

# دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی کامپیوتر

## عنوان گزارش فارسی

زیرعنوان گزارش

نویسندگان:

محمد شمس الدینی	محمد اکبرپورجنت	محمدسینا الهکرم
نام نویسنده ششم	نام نویسنده پنجم	رضا لشنی زند
نام نویسنده نهم	نام نویسنده هشتم	نام نویسنده هفتم
نام نویسنده دوازدهم	نام نویسنده یازدهم	نام نویسنده دهم
	نام نویسنده چهاردهم	نام نویسنده سیزدهم

استاد راهنما: دکتر محمدهادی علائیان

## چکیده

تحولات مهندسی نرم افزار از روش های ابتدایی بدون ساختار به مدل های خطی مانند آبشاری و سپس به رویکردهای تکرارشونده و چابک، نشان دهنده تلاش برای مدیریت پیچیدگی و افزایش کیفیت سیستم ها بوده است. با این حال، چالش هایی مانند ارتباطات ناکارآمد، مستندسازی ضعیف، انباشت بدهی فنی و ناسازگاری با فناوری های نوین، همچنان تهدیدی برای پایداری نرم افزارها محسوب می شوند.

DevOps به عنوان فرهنگی نوین و مجموعه ای از ابزارها، با هدف یکپارچه سازی تیم های توسعه و عملیات، افزایش سرعت تحویل و ارتقای کیفیت معرفی شد. خودکارسازی فرآیندهای CI/CD و استفاده از ابزارهایی مانند Docker، Kubernetes و Jenkins، امکان تحویل سریع، کاهش خطا و افزایش پایداری استقرار را فراهم می کند. با این حال، چالش هایی مانند پیچیدگی زیرساخت و مقاومت فرهنگی نیازمند آموزش، مستندسازی و فرهنگ سازی هستند.

بازطراحی (Reengineering) نرم افزار برای سیستم های قدیمی ضروری است و دلایل آن شامل ضعف معماری، فناوری های منسوخ، تغییر نیازمندی ها و انباشت بدهی فنی است. تکنیک های بازآرایی (Refactoring) (مهندسی معکوس Reverse Engineering) و مهاجرت افزایشی (Incremental Mi-gration) ضمن افزایش قابلیت نگهداری، هزینه اصلاح بدهی فنی را کاهش می دهند و ریسک تغییرات را مدیریت می کنند. مطالعات موردی مانند بازطراحی اپلیکیشن PayPal و نئوبانک فوربیکس، نشان دهنده تاثیر مستقیم بازطراحی بر تجربه کاربری، یکپارچگی خدمات و مزیت رقابتی هستند.

در نهایت، ترکیب رویکردهای DevOps و بازطراحی، پایداری و تکامل نرم افزارها را تضمین می کند. توصیه می شود تیم های مهندسی بر فرهنگ همکاری، مدیریت فعال بدهی فنی، مستندسازی همگام با توسعه، خودکارسازی CI/CD و آموزش مستمر تمرکز کنند. همچنین، مسیرهای تحقیقاتی آینده شامل امنیت یکپارچه در DevOps، (DevSecOps) کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی معکوس، مدیریت پیچیدگی ابزارها، آموزش مهارت های نرم و توسعه الگوهای پیشرفته مهاجرت و بازطراحی خواهد بود.

# فهرست مطالب

۱	چکیده
۸	۱ فرایندهای مهندسی نرم افزار و چرخه های تکامل تا پیدایش
۸	۱.۱ مقدمه ای بر مهندسی نرم افزار
۸	۲.۱ تاریخچه ی فرایندهای توسعه نرم افزار
۸	۱.۲.۱ مدل کد و فیکس (Code-and-Fix)
۹	۲.۲.۱ مدل آبشاری (Waterfall)
۹	۳.۲.۱ مدل افزایشی و تکاملی (Incremental & Evolutionary)
۱۰	۴.۲.۱ مدل مارپیچی (Spiral Model)
۱۰	۵.۲.۱ مدل چابک (Agile) و ظهور DevOps
۱۱	۳.۱ نقش بازخورد و تکامل در مهندسی نرم افزار
۱۱	۴.۱ مفهوم چرخه عمر نرم افزار (SDLC)
۱۳	۲ مشکلات مطرح در چرخه های توسعه و تکامل نرم افزار
۱۳	۱.۲ مفاهیم پایه
۱۳	۱.۱.۲ تعاریف اولیه
۱۳	۲.۱.۲ قضایای اساسی
۱۴	۲.۲ مرور ادبیات
۱۴	۱.۲.۲ کارهای پیشین

۱۴	۲.۲.۲ مقایسه روش‌ها
۱۴	۳.۲ روش‌های موجود
۱۵	۱.۳.۲ روش اول
۱۵	۲.۳.۲ روش دوم
۱۶	۳.۳.۲ مزایا و معایب
۲۲	<b>۳ DevOps و نقش آن در فرایند تکامل نرم‌افزار</b>
۲۲	۱.۳ مقدمه و تعریف DevOps
۲۲	۲.۳ فلسفه DevOps و ارتباط آن با Agile
۲۳	۳.۳ چرخه عمر DevOps
۲۵	۴.۳ پیشنهادات برای کارهای آینده
۲۵	۱.۴.۳ بهبودهای کوتاه‌مدت
۲۵	۲.۴.۳ پیشنهادات برای تحقیقات آینده
۲۵	۳.۴.۳ کاربردهای بالقوه
۲۶	۵.۳ فرهنگ و سازمان‌دهی در DevOps
۲۶	۱.۵.۳ همکاری میان تیم توسعه و عملیات
۲۶	۲.۵.۳ مؤلفه‌های اصلی فرهنگ DevOps
۲۸	۶.۳ مزایای DevOps در تکامل نرم‌افزار
۲۹	۷.۳ مطالعه موردی
۳۱	۸.۳ چالش‌های استقرار DevOps
۳۲	۹.۳ جمع‌بندی فصل
۳۴	<b>۴ چرایی نیاز به بازطراحی در پیاده‌سازی نرم‌افزار</b>
۳۴	۱.۴ مقدمه
۳۵	۲.۴ تعریف بازطراحی (Redesign) / (Reengineering)
۳۵	۱.۲.۴ بازمهندسی در برابر مهندسی رو به جلو

۳۵	۲.۲.۴	مهندسی معکوس (بازیابی طراحی)
۳۵	۳.۴	دلایل اصلی نیاز به بازطراحی
۳۵	۱.۳.۴	تغییر نیازمندی‌ها
۳۶	۲.۳.۴	فناوری‌های جدید
۳۶	۳.۳.۴	ضعف معماری اولیه
۳۶	۴.۳.۴	انباشت بدهی فنی
۳۶	۴.۴	مراحل بازطراحی نرم‌افزار
۳۷	۱.۴.۴	تحلیل سیستم فعلی
۳۷	۲.۴.۴	شناسایی نقاط ضعف
۳۷	۳.۴.۴	طراحی مجدد معماری و پیاده‌سازی
۳۷	۴.۴.۴	استراتژی‌های مهاجرت
۳۸	۵.۴	ابزارها و تکنیک‌های بازطراحی
۳۸	۱.۵.۴	بازآرایی (Refactoring)
۳۸	۲.۵.۴	مهندسی معکوس (Reverse Engineering)
۳۸	۳.۵.۴	مهاجرت (Migration)
۳۹	۶.۴	معیارهای تصمیم‌گیری برای بازطراحی
۳۹	۱.۶.۴	هزینه (Cost)
۳۹	۲.۶.۴	زمان (Time)
۳۹	۳.۶.۴	ریسک (Risk)
۴۰	۴.۶.۴	اثر بر کیفیت (Effect) on Quality
۴۰	۷.۴	مطالعه موردی
۴۰	۱.۷.۴	بازطراحی اپلیکیشن PayPal
۴۱	۲.۷.۴	بازطراحی بانکداری برای کسب‌وکارهای کوچک (فوربیکس)
۴۱	۸.۴	نتیجه‌گیری نهایی و توصیه‌ها برای تیم‌های توسعه

۴۲	ارزیابی واقع‌بینانه و مبتنی بر داده	۱.۸.۴
۴۲	اولویت‌بندی و رویکرد تدریجی	۲.۸.۴
۴۲	سرمایه‌گذاری بر روی اتوماسیون	۳.۸.۴
۴۲	مستندسازی همگام با توسعه	۴.۸.۴
۴۳	در نظر گرفتن پیامدهای فرهنگی	۵.۸.۴

## ۵ چرایی نیاز به مهندسی معکوس در تکامل نرم‌افزار

۴۴	مقدمه و تعریف مهندسی معکوس	۱.۵
۴۴	تمایز آن با Reengineering و Refactoring	۱.۱.۵
۴۵	دلایل نیاز به مهندسی معکوس	۲.۵
۴۵	فقدان مستندات یا مستندات ناقص	۱.۲.۵
۴۵	تحلیل سیستم‌های قدیمی (Legacy Systems)	۲.۲.۵
۴۶	درک ساختار و منطق سیستم‌های موجود	۳.۲.۵
۴۶	تسهیل مهاجرت به فناوری‌های جدید	۴.۲.۵
۴۶	چالش‌ها و محدودیت‌ها	۳.۵
۴۸	مطالعه موردی (Case Study)	۴.۵

## ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آینده

۵۰	مرور کلی یافته‌ها	۱.۶
۵۱	تأثیر DevOps و بازطراحی بر پایداری نرم‌افزار	۲.۶
۵۲	توصیه‌ها برای تیم‌های مهندسی نرم‌افزار	۳.۶
۵۳	مسیرهای تحقیقاتی و آموزشی آینده	۴.۶

## ۷ دیباگ (Debugging) و اشکال‌زداها (Debuggers)

۵۵	تعریف اشکال‌زداها	۱.۷
۵۵	انواع آن‌ها	۲.۷

۳.۷	ابزارهای تجاری و غیرتجاری	۵۵
۱.۳.۷	طبقه‌بندی متدولوژیک ابزارها	۵۶
۲.۳.۷	بررسی چارچوب‌های جامع (SRE Frameworks)	۵۶
۳.۳.۷	دییاه‌های تخصصی: هنر تحلیل دینامیک	۵۷
۴.۳.۷	تحلیل مقایسه‌ای و جمع‌بندی	۵۹
۴.۷	نحوه کارکرد IDA-Pro و x64dbg	۶۲
۵.۷	مشکلات و محدودیت‌های ابزارهای دیباگ	۶۲

## فهرست تصاویر

۱۴	یک شکل نمونه برای نمایش	۱.۲
۲۳	tools and life-cycle DevOps	۱.۳
۲۷	نمایی از مؤلفه‌های فرهنگ و ذهنیت DevOps بر اساس [۲۰].	۲.۳



## فصل ۱

# فرایندهای مهندسی نرم افزار و چرخه های تکامل تا پیدایش

### ۱.۱ مقدمه ای بر مهندسی نرم افزار

مهندسی نرم افزار شاخه ای از مهندسی است که به مطالعه، طراحی، توسعه، آزمون و نگهداری سیستم های نرم افزاری می پردازد. هدف اصلی آن، ایجاد نرم افزارهایی با کیفیت بالا، قابل اعتماد، کارایی مناسب، مقرون به صرفه و نگهداری آسان است. برخلاف برنامه نویسی صرف، مهندسی نرم افزار بر اصول علمی، متدولوژی های ساختاریافته، و ابزارهای مهندسی برای مدیریت پیچیدگی پروژه های نرم افزاری بزرگ تمرکز دارد. با رشد سریع فناوری اطلاعات و افزایش نیاز به سیستم های نرم افزاری در حوزه های مختلف مانند بانکداری، آموزش، بهداشت و صنعت، مهندسی نرم افزار به یکی از حیاتی ترین رشته های فناوری تبدیل شده است. این علم تلاش می کند تا توسعه نرم افزار را از یک فعالیت هنری یا تجربی به یک فرآیند نظام مند و قابل تکرار تبدیل کند.[۱]

