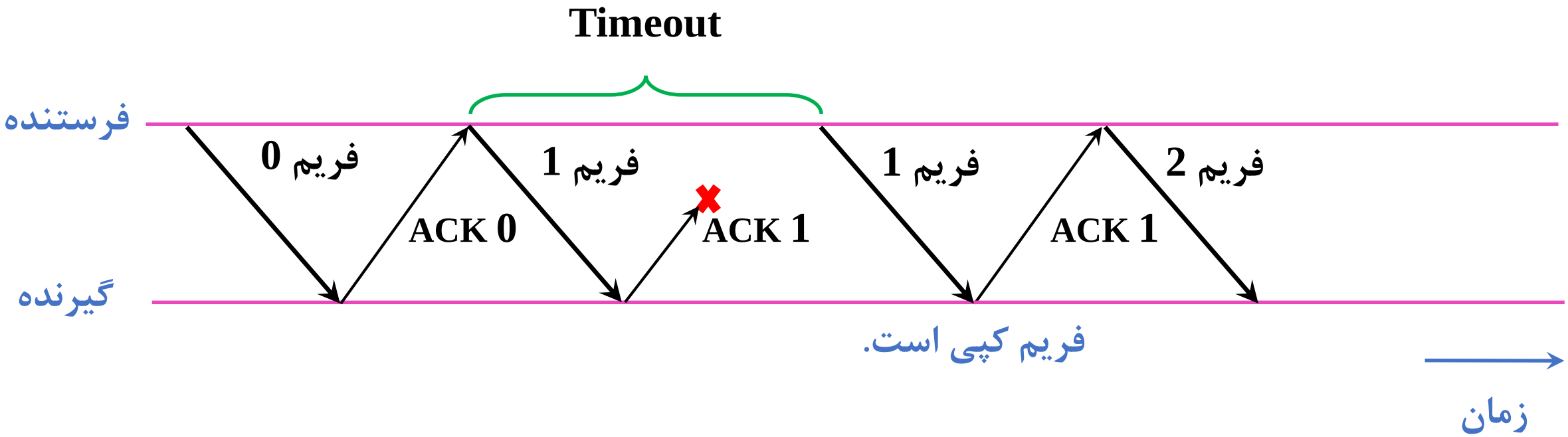
Sequence Numbers

- فریم‌ها و ACK ها باید **شماره** داشته باشند تا ابهامی پیش نیاید. (جلوگیری از کپی‌های مختلف)

- برای تفکیک فریم حاضر از فریم بعدی، فقط یک بیت (دو عدد) کفایت می‌کند. چرا؟
  - به دلیل اینکه هر فریم فقط با فریم بعدی می‌تواند اشتباه شود (دو حالت) و نه با فریم‌های دیگر.
- این روش را **Stop-and-Wait** می‌نامند.

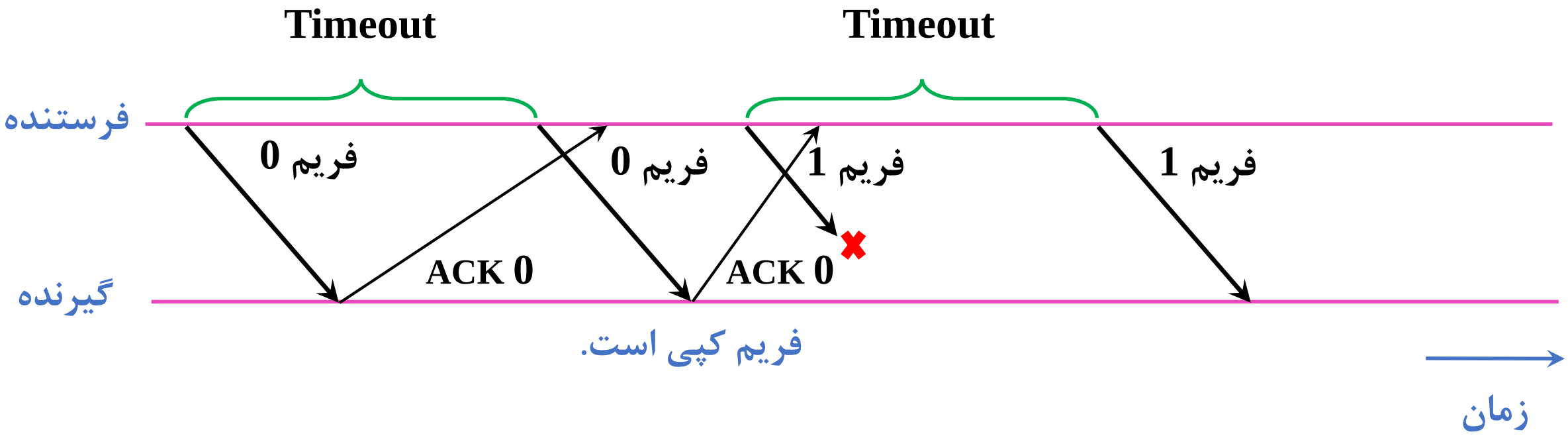
Stop-and-Wait

- خطا در ارسال ACK و ارسال مجدد



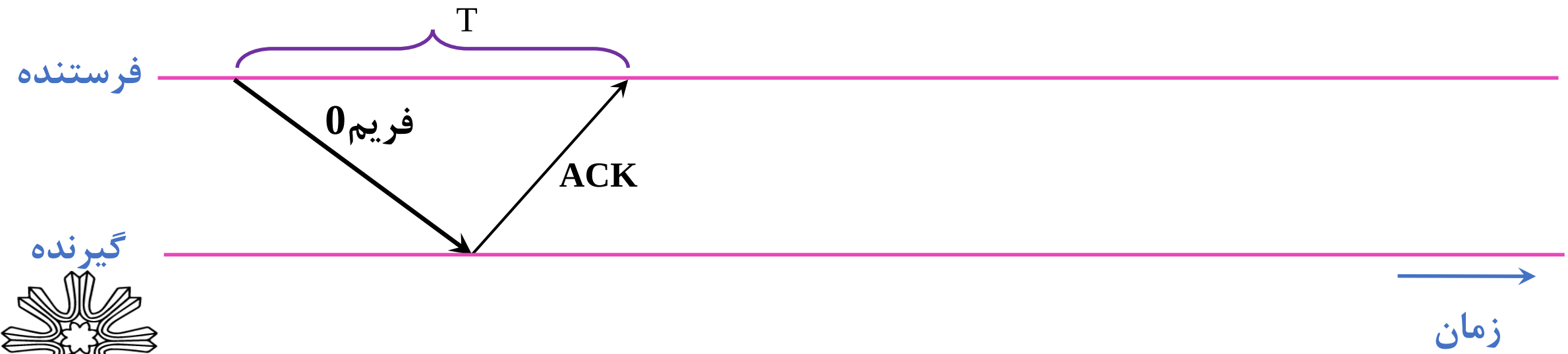
Stop-and-Wait (2)

- دریافت با تاخیر ACK به دلیل کم بودن زمان Timeout و ارسال مجدد فریم قبلی



محدودیت‌های روش Stop-and-Wait

- هنگامی که تأخیر انتشار بزرگتر از زمان ارسال فریم باشد، روش Stop-and-Wait ناکارآمد خواهد بود. این روش فقط به **یک فریم** اجازه ارسال از سمت فرستنده را می‌دهد. مدت زمانی باید صبر شود تا ACK فریم ارسالی دریافت شود و سپس ارسال فریم بعدی صورت گیرد. فرستنده مدت زمان T بیکار است!
  - برای LAN مناسب است. برای مقادیر بزرگ حاصل ضرب پهنای باند در تأخیر، مناسب نیست.



محدودیت‌های روش Stop-and-Wait (۲)

- برای مثال: R=1Mbps و D=50ms باشد.
  - چند فریم بر ثانیه؟

زمان تأخیر رفت و برگشت برابر 2D=100ms است. بنابراین ۱۰ فریم در ثانیه می‌توان ارسال کرد. اگر هر فریم را ۱۰۰۰۰ بیت در نظر بگیریم. سرعتی معادل 100Kbps داریم!

  - اگر R=10Mbps باشد چه؟

صرف نظر از اینکه R چقدر باشد، سرعت ارسال همان 100Kbps است!

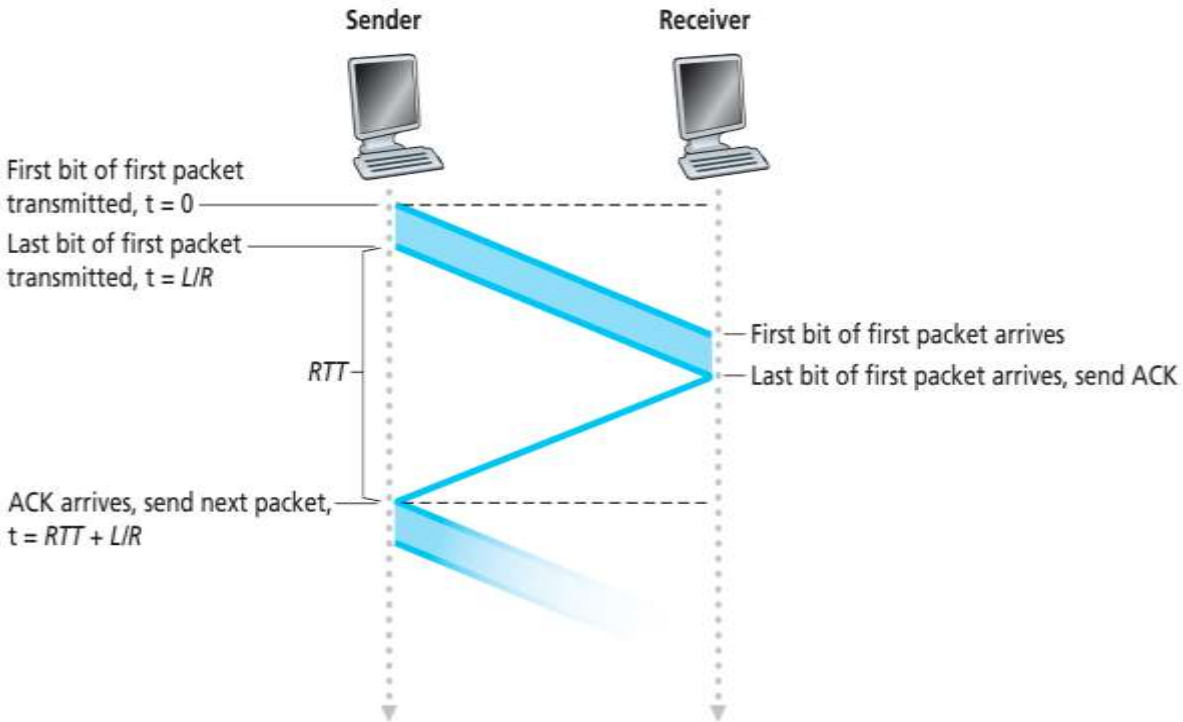
روش‌های مبتنی بر پنجره

روش‌های مبتنی بر پنجره

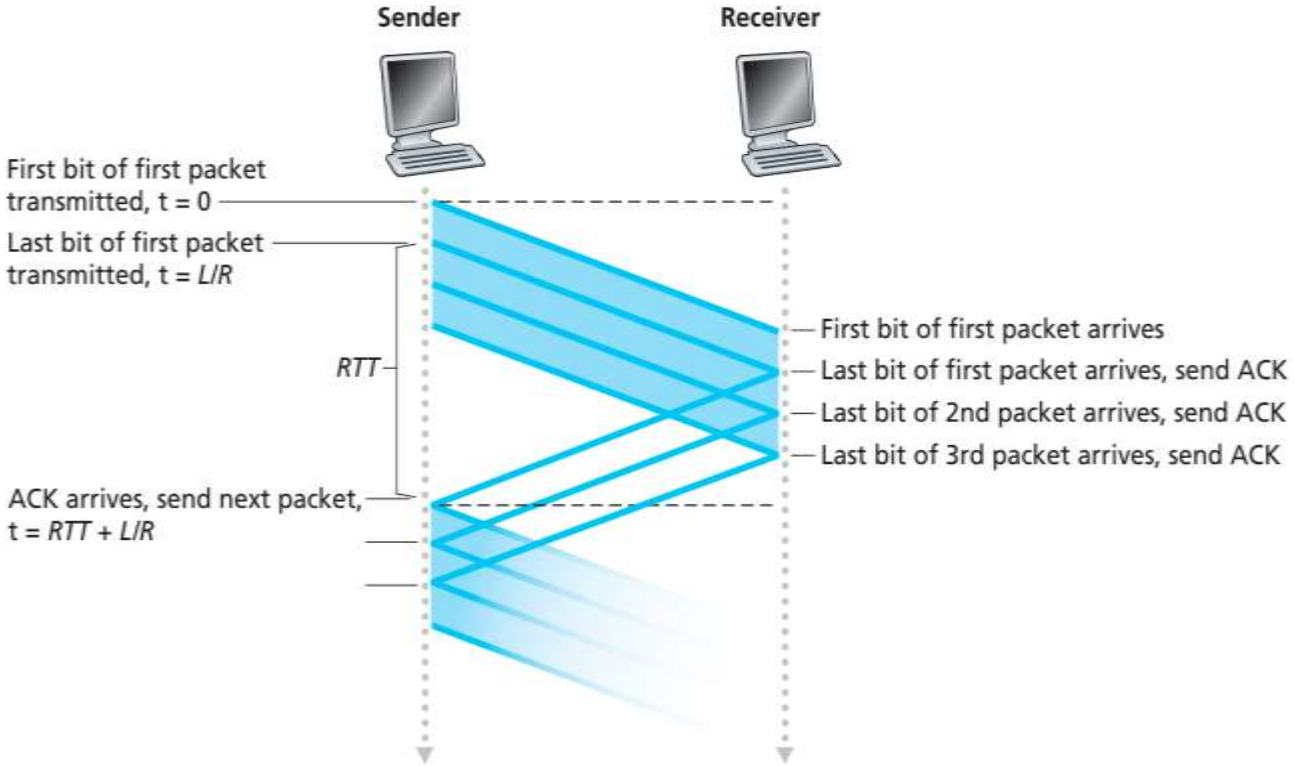
- اجازه ارسال فریم‌ها تا W فریم را می‌دهد.
  - بنابراین می‌توان W فریم در هر زمان رفت و برگشت (RTT=2D) ارسال کرد.

- روش‌های مختلفی برای شماره‌گذاری فریم‌ها و ACK ها برای مدیریت خطا
  - روش Go-Back-N
  - روش Selective Repeat

Go-Back-N

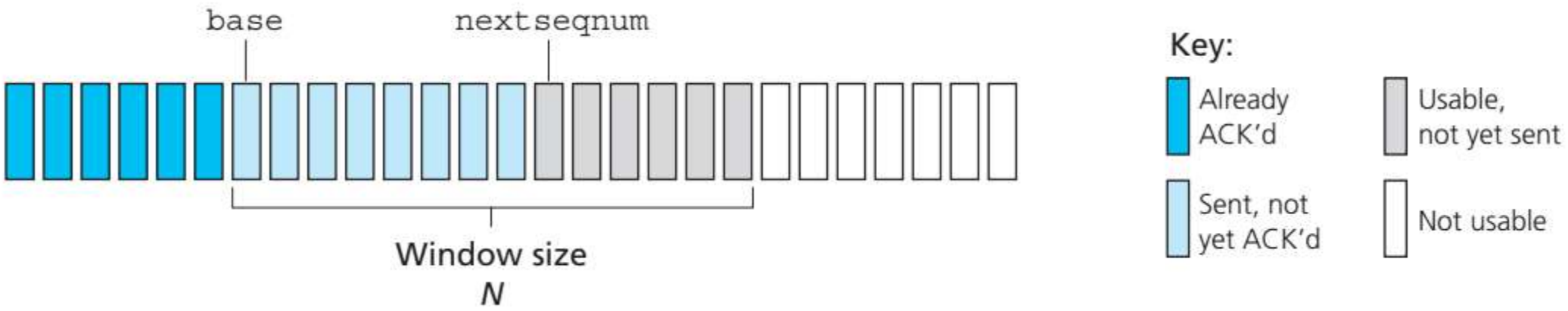


Stop and wait



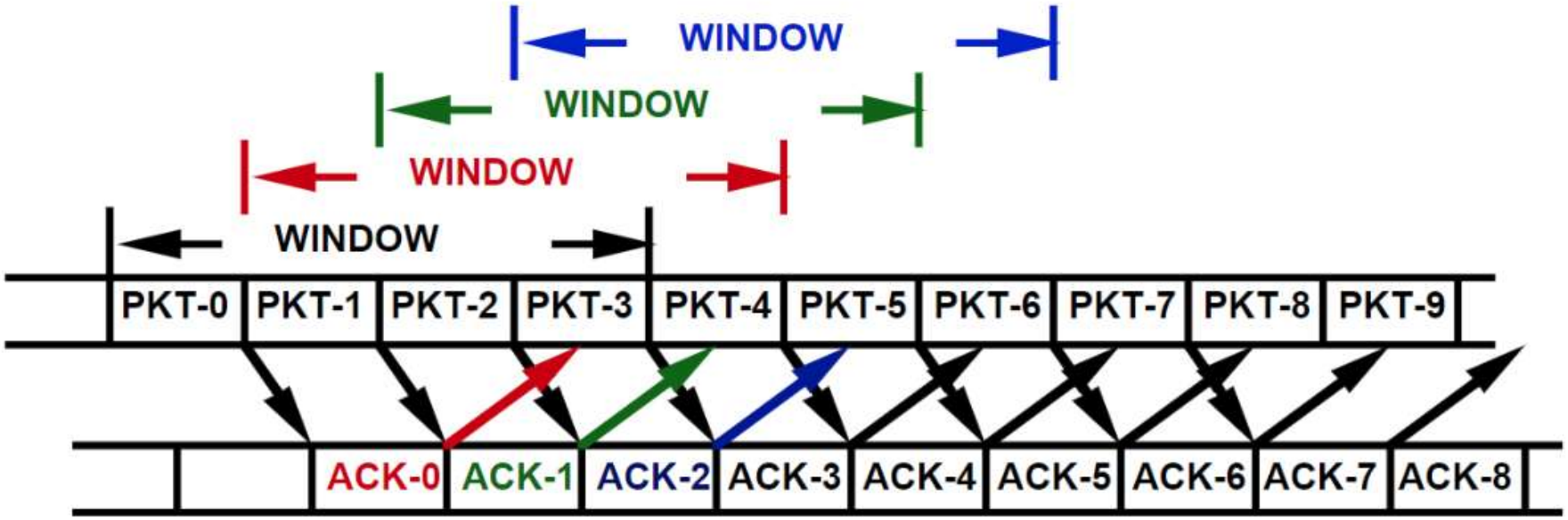
Go-Back-N

(۲) Go-Back-N


base
nextseqnum
Window size
N
Key:
Already ACK'd
Sent, not yet ACK'd
Usable, not yet sent
Not usable

(۳) Go-Back-N

- **حالت بدون خطا و نرمال:** پس از دریافت اولین ACK از فریم‌های ارسالی، پنجره یک شیفت زمانی داده می‌شود و اجازه ارسال فریم بعدی صادر می‌شود. این روند با دریافت ACK های دیگر نیز ادامه می‌یابد.

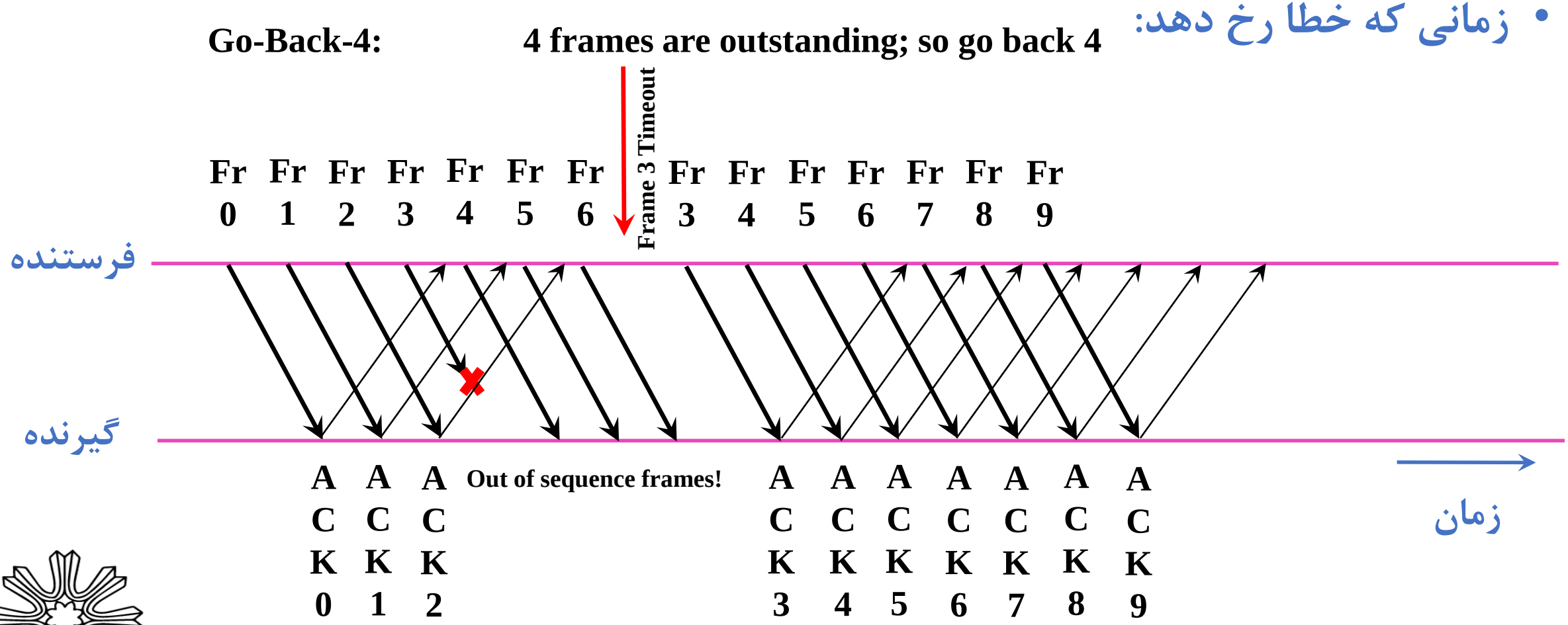


(۴) Go-Back-N

- سایز پنجره = N
- فرستنده تا زمانی که ACK فریم i ام را دریافت نکرده باشد، نمی‌تواند فریم N+i را ارسال کند.
- گیرنده همانند حالت Stop-and-Wait رفتار می‌کند.
  - فریم‌ها به ترتیب دریافت می‌شود.
  - فریم‌های خارج از ترتیب مورد پذیرش واقع نمی‌شود.
  - ارسال تاییدیه i ام به مفهوم این است که همه فریم‌ها تا فریم i ام به همراه خود فریم i ام دریافت شده‌است.
  - برای ارسال تأییدیه i ام، در برخی از کتاب‌ها خود عدد i و در برخی دیگر عدد i+1 ارسال می‌شود. هر کدام از این روش‌ها استفاده شود، مشکلی پیش نمی‌آید.

(۵) Go-Back-N

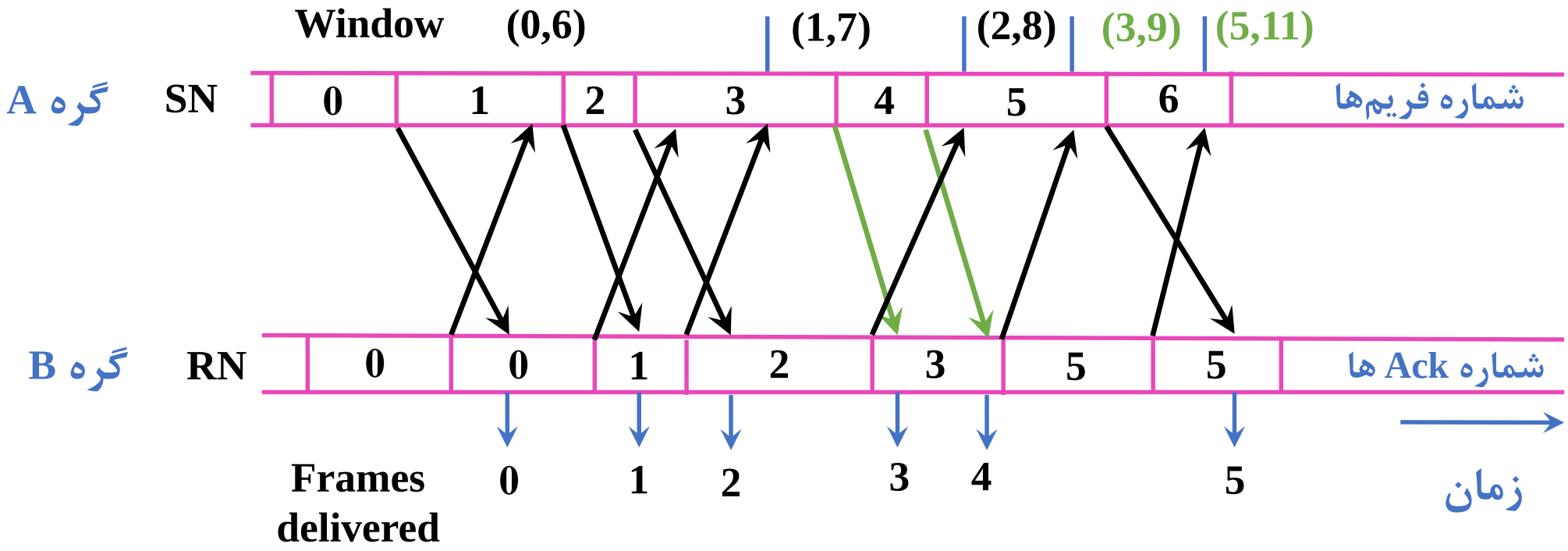
- زمانی که خطا رخ دهد:



Piggybacking

- تمامی روش‌های گفته شده تا بدینجا ارسال یک طرفه و به عبارتی Simplex بود. اگر ارتباط دوطرفه داشته باشیم، چه کار باید کرد؟
- گیرنده هنگامی که فریم داده ارسالی را دریافت کرد، به جای ارسال سریع فریم کنترلی حاوی ACK، منتظر آماده شدن packet بعدی از سمت لایه شبکه می‌ماند. هنگامی که packet به دستش رسید، فریم جدید را آماده می‌کند و ACK فریمی را که از فرستنده دریافت کرده بود با فریم جدید به سمت فرستنده ارسال می‌کند.
- تکنیک تأخیر موقت در ارسال تأییدیه از سمت گیرنده با هدف انضمام آن به فریم داده بعدی را **Piggybacking** گویند.

مثال عملی از Go-Back-N با Piggybacking



برخی از نکات مهم درباره Go-Back-N

- در سمت گیرنده هیچ بافری وجود ندارد. (سایز پنجره گیرنده ۱ است.)
- در سمت فرستنده فریم‌های ارسالی به اندازه پنجره باید در بافر نگهداری شوند.
- زمانی که خطا رخ دهد، فرستنده کل پنجره را باید مجدداً ارسال کند.
- گیرنده، فریم‌ها را فقط و فقط به ترتیب دریافت می‌کند.
- تنها مشکل جدی این روش، ارسال کل فریم‌های پنجره هنگام خطا می‌باشد.

اندازه پنجره در روش Go-Back-N

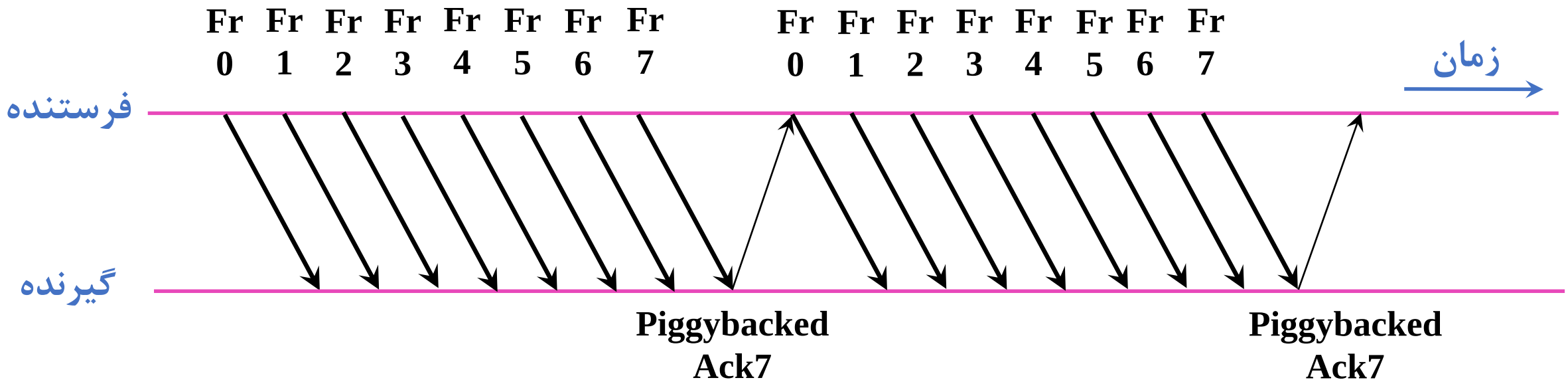
- برای ارسال شماره فریم‌ها به چند بیت نیاز است؟
- شماره فریم‌ها هر عدد بزرگی می‌تواند باشد؟
  - به منظور کاهش overhead معمولاً تعداد بیت مشخصی را برای شماره‌ها در نظر می‌گیرند و به صورت چرخشی، ادامه فریم‌ها را شماره‌گذاری می‌کنند.
- سوال: با انتخاب تعداد بیت مناسب شمارنده چرخشی برای فریم‌ها، سایز مناسب پنجره چند است؟
- مثال: Sequence Number سه بیتی: آنگاه شماره فریم‌ها می‌تواند 0 تا 7 باشد (۸ عدد)
- دو حالت را بررسی می‌کنیم: اسلایدهای بعد ....

اندازه پنجره در روش Go-Back-N (۲)

- **حالت N=8**
  - فرستنده: فرستنده فریم‌های 0 تا 7 را ارسال می‌کند. (۸ فریم)
  - فرستنده: ACK7 دریافت می‌شود.
  - فرستنده: فرستنده فریم‌های 0 تا 7 را ارسال می‌کند. (سری بعدی فریم‌ها)
  - فرستنده:ACK7 دریافت می‌شود.
  - سوال: ACK7 دریافتی، تأییدیه آخرین فریم ارسالی است یا اینکه آخرین سری فریم‌های ارسالی از 0 تا 7 کلاً دارای خطا بوده و ACK7 برای سری فریم قبلی است؟

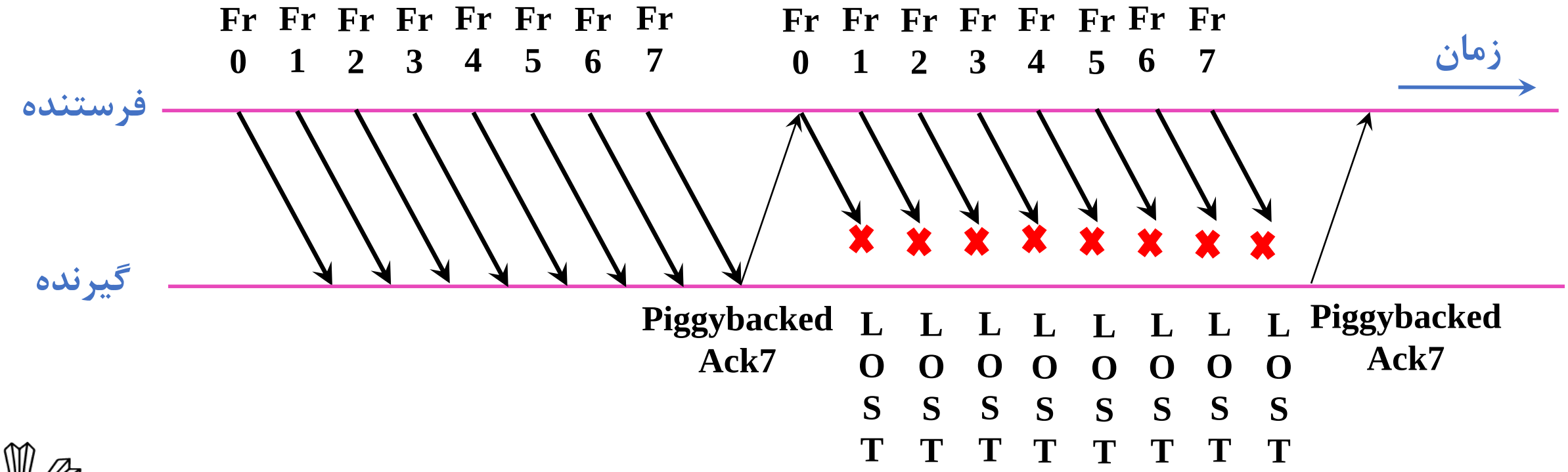
اندازه پنجره در روش Go-Back-N (۳)

- همه فریم‌های دسته اول و دسته دوم به درستی دریافت شده‌اند.



اندازه پنجره در روش Go-Back-N (۵)

- همه فریم‌های دسته اول به درستی دریافت شده‌اند ولی همه فریم‌های دسته دوم خطا دارند.



اندازه پنجره در روش Go-Back-N (۴)

- **حالت N=7**
  - فرستنده: فرستنده فریم‌های 0 تا 6 را ارسال می‌کند. (7 فریم)
  - فرستنده: ACK6 دریافت می‌شود.
  - فرستنده: فرستنده فریم‌های 7 و 0 و 1 و 2 و 3 و 4 و 5 را ارسال می‌کند. (سری بعدی فریم‌ها)
  - فرستنده: ACK6 دریافت می‌شود.
  - حال فرستنده کل دسته دوم فریم‌ها را رد می‌کند، چرا که فریم شماره 6 در دسته دوم فریم‌های ارسالی وجود ندارد و این یعنی اینکه دسته دوم فریم‌ها دارای خطا بوده است.

اندازه پنجره در روش Go-Back-N (۶)

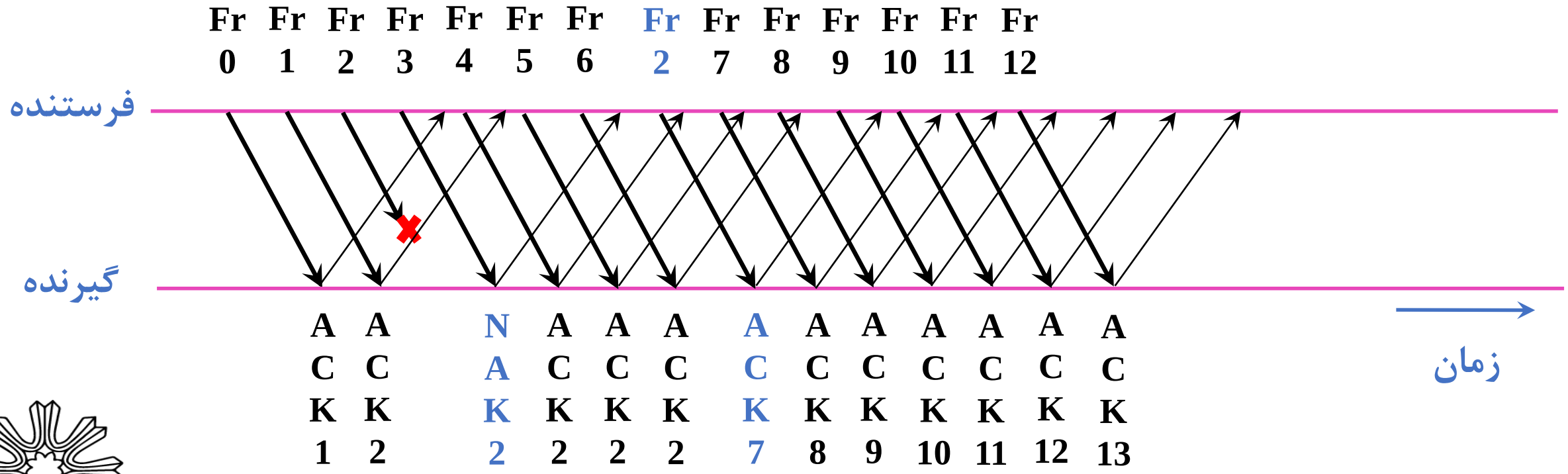
- نتیجه اخلاقی: بیشترین سایز پنجره باید 7 و یا کمتر باشد (N=7).

در حالت کلی اگر m بیت برای sequence number اختصاص داده‌ایم، سایز پنجره باید برابر $N = 2^m - 1$ باشد.

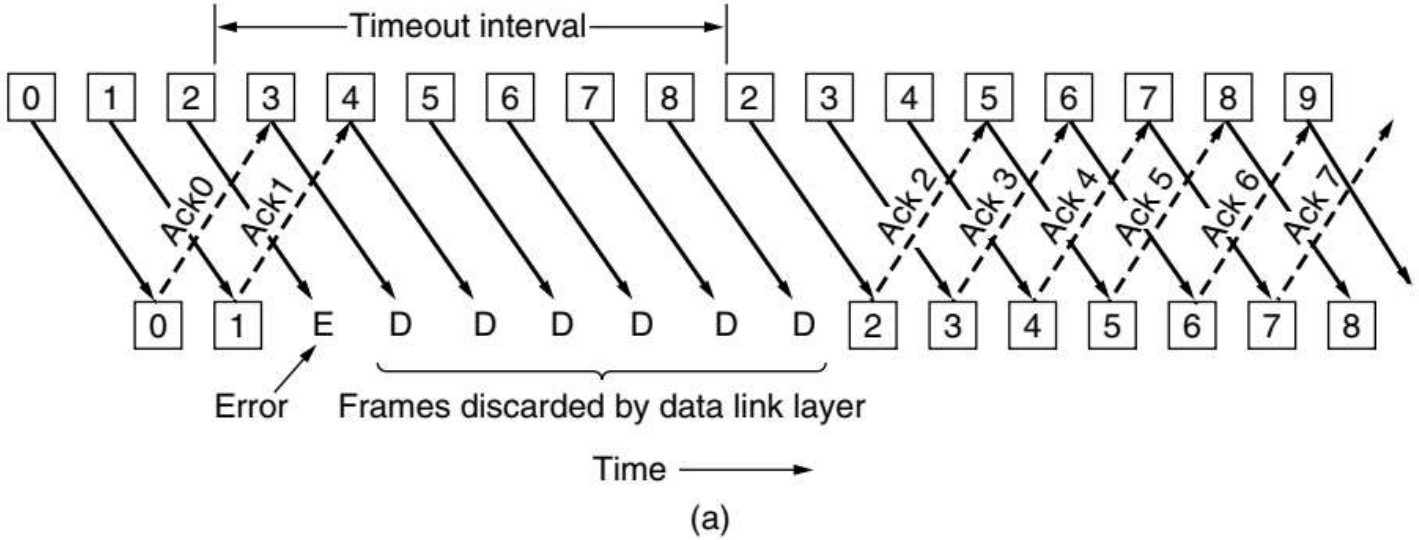
Selective Repeat

Selective Repeat

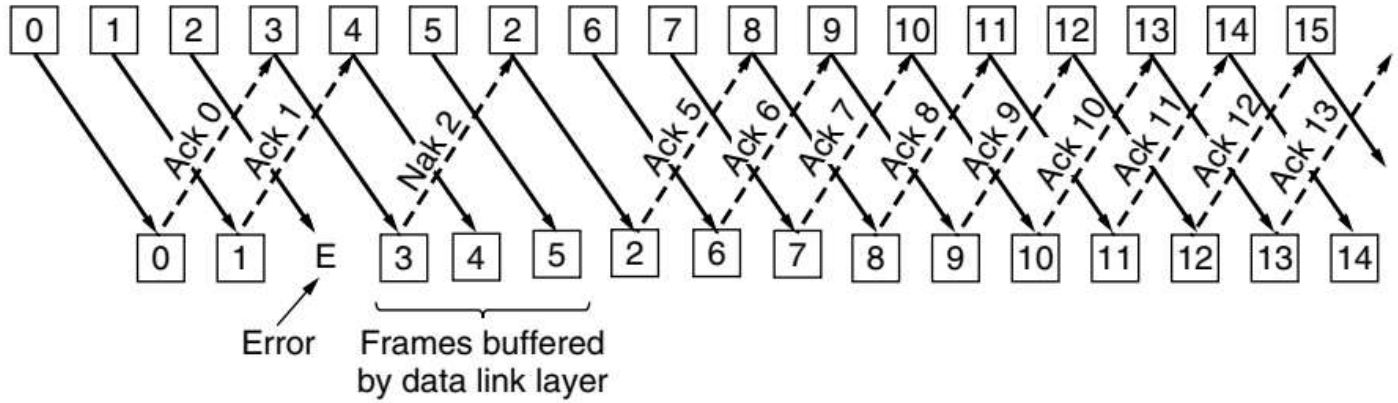
- در این روش فقط فریم‌های از دست رفته مجدداً ارسال می‌شوند.
- در مثال زیر، پس از دریافت فریم i ام، ACK برای i+1 ارسال می‌شود. به این معنا که فرستنده می‌تواند فریم i+1 ام را ارسال کند.



(۲) Selective Repeat



(a)



(b)

(۳) Selective Repeat

- گیرنده باید بتواند فریم‌ها را خارج از ترتیب ارسالی، بپذیرد. به عبارت دقیق‌تر باید قابلیت بافر کردن (نگه داشتن) فریم‌ها را داشته باشد.
- **انواع درخواست ارسال مجدد:**
  - **ضمنی (Implicit):**
    - گیرنده فقط برای فریم‌های دریافت شده صحیح، تأییدیه می‌فرستد. فریم‌هایی که تأییدیه نگرفته‌اند، یا از دست رفته‌اند و یا دچار خطا شده‌اند.
    - این روش برای اطمینان از اینکه هر فریم به دست گیرنده رسیده‌است، استفاده می‌شود.
  - **صریح (Explicit):**
    - در این روش امکان درخواست ارسال مجدد فقط یک فریم نیز وجود دارد. ارسال NAK
    - این روش توانایی تسریع ارسال مجدد را دارد.

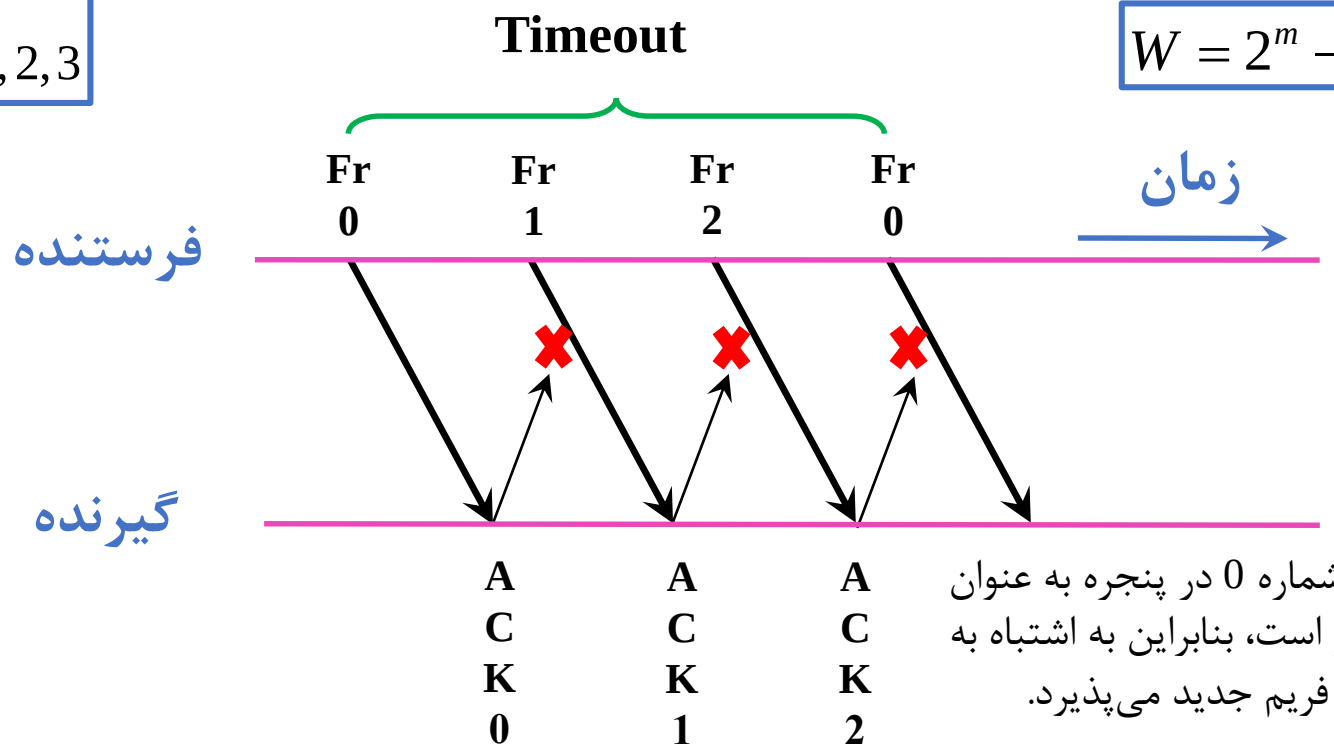
اندازه پنجره در روش Selective Repeat

$m = 2 \quad \Rightarrow 2^m = 4$

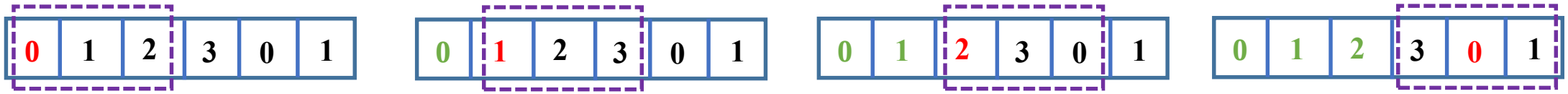
$\Rightarrow Seq_Num = 0,1,2,3$

- حالت اول:

$W = 2^m - 1 = 3$



چون فریم شماره 0 در پنجره به عنوان شماره مجاز است، بنابراین به اشتباه به عنوان فریم جدید می‌پذیرد.



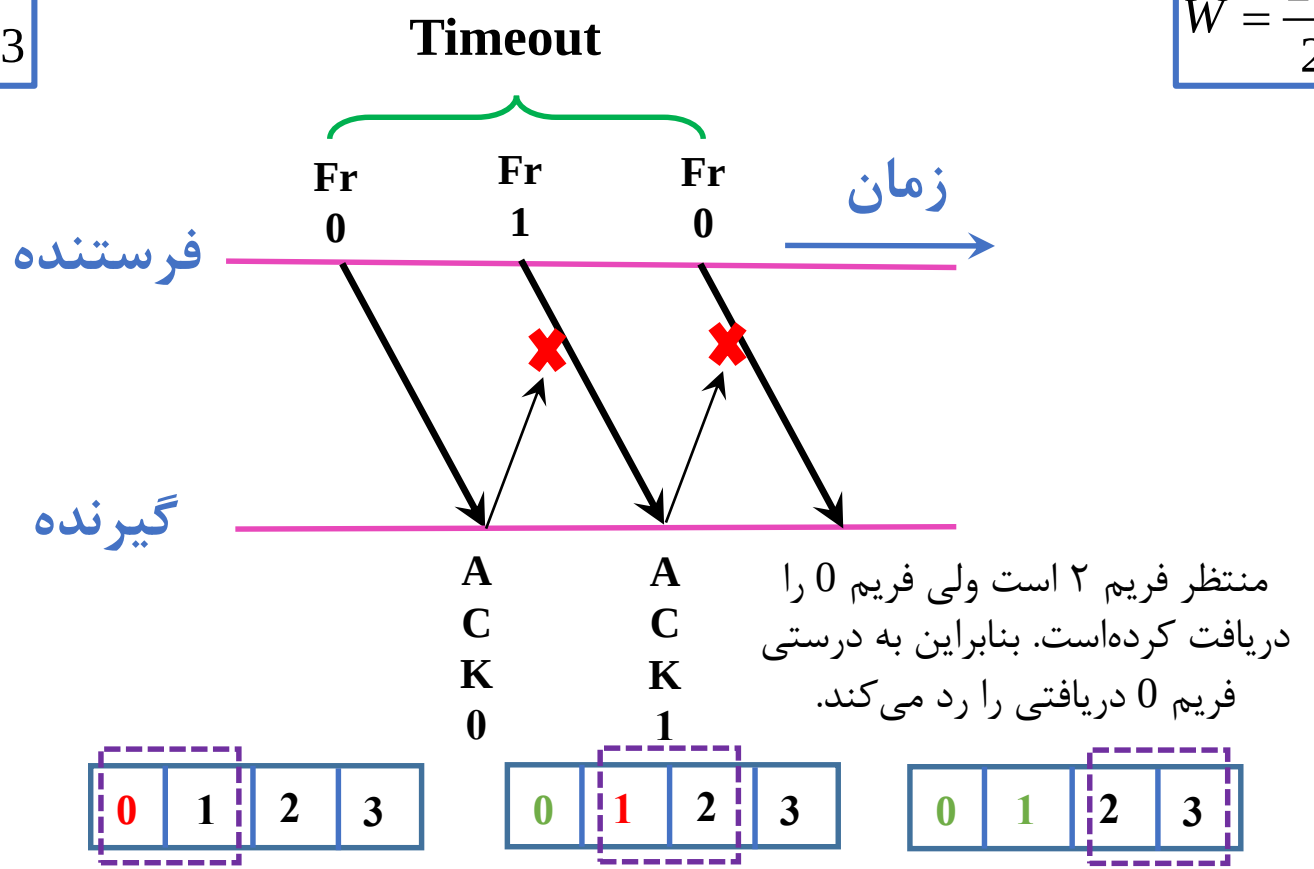
اندازه پنجره در روش Selective Repeat (۲)

$m = 2 \quad \Rightarrow 2^m = 4$

$\Rightarrow Seq_Num = 0,1,2,3$

- حالت دوم:

$$W = \frac{2^m}{2} = 2$$



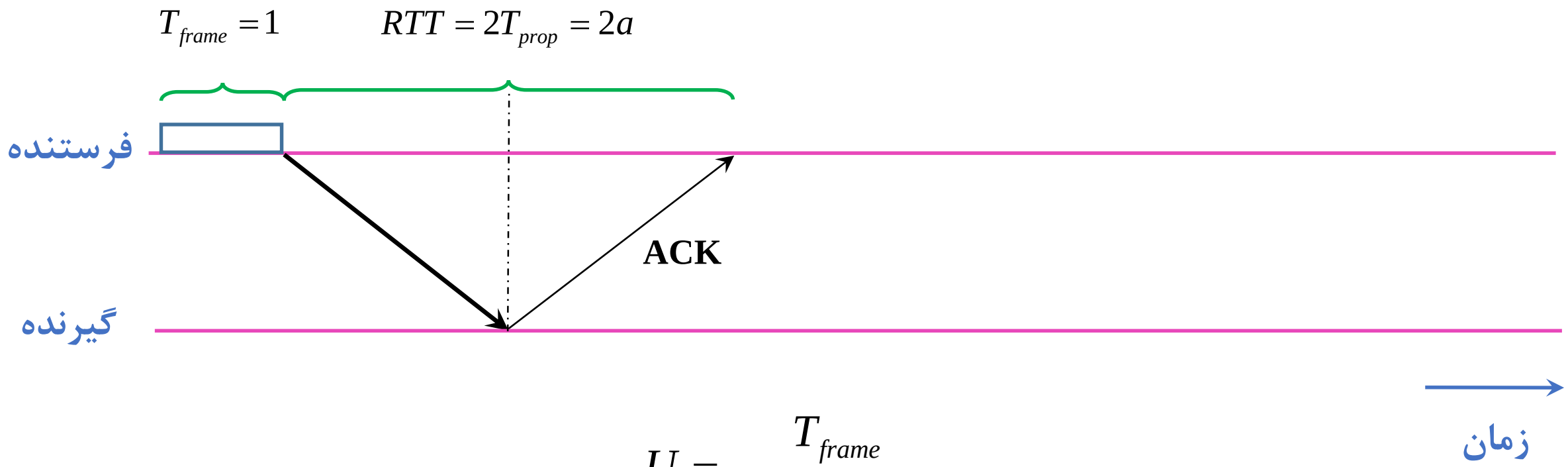
اندازه پنجره در روش Selective Repeat (۳)

- **نتیجه اخلاقی دو اسلاید قبل:**
- برای تعیین اندازه پنجره در روش Selective Repeat محدودیت‌های بیشتری حاکم است. بنابراین اندازه پنجره باید برابر نصف تعداد شمارنده باشد.

$$W = \frac{2^m}{2}$$

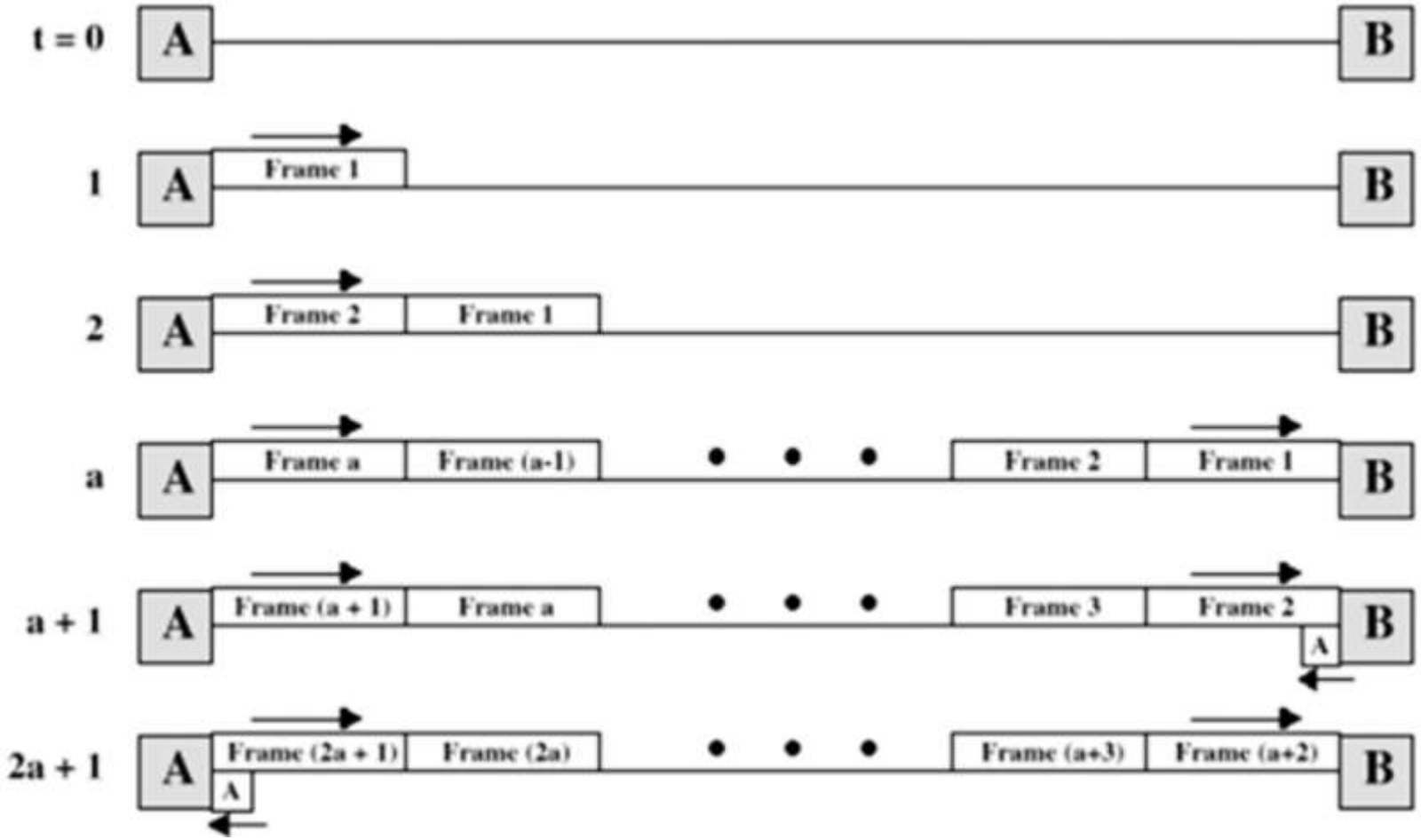
کارآمدی لینک

کارآمدی لینک



$$U = \frac{T_{frame}}{T_{frame} + RTT}$$

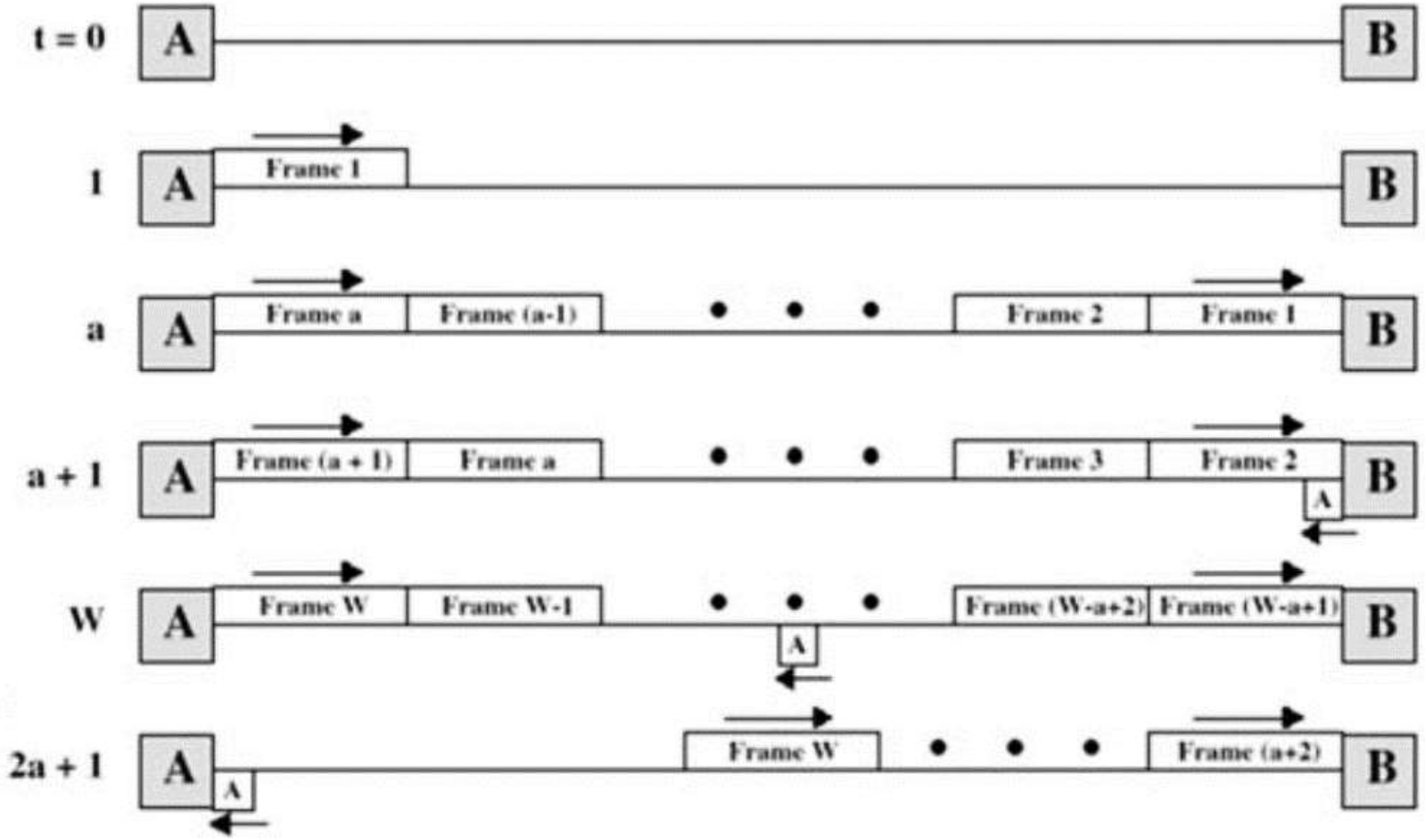
کارآمدی لینک (۲)



- حالت اول:

$$W > 2a + 1$$

کارآمدی لینک (۳)



- حالت دوم:

$$W < 2a + 1$$

کارآمدی لینک (۴)

- **حالت بدون خطا:**
  - **روش Stop-and-Wait:**

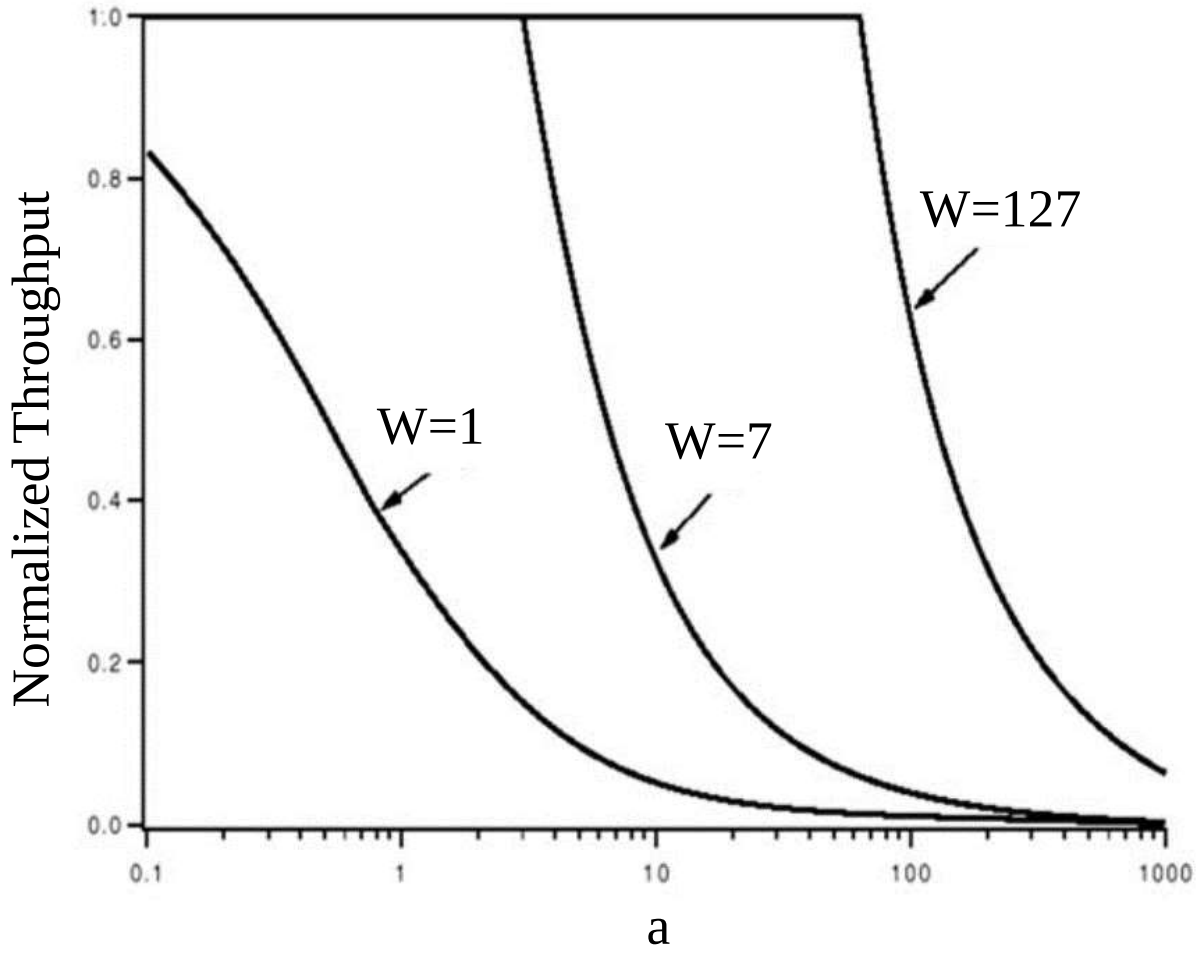
$$U = \frac{1}{2a+1} \qquad a = \frac{T_{prop}}{T_{frame}}$$

- **روش‌های مبتنی بر پنجره (Sliding Window):** (سایز پنجره مساوی W است. $W = 2^n - 1$)

$$U = \begin{cases} 1, & W > 2a+1 \\ \dfrac{W}{2a+1}, & W < 2a+1 \end{cases}$$

کارآمدی لینک (۵)

- حالت بدون خطا:



کارآمدی لینک (۶)

- **حالت با خطا:** احتمال خطای فریم را برابر P فرض کنید.
- **کارآمدی روش Stop-and-Wait:**
  - احتمال اینکه یک فریم نیاز به ارسال به تعداد k بار داشته باشد برابر $P^{k-1}(1-P)$ است.
  - متوسط آماری تعداد ارسال مورد انتظار برای هر فریم:

$$E[N] = N_r = \sum_{k=1}^{\infty} k \times \Pr(k\ Transmission) = \sum_{k=1}^{\infty} k \times P^{k-1}(1-P) = \frac{1}{1-P}$$

- کارآمدی در حالت با خطا برابر کارآمدی در حالت بدون خطا تقسیم بر تعداد ارسال مورد انتظار بر هر فریم است:

$$U = \frac{1-P}{2a+1}$$

کارآمدی لینک (۷)

- **حالت با خطا:**
- **کارآمدی روش Selective Repeat:**
- ایده اصلی دقیقا مشابه حالت Stop-and-Wait است.

$$U = \begin{cases} 1-P, & W > 2a+1 \\ \dfrac{W(1-P)}{2a+1}, & W < 2a+1 \end{cases}$$

کارآمدی لینک (۸)

- **حالت با خطا: کارآمدی روش Go-Back-N:**
  - هر خطای فریم نیازمند ارسال مجدد L فریم از پنجره است. (که L بزرگتر مساوی ۱ است.)
  - کل تعداد فریم‌هایی که باید ارسال شود، اگر فریم اصلی باید k بار ارسال شود. $f(k)=1+(k-1)L$

$$E[N]=N_r=\sum_{k=1}^{\infty} f(k)\times \Pr(k\ Transmission)=\sum_{k=1}^{\infty}(1-L+kL)\times P^{k-1}(1-P)$$

$$=(1-L)\times\sum_{k=1}^{\infty}P^{k-1}(1-P)+L\times\sum_{k=1}^{\infty}kP^{k-1}(1-P)=(1-L)+\frac{L}{1-P}=\frac{1-P+LP}{1-P}$$

$$L\approx\begin{cases}2a+1, & W>2a+1\\ W, & W<2a+1\end{cases}$$

$$U=\begin{cases}\dfrac{1-P}{1+2aP}, & W>2a+1\\ \dfrac{W(1-P)}{(2a+1)(1-P+WP)}, & W<2a+1\end{cases}$$

کارآمدی لینک (۹)

- حالت با خطا: