

پایگاه داده پیشرفته  
دکتر شجاعی مهر  
علیرضا سلطانی نشان  
۱ دی ۱۴۰۲

## فهرست مطالب

۳	۱ تراکنش
۳	۲ قوانین ACID
۳	۱.۲ اتمیک یا Atomicity
۳	۲.۲ جامعیت یا Consistency
۳	۳.۲ انزوا یا Isolation
۳	۴.۲ قابلیت اعتماد یا Durability
۴	۳ تنظیم قابلیت انزوا
۴	۱.۳ وضعیت تراکنش
۶	۴ همروندی
۶	۱.۴ مزیت همروندی
۶	۲.۴ معایب همروندی
۶	۵ زمان‌بندی
۶	۱.۵ نظریه پی در پی پذیری زمان‌بندی‌ها
۶	۲.۵ سه شرط اصلی تصادم
۷	۳.۵ زمان‌بندی سریالی
۷	۴.۵ زمان‌بندی‌های معادل در برخورد یا Conflict equivalent
۸	۵.۵ گراف پی در پی پذیر
۸	۶.۵ کشتن فرایند تراکنش‌ها
۱۰	۶ پی در پی پذیری در دید یا View equivalent
۱۰	۱.۶ مثال اول پی در پی پذیری در دید
۱۱	۲.۶ مثال دوم پی در پی پذیری در دید
۱۲	۳.۶ نمادگذاری
۱۲	۴.۶ یک زمان‌بندی ۲ شرط دارد که درست باشد:
۱۳	۵.۶ مفهوم Rollback شدن
۱۳	۶.۶ زمان‌بندی ترمیم پذیر یا Recoverable scheduling
۱۳	۱.۶.۶ سقوط‌های آبخاری یا Cascading Aborts
۱۴	۷ Avoiding Cascading Aborts
۱۴	۸ زمان‌بندی‌های محض (سختگیرانه) یا Strict

۱۵	۹ پروتکل‌های کنترل همروندی
۱۵	۱.۹ پروتکل‌های مبتنی بر قفل
۱۶	۲.۹ بن بست و قحطی
۱۶	۳.۹ پروتکل‌های قفل دو مرحله‌ای ۲PL
۱۷	۴.۹ مراحل که در فرایند پروتکل ۲PL برای قفل گذاری صورت می‌گیرد
۱۸	۵.۹ پروتکل B۲PL یا Basic Two Phase Locking
۱۸	۶.۹ قفل گذاری C۲PL یا Conservative Two Phase Locking
۱۹	۷.۹ پروتکل S۲PL یا Strict Two Phase Locking
۱۹	۸.۹ پروتکل SC۲PL

## ۱ تراکنش

تراکنش واحد اجرای برنامه است. عملیاتی که در هر تراکنش می‌تواند شامل شود موارد زیر می‌باشد:

- Create
- Read
- Update
- Delete

## ۲ قوانین ACID

### ۱.۲ اتمیک یا Atomicity

هر تراکنش دیتابیس به صورت اتمیک می‌باشد. این قضیه بدان معناست که این تراکنش یا باید کاملاً انجام شود یا کلاً لغو و صرف نظر شود. در غیر این صورت اگر تراکنش به صورت ناتمام و ناقص انجام شود عواقب مختلفی روی دیتابیس خواهد گذاشت.

### ۲.۲ جامعیت یا Consistency

هر تراکنش باید از قوانین جامعیت پیروی کند. نمی‌توان داده یا را وارد جدولی از دیتابیس کرد که به صورت معتبر نباشد. در برخی از مراجع این قانون را به اجرای صحیح و سازگار تراکنش می‌شناسند. مهم‌ترین مثال آن است که شما یک Validation روی یک مقداری از فیلد جدول تنظیم می‌کنید که هر داده‌ای بر روی آن فقط با شرایط تعریف شده بایستی وارد شود. خالی از لطف نیست که در مورد مرجع پذیری داده‌ها در این قسمت نیز می‌توان صحبت کرد تا بتواند قوانین جامعیت را به طور صحیح کامل کرد. مرجع پذیری زمانی مطرح می‌شود که یک رکوردی از داده وقتی وارد جدولی از دیتابیس می‌شود ممکن است ارتباط مشخصی با جدولی دیگر داشته باشد. پس به همین خاطر کلیدهای اصلی و خارجی در خصوص جامعیت وجود دارند که داده‌ای معنادار را پس از پرس و جو از دیتابیس به برنامه نویس برگرداند. یادآوری، بخش جوینها در دیتابیس و تعریف رفرنس در هنگام تعریف کلید جانی.

### ۳.۲ انزوا یا Isolation

هر سیستم جامع پایگاه داده‌ای باید بتواند روی هم‌رند تراکنش‌ها مدیریت و کنترل کامل داشته باشد. انزوا تراکنش‌ها قابلیت کنترل و تنظیم بر اساس DBMS است. به طور کل هم‌روندی یا هم‌زمانی به حالتی گفته می‌شود که چند تراکنش بخواهند در یک زمان به صورت موازی روی یک منبع عملیات خواندن و نوشتن را انجام دهند. اما این عملیات به طور کل هزینه خاص و مشخصی برای برنامه نویس و مدیر دیتابیس دارد.