### ۲.۱ تاریخچه ی فرایندهای توسعه نرم افزار

#### ۱.۲.۱ مدل کد و فیکس (Code-and-Fix)

در دهه های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، توسعه نرم افزار عمدتاً به صورت "کد و فیکس" انجام می شد. در این روش، تیم توسعه مستقیماً شروع به نوشتن کد می کرد و در صورت بروز خطا یا مشکل، آن را در حین کار

۲.۱. تاریخچه‌ی فرایندهای توسعه‌ی نرم‌افزار فرایندهای مهندسی نرم‌افزار و چرخه‌های تکامل تا پیدایش

اصلاح می‌نمود. هیچ مستندسازی، برنامه‌ریزی دقیق یا تحلیل اولیه وجود نداشت.[۱]

**مزایا:** سرعت شروع بالا و مناسب برای پروژه‌های کوچک و کوتاه‌مدت.[۱]

**معایب:** نگهداری دشوار، افزایش هزینه در مراحل پایانی، نبود امکان پیش‌بینی خطاها و زمان تحویل.[۱]

### ۲.۲.۱ مدل آبشاری (Waterfall)

مدل آبشاری در دهه‌ی ۱۹۷۰ معرفی شد و نخستین مدل ساختارمند مهندسی نرم‌افزار به‌شمار می‌رود. این مدل شامل مراحل پی‌درپی است که هر مرحله پس از اتمام مرحله‌ی قبل آغاز می‌شود. مراحل اصلی آن عبارت‌اند از: تحلیل نیازمندی‌ها، طراحی سیستم، پیاده‌سازی، آزمون، استقرار و نگهداری. در این روش، هر مرحله باید به‌طور کامل قبل از شروع مرحله بعدی به پایان برسد.[۱]

**مزایا:** ساختار مشخص و ساده، مستندسازی کامل و مناسب برای پروژه‌های با نیازهای پایدار.[۱]

**معایب:** انعطاف‌پذیری پایین در مواجهه با تغییرات، عدم امکان بازگشت به مراحل قبلی، تاخیر در کشف خطاها تا مراحل پایانی و سختی در تعامل مداوم با مشتری. اغلب برای مشتری مشکل است که تمامی نیازهای خود را به‌طور کامل و مشخص بیان کند، مدل آبشاری به این امر نیاز داشته و در مواجهه با عدم قطعیت طبیعی که در آغاز بسیاری از پروژه‌ها وجود دارد، مشکل دارد.[۱]

با وجود محدودیت‌ها، مدل آبشاری هنوز در پروژه‌های دولتی و نظامی با الزامات دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد.[۱]

### ۳.۲.۱ مدل افزایشی و تکاملی (Incremental & Evolutionary)

در دهه ۱۹۸۰، با رشد نیاز به سیستم‌های پویا و قابل انطباق، مدل‌های افزایشی و تکاملی ظهور کردند. مدل افزایشی، مدل آبشاری را به‌طور تکرار شونده به کار می‌گیرد. در این مدل، نرم‌افزار در چند نسخه یا "افزونه" تولید می‌شود و هر نسخه بخشی از قابلیت‌های سیستم نهایی را ارائه می‌دهد. مدل تکاملی نیز بر پایه بازخورد مداوم از کاربران و بهبود تدریجی نسخه‌ها بنا شده است.[۱]

**مزایا:** تحویل سریع نسخه‌های اولیه، امکان دریافت بازخورد از کاربر، امکان اعمال تغییرات در طول توسعه و کاهش ریسک پروژه.[۱]

**معایب:** نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و هماهنگی بین نسخه‌ها، و گاهی پیچیدگی در مدیریت تغییرات.[۱]

این رویکرد زمینه‌ساز مدل‌های مدرن‌تر مانند مدل مارپیچی و روش‌های چابک شد.

### ۴.۲.۱ مدل مارپیچی (Spiral Model)

مدل مارپیچی که توسط بَری بوم در سال ۱۹۸۶ معرفی شد، ترکیبی از مدل آبشاری و تکاملی است و بر تحلیل ریسک در هر تکرار تمرکز دارد. این مدل شامل چهار فاز تکرارشونده است: برنامه‌ریزی، تحلیل ریسک، مهندسی و ارزیابی. پروژه در چندین چرخه (مارپیچ) تکرار می‌شود تا محصول نهایی به بلوغ برسد.<sup>[۱]</sup>

با شروع فرآیند، تیم مهندسی نرم‌افزار در جهت عقربه‌های ساعت، حرکت در مارپیچ را آغاز می‌کند و این کار از مرکز شروع می‌شود. اولین مدار حول مارپیچ ممکن است منجر به تولید مشخصه محصول شود. با عبور از هر مرحله منطقه برنامه‌ریزی، کارهای تطابقی با طرح پروژه صورت می‌گیرد. هزینه و زمانبندی بر اساس بازخورد ارزیابی مشتری، تنظیم می‌گردند. علاوه بر آن مدیر پروژه تعداد تکرارهای تنظیم شده لازم برای تکمیل نرم‌افزار را تعیین می‌کند.<sup>[۱]</sup>

**مزایا:** مدیریت مؤثر ریسک‌ها، انعطاف‌پذیری بالا، مناسب برای پروژه‌های بزرگ و پیچیده.<sup>[۱]</sup>

**معایب:** نیاز به تخصص بالا در تحلیل ریسک و افزایش هزینه نسبت به مدل‌های ساده‌تر.<sup>[۱]</sup>

### ۵.۲.۱ مدل چابک (Agile) و ظهور DevOps

در دهه ۲۰۰۰، با انتشار مانیفست چابک (Agile Manifesto)، پارادایم جدیدی در مهندسی نرم‌افزار شکل گرفت. روش‌های چابک مانند XP، اسکرام (Scrum) و کانبان (Kanban) بر همکاری تیمی، تحویل سریع نسخه‌های قابل اجرا، پاسخ به تغییرات و ارتباط مستمر با مشتری تمرکز دارند.<sup>[۱]</sup>

**مزایا:** تعامل مستقیم با مشتری، بازخورد سریع، چرخه تحویل کوتاه‌تر، کیفیت بالاتر، افزایش رضایت مشتری، و کاهش خطاهای عملیاتی.<sup>[۱]</sup>

**معایب:** نیاز به فرهنگ سازمانی جدید، ابزارهای پیشرفته و یادگیری مستمر، دشواری در مستندسازی رسمی.<sup>[۱]</sup>

به مرور، DevOps به عنوان گامی تکمیلی در این مسیر پدیدار شد. با گسترش DevOps، چرخه‌ی توسعه و عملیات به صورت یکپارچه درآمد تا تحویل مداوم (Continuous Delivery)، استقرار خودکار (Continuous Deployment) و نظارت مستمر فراهم شود. DevOps به نوعی ادامه و بلوغ طبیعی Agile به شمار می‌رود که فاصله‌ی بین تیم توسعه و تیم زیرساخت را از میان برداشته است.<sup>[۱]</sup>

### ۳.۱ نقش بازخورد و تکامل در مهندسی نرم افزار

بازخورد نقش حیاتی در فرایند توسعه نرم افزار دارد. بدون دریافت بازخورد از کاربران، ذی نفعان یا اعضای تیم، نرم افزار نمی تواند با نیازهای واقعی محیط و کاربران هماهنگ شود. تکامل نرم افزار نتیجه بازخوردهای پی در پی و اصلاحات مستمر است. در مهندسی نرم افزار مدرن، بازخورد از طریق آزمون های خودکار، بازبینی کد (Code Review)، و جلسات مرور عملکرد پروژه (Sprint Review) جمع آوری می شود. این بازخوردها موجب بهبود کیفیت، افزایش رضایت مشتری و کاهش هزینه های بلندمدت می شوند.

### ۴.۱ مفهوم چرخه عمر نرم افزار (SDLC)

چرخه عمر توسعه نرم افزار (Software Development Life Cycle) مجموعه ای از مراحل منظم برای تولید، استقرار و نگهداری نرم افزار است که در طول تاریخ توسعه مهندسی نرم افزار تکامل یافته است. [۲]

در دهه ۱۹۶۰، مدل کد و فیکس بدون ساختار مشخص به کار می رفت و مفهومی از چرخه عمر وجود نداشت. با رشد پروژه ها و پیچیدگی سیستم ها در دهه ۱۹۷۰، مدل آبشاری معرفی شد و برای نخستین بار مراحل SDLC به صورت خطی تعریف شدند: تحلیل، طراحی، پیاده سازی، تست و نگهداری. [۲]

در دهه ۱۹۸۰، مدل های افزایشی و تکاملی مفهوم تکرارپذیری را وارد SDLC کردند. نرم افزار در چند چرخه ی کوچک توسعه می یافت و بازخورد کاربران باعث تکامل تدریجی محصول می شد. [۲]

مدل مارپیچی در دهه ۱۹۹۰ با تمرکز بر مدیریت ریسک، SDLC را به فرآیندی پویا و تکرارشونده تبدیل کرد. در هر چرخه، برنامه ریزی، تحلیل ریسک، طراحی و ارزیابی انجام می شد. [۲]

در نهایت، با ظهور چابک (Agile) و سپس DevOps در دهه ۲۰۰۰ به بعد، SDLC از رویکردهای سنگین و مستندسازی محور فاصله گرفت و به فرآیندی سریع، انعطاف پذیر و مبتنی بر بازخورد تبدیل شد. اکنون SDLC شامل فازهای پویا و پیوسته ای مانند برنامه ریزی، توسعه، تست خودکار، استقرار و نگهداری مستمر است که به بهبود مداوم نرم افزار و رضایت کاربر منجر می شود. [۲]

#### فازهای اصلی SDLC

**برنامه ریزی (Planning):** در این مرحله اهداف پروژه، نیازمندی های کلی، منابع، بودجه و زمان بندی

#### ۴.۱. مفهوم چرخه عمر نرم افزار (SDLC) فرایندهای مهندسی نرم افزار و چرخه های تکامل تا پیدایش

تعیین می شوند. تحلیل ریسک ها و تهیه طرح مدیریت پروژه نیز در این فاز انجام می گیرد. [۲]

**تحلیل نیازمندی ها (Requirement Analysis):** تیم تحلیل، نیازهای کاربران و ذی نفعان را شناسایی و مستند می کند. خروجی این فاز، سند مشخصات نیازمندی های نرم افزار (SRS) است. [۲]

**طراحی سیستم (Design):** ساختار کلی سیستم، معماری نرم افزار، طراحی پایگاه داده و رابط کاربری مشخص می شود. در این مرحله، مدل های UML و دیاگرام های مختلف برای شفاف سازی طراحی استفاده می شوند. [۲]

**پیاده سازی (Implementation):** کدنویسی بر اساس طراحی انجام می شود. توسعه دهندگان از زبان ها، فریم ورک ها و ابزارهای مختلف برای تولید نرم افزار استفاده می کنند. [۲]

**تست (Testing):** در این فاز، نرم افزار از نظر عملکردی، امنیتی، سازگاری و کارایی مورد آزمون قرار می گیرد. هدف، شناسایی و رفع خطاها پیش از استقرار است. [۲]

**نگهداری (Maintenance):** پس از استقرار نرم افزار، ممکن است نیاز به اصلاح خطاها، افزودن قابلیت های جدید یا بهینه سازی عملکرد باشد. نگهداری مناسب، عمر مفید نرم افزار را افزایش می دهد و از افت کیفیت آن جلوگیری می کند. [۲]

## فصل ۲

# مشکلات مطرح در چرخه‌های توسعه و تکامل نرم‌افزار

در این فصل به بررسی مبانی نظری و کارهای انجام شده قبلی می‌پردازیم.

### ۱.۲ مفاهیم پایه

در این بخش مفاهیم و تعاریف پایه‌ای ارائه می‌شود.

#### ۱.۱.۲ تعاریف اولیه

تعریف ۱.۲. یک تعریف نمونه عبارت است از...

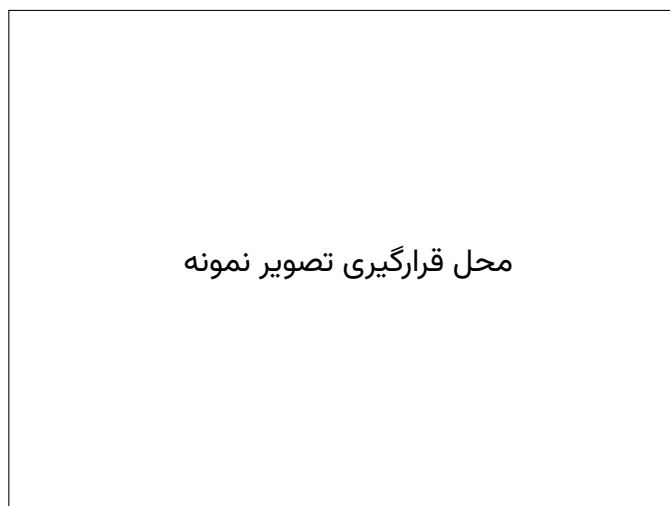
مثال ۱.۲. مثالی برای توضیح بهتر مفهوم: می‌توان فرمول ریاضی نوشت:  $f(x) = x^2 + 2x + 1$

#### ۲.۱.۲ قضایای اساسی

قضیه ۱.۲. اگر  $a$  و  $b$  دو عدد حقیقی باشند، آنگاه:

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

می‌توان به شکل‌ها نیز اشاره کرد، مانند شکل ۱.۲.



شکل ۱.۲: یک شکل نمونه برای نمایش

## ۲.۲ مرور ادبیات

مرور کارهای انجام شده در این حوزه:

### ۱.۲.۲ کارهای پیشین

محققان مختلفی در این زمینه فعالیت کرده‌اند. برای مثال:

- [۳۹]: ارائه روش نوین برای حل مسئله

- کارهای دیگر در این زمینه

### ۲.۲.۲ مقایسه روش‌ها

جدول زیر مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف ارائه می‌دهد:

همانطور که در جدول ۱.۲ مشاهده می‌شود، هر روش مزایا و معایب خود را دارد.

## ۳.۲ روش‌های موجود

در این بخش روش‌های موجود برای حل مسئله بررسی می‌شود.

جدول ۱.۲: مقایسه روش‌های مختلف

روش	دقت	سرعت	پیچیدگی
روش الف	بالا	متوسط	کم
روش ب	متوسط	بالا	متوسط
روش ج	بالا	کم	زیاد

### ۱.۳.۲ روش اول

توضیحات مربوط به روش اول:

۱. گام اول: تعریف مسئله

۲. گام دوم: جمع‌آوری داده‌ها

۳. گام سوم: پردازش و تحلیل

۴. گام چهارم: ارائه نتایج

### ۲.۳.۲ روش دوم

روش دوم رویکرد متفاوتی دارد:

الگوریتم پیشنهادی به شکل زیر است:

```

1 def algorithm(data):
2     result = []
3     for item in data:
4         if item > threshold:
5             result.append(item)
6     return result

```

Listing 2.1:



## ۳.۳.۲ مزایا و معایب

هر یک از روش‌های ذکر شده مزایا و معایب خاص خود را دارند که باید در انتخاب روش مناسب مدنظر قرار گیرند.

## مشکلات در نگهداری و تکامل سیستم‌های قدیمی (Legacy Systems)

Systems Legacy به نرم‌افزارها یا سیستم‌های قدیمی گفته می‌شود که هنوز در سازمان‌ها و شرکت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما با فناوری‌های مدرن سازگار نیستند یا از استانداردهای فعلی فاصله دارند؛ به عبارت ساده‌تر، Systems Legacy سیستم‌هایی هستند که عملکردشان هنوز ادامه دارد، اما به دلیل قدیمی بودن فناوری، پیچیدگی کد یا کمبود مستندات، نگهداری و تکامل آن‌ها با چالش‌های قابل توجهی همراه است. به دلیل اینکه بسیاری از زیرساخت‌ها و نرم‌افزارهای سازمان‌ها و شرکت‌ها را تشکیل می‌دهند، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در ادامه به چند مورد از دلایل اهمیت آن می‌پردازیم:

**پایداری عملیاتی سازمان:** بسیاری از فرآیندهای حیاتی سازمان‌ها به Systems Legacy وابسته هستند. توقف یا خرابی این سیستم‌ها می‌تواند باعث اختلال جدی در عملکرد سازمان شود.

**حفظ سرمایه‌گذاری‌های گذشته:** توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های بزرگ و پیچیده نیازمند هزینه و زمان زیادی بوده است. نگهداری این سیستم‌ها به سازمان‌ها اجازه می‌دهد سرمایه‌گذاری‌های قبلی خود را حفظ کنند و از دوباره‌کاری جلوگیری شود.

**تداوم خدمات به کاربران:** سیستم‌های قدیمی غالباً به صورت مستقیم با کاربران نهایی یا مشتریان سروکار دارند. نگهداری این سیستم‌ها باعث می‌شود کیفیت خدمات و رضایت کاربران حفظ شود.

**تسهیل تکامل تدریجی:** Systems Legacy می‌توانند پایه‌ای برای تکامل نرم‌افزار و افزودن قابلیت‌های جدید باشند. با نگهداری و بازسازی تدریجی، می‌توان آن‌ها را با فناوری‌های جدید یکپارچه کرد.

**کاهش ریسک‌های عملیاتی:** جایگزینی یک سیستم قدیمی با نرم‌افزار جدید همیشه پرریسک است. نگهداری و بهبود سیستم‌های موجود، ریسک‌های مربوط به مهاجرت و بازنویسی کامل را کاهش می‌دهد.

## مشکلات نگهداری و تکامل سیستم‌های قدیمی (Legacy Systems)

- پیچیدگی و ساختار قدیمی‌کد: نرم‌افزارهای Legacy اغلب با فناوری‌ها و الگوهای قدیمی توسعه یافته‌اند که ساختار کد را پیچیده می‌کند و درک و اصلاح آن‌ها برای توسعه‌دهندگان جدید دشوار است.
  - وابستگی به فناوری‌های منسوخ: زبان‌های برنامه‌نویسی، پایگاه داده‌ها و سیستم‌های عامل قدیمی دیگر پشتیبانی نمی‌شوند.
  - کمبود مستندات و دانش فنی: مستندات کامل و به‌روز اغلب وجود ندارد و خروج افراد با تجربه باعث از بین رفتن دانش کلیدی می‌شود.
  - سازگاری محدود با سیستم‌های جدید: سیستم‌ها معمولاً طراحی نشده‌اند تا با فناوری‌های جدید کار کنند.
  - هزینه و زمان بالا برای نگهداری و تکامل: هر تغییر یا بهبود در سیستم‌های Legacy نیازمند تست گسترده و زمان طولانی است.
- نمونه: سیستم‌های Banking Core در بانک‌های بزرگ ایران مثل بانک ملی که در دهه ۷۰ و ۸۰ با COBOL و Delphi توسعه پیدا کرده‌اند و هنوز در عملیات پایه بانکی پایدار هستند.

## هزینه‌های نگهداری و تکامل

- بخش نگهداری و تکامل حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد از کل چرخه نرم‌افزار را به خود اختصاص می‌دهد:
- هزینه‌های نیروی انسانی: نیازمند متخصصان با تجربه در فناوری‌های منسوخ.
  - هزینه‌های تست و تضمین کیفیت: طراحی و اجرای تست‌های عملکردی، امنیتی و یکپارچگی سیستم.
  - هزینه‌های ابزار و فناوری: استفاده از ابزارهای مدیریت نگهداری، پایگاه داده و نسخه‌بندی.
  - هزینه‌های بدهی فنی (Technical Debt): ناشی از تصمیمات کوتاه‌مدت توسعه.
  - هزینه‌های یکپارچه‌سازی و مهاجرت: افزودن قابلیت‌های جدید یا مهاجرت سیستم‌های قدیمی به مدرن.

## روش‌های کاهش مشکلات

### مدیریت تغییرات

مدیریت تغییرات (Change Management) به مجموعه فرآیندهایی گفته می‌شود که هدف آن کنترل، مستندسازی و پیگیری تغییرات نرم‌افزار است.

#### اهمیت مدیریت تغییرات:

- جلوگیری از خطاهای ناشی از تغییرات غیرمستند یا غیرکنترل‌شده.
- تضمین سازگاری تغییرات با سیستم‌های موجود و فرآیندهای سازمان.
- امکان پیگیری و بازگشت به نسخه‌های قبلی در صورت بروز مشکل.
- کاهش زمان و هزینه نگهداری با شناسایی سریع مشکلات.

#### اصول مدیریت تغییرات:

- ثبت و مستندسازی تغییرات.
- بررسی و تأیید تغییرات قبل از اعمال.
- تست پیش از اجرا (واحد، یکپارچگی، عملکرد).
- پیگیری و گزارش‌دهی پس از اعمال تغییرات.
- بازگشت به نسخه قبلی (Rollback Plan).

## Refactoring و بازطراحی جزئی

Refactoring به فرآیند بازسازی کد نرم‌افزار بدون تغییر رفتار خارجی آن گفته می‌شود.

#### اهمیت Refactoring:

- کاهش پیچیدگی و افزایش خوانایی کد.
- کاهش خطاهای نرم‌افزاری.

- افزایش انعطاف‌پذیری سیستم.
- کاهش هزینه نگهداری در بلندمدت.

### اصول Refactoring:

- تغییر تدریجی و بخش‌بخش.
- تست مستمر قبل و بعد از هر تغییر.
- مستندسازی تغییرات.
- استفاده از الگوهای طراحی و استانداردهای کدنویسی.

## Integration Continuous (ادغام مداوم)

ادغام مداوم یک رویکرد در مهندسی نرم‌افزار است که توسعه‌دهندگان به‌طور مکرر تغییرات خود را در مخزن اصلی کد منبع ادغام می‌کنند. **اهمیت:**

- کشف سریع خطاها.
- کاهش هزینه‌های نگهداری.
- افزایش کیفیت نرم‌افزار.
- سهولت در تکامل نرم‌افزار.

### اصول و ابزارهای ادغام مداوم:

- مخزن مشترک کد منبع. (GitHub/GitLab)
- تست خودکار پس از هر Commit.
- استفاده از سرور CI (Jenkins، GitLab CI، Travis CI، GitHub Actions).
- بازخورد سریع به توسعه‌دهندگان.

## مطالعه‌ی موردی از شکست پروژه‌ها

### سیستم Dispatch) Aided Computer Service Ambulance (London LASCAD

LASCAD پروژه‌ای بود که در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط خدمات آمبولانس لندن اجرا شد. هدف خودکارسازی فرآیند دریافت تماس‌های اضطراری، تخصیص آمبولانس و پیگیری عملیات امداد بود؛ اما سیستم عملاً از کار افتاد.

#### دلایل شکست:

- طراحی ضعیف و غیرقابل نگهداری.
- تست ناکافی.
- نبود مدیریت تغییرات.
- مستندسازی و آموزش ضعیف.
- فشار زمانی و مدیریتی.

**نتایج و پیامدها:** سیستم چند ساعت پس از راه‌اندازی به‌طور کامل از کار افتاد و اعتبار سازمان کاهش یافت.

### پروژه‌ی FBI در File Case Virtual

در سال ۲۰۰۰، سازمان FBI تصمیم گرفت سیستم‌های قدیمی خود را با یک سیستم مدرن جایگزین کند.

#### دلایل شکست:

- زیرساخت قدیمی و ناسازگار.
- مدیریت تغییرات ضعیف.
- طراحی غیرقابل نگهداری.
- فقدان ارتباط مؤثر میان ذینفعان.

• فشار زمانی و مدیریتی.

**نتایج و پیامدها:** پروژه پس از صرف حدود ۱۷۰ میلیون دلار و چهار سال، کنار گذاشته شد و FBI پروژه جدیدی آغاز کرد.

**درس‌ها:** سیستم‌های قدیمی بدون مستندات مناسب، ریسک بالایی دارند. مدیریت تغییرات و نیازمندی‌ها باید از روز اول برقرار باشد.

## جمع‌بندی فصل

چرخه‌ی توسعه و تکامل نرم‌افزار، فرآیندی پویا و مداوم است. تجربه نشان داده بخش عمده‌ای از چالش‌ها و شکست‌ها در مراحل نگهداری و تکامل رخ می‌دهد.

### مشکلات رایج:

- کدهای پیچیده و غیرمستند.
- نبود مدیریت تغییرات مؤثر.
- افزایش هزینه‌های نگهداری.
- مشکلات فنی ناشی از Systems. Legacy
- کمبود تست‌های مداوم و خودکار.
- ضعف ارتباط میان تیم‌ها و کاربران نهایی.

نگهداری و تکامل نرم‌افزار بخش اصلی چرخه‌ی حیات نرم‌افزار است و سازمان‌هایی که به طراحی منعطف، مستندسازی دقیق، مدیریت تغییرات، تست مستمر و نوسازی سیستم‌های قدیمی توجه کنند، قادر به کاهش هزینه و افزایش طول عمر سیستم‌ها خواهند بود.

## فصل ۳

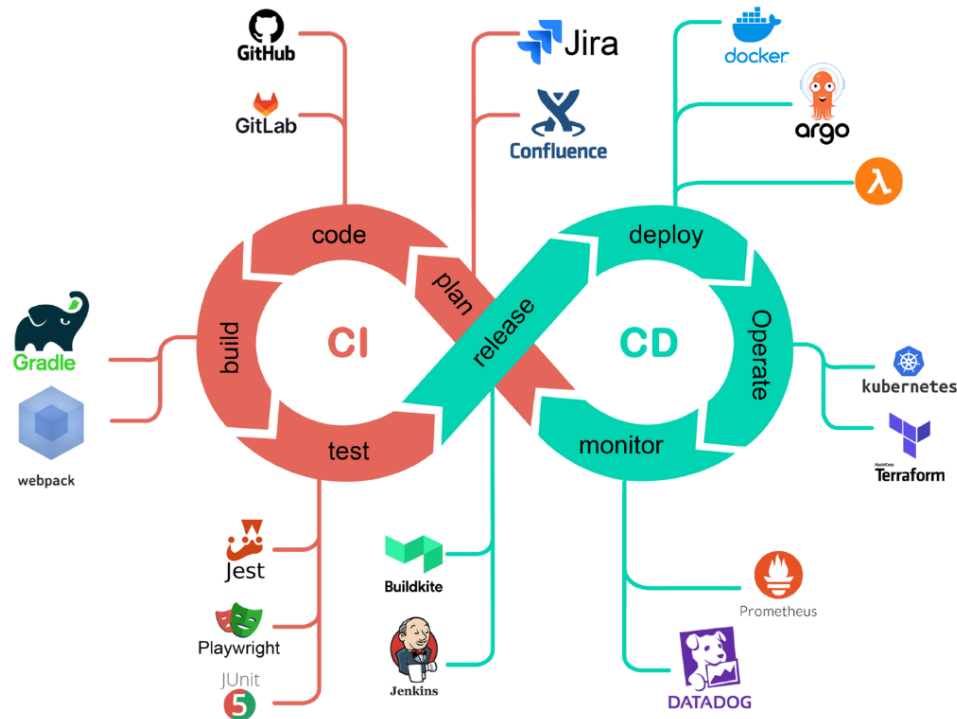
# DevOps و نقش آن در فرایند تکامل نرم افزار

### ۱.۳ مقدمه و تعریف DevOps

DevOps یک فرهنگ، فلسفه و مجموعه‌ای از روش‌ها و ابزارها است که هدف اصلی آن، یکپارچه‌سازی و خودکارسازی فرآیندهای بین تیم‌های توسعه نرم افزار (Development) و عملیات فناوری اطلاعات (Operations) است. در مدل سنتی، این دو تیم جدا از هم عمل می‌کردند که منجر به کندی، خطاهای بیشتر و هماهنگی دشوار می‌شد. ظهور DevOps پاسخی به این چالش‌ها بود تا با ایجاد همکاری و مسئولیت مشترک، شکاف بین ساخت نرم افزار و اجرای پایدار آن را از بین ببرد. در نهایت، DevOps به سازمان‌ها این توانایی را می‌دهد که نرم افزارها را سریع‌تر، قابل اطمینان‌تر و با کیفیت بالاتر در اختیار کاربران قرار دهند.

### ۲.۳ فلسفه DevOps و ارتباط آن با Agile

فلسفه DevOps بر پایه اصولی استوار است که فرهنگ همکاری، خودکارسازی و بهبود مستمر را ترویج می‌دهد. این فلسفه را می‌توان در "حلقه بی‌پایان" عملیات DevOps (که شامل مراحل برنامه‌ریزی، توسعه، استقرار و نظارت است) و همچنین در "سه راهی" معروف آن (جریان، Flow، بازخورد - Feed back) و یادگیری مستمر (Continues Learning) خلاصه کرد. ارتباط DevOps با متدولوژی Agile بسیار عمیق است. Agile بر انعطاف‌پذیری، تحویل تدریجی و پاسخگویی به تغییرات در طول فرآیند توسعه تأکید دارد. DevOps این فلسفه را گسترش می‌دهد و آن را به فرآیند استقرار و عملیات پس از توسعه تسری می‌بخشد. در حقیقت، DevOps مکمل Agile است؛ در حالی که Agile سرعت و کیفیت



شکل ۱.۳: tools and life-cycle DevOps

توسعه را افزایش می‌دهد، DevOps تضمین می‌کند که این تغییرات سریع می‌توانند به صورت ایمن و پایدار در محیط تولید مستقر شوند. بنابراین، می‌توان DevOps را به عنوان ادامه طبیعی و ضروری جنبش Agile در نظر گرفت که تمرکز آن بر روی کل چرخه عمر نرم افزار است.

### ۳.۳ چرخه عمر DevOps

چرخه عمر DevOps یک فرآیند تکراری و مستمر است که مراحل مختلفی از ایده تا تحویل نرم افزار و نظارت بر آن را در بر می‌گیرد. این چرخه با استفاده از ابزارهای خودکار به هم پیوسته، جریان ارزش را سریع و کارآمد می‌کند.

#### • برنامه ریزی (Plan)

در این فاز اولیه، اهداف پروژه تعریف، وظایف زمان بندی و پیشرفت کار رهگیری می‌شود. این مرحله تضمین می‌کند که همه اعضای تیم از اهداف کسب و کار و برنامه های فنی آگاه هستند. **ابزارها:** از ابزارهایی مانند Jira برای ردیابی Issues و مدیریت پروژه و Confluence برای مستندسازی و همکاری استفاده می‌شود.



#### • توسعه (Code)

توسعه دهندگان در این مرحله نرم افزار را می نویسند. برای اطمینان از سازگاری و قابلیت تکرار محیط های توسعه، از ابزارهای خاصی استفاده می شود.

**ابزارها:** Docker برای بسته بندی نرم افزار در کانتینرهای سبک و قابل حمل، Kubernetes برای مدیریت و خودکارسازی این کانتینرها، و Puppet & Ansible برای مدیریت پیکربندی و خودکارسازی زیرساخت به کار می روند.

#### • یکپارچه سازی مستمر (Continuous Integration)

این تمرین شامل ادغام مکرر کد نوشته شده توسط تمام توسعه دهندگان به یک ریپازیتوری مشترک است. پس از هر ادغام، فرآیندهای ساخت و تست به طور خودکار اجرا می شوند تا خطاها در اسرع وقت شناسایی شوند. CI تضمین می کند که کدها به طور مداوم با یکدیگر یکپارچه شده و از بروز تعارضات بزرگ در آینده جلوگیری می کند.

#### • تحویل مستمر (Continuous Delivery)

CD گام بعدی پس از CI است. این تمرین تضمین می کند که پس از هر ادغام موفقیت آمیز کد، می توان نرم افزار را در هر لحظه و با کمترین تلاش به صورت دستی در محیط تولید منتشر کرد. در تحویل مستمر، فرآیند استقرار تا مرحله نهایی خودکار است، اما انتشار نهایی در محیط تولید به صورت دستی و با تأیید یک انسان انجام می شود.

#### • استقرار مستمر (Continuous Deployment)

این پیشرفته ترین مرحله است که در آن، هر تغییری که از تست ها در مراحل CI/CD موفقیت آمیز عبور کند، به طور خودکار در محیط تولید مستقر می شود. در این مدل، هیچ مداخله دستی در فرآیند استقرار وجود ندارد و انتشار نرم افزار به یک رویداد عادی و روزمره تبدیل می شود. این امر سرعت ارائه ارزش به کاربر نهایی را به حداکثر می رساند.

**ابزارهای CI/CD:** از ابزارهایی مانند Jenkins، GitHub Actions/GitLab CI و CircleCI برای خودکارسازی کامل خط لوله از یکپارچه سازی تا استقرار استفاده می شود.

#### • نظارت و بازخورد (Monitoring & Feedback)

پس از استقرار نرم افزار در محیط تولید، عملکرد آن تحت نظارت دقیق قرار می گیرد تا از پایداری و سلامت سرویس اطمینان حاصل شود. داده های مربوط به عملکرد برنامه، زیرساخت و تجربه کاربر جمع آوری و تجزیه و تحلیل می شوند. این داده ها به صورت یک حلقه بازخورد (Feedback Loop) back به تیم های توسعه و برنامه ریزی بازمی گردند تا برای بهبود مستمر محصول و رفع مشکلات در چرخه های بعدی مورد استفاده قرار گیرند.

**ابزارها:** Grafana برای تجسم متریک‌ها، Stack Elastic برای مدیریت و تحلیل لاگ‌ها، Prometheus برای مانیتورینگ و هشدار و Sentry برای ردیابی خطاها در لحظه استفاده می‌شوند.

## ۴.۳ پیشنهادات برای کارهای آینده

بر اساس نتایج و محدودیت‌های شناسایی شده، پیشنهادات زیر برای کارهای آینده ارائه می‌شود:

### ۱.۴.۳ بهبودهای کوتاه‌مدت

۱. بهینه‌سازی کد برای کاهش مصرف حافظه
۲. افزودن قابلیت‌های جدید به سیستم
۳. بهبود رابط کاربری

### ۲.۴.۳ پیشنهادات برای تحقیقات آینده

- بررسی استفاده از روش‌های یادگیری عمیق
- توسعه نسخه توزیع شده از سیستم
- ارزیابی روی مجموعه داده‌های بزرگ‌تر
- مطالعه کاربردهای جدید در حوزه‌های دیگر

### ۳.۴.۳ کاربردهای بالقوه

این کار می‌تواند در زمینه‌های زیر کاربرد داشته باشد:

- صنعت و تولید
- آموزش و پژوهش
- خدمات و تجارت الکترونیک

## ۵.۳ فرهنگ و سازمان‌دهی در DevOps

### ۱.۵.۳ همکاری میان تیم توسعه و عملیات

DevOps تنها مجموعه‌ای از ابزارها و فرایندهای فنی نیست، بلکه یک تغییر فرهنگی و سازمانی عمیق در نحوه‌ی همکاری میان تیم‌های توسعه (Development) و عملیات (Operations) است. این فرهنگ بر پایه‌ی اعتماد، ارتباط، شفافیت و مسئولیت مشترک بنا شده است. بر اساس پژوهش [۲۰]، DevOps پیش از آن‌که رویکردی فنی باشد، نوعی تغییر در نگرش سازمانی است که موجب نزدیکی میان تیم‌های مختلف و شکل‌گیری ذهنیت همکاری می‌شود.

در مدل‌های سنتی، توسعه‌دهندگان پس از نوشتن کد، آن را تحویل تیم عملیات می‌دادند تا در محیط واقعی مستقر شود. نتیجه‌ی این جدایی، بروز مشکلاتی مانند عدم هماهنگی، خطاهای زیاد در استقرار و تأخیر در تحویل بود. DevOps با هدف رفع این شکاف به‌وجود آمد تا توسعه و عملیات به‌صورت یک واحد عمل کنند و مسئولیت موفقیت یا شکست نرم‌افزار را به‌صورت مشترک بر عهده بگیرند.

### ۲.۵.۳ مؤلفه‌های اصلی فرهنگ DevOps

**ارتباط باز و مداوم:** تیم‌ها باید به‌طور پیوسته با یکدیگر در ارتباط باشند. ابزارهایی مانند Slack یا Microsoft Teams برای گفت‌وگوهای لحظه‌ای، و Jira برای پیگیری وظایف به‌کار می‌روند. این ارتباط مداوم باعث می‌شود تصمیم‌ها سریع‌تر گرفته شوند و مشکلات پیش از تبدیل شدن به بحران، شناسایی و رفع شوند. نمونه‌ی عملی آن در شرکت Atlassian دیده می‌شود که توسعه‌دهندگان و مدیران سیستم وضعیت پایپ‌لاین‌های CI/CD و استقرارها را در همان کانال‌های گفت‌وگو دنبال می‌کنند.

**مسئولیت مشترک (Shared Ownership):** در فرهنگ DevOps دیگر مفهوم «تحویل دادن کد و رها کردن آن» وجود ندارد. توسعه‌دهندگان در موفقیت نرم‌افزار پس از استقرار نیز نقش مستقیم دارند و در مقابل، تیم عملیات هم از مراحل طراحی و تست در جریان پروژه قرار می‌گیرد. مثال شناخته‌شده، سیاست «You build it, you run it» در شرکت Amazon است که باعث می‌شود توسعه‌دهنده نسبت به پایداری و مانیتورینگ نرم‌افزار در محیط واقعی حساس‌تر باشد.

**یادگیری و بهبود مستمر (Continuous Learning):** پس از هر انتشار (Release)، تیم‌ها جلساتی با عنوان Postmortem برگزار می‌کنند تا شکست‌ها و موفقیت‌ها را بررسی کنند. هدف، سرزنش افراد نیست؛ بلکه یافتن علت ریشه‌ای خطا و اصلاح فرایند است. شرکت‌هایی مانند Google

از گزارش‌های Blameless Postmortem استفاده می‌کنند تا بدون مقصر جلوه‌دادن افراد، فرایندها و پیکربندی‌ها را بهبود دهند.

**هم‌ترازی اهداف بین تیم‌ها (Goal Alignment):** در سازمان‌های سنتی، اهداف توسعه (تحويل سریع‌تر) و عملیات (پایداری بیشتر) معمولاً در تضاد هستند. DevOps با تعریف شاخص‌های عملکرد مشترک مانند MTTR و Deployment Frequency این تضاد را کاهش می‌دهد و باعث می‌شود هر دو تیم به سمت هدف مشترک، یعنی تحويل سریع ولی پایدار نرم‌افزار، حرکت کنند. همان‌طور که در [۲۰] آمده است، هم‌ترازی هدف‌ها باعث می‌شود معیارهای ارزیابی از فردمحور به تیم‌محور تغییر کند.



شکل ۲.۳: نمایی از مؤلفه‌های فرهنگ و ذهنیت DevOps بر اساس [۲۰].

## ۶.۳ مزایای DevOps در تکامل نرم افزار

مهم ترین مزایای به کارگیری DevOps در فرایند توسعه و تکامل نرم افزار عبارتند از:

- افزایش سرعت تحویل نرم افزار
- بهبود پایداری و اطمینان در استقرارها
- ارتقای کیفیت محصول
- افزایش بهره‌وری و هماهنگی تیم‌ها
- توانایی پاسخ سریع به تغییرات بازار و نیازهای کاربران

همان‌طور که در [۲۰] نیز اشاره شده است، این مزایا زمانی به‌طور کامل به دست می‌آیند که فرهنگ همکاری میان تیم‌های توسعه و عملیات که در بخش ۱.۵.۳ توضیح داده شد، در سازمان نهادینه شده باشد.

### افزایش سرعت تحویل نرم افزار

DevOps موجب می‌شود چرخه‌ی توسعه از ایده تا تحویل نهایی کوتاه‌تر شود. با خودکارسازی مراحل ساخت، تست و استقرار، تیم‌ها می‌توانند در بازه‌های زمانی بسیار کوتاه نسخه‌های جدید ارائه دهند. به‌عنوان نمونه، شرکت Amazon روزانه هزاران استقرار جدید در زیرساخت خود انجام می‌دهد. این حجم از به‌روزرسانی تنها به لطف استفاده از خطوط خودکار CI/CD ممکن است.

### بهبود پایداری و اطمینان در استقرارها

در روش‌های سنتی، استقرار نرم افزار اغلب با اضطراب و خطا همراه بود، زیرا تغییرات به‌صورت گسترده و یک‌باره اعمال می‌شد. DevOps این مشکل را با اعمال تغییرات کوچک و مکرر حل کرده است. نمونه‌ی شناخته‌شده، تجربه‌ی Etsy است که پس از خودکارسازی استقرارها، توانست بدون توقف سرویس، استقرارهای متعدد روزانه انجام دهد.

### ارتقای کیفیت محصول

تست‌های خودکار و مانیتورینگ مستمر از ارکان DevOps هستند و کمک می‌کنند خطاها در مراحل ابتدایی شناسایی و اصلاح شوند. شرکت‌هایی مانند Google با تکیه بر پایش مداوم، نرخ خرابی را کاهش داده‌اند.

### افزایش بهره‌وری و هماهنگی تیم‌ها

DevOps باعث می‌شود تیم‌های توسعه، عملیات، آزمون و حتی امنیت در یک چرخه‌ی واحد کار کنند و کارهای دستی و تکراری حذف شود.

### پاسخ سریع به تغییرات بازار و نیازهای کاربران

در محیط‌های پویا، چرخه‌ی بازخورد سریع که در [۲۰] بر آن تأکید شده، امکان انتشار و بازگردانی سریع ویژگی‌ها را فراهم می‌کند.

## ۷.۳ مطالعه‌ی موردی

شرکت Netflix با میلیون‌ها کاربر در سراسر جهان، یکی از پیشگامان در به‌کارگیری رویکرد DevOps است. مقیاس بسیار بزرگ سامانه و نیاز به ارائه‌ی مداوم محتوا، این شرکت را بر آن داشت تا از شیوه‌های سنتی توسعه فاصله بگیرد و معماری‌ای پویا و مبتنی بر خودکارسازی ایجاد کند. همان‌گونه که در پژوهش [۲۰] نیز تأکید شده، موفقیت در مقیاس گسترده تنها زمانی ممکن است که فرهنگ سازمانی، ابزارها و فرآیندها هم‌زمان دگرگون شوند.

### چالش‌های اولیه

در سال‌های ابتدایی فعالیت، Netflix با چند چالش اساسی روبه‌رو بود:

- استقرارهای نرم‌افزاری به‌صورت دستی انجام می‌شد و احتمال خطاهای انسانی بالا بود.
- هرگونه تغییر کوچک در سیستم می‌توانست موجب اختلال در پخش محتوا شود.

• سرورها در مراکز داده داخلی نگهداری می‌شدند و مقیاس‌پذیری آن‌ها محدود بود.

این چالش‌ها سبب شدند که Netflix در سال ۲۰۰۸ تصمیم بگیرد به زیرساخت ابری مهاجرت کند و هم‌زمان فلسفه DevOps را در سازمان پیاده‌سازی کند. این تصمیم، نقطه عطفی در مسیر تکامل فنی و فرهنگی شرکت بود.

### معماری و ابزارهای مورد استفاده

برای تحقق اصول DevOps، Netflix مجموعه‌ای از ابزارها و فرآیندهای خودکار را توسعه داد. برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

• **Spinnaker**: سیستم متن‌باز ویژه Netflix برای خودکارسازی خط لوله‌های CI/CD. این ابزار امکان استقرار مکرر، سریع و بدون وقفه سرویس‌ها را فراهم می‌کند.

• **Chaos Monkey**: ابزاری برای آزمایش پایداری سیستم از طریق ایجاد خطاهای تصادفی در سرورها؛ هدف آن ارزیابی مقاومت سامانه در برابر شکست است.

• **Atlas و Vector**: ابزارهای پایش و تحلیل عملکرد سرویس‌ها که داده‌ها را به‌صورت لحظه‌ای جمع‌آوری و بررسی می‌کنند.

با این زیرساخت‌ها، Netflix قادر است روزانه صدها استقرار جدید انجام دهد، بدون آن‌که کاربران هیچ‌گونه اختلالی در سرویس احساس کنند.

### فرهنگ سازمانی DevOps در Netflix

مطابق با دیدگاه مطرح‌شده در [۲۰]، یکی از عوامل کلیدی موفقیت DevOps در Netflix، نهادینه‌سازی آن در فرهنگ سازمانی است. اصول فرهنگی مهم در این شرکت شامل موارد زیر است:

• **اعتماد به تیم‌ها**: هر تیم مسئول استقرار و نگهداری سرویس‌های خود است.

• **آزادی همراه با مسئولیت**: توسعه‌دهندگان در انتخاب ابزار و روش‌ها آزادی کامل دارند، اما مسئولیت عملکرد سرویس نیز با خود آنان است.

• **بازخورد سریع**: داده‌های واقعی کاربران به‌صورت لحظه‌ای تحلیل می‌شود و تصمیم‌گیری‌ها بر پایه شواهد انجام می‌گیرد.

## نتایج پیاده‌سازی

اجرای اصول DevOps در Netflix منجر به بهبود چشمگیر در جنبه‌های مختلف توسعه و بهره‌برداری از سامانه شده است:

- کاهش محسوس خطاهای استقرار،
- افزایش سرعت ارائه قابلیت‌های جدید،
- مقیاس‌پذیری بسیار بالا در پاسخ به رشد کاربران،
- ارتقای تجربه کاربری و کاهش زمان قطعی سرویس.

به‌عنوان نمونه، در زمان اوج مصرف، سامانه‌های Netflix قادرند میلیون‌ها درخواست هم‌زمان را بدون افت کیفیت پاسخ دهند؛ قابلیتی که بدون زیرساخت خودکار و فرهنگ همکاری DevOps امکان‌پذیر نبود.

## ۸.۳ چالش‌های استقرار DevOps

هرچند DevOps در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از مؤثرترین رویکردها در توسعه نرم‌افزار شناخته شده است، اما پیاده‌سازی موفق آن کار ساده‌ای نیست. همان‌گونه که در پژوهش [۲۰] نیز اشاره شده، سازمان‌ها در مسیر استقرار DevOps با موانع فنی و فرهنگی متعددی روبه‌رو می‌شوند که در صورت مدیریت‌نشدن صحیح، می‌توانند موجب کندی یا حتی شکست کل فرآیند شوند. در ادامه، مهم‌ترین چالش‌های پیاده‌سازی این رویکرد بررسی می‌شود.

### مسائل امنیتی و حفظ اعتماد

با خودکار شدن فرآیندها و افزایش سرعت استقرار، امنیت به یکی از دغدغه‌های اصلی در محیط‌های DevOps تبدیل شده است. در روش‌های سنتی، بررسی‌های امنیتی معمولاً در انتهای چرخه توسعه انجام می‌شد، اما در DevOps انتشارهای سریع و مکرر ممکن است سبب نادیده‌گرفتن برخی کنترل‌های حیاتی شود. برای نمونه، زمانی که تیم توسعه به‌صورت روزانه کد جدید را با شاخه اصلی ادغام می‌کند، یک آسیب‌پذیری کوچک می‌تواند بلافاصله وارد محیط تولید شود. برای رفع این مشکل، رویکرد DevSecOps پیشنهاد می‌شود که در آن، امنیت از مراحل اولیه توسعه در چرخه عمر نرم‌افزار ادغام



می‌شود. همچنین کنترل دسترسی، مدیریت کلیدها و محافظت از داده‌های حساس از مسئولیت‌های مهمی هستند که نیاز به نظارت مداوم دارند.

### پیچیدگی زیرساخت و وابستگی به ابزارها

یکی دیگر از چالش‌های جدی، افزایش پیچیدگی فنی در اثر استفاده از ابزارهای متنوع است. سازمان‌ها برای پیاده‌سازی DevOps اغلب از ترکیب ابزارهایی چون Docker، Kubernetes، Jenkins و Terraform استفاده می‌کنند. هرچند این ابزارها قدرت و انعطاف بالایی دارند، اما برای تیم‌هایی که تجربه کافی ندارند، می‌توانند موجب سردرگمی و کاهش بهره‌وری شوند. مطالعه [۲۰] نشان می‌دهد تمرکز بیش از حد بر ابزارها ممکن است هدف اصلی DevOps یعنی همکاری مؤثر و تحویل سریع ارزش به مشتری را تحت‌الشعاع قرار دهد. مستندسازی دقیق، آموزش منظم و طراحی زیرساخت ساده و پایدار از مهم‌ترین راهکارهای مقابله با این چالش هستند.

### مقاومت فرهنگی و تغییر در شیوه کار

مهم‌ترین مانع در مسیر اجرای DevOps، چالش فرهنگی درون سازمان است. برخلاف تصور رایج، DevOps صرفاً تغییر در ابزارها نیست، بلکه تحولی در نگرش، ساختار و مسئولیت‌پذیری اعضاست. در مدل سنتی، تیم‌های توسعه و عملیات معمولاً به‌صورت مجزا عمل می‌کردند و هرکدام تنها بخشی از مسئولیت را بر عهده داشتند؛ اما در DevOps مرزها از میان برداشته می‌شوند و موفقیت کل محصول، مسئولیتی جمعی است. در بسیاری از سازمان‌ها، این تغییر ذهنیت با مقاومت مواجه می‌شود – به‌ویژه در ساختارهای سلسله‌مراتبی که عادت به تفکیک نقش‌ها دارند. تجربه گزارش‌شده در [۲۰] نشان می‌دهد آموزش مستمر، شفاف‌سازی اهداف و مشارکت فعال کارکنان در تصمیم‌گیری، از مؤثرترین راهکارها برای غلبه بر این مقاومت فرهنگی است.

در مجموع، استقرار موفق DevOps مستلزم آمادگی فنی و فرهنگی توأمان است. بی‌توجهی به یکی از این ابعاد می‌تواند موجب کندی در تحول سازمانی و کاهش اثربخشی کل چرخه توسعه شود.

## ۹.۳ جمع‌بندی فصل

در این فصل نشان داده شد که DevOps فراتر از مجموعه‌ای از ابزارها یا روش‌های فنی است و در واقع یک تغییر بنیادی در فرهنگ و نگرش سازمانی به شمار می‌آید. بر اساس پژوهش [۲۰]، موفقیت در

اجرای DevOps زمانی حاصل می‌شود که سازمان‌ها بر سه محور کلیدی تمرکز کنند: همکاری مستمر، مسئولیت‌پذیری مشترک و بهبود پیوسته. در چنین بستری، مرز میان تیم‌های توسعه و عملیات از میان برداشته می‌شود و کل سازمان به یک واحد منسجم در راستای تحویل ارزش به کاربر تبدیل می‌گردد.

رویکرد DevOps با اتکا به خودکارسازی، زیرساخت به‌عنوان کد (Infrastructure as Code) و چرخه‌های یکپارچه CI/CD، توانسته است فاصله میان تولید نرم‌افزار و استقرار آن را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. نتیجه این تحول، تولید نرم‌افزارهایی با کیفیت بالاتر، قابلیت اطمینان بیشتر و سرعت انتشار بالاتر است. ابزارهایی مانند Jenkins، Docker و Kubernetes ستون‌های فنی این رویکرد را تشکیل می‌دهند و زمینه را برای پیاده‌سازی پایدار و مقیاس‌پذیر فرآیندها فراهم می‌کنند.

نمونه‌های موفق همچون Netflix و Amazon نشان داده‌اند که اجرای اصول DevOps نه تنها موجب افزایش چابکی و مقیاس‌پذیری می‌شود، بلکه توانایی سازمان در پاسخ‌گویی به تغییرات بازار و نیاز کاربران را نیز ارتقا می‌دهد. با این حال، همان‌گونه که در [۲۰] تأکید شده، استقرار DevOps بدون آمادگی فرهنگی و آموزشی کافی می‌تواند با چالش‌هایی چون پیچیدگی زیرساخت، ضعف در امنیت و مقاومت کارکنان روبه‌رو شود.

در نهایت می‌توان DevOps را پلی میان فرهنگ Agile و عملیات مدرن دانست؛ پلی که با تقویت ارتباط میان فناوری، فرآیند و فرهنگ همکاری، مسیر تحول دیجیتال را هموار می‌سازد. سازمان‌هایی که بتوانند میان این سه بُعد تعادل برقرار کنند، نه تنها در توسعه نرم‌افزار بلکه در کل چرخه عمر نوآوری و ارزش‌آفرینی خود به موفقیت پایدار دست خواهند یافت.

## فصل ۴

# چرایی نیاز به بازطراحی در پیاده‌سازی نرم‌افزار

### ۱.۴ مقدمه

سیستم‌های نرم‌افزاری، برخلاف دارایی‌های فیزیکی که دچار فرسایش مکانیکی می‌شوند، به مرور زمان کارایی خود را در انطباق با واقعیت‌های تجاری و بستر فناورانه از دست می‌دهند. این پدیده، که اغلب به آن «کهنگی نرم‌افزاری» گفته می‌شود، منجر به افزایش فزاینده در هزینه‌های عملیاتی و نگهداری می‌گردد. برآوردها نشان می‌دهد که نگهداری نرم‌افزار به‌عنوان پرهزینه‌ترین فاز چرخه حیات نرم‌افزار، تقریباً ۶۰ درصد از کل تلاش‌های صورت گرفته در این چرخه را به خود اختصاص می‌دهد.

سازمان‌ها در محیط‌های رقابتی و نظارتی امروز، تحت فشار مستمر برای افزایش چابکی و پاسخگویی به تغییرات بازار، مقررات جدید، و نیازهای در حال تحول کاربران قرار دارند. زمانی که سیستم‌های قدیمی (Legacy Systems) به مانعی برای نوآوری تبدیل می‌شوند و بخش نامتناسبی از بودجه را مصرف می‌کنند، بازمهندسی (Reengineering) به یک ضرورت استراتژیک تبدیل می‌گردد. هدف از بازمهندسی، نه صرفاً تولید ویژگی‌های جدید، بلکه بازیابی و طولانی کردن عمر سیستم‌های حیاتی است، ضمن کاهش هزینه‌های بالای نگهداری.

بازمهندسی، اساساً یک سرمایه‌گذاری در مدیریت ریسک و بهینه‌سازی مالی محسوب می‌شود. زمانی که هزینه‌های نگهداری بیش از نیمی از بودجه توسعه را می‌بلعد، این هزینه عملاً منابعی را که می‌توانست صرف نوآوری شود، از بین می‌برد (هزینه فرصت). بنابراین، بازمهندسی به عنوان راهکاری برای تثبیت سازمانی، کاهش ریسک‌های شکست سیستمی، و تضمین انطباق با قوانین، بر تحویل ویژگی‌های فوری اولویت می‌یابد.

## ۲.۴ تعریف بازطراحی (Redesign) / (Reengineering)

بازمهندسی نرم‌افزار، فرآیند بررسی و تغییر یک سیستم موجود با هدف پیاده‌سازی آن در یک فرم جدید یا تطبیق داده شده است. این فرآیند از نرم‌افزار و مستندات موجود استفاده می‌کند تا نیازمندی‌ها و طراحی سیستم هدف را تولید کند.

### ۱.۲.۴ بازمهندسی در برابر مهندسی رو به جلو

برخلاف مهندسی رو به جلو (Forward Engineering) که با یک سند مشخصات تعریف‌شده آغاز می‌شود، بازمهندسی با سیستم موجود به عنوان «مشخصات» خود آغاز شده و از طریق فرآیندهای درک و تبدیل، سیستم هدف را استخراج می‌کند.

### ۲.۲.۴ مهندسی معکوس (بازیابی طراحی)

مرحله حیاتی که بازمهندسی را تعریف می‌کند، بازیابی طراحی یا مهندسی معکوس (Reverse Engineering) است. این مرحله برای بازیابی منطق و چرایی تصمیمات معماری از دست‌رفته که در طول پیاده‌سازی اولیه اتخاذ شده‌اند، ضروری است. قبل از شروع هرگونه کار فنی، زمینه و هدف بازمهندسی باید در چارچوب اهداف کلان سازمانی تعریف شود.

## ۳.۴ دلایل اصلی نیاز به بازطراحی

### ۱.۳.۴ تغییر نیازمندی‌ها

تغییر در نیازمندی‌ها (ناشی از تکامل نیازهای کاربر یا تغییر بازار و مقررات) اجتناب‌ناپذیر است و ایجاد تغییرات دیر هنگام می‌تواند هزینه‌های توسعه را تا ۳۰ درصد افزایش دهد. استراتژی دفاعی، طراحی معماری بر اساس تجزیه مبتنی بر نوسان (Volatility-Based Decomposition) است. این اصل مستلزم کپسوله‌سازی اجزای مستعد تغییر برای جلوگیری از نشت تغییرات در سراسر سیستم و افزایش مقاومت در برابر انحراف ویژگی است. در غیر این صورت، سیستم با بدهی معماری روبه‌رو می‌شود.

### ۲.۳.۴ فناوری های جدید

پذیرش فناوری های جدید نیروی محرکه قوی برای بازمهندسی است و اغلب برای رفع محدودیت های عملکردی و مقیاس پذیری سیستم های قدیمی ضروری است. این شامل گذار به برنامه های ابرمحور (Cloud-Native) و معماری میکروسرویس ها می شود. زیرساخت های قدیمی IT اغلب نیازمند سفارشی سازی های گسترده و راه حل های میان افزار پیچیده هستند تا قابلیت همکاری با ابزارهای دیجیتال جدید تضمین شود.

### ۳.۳.۴ ضعف معماری اولیه

نیاز به بازطراحی اغلب ریشه در پذیرش الگوهای ضدطراحی (Anti-Patterns) دارد. بدنام ترین آن، الگوی «توپ گلی بزرگ» (Big Ball of Mud) - BBoM است که در آن ساختار سیستم فاقد تفکیک مسئولیت ها و سازماندهی مشخص است. این وضعیت باعث انباشت بدهی فنی شده و اصلاح سیستم را دشوار می کند.

### ۴.۳.۴ انباشت بدهی فنی

بدهی فنی، هزینه استعاری تصمیم های کوتاه مدت است. همانند بدهی مالی، بهره مند است و با گذشت زمان رشد می کند. بر اساس گزارش ها، حدود ۴۲٪ از زمان توسعه دهندگان صرف مقابله با بدهی فنی می شود. زمانی که بدهی فنی از ۵۰٪ ارزش فناوری یک سیستم فراتر رود، بازمهندسی کامل از نظر اقتصادی توجیه پذیر است.

## ۴.۴ مراحل بازطراحی نرم افزار

فرآیند بازمهندسی نرم افزار یک روش شناسی ساختاریافته است که از تحلیل سیستم موجود آغاز شده و تا پیاده سازی استراتژی های مهاجرت با کمترین ریسک ادامه می یابد.

### ۱.۴.۴ تحلیل سیستم فعلی

ارزیابی جامع سیستم فعلی گام اول است تا مشخص شود کدام بخش ها ارزش حفظ کردن دارند. این تحلیل شامل سنجش شاخص هایی مانند زمان پاسخ، درصد در دسترس بودن (uptime) و آزمون بار اوج (Peak Load) Testing است. همچنین ارزیابی هزینه کل مالکیت (TCO) برای تحلیل اقتصادی سیستم ضروری است.

### ۲.۴.۴ شناسایی نقاط ضعف

در غیاب مستندات کامل، مهندسی معکوس برای درک منطق و بازیابی طراحی به کار می رود. ابزارهای هوش مصنوعی مانند Copilot GitHub می توانند وابستگی ها، فراخوانی ها و ساختارهای منطقی را استخراج کرده و مستندات به روز تولید کنند.

### ۳.۴.۴ طراحی مجدد معماری و پیاده سازی

بازطراحی معماری معمولاً شامل گذار از ساختارهای یکپارچه به معماری های توزیع شده مانند میکروسرویس ها است. چالش های کلیدی این گذار عبارتند از:

- افزایش هزینه های زیرساختی و تست برای هر سرویس جدید.
- از دست رفتن تضمین های ACID و نیاز به مدیریت ثبات نهایی (Eventual Consistency).
- استفاده از الگوهایی مانند ساگا (Saga) و تضمین هم توانایی (Idempotency) برای هماهنگی تراکنش ها.

### ۴.۴.۴ استراتژی های مهاجرت

انتخاب روش مهاجرت بستگی به میزان تحمل ریسک سازمان دارد:

- **مهاجرت انفجار بزرگ (Big Bang Migration):** سوئیچ فوری از سیستم قدیمی به سیستم جدید؛ پرریسک و مناسب سیستم های غیر بحرانی.
- **مهاجرت افزایشی (Incremental Migration) یا الگوی انجیر خفه کننده:** جایگزینی تدریجی بخش ها و اجرای همزمان سیستم های قدیم و جدید برای کاهش ریسک.

## ۵.۴ ابزارها و تکنیک‌های بازطراحی

فرآیند بازطراحی و نگهداری سیستم‌های قدیمی معمولاً با به کارگیری مجموعه‌ای از ابزارها و تکنیک‌های تخصصی انجام می‌شود که هدف نهایی آن‌ها افزایش کارایی، قابلیت نگهداری و طول عمر نرم‌افزار است. سه مورد کلیدی در این حوزه عبارتند از:

### ۱.۵.۴ بازآرایی (Refactoring)

بازآرایی فرآیند بازسازی (restructuring) ساختار داخلی کد بدون تغییر رفتار خارجی آن است. هدف اصلی بهبود طراحی، خوانایی و قابلیت نگهداری کد است که در نهایت توسعه‌ی ویژگی‌های جدید را آسان‌تر می‌کند. این کار اغلب با انجام تغییرات کوچک و مطمئن مانند تغییر نام متغیرها، استخراج متدها و ساده‌سازی شرطها انجام می‌شود. ابزارهای مدرن یکپارچه در محیط‌های توسعه (IDE) مانند قابلیت‌های بازآرایی در IDEA IntelliJ یا ReSharper برای C#، این فرآیند را به صورت خودکار و ایمن انجام می‌دهند [۱۶].

### ۲.۵.۴ مهندسی معکوس (Reverse Engineering)

مهندسی معکوس فرآیند استخراج طراحی، معماری و مشخصات یک سیستم از کد منبع موجود است. این تکنیک به ویژه برای درک سیستم‌های legacy که فاقد مستندات کافی هستند، حیاتی است. ابزارهای این حوزه مانند ابزارهای تولید نمودارهای UML از کد (مانند Architect Enterprise یا ابزارهای موجود در Visual Studio) یا دیس اسمبلرها، لایه‌های مختلف سیستم را آشکار کرده و درک آن را برای تیم‌های توسعه ممکن می‌سازند [۱۳].

### ۳.۵.۴ مهاجرت (Migration)

مهاجرت به فرآیند انتقال یک سیستم نرم‌افزاری از یک محیط تکنولوژیکی قدیمی به یک محیط جدیدتر و قدرتمندتر اطلاق می‌شود. این امر می‌تواند شامل مهاجرت پایگاه داده (مانند انتقال از Oracle به PostgreSQL) مهاجرت سکو (مانند انتقال یک برنامه از ویندوز به وب) یا حتی مهاجرت زبان برنامه‌نویسی باشد. ابزارهای اتوماسیون این فرآیند، ریسک و تلاش انسانی مورد نیاز را به شدت کاهش می‌دهند. موفقیت این فرآیند وابسته به برنامه‌ریزی دقیق، اجرای مرحله‌ای و تست گسترده برای اطمینان از حفظ یکپارچگی داده‌ها و عملکرد سیستم است [۱۲].

## ۶.۴ معیارهای تصمیم‌گیری برای بازطراحی

تصمیم‌گیری برای انجام فرآیند بازطراحی یک سیستم نرم‌افزاری، نیازمند سنجش و ارزیابی دقیق چندین معیار حیاتی است تا بتوان توجیه فنی و اقتصادی آن را به درستی بررسی کرد. مهم‌ترین این معیارها عبارتند از:

### ۱.۶.۴ هزینه (Cost)

برآورد دقیق تمامی هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم پروژه بازطراحی امری ضروری است. این هزینه‌ها شامل دستمزد تیم توسعه، هزینه‌های مربوط به خرید یا اجاره ابزارها و زیرساخت‌های جدید، هزینه‌های آموزش پرسنل و همچنین هزینه‌های احتمالی توقف یا کاهش عملکرد سیستم در حین اجرای پروژه می‌شود. این معیار باید در مقابل هزینه‌های ادامه کار با سیستم قدیمی (مانند هزینه‌های بالای نگهداری و رفع نقص) سنجیده شود.

### ۲.۶.۴ زمان (Time)

تخمین مدت زمان مورد نیاز برای تکمیل فرآیند بازطراحی از اهمیت بالایی برخوردار است. یک برنامه‌ریزی واقع‌بینانه باید شامل مراحل تحلیل، طراحی، پیاده‌سازی، تست و استقرار باشد. زمان‌بندی طولانی می‌تواند منجر به منسوخ شدن فناوری‌های به کار رفته در طول اجرای پروژه شود، در حالی که زمان‌بندی بسیار فشرده نیز کیفیت نهایی را به خطر می‌اندازد.

### ۳.۶.۴ ریسک (Risk)

ارزیابی ریسک‌های بالقوه در موفقیت پروژه بازطراحی یک گام کلیدی است. این ریسک‌ها می‌توانند شامل پیچیدگی فنی بالای سیستم، legacy از دست دادن مهارت‌های تخصصی مورد نیاز، بروز مشکلات غیرمنتظره در حین مهاجرت داده‌ها، و مقاومت کاربران در برابر پذیرش سیستم جدید باشد. شناسایی این ریسک‌ها و برنامه‌ریزی برای مدیریت آن‌ها شانس موفقیت پروژه را افزایش می‌دهد.



#### ۴.۶.۴ اثر بر کیفیت (Effect on Quality)

در نهایت، باید تأثیر مثبت بازطراحی بر کیفیت محصول نهایی به وضوح تعریف و اندازه‌گیری شود. این بهبود کیفیت می‌تواند به صورت افزایش کارایی، (Performance) افزایش قابلیت اطمینان (Reliability)، (Scalability) افزایش امنیت، بهبود قابلیت نگهداری (Maintainability) و افزایش قابلیت گسترش (ability) سیستم ظاهر شود. این معیار نهایی، توجه اصلی برای سرمایه‌گذاری روی پروژه بازطراحی محسوب می‌شود.

### ۷.۴ مطالعه موردی

بر اساس نتایج جستجو، اطلاعات مربوط به بازطراحی پی‌پال بیشتر بر به‌روزرسانی تجربه کاربری اپلیکیشن و هویت بصری متمرکز است، در حالی که سیستم بانکی به معرفی یک نئوبانک کسب‌وکاری داخلی می‌پردازد. در ادامه، این دو مورد به صورت جداگانه ارائه شده‌اند:

#### ۱.۷.۴ بازطراحی اپلیکیشن PayPal

هدف اصلی از بازطراحی پی‌پال، تبدیل آن از یک ابزار ساده برای انتقال پول به یک "راهنمای سلامتی مالی" شخصی‌شده برای کاربران بود. مشکلات اصلی که این بازطراحی به دنبال رفع آن‌ها بود، شامل صفحه اصلی غیرجذاب، سردرگمی کاربران در پیمایش و عدم اطلاع‌رسانی شفاف بود. راه‌حل‌های کلیدی اجرا شده در این بازطراحی عبارتند از:

- **تجربه شخصی‌سازی شده:** صفحه اصلی به فضایی شخصی برای مدیریت امور مالی کاربر تبدیل شد. با نمایش فعالیت‌های حساب و بینش‌های مالی مفید، حس تعلق کاربر به اپلیکیشن تقویت شد.
- **پیمایش ساده شده:** نوار پیمایش پایین اپلیکیشن با آیکون‌ها و برچسب‌های قابل درک طراحی شد تا کاربران به راحتی به ویژگی‌های مورد نظر خود دسترسی پیدا کنند.
- **شفافیت اطلاعاتی:** اطلاعات حیاتی مانند موجودی حساب و کارت در حال استفاده، به وضوح و در صفحه اصلی نمایش داده می‌شوند تا از سردرگمی کاربر کاسته شود.
- **تجمع عملکردها:** عملکردهای مرتبط با پول و حساب در یک بخش گروه‌بندی شدند تا قابلیت کشف و استفاده از آن‌ها برای کاربر آسان‌تر شود.

#### ۸.۴. نتیجه‌گیری نهایی و توصیه‌ها برای تیم‌های توسعه‌چرایی نیاز به بازطراحی در پیاده‌سازی نرم‌افزار

این تغییرات منجر به ایجاد تجربه‌ای شد که با انتظارات کاربران مطابقت بیشتری دارد، قابلیت کشف ویژگی‌ها را بهبود بخشید و از طریق شفافیت، اعتماد کاربران را افزایش داد. علاوه بر این، پی‌پال هویت بصری برند خود را نیز به‌روز کرد که شامل طراحی قلم سفارشی "PayPal Pro" و ساده‌سازی پالت رنگی برای نمایشی مدرن‌تر و خوش‌بینانه‌تر بود.

#### ۲.۷.۴ بازطراحی بانکداری برای کسب‌وکارهای کوچک (فوربیکس)

در ایران، نمونه بارز بازطراحی در سیستم بانکی، ظهور "نئوبانک‌های کسب‌وکاری" مانند فوربیکس است. هدف فوربیکس، بازطراحی خدمات بانکی برای پاسخگویی به نیازهای خاص کسب‌وکارهای کوچک و متوسط بود که اغلب توسط سیستم بانکی سنتی نادیده گرفته می‌شوند. ویژگی‌های کلیدی این بازطراحی شامل:

- **یکپارچگی خدمات:** فوربیکس خدمات بانکی (مانند افتتاح حساب و درگاه پرداخت) را با ابزارهای عملیاتی کسب‌وکار (مانند سیستم حسابداری، صدور فاکتور، CRM و مدیریت انبار) در یک پلتفرم واحد ادغام کرد.
  - **تمرکز بر کاربرپسندی:** این پلتفرم با ارائه یک اپلیکیشن موبایل با رابط کاربری ساده، تجربه مالی ساده‌ای را برای صاحبان کسب‌وکارها فراهم می‌کند.
  - **اتوماسیون برای صرفه‌جویی در زمان:** با اتصال خودکار تراکنش‌های بانکی به سیستم حسابداری، فرآیندهای دستی کاهش یافته و تا ۴۰ درصد در زمان صرفه‌جویی می‌شود.
- این رویکرد یکپارچه، چالش‌های کسب‌وکارها در استفاده همزمان از سیستم‌های ناهمگون بانکی و حسابداری را برطرف کرده و مدیریت امور مالی و عملیاتی را برای آن‌ها بسیار کارآمدتر کرده است.

#### ۸.۴ نتیجه‌گیری نهایی و توصیه‌ها برای تیم‌های توسعه

بازطراحی نرم‌افزار یک سرمایه‌گذاری استراتژیک برای حفظ سلامت، کارایی و طول عمر سیستم‌های نرم‌افزاری محسوب می‌شود. همان‌طور که در بخش‌های پیشین بررسی شد، این فرآیند با استفاده از تکنیک‌هایی مانند بازآرایی، مهندسی معکوس و مهاجرت، و با در نظرگیری معیارهای حیاتی چون هزینه، زمان، ریسک و اثر بر کیفیت انجام می‌پذیرد. بررسی سیستم‌هایی مانند پی‌پال نیز نشان می‌دهد که

۸.۴. نتیجه‌گیری نهایی و توصیه‌ها برای تیم‌های توسعه‌چرایی نیاز به بازطراحی در پیاده‌سازی نرم‌افزار

یک بازطراحی موفق می‌تواند منجر به افزایش رضایت کاربر، بهبود قابلیت نگهداری و کسب مزیت رقابتی پایدار شود. در پایان، موارد کلیدی زیر می‌تواند راهنمای تیم‌های توسعه در این مسیر باشد:

#### ۱.۸.۴ ارزیابی واقع‌بینانه و مبتنی بر داده

پیش از هر اقدامی، با استفاده از معیارهای کمی (مانند اندازه پیچیدگی کد، تعداد باگ‌ها، هزینه نگهداری) و کیفی (رضایت کاربران و تیم توسعه) به ارزیابی دقیق نیازمندی‌های سیستم موجود بپردازید. این ارزیابی، مبنای علمی و متقاعدکننده‌ای برای تصمیم‌گیری در مورد لزوم و دامنه بازطراحی فراهم می‌کند.

#### ۲.۸.۴ اولویت‌بندی و رویکرد تدریجی

بازطراحی کامل یک سیستم بزرگ در یک بازه زمانی کوتاه، ریسک بسیار بالایی دارد. توصیه می‌شود پروژه به بخش‌های کوچک‌تر و مستقل تقسیم شده و به صورت تدریجی و با اولویت‌بندی بر اساس ماژول‌هایی که بیشترین مشکل را ایجاد می‌کنند، اجرا شود. این رویکرد، مدیریت پروژه را آسان‌تر کرده و امکان دریافت بازخورد سریع را فراهم می‌کند.

#### ۳.۸.۴ سرمایه‌گذاری بر روی اتوماسیون

استقرار یک خط لوله قوی یکپارچه‌سازی و تحویل مستمر (CI/CD) و یک مجموعه جامع از آزمون‌های خودکار را در اولویت قرار دهید. این امر با اطمینان از اینکه تغییرات کد، عملکرد موجود را خراب نمی‌کند، ایمنی و سرعت فرآیند بازطراحی را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد.

#### ۴.۸.۴ مستندسازی همگام با توسعه

فرآیند بازطراحی را فرصتی برای جبران کمبود مستندات سیستم قدیمی بدانید. همگام با پیاده‌سازی کد جدید، مستندات طراحی، معماری و نحوه راه‌اندازی را به روز کنید. این کار نگهداری سیستم را در آینده بسیار ساده‌تر خواهد کرد.

#### ۵.۸.۴ در نظر گرفتن پیامدهای فرهنگی

بازطراحی تنها یک چالش فنی نیست، بلکه یک تغییر سازمانی است. تیم را از مزایای بلندمدت این کار آگاه سازید و برای پذیرش این تغییر و یادگیری فناوری‌ها یا روش‌های جدید، فرهنگسازی و آموزش لازم را فراهم کنید. موفقیت نهایی در گرو همراهی و مهارت تیم توسعه است.

در نهایت، بازطراحی را نه به عنوان یک هزینه، بلکه به عنوان یک ضرورت برای بقا و رشد نرم‌افزار در نظر بگیرید. یک برنامه‌ریزی دقیق، اجرای گام‌به‌گام و تمرکز بر کیفیت، می‌تواند عمر سیستم شما را طولانی کرده و ارزش آن را در بلندمدت به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

## فصل ۵

# چرایی نیاز به مهندسی معکوس در تکامل نرم افزار

### ۱.۵ مقدمه و تعریف مهندسی معکوس

مهندسی معکوس (Reverse Engineering) در مهندسی نرم افزار به فرایندی گفته می شود که در آن یک نرم افزار موجود مورد تحلیل دقیق قرار می گیرد تا ساختار درونی، اجزا، وابستگی ها و منطق عملکرد آن شناخته شود، بدون این که لزوماً تغییری در سیستم ایجاد گردد [۱].

هدف اصلی مهندسی معکوس، بازیابی دانش از دست رفته یا مستندسازی نشده درباره ی سیستم است. به کمک مهندسی معکوس می توان فهمید که نرم افزار چگونه طراحی شده، اطلاعات چگونه در آن جریان دارد و بخش های مختلف آن چه ارتباطی با هم دارند.

برای مثال، اگر نرم افزاری در دسترس باشد ولی مستندات طراحی آن موجود نباشد، با مهندسی معکوس می توان از روی کدها و فایل های اجرایی، مستندات و مدل های طراحی را بازسازی کرد. این کار در پروژه هایی که نرم افزارهای قدیمی (Legacy Systems) مورد استفاده قرار می گیرند، بسیار اهمیت دارد [۲].

### ۱.۱.۵ تمایز آن با Reengineering و Refactoring

مفاهیم مهندسی معکوس، بازمهندسی (Reengineering) و بازآرایی کد (Refactoring) هرچند مشابه اند، ولی اهداف متفاوتی دارند.

- **مهندسی معکوس (Reverse Engineering):** هدف آن درک سیستم موجود است؛ یعنی بررسی و تحلیل بدون تغییر کد منبع.
- **بازمهندسی (Reengineering):** پس از شناخت کامل سیستم، آن را بازطراحی یا بازنویسی می‌کنیم تا عملکرد بهتر یا نگهداری آسان‌تری داشته باشد.
- **بازآرایی کد (Refactoring):** تمرکز بر بهبود ساختار درونی کد منبع است، بدون اینکه رفتار کلی نرم افزار تغییر کند.

می‌توان گفت:

مهندسی معکوس    شناخت سیستم  
بازمهندسی    شناخت + تغییر ساختار کلی  
بازآرایی    اصلاح درونی کد بدون تغییر عملکرد

در چرخه‌ی عمر نرم افزار، مهندسی معکوس نقش مهمی در مرحله‌ی نگهداری (Maintenance) دارد، زیرا در این مرحله معمولاً نیاز به درک مجدد از ساختار و منطق سیستم احساس می‌شود.

## ۲.۵ دلایل نیاز به مهندسی معکوس

### ۱.۲.۵ فقدان مستندات یا مستندات ناقص

بسیاری از سیستم‌های نرم افزاری بدون مستندات کافی توسعه یافته‌اند یا مستندات آن‌ها در طول زمان از بین رفته است [۴]. در این شرایط، مهندسی معکوس به تیم توسعه کمک می‌کند تا از روی نرم افزار، مستندات طراحی و نمودارهای سیستم را بازسازی کند.

### ۲.۲.۵ تحلیل سیستم‌های قدیمی (Legacy Systems)

در سازمان‌ها هنوز از سیستم‌هایی استفاده می‌شود که بر پایه فناوری‌های قدیمی ساخته شده‌اند. مهندسی معکوس به توسعه‌دهندگان کمک می‌کند تا ساختار کلی این سیستم‌ها را درک کنند و در صورت نیاز آن‌ها را به فناوری‌های جدید منتقل نمایند.

### ۳.۲.۵ درک ساختار و منطق سیستم‌های موجود

گاهی نرم‌افزار توسط تیم‌های مختلف توسعه یافته و در نتیجه کدها پیچیده و نامنظم شده‌اند. مهندسی معکوس ابزاری برای درک ارتباط بین ماژول‌ها، کلاس‌ها و داده‌ها فراهم می‌کند و درک درستی از منطق سیستم به تیم توسعه می‌دهد.

### ۴.۲.۵ تسهیل مهاجرت به فناوری‌های جدید

تغییر پلتفرم‌ها و ابزارها اجتناب‌ناپذیر است. برای مثال، ممکن است سازمانی بخواهد نرم‌افزار خود را از نسخه‌ی دسکتاپ به تحت وب منتقل کند. مهندسی معکوس امکان تحلیل دقیق سیستم فعلی را فراهم می‌کند تا مهاجرت بدون خطا و از دست دادن داده انجام گیرد [۴].

## ۳.۵ چالش‌ها و محدودیت‌ها

در این فصل، به بررسی چالش‌ها و محدودیت‌های موجود در به‌کارگیری رویکرد DevOps در کنار مهندسی معکوس نرم‌افزار پرداخته می‌شود. هدف از این بخش، شناسایی عواملی است که می‌توانند بر اثربخشی، اعتبار و قابلیت تعمیم نتایج حاصل از اجرای این رویکردها تأثیرگذار باشند. محدودیت‌های شناسایی‌شده در چهار محور اصلی شامل مسائل حقوقی و مالکیت فکری، هزینه و زمان‌بر بودن فرآیند، تفسیر نادرست منطق کد، و ریسک‌های امنیتی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. هر یک از این عوامل، به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم می‌توانند مانعی در مسیر پیاده‌سازی مؤثر DevOps و بازمهندسی سیستم‌های نرم‌افزاری در محیط‌های واقعی ایجاد کنند و ضرورت به‌کارگیری رویکردی میان‌رشته‌ای و تصمیم‌گیری دقیق در این زمینه را نشان می‌دهند.

### مشکلات حقوقی و مالکیت فکری

مهندسی معکوس نرم‌افزار