### ۴.۲ قابلیت اعتماد یا Durability

قابلیت اعتماد یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر سیستم دیتابیزی است. یعنی بتوان داده‌ها را در پایگاه داده به صورت پایدار و ثابت نگهداری و مراقبت کرد. در صورت بروز مشکل روی داده‌های یک دیتابیس می‌توان به عملیات انجام شده در این قسمت مراجعه کرد. بطور کلی این بخش قابلیت کنترل و مدیریت دارد و می‌توان مجموعه فرایندهای نگهداری و بک‌آپ را به صورت خودکار انجام داد.

## ۳ تنظیم قابلیت انزوا

انزوا و مدیریت همروندی در دیتابیس به چهار طریق قابل انجام است:

۱. Read uncommitted

۲. Read committed

۳. Repeatable read

۴. Serializable

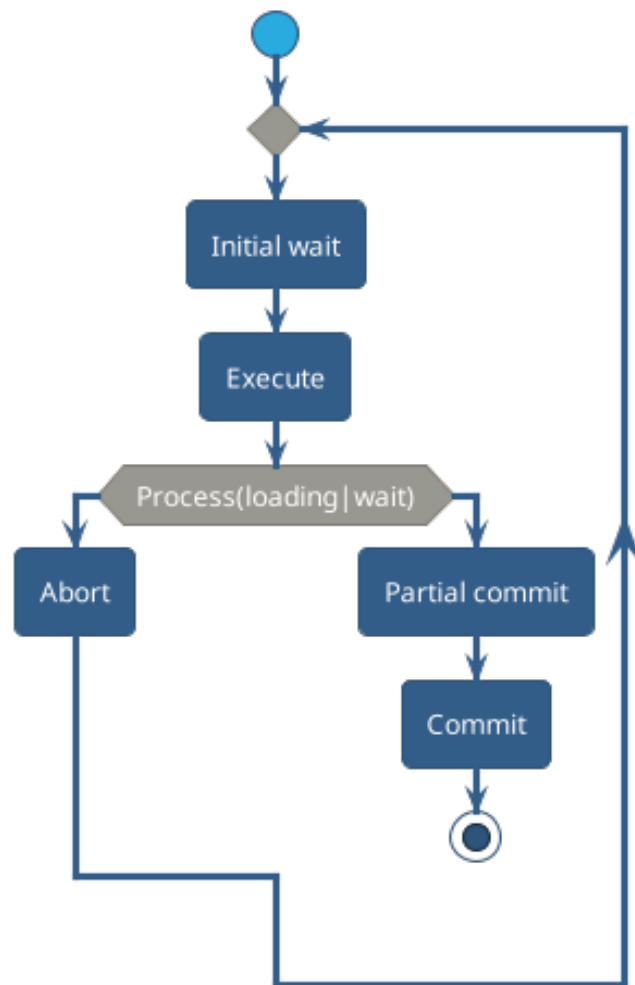
یادآوری: هر تراکنش دو حالت در پایان پیدا می‌کند:

- Commit: تراکنش در نهایت تایید و انجام می‌شود
- Abort: تراکنش در نهایت سقط یا صرفه نظر می‌شود

## ۱.۳ وضعیت تراکنش

نکته: Abort در دو شرط اتفاق می‌افتد:

۱. زمانی که اجرای تراکنش به خطای Run time دچار شود.
۲. خرابی و نقص سیستم که روی اجرای تراکنش تاثیر می‌گذارد که کامل نشود



شکل ۱: نمودار شروع فرایند تراکنش‌ها

## ۴ همروندی

### ۱.۴ مزیت همروندی

۱. افزایش سرعت گذردهی یا throughput
۲. کاهش میانگین زمان پاسخدهی به تراکنش مورد نظر

### ۲.۴ معایب همروندی

۱. Last update: تغییرات گم شده به دلیل همزمانی در خواندن و نوشتن قانون Write before Write
۲. Uncommitted: خواندن داده‌ای که معتبر نیست. معمولاً به آن Dirty read هم گفته می‌شود. قانون Write before Read
۳. Inconsistent retrieval: بازیابی داده‌ای که ناهمگام است. Read before Write

## ۵ زمان‌بندی

زمان‌بندی به اجرای همروند و همزمان چندین تراکنش با هم گفته می‌شود.

### ۱.۵ نظریه پی در پی پذیری زمان‌بندی‌ها

به دو روش می‌توان به پی در پی پذیری رسید:

۱. Conflict serializability

۲. View serializability

نمادهای مورد استفاده برای تعریف تراکنش‌ها:

•  $R_i|Q|$

•  $W_i|Q|$

•  $C_i|Q|$

•  $A_i|Q|$

•  $B_i|Q|$

•  $E_i|Q|$

### ۲.۵ سه شرط اصلی تصادم

اگر  $p_i$  و  $q_j$  دو تراکنش باشند:

۱.  $i \neq j$

۲. هر دو به یک داده دسترسی داشته باشند

۳. حداقل یکی از دستورات عمل نوشتن یا write داشته باشد

جدول ۱: حالات تصادم

	$R_i(Q)$	$W_j(Q)$
$R_i(Q)$	ندارد	دارد
$W_j(Q)$	دارد	دارد

### ۳.۵ زمانبندی سریالی

در زمانبندی پی در پی، زمانی که یک تراکنش commit یا abort شود به دنبال تراکنش بعدی خواهد رفت که به آن تراکنش سریالی یا Serializable schedule می‌گویند.

$$S_1 = R_1(A)W_1(A)a_1W_2(A)W_2(B)C_2$$

زمانبندی سریالی بالا در حقیقت به دو فرایند تقسیم می‌شود. چرا که در انتهای تراکنش اول پیام سقوط کرده و برنامه به دنبال فرایند بعدی رفته است که روی منبع دیگری در حال انجام پردازش است.  
فرایند نافرجام اول:

$$S_1 = R_1(A)W_1(A)a_1$$

فرایند commit شده دوم:

$$S_1 = W_2(A)W_2(B)C_2$$

جدول ۲: تراکنش‌های سریالی پی در پی

$T_1$	$R_1(A)$	$W_1(A)$	$a_1$			
$T_2$				$W_2(A)$	$W_2(B)$	$C_2$

### ۴.۵ زمانبندی‌های معادل در برخورد یا Conflict equivalent

زمانی که دستورات یک زمانبندی را وارد زمانبندی دیگر کنیم به گونه‌ای که باعث تصادم و برخورد نشود، این دستورات در این زمانبندی با هم معادل در برخورد هستند.  
با توجه به تراکنش‌های  $t_1$  و  $t_2$  و  $t_3$  و  $t_4$  زیر، می‌توان دریافت که این دو تراکنش با یکدیگر معادل در برخورد هستند. به گونه‌ای که بعد از جا به جایی هیچ تصادمی رخ نداده است.

جدول ۳: تراکنش‌های معادل در برخورد اول

$T_1$	$R(Q)$	$W(Q)$		$R(P)$		$W(P)$	$C$			
$T_2$			$R(Q)$		$W(Q)$			$R(Q)$	$W(Q)$	$C$

جدول ۴: تراکنش‌های معادل در برخورد دوم

$T_3$	$R(Q)$	$W(Q)$		$R(P)$	$W(P)$		$C$			
$T_4$			$R(Q)$			$W(Q)$		$R(Q)$	$W(Q)$	$C$

اما در مثال بعد هر دو تراکنش  $t_1$  و  $t_2$  مستعد به برخورد در یکی از فرایندها در زمان هستند.

جدول ۵: تراکنش‌های معادل در برخورد اول

$T_1$	$R(Q)$	$W(Q)$		$R(P)$		$W(P)$	$C$			
$T_2$			$R(Q)$		$W(Q)$			$R(Q)$	$W(Q)$	$C$

جدول ۶: تراکنش‌های معادل در برخورد اول

$T_1$	$R(Q)$	$W(Q)$		$R(P)$		$W(P)$	$C$			
$T_2$		$R(Q)$	$R(Q)$		$W(Q)$			$R(Q)$	$W(Q)$	$C$

## ۵.۵ گراف پی در پی پذیر

کامپیوتر برای تشخیص وجود برخورد در تراکنش‌ها از تئوری گراف پی در پی پذیر استفاده می‌کند. در این روش به صورت بصری ارتباطات تراکنش‌ها را نسبت به یکدیگر را نمایش می‌دهیم. در صورتی که بین دو یا چند تراکنش دور یا حلقه ایجاد شود، می‌گوییم که این تراکنش‌ها با هم برخورد دارند.

سیستم DBM از گراف زمان اجرا خبر دارد و دائماً در حال بروزرسانی آن است. اگر وجود دور یا حلقه را تشخیص دهد، برخورد را بررسی کرده و اعلام می‌کند که این تراکنش‌ها پی در پی پذیر در برخورد نیستند و از اجرای این تراکنش‌ها جلوگیری می‌کند.

## ۶.۵ کشتن فرایند تراکنش‌ها

منظور از جلوگیری می‌تواند به دو روش باشد: یا کلاً از اجرای تراکنش‌ها جلوگیری می‌کند یا بررسی می‌کند که کدام تراکنش یا تراکنش‌ها باعث ایجاد برخورد در تراکنش‌های دیگر می‌شود، آن را تشخیص داده و تراکنش آن را می‌کشد<sup>۱</sup>.

<sup>۱</sup> Kill transaction

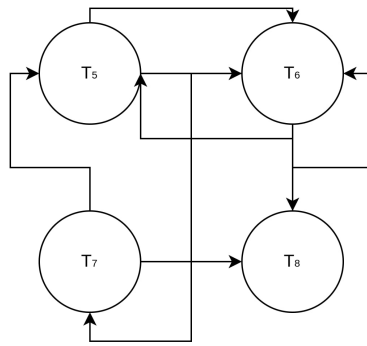


برای مثال تراکنش‌های زیر را در نظر بگیرید:

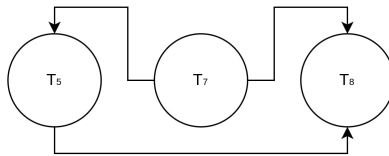
جدول ۷: تراکنش‌های بانکی

$T_5$			W(Q)		
$T_6$	R(Q)				W(Q)
$T_7$		W(Q)			
$T_8$				R(Q)	

گراف این تراکنش‌ها به شکل زیر است. توجه شود که هر تراکنش می‌تواند به صورت ترتیبی نسبت به تراکنشی بعدی خود ارتباط داشته باشد. در صورتی که حلقه ایجاد شود بایستی عامل ایجاد حلقه پیدا و سپس کشته شود.



شکل ۲: گراف تراکنش‌ها و ایجاد ارتباطات حلقه دار



شکل ۳: تراکنش حذف شده و ایجاد گرافی بدون حلقه

در این مثال برای حذف حلقه می‌تواند یکی یکی تراکنش‌های مورد نظر را بررسی کرد و در صورت حذف یکی از تراکنش‌ها حلقه حذف شد می‌توان آن را نتیجه گرفت و اعلام کرد این تراکنش‌ها باهم سازگارند و برخورد ایجاد نمی‌کنند. در نهایت سیستم DBM تصمیم به اجرای تراکنش‌ها خواهد کرد.

## ۶ پی در پی پذیری در دید یا View equivalent

زمانی می‌گوییم پی در پی پذیری در دید برقرار است که نتایج یکسانی در سیستم DBM با یک زمان‌بندی پی در پی داشته باشیم. سه قاعده اصلی پی در پی پذیری در دید:

۱. برای هر داده Q تراکنشی که در S مقدار اولیه داده‌ای Q را می‌خواند در S' هم همان تراکنش اولیه مقدار Q را بخواند (خواندن‌های اولیه)

۲. برای هر داده Q اگر  $t_i$  در S داده Q را از  $t_j$  می‌خواند، در S' هم  $t_i$  همان داده را از  $t_j$  بخواند. (خواندن‌های میانی)

۳. برای هر داده Q آخرین تراکنشی از S که روی Q می‌نویسد در S' هم همان تراکنش نوشتن پایانی را روی Q انجام دهد. (نوشتن‌های پایانی)

نکته: یک زمان‌بندی پی در پی پذیر در دید است، هنگامی که معادل در دید با یک زمان‌بندی پی در پی پذیر باشد که نتایج درستی را منعکس کند.

### ۱.۶ مثال اول پی در پی پذیری در دید

پی در پی پذیر در دید است چرا که فرایند خواندن اولیه و عملیات میانی و در نهایت نوشتن پایانی را دارا می‌باشد.

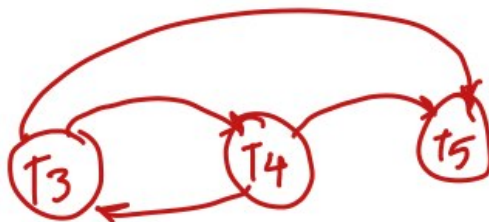
$$T_6 < \dots < T_7$$

$$T_6 < T_5 < T_8 < T_7$$

اما پی در پی پذیر در برخورد نیست چرا که بین تراکنش  $T_8$  و  $T_7$  یک حلقه ایجاد می‌شود و می‌تواند عاملی در برخورد باشد.

جدول ۸: پی در پی پذیری در دید

$T_5$			W(Q)		
$T_6$	R(Q)				
$T_7$		W(Q)			W(Q)
$T_8$				R(Q)	



## ۲.۶ مثال دوم پی در پی پذیری در دید

جدول ۹: پی در پی پذیری در دید

$T_3$	R(Q)		W(Q) C
$T_4$		W(Q) C	
$T_5$			W(Q) C

جواب: این مثال پی در پی پذیر در دید است:

$$T_3 < \dots < T_5$$

چرا که در  $T_3$  خواندن‌های اولیه صورت گرفته، در  $T_4$  و زمان میانی  $T_3$  عملیات میانی نوشتن رخ داده است. در انتها در تراکشن  $T_5$  مطابق با قانون پی در پی پذیری در دید نوشتن پایانی انجام شده است.  
اما پی در پی پذیر در برخورد نیست چرا که در میان تراکشن‌ها حلقه رخ داده است.

## ۳.۶ نمادگذاری

کامپیوتر چگونه پی در پی پذیری در دید را متوجه می‌شود؟ با استفاده از نمادگذاری (خواندن از). برای یک زمانبندی، مجموعه‌ای از (خواندن از)ها را تشکیل می‌دهیم. این مجموعه باید با مجموعه خواندن ازها در یک زمانبندی پی در پی دیگر یکسان باشد تا در دید هم پی در پی پذیر باشد. در این روش مدت زمان اجرا<sup>۲</sup> برای کامپیوتر طولانی است و اجرای آن برای کامپیوتر بهینه نیست.

مثال:

$$S = r_2(x), w_2(x), r_1(x), r_1(y), r_2(y), w_2(y), c_1, c_2$$

### بدست آوردن مرجع اصلی

$$RF(S) = (T_0, x, T_2), (T_2, x, T_1), (T_0, y, T_1), (T_0, y, T_2)$$

### بدست آوردن $T_1 < T_2$

در این مرحله ابتدا تراکنش‌های زمانبندی اول انجام می‌شود و سپس تراکنش‌های زمانبندی دوم:

$$T_1 < T_2 = r_1(x), r_1(y), c_1, r_2(x), w_2(x), r_2(y), w_2(y), c_2$$

بدست آوردن RF به وسیله ترتیب زمانبندی بالا:

$$RF(T_1 < T_2) = (T_0, x, T_1), (T_0, y, T_1), (T_0, x, T_2), (T_0, y, T_2)$$

### بدست آوردن $T_2 < T_1$

در این مرحله زمانبندی دوم در ابتدا و سپس زمانبندی اول بعد از آن اجرا می‌شود:

$$T_2 < T_1 = r_2(x), w_2(x), r_2(y), w_2(y), c_2, r_1(x), r_1(y), c_1$$

بدست آوردن RF به وسیله ترتیب زمانبندی جدید بالا:

$$RF(T_2 < T_1) = (T_0, x, T_2), (T_0, y, T_2), (T_0, x, T_1), (T_0, y, T_1)$$

بعد از نوشتن عملیات بالا متوجه خواهید شد که هیچ کدام از  $RF(T_1 < T_2)$  و  $RF(T_2 < T_1)$  با مرجع اصلی  $RF(S)$  که در ابتدا نوشتیم برابر نیست.

## ۴.۶ یک زمانبندی ۲ شرط دارد که درست باشد:

- پی در پی پذیر باشد (قانون جامعیت در برخورد و دید برقرار باشد)

- ترمیم پذیر باشد

نکته: اگر یک زمانبندی پی در پی پذیر در برخورد باشد در دید هم پی در پی پذیر خواهد بود.

## ۵.۶ مفهوم Rollback شدن

اگر یک زمانبندی در میان اجرا Abort شود چون تراکنش‌های دیگر به آن وابسته هستند، این تراکنش برای درست انجام شدن بایستی از اول انجام شود یا اصطلاحاً Rollback صورت گیرد.

## ۶.۶ زمانبندی ترمیم پذیر یا Recoverable scheduling

زمانبندی را ترمیم پذیر می‌گوییم اگر  $T_j$  از  $T_i$  روی منبع اطلاعاتی خواندنی را انجام می‌دهد که حتماً به طور صحیح و کامل انجام شود. منظور از صحیح بودن آن است که حتماً تراکنش‌ها در زمانبندی Commit شده باشند. اما توجه شود که تراکنش قبلی بایستی زودتر از تراکنش بعد خود Commit شده باشد.

مثال ۱: آیا زمانبندی زیر ترمیم پذیر است؟

جدول ۱۰: مثال ۱: بررسی ترمیم پذیری

$T_1$	R(A)	W(A)		R(B)	A
$T_2$			R(A)		C

این زمانبندی ترمیم پذیر نیست چرا که درست نیست. زیرا در زمانبندی  $T_1$  بعد از انجام تراکنش عمل سقوط یا Abort اتفاق افتاده است و  $T_2$  در حال خواندن مقدار از منبعی از زمانبندی بالاتر خود است که تراکنش‌اش به دلیل RollBack Dirty Read خواهد شد و به صورت صحیح کامل نشده است.

مثال ۲: ترمیم پذیری زمانبندی زیر را بررسی کنید.

جدول ۱۱: مثال ۲: بررسی ترمیم پذیری

$T_1$	R(A)	W(A)	W(B)	C		
$T_2$			R(A)	W(A)	R(B)	C

این زمانبندی RC می‌باشد چرا که تراکنش‌ها به صورت صحیح انجام شدند (عمل Commit شدن در تراکنش‌ها وجود دارد). نکته مهم در این زمانبندی آن است که به دلیل وابسته بودن عملیات تراکنش‌ها به یکدیگر ممکن است دائماً در حال بررسی وجود Commit در تراکنش‌ها باشیم تا زمانی عمل Abort رخ ندهد (اشاره به تراکنش دوم زمانی خواندن روی منبع A صورت گرفته است). به همین دلیل زمانبندی ACA در اینجا تعریف خواهد شد. زمانی تراکنش بالا می‌تواند ACA باشد که اولین خواندن دقیقاً بعد از کامیت تراکنش اول صورت گیرد.

## ۱.۶.۶ سقوط‌های آبشاری یا Cascading Aborts

جدول ۱۲: مثال ۳: وجود Abort در تراکنش

$T_1$	R(A)	W(A)	C	R(B)	A
$T_2$			R(A)		C

در این مثال تراکنش  $T_1$  به دو قسمت تقسیم می‌شود. زمانی که کامیت کرده است و زمانی که دیتا ساقط شده است. وقتی که عمل  $W(A)$  صورت می‌گیرد در این قسمت تراکنش اول کامیت می‌شود و در راستای آن تراکنش  $T_2$  به دلیل وابستگی به منبع A به تراکنش بالایی خود با موفقیت می‌تواند مقدار را دریافت کند. این جدول تراکنش فاقد سقوط آبشاری است. چرا که در ابتدا قسمتی از عملیات کامیت شده و قسمت دیگر سقوط کرده است.

## ۷ Avoiding Cascading Aborts

در حقیقت فرایند زمانی فاقد سقوط آبشاری است؛ اگر  $T_j$  از  $T_i$  بخواند آنگاه  $T_i$  قبل از خواندن  $T_j$  کامیت شده باشد. بطور کل به آن ACA می‌گویند که جز تراکنش‌های ترمیم پذیر می‌باشد. به بیانی دیگر اگر قبل از اولین Read در تراکنش دوم، در تراکنش اول کامیت صورت گرفته باشد آن زمانبندی ACA می‌باشد.

جدول ۱۳: نمونه‌ای از فرایند ACA

$T_1$	R(A)	R(B)	W(A)	C				
$T_2$					R(A)	W(A)	C	
$T_3$							R(A)	C

نکات:

- در پی در پی پذیری تنها در مورد مشکلات همروندی صحبت می‌شد
  - در زمانبندی‌های ACA هدف آن است که اول کامیت انجام شود و سپس خواندن منبع صورت گیرد در غیر این صورت زمان برای خواندن مقداری که تثبیت نشده است صرف می‌شود و زمان اصلی برای انجام فرایندهای دیگر را از دست خواهیم داد.
  - یکی از قوانین ترمیم پذیری عدم وجود سقوط‌های آبشاری است، پس اگر یک زمانبندی ACA باشد پس ترمیم پذیر می‌باشد.
- سوال، زمانبندی زیر را از نظر ACA و RC بررسی کنید:

جدول ۱۴: بررسی زمانبندی مثال ۴

$T_1$	R(A)	W(A)	W(B)	C			
$T_2$		W(B)	W(C)	W(D)	R(A)	R(B)	C

این زمانبندی ACA می‌باشد چرا که اولین Read در تراکنش  $T_j$  دقیقاً بعد از کامیت تراکنش  $T_i$  صورت گرفته است.

## ۸ زمانبندی‌های محض (سختگیرانه) یا Strict

در دو تراکنش  $T_i$  و  $T_j$ ، اگر  $T_j$  داده‌ای را پس از نوشتن  $T_i$  بخواند یا بنویسد بایستی قبل از آن Commit صورت گرفته باشد. مثال ۵: زمانبندی زیر را از نظر محض بودن، ترمیم پذیری و ACA بررسی کنید.

جدول ۱۵: مثال ۵: بررسی تمام لایه‌های ترمیم پذیری

$T_1$	R(A)	R(B)	W(A)		C	
$T_2$				W(A)	W(B)	C

- زمانبندی بالا محض نیست، چرا که بعد از نوشتن در تراکنش  $T_i$  بایستی کامیت گذاشته شود و سپس تراکنش  $T_j$  می‌تواند خواندن و نوشتن خود را انجام دهد. در این مثال تراکنش دوم خواندن یا نوشتن خود را بعد از کامیت نوشتن تراکنش اول انجام نداده است.
- در این مثال به دلیل آنکه خواندن بعد از کامیت صورت نگرفته (اشاره به قانون ACA می‌باشد) و تراکنش‌ها هر دو کامیت شده‌اند و یک زمانبندی صحیح می‌باشد، پس ترمیم پذیر می‌باشد.

نکته: سیستم DBM از یکسری پروتکل‌هایی برای پی در پی پذیری و ترمیم پذیری استفاده می‌کند تا دیتابیس به شکل صحیح کار کند. (پیروی از دو شرط اصلی)

## ۹ پروتکل‌های کنترل همروندی

بعد از دیدن دستور ۳ کار انجام می‌شود:

۱. اجرای دستور
۲. به تاخیر انداختن دستور
۳. نپذیرفتن دستور یا سقوط آن

### ۱.۹ پروتکل‌های مبتنی بر قفل

در این نوع پروتکل واحدی به نام Lock Manager وارد تراکنش‌ها می‌شود و بررسی می‌کند اگر ناسازگاری،  $rw$  یا  $ww$  وجود نداشته باشد اجازه خواندن را به تراکنش داده خواهد شد و سپس بعد از آن که تراکنش کارش تمام شد می‌تواند قفل را تحویل دهد تا تراکنش بعدی بتواند عملیات قفل گذاری را انجام دهد. قفل‌ها دو نوع هستند:

۱. قفل‌های باینری

۲. قفل‌های اشتراکی/انحصاری یا Shared Exclusive Lock: یک قفل برای خواندن (S) استفاده می‌کند و یک قفل برای نوشتن Mutex یا X.

نکات:

- مزیت قفل‌های اشتراکی/انحصاری در انجام تراکنش‌ها به صورت موازی است
- اگر قفل به حالت ناسازگار برسد آن تراکنش را به تاخیر می‌اندازد
- قفل گذاری روی داده‌های زیاد با Seed بالا همروندی را کاهش می‌دهد
- وقتی Seed کم باشد Overhead زمانی خواهیم داشت و پردازش گران است
- قفل گذاری درست باعث می‌شود تا زمانبندی درست داشته باشیم

مثال:

$$S_1 = R_1(A) \ W_1(A) \ A_1 \ W_2(A) \ W_2(B) \ C$$

$$S_1 = S_1(A) \ R_1(A) \ X_1(A) \ W_1(A) \ U_1(A) \ A_1 \ X_2(A) \ W_2(A) \ X_2(B) \ W_2(B) \ U_2(A) \ U_2(B) \ C$$

مثال کلید اشتراکی/انحصاری:

$T_3$			$W(Q)$		
$T_4$	$R(Q)$			$W(Q)$	
$T_5$		$W(Q)$			
$T_6$					$R(Q)$

تبدیل جدول به سریال خطی:

$$R_4(Q) \ W_5(Q) \ W_3(Q) \ W_4(Q) \ R_5(Q)$$

حل:

$$\rightarrow S_4(Q) \ R_4(Q) \ X_5(Q) \ X_3(Q) \ X_4(Q) \ W_4(Q) \ U_4(Q) \ W_5(Q) \ U_5(Q) \ W_3(Q) \ U_3(Q) \ S_6(Q) \ R_6(Q) \ U_6(Q)$$

## ۲.۹ بن بست و قحطی

سوال: چه زمانی بن بست یا DeadLock رخ می دهد؟ زمانی که یک پردازش منتظر بدست آوردن قفل باشد. مهم ترین راهکار برای کم کردن بن بست حذف یا Abort تراکنش باعث بن بست است.

جدول ۱۶: نمونه ای از تراکنش هایی که به بن بست بر خورده اند

$T_3$	x(B)	w(B)			x(A)
$T_4$		s(A)	r(A)	s(B)	

جدول بالا به دلیل ناسازگاری WR و RW به بن بست بر می خورد. چرا که در تراکنش  $T_3$  برای نوشتن روی منبع B قفل نوشتن گذاشته شده است ولی Unlock نشده است و تراکنش  $T_4$  نمی تواند قفل خواندن را روی منبع A بگذارد چرا که تراکنش  $T_3$  هنوز قفل را آزاد نکرده است. در این حالت یک انتظار چرخشی یا Unlimited wating بین تراکنش ها رخ داده است که دائماً منتظر آزاد سازی قفل یکدیگر هستند تا بتوانند بقیه عملیات را انجام دهند. بایستی در نظر داشت که با ساقط کردن یک تراکنش نمی توان به تنهایی مشکل بن بست را حل کرد بلکه باعث ایجاد مشکل جدیدی به نام قحطی خواهد شد. برای مثال یک تراکنش که قصد زدن قفل x روی داده ای است منتظر دنباله ای از تراکنش ها بماند که همگی می خواهند قفل s را روی همان منبع (داده) بزنند و این انتظار به پایان نرسد می گویم در این حالت تراکنش تعریف قفل x روی منبع دچار قحطی شده است.

جدول ۱۷: قحطی

$T_1$	S(Q)			U(Q)
$T_2$		X(Q)		
$T_3$			S(Q)	
$T_4$				S(Q)
...				

در تراکنش های بالا به دلیل انتظار نامحدود ممکن است قحطی بین تراکنش های دیگر پیش آید، به دلیل آنکه همه می خواهند روی یک منبع عملیاتی را انجام دهند که در تراکنش اول قفل خواندن در دست است و تراکنش های دیگر باید منتظر آزاد سازی آن باشند.

## ۳.۹ پروتکل های قفل دو مرحله ای ۲PL

برای توضیح این پروتکل ها تراکنش های زیر را در نظر بگیرید:

جدول ۱۸: زمانبندی  $S_5$

$T_1$	x(A)	Dec(A. amount)	w(A)	u(A)						x(B)	Inc(B. amount)	w(B)	u(B)
$T_2$					s(A)	r(A)	s(B)	r(B)	Dis(A+B)	u(A)	u(B)		

در جدول ۱۶، شما تراکنش هایی را می بینید که در حال کم کردن از یک منبع و اضافه کردن آن مقدار به منبع دیگری هستند. ولی این تراکنش ها صحیح نیستند و دیتابیس نمی تواند به درستی کار کند چرا که با بازیابی ناسازگار رو به رو است. با توجه به تراکنش  $T_2$  می توان دریافت که بعد از قفل گذاری روی منبع A برای خواندن، سعی در قفل گذاری رو منبع B دارد که اصلاً معتبر نیست. زیرا در تراکنش  $T_1$  هیچ عملیاتی یا حتی قفل گذاری روی منبع B انجام نشده است که الان سعی در خواندن آن دارد. پس با بازیابی ناهمگام یا Inconsistent retrieval رو به رو خواهد بود و باید از یک پروتکل قفل گذاری مناسب جهت این کار استفاده کند.

نکته: اگر زمانبندی پی در پی پذیرد برخورد باشد آنگاه تمام مشکلات مربوط به همروندی تراکنش ها برطرف خواهد شد.



## ۴.۹   مراحلی که در فرایند پروتکل YPL برای قفل گذاری صورت می‌گیرد

### مرحله اول - مرحله رشد یا Growing

در این مرحله تراکنش می‌تواند قفل گذاری کند (احتمال انجام کار را دارد)، اما نمی‌تواند قفل را آزاد کند.

### مرحله دوم - مرحله عقب نشینی یا Shrinking

در این مرحله تراکنش می‌تواند قفل را آزاد کند (احتمال انجام کار دارد)، اما نمی‌تواند روی منبعی قفل گذاری جدیدی را انجام دهد.

## ۵.۹ پروتکل B۲PL یا Basic Two Phase Locking

در این مرحله، تراکنش‌ها شروع به قفل گذاری منابع برای انجام عملیات خود می‌کنند به محض اینکه یکی از تراکنش‌ها قفلی را آزاد کند وارد مرحله دوم یا Shrinking خواهد شد و از این بعد نمی‌تواند هیچ قفل گذاری را انجام دهد.

جدول ۱۹: زمانبندی  $S_6$

$T_1$	x(A)	Dec(A. amount)	w(A)	x(B)	Inc(B. amount)	u(A)	W(B)	u(B)											
$T_2$												s(B)	r(B)	Disp(A+B)	u(A)	u(B)			

این پروتکل قفل گذاری ترمیم پذیر نخواهد بود چرا که مشکل بین بست و سقوط‌های آبشاری را دارد. برای رفع این مشکلات پروتکل دیگری به نام C۲PL یا قفل گذاری محافظه کارانه را معرفی کردند.

## ۶.۹ قفل گذاری C۲PL یا Conservative Two Phase Locking

در این پروتکل قبل از اجرای هر دستور و عملیاتی، تراکنش‌ها بایستی قفل‌های مورد نیاز را از قبل گرفته باشند اگر موفق نشد دوباره در صف قرار می‌گیرد (تا اینکه قفل‌های قبلی باز شوند و بتواند قفل جدیدی را تعریف کند).

جدول ۲۰: زمانبندی  $S_7$

$T_1$	x(A)	x(B)	Dec(A. amount)	w(A)	Inc(B. amount)	u(A)	w(B)	u(B)	C										
$T_2$										s(A)	s(B)	r(A)	u(A)	r(B)	Disp(A+B)	u(B)	C		

مهم‌ترین مشکلات این روش پایین آمدن سطح سرعت همروندی و نیاز به دانستن مجموعه قفل‌های مورد نیاز هر تراکنش قبل از شروع اجرای دستورات می‌باشد. امکان بین بست در این روش از بین می‌رود اما باز هم ترمیم پذیر نخواهد بود فلذا می‌تواند باعث رخ دادن سقوط آبشاری شود. استفاده از این پروتکل گران است چرا که برای تضمین عدم وقوع بین بست، سرعت و کارایی همروندی را تا حد چشمگیری کاهش می‌دهد در حالی که در دنیای واقعی احتمال بروز بین بست آنقدر زیاد نمی‌باشد.

## ۷.۹ پروتکل S۲PL یا Strict Two Phase Locking

در این پروتکل علاوه بر بن بست، امکان سقوط آبخاری نیز وجود دارد اما به طور کلی در این پروتکل بعد از قفل گذاری‌ها، ابتدا تراکنش بایستی کامیت یا Abort شود و سپس قفل‌هایی که در اختیار دارد را آزاد کند. قفل‌های خواندن می‌تواند کمی زودتر بعد از آخرین دستور تراکنش یا قبل از کامیت یا Abort باز شوند وگرنه در بقیه عملیات شبیه B۲PL عمل می‌کند. اگرچه این پروتکل کمی سختگیرانه عمل می‌کند و شاید بسیاری از زمانبندی‌ها که در واقع درست هستند را به دلیل احتمال بروز مشکل نپذیرد، اما به عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها در اکثر سیستم‌های دیتابسی مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت اصلی این پروتکل که آنرا به پرکاربردترین و بهترین گزینه تبدیل کرده است، تمضین پی در پی پذیری و ترمیم پذیری است.

از مزیت دیگر این پروتکل می‌توان به کم کردن پیام‌ها در بانک‌های اطلاعاتی نامتمرکز اشاره کرد زیرا نیازی به پیام‌های باز کردن قفل ندارد.

جدول ۲۱: زمانبندی  $S_8$

$T_1$	$x(A)$	$Dec(A, amount)$	$w(A)$	$x(B)$	$Inc(B, Amount)$	$w(B)$	$c$	$u(A)$	$u(B)$	
$T_2$										$s(A)$ $r(A)$ $s(B)$ $r(B)$ $Disp(A+B)$ $c$ $u(A)$ $u(B)$

### نکات و بررسی S۲PL با R۲PL

۱. پروتکل‌های S۲PL و R۲PL تنها پروتکل‌هایی که مبتنی بر قفل اند که هم پی در پی پذیری هم ترمیم پذیری و فاقد سقوط‌های آبخاری هستند.
۲. پروتکل S۲PL نسبت به R۲PL همروندی بیشتری را فراهم می‌کند، علاوه بر این کارایی یکسانی را ارائه می‌دهد.

## ۸.۹ پروتکل SC۲PL

این پروتکل ترکیبی از دو پروتکل S۲PL و C۲PL برای بهروزی و کارایی بیشتر است. در این پروتکل بن بست و گرسنگی و سقوط آبخاری وجود ندارد! عملکرد این پروتکل با خواندن دو پروتکل ترکیبی آن حاصل می‌شود.

جدول ۲۲: زمانبندی  $S_9$

$T_1$	$x(A)$	$x(B)$	$Dec(A, amount)$	$w(A)$	$Inc(B, amount)$	$w(B)$	$c$	$u(A)$	$u(B)$	
$T_2$										$s(A)$ $s(B)$ $r(A)$ $r(B)$ $Disp(A+B)$ $c$ $u(A)$ $u(B)$

مثال: معادل زمانبندی زیر را یکبار با قفل باینری و یکبار با قفل  $s/x$  و رعایت پروتکل B2PL بنویسید:  
همین تمرین را با پروتکل‌های SC2PL و S2PL C2PL انجام دهید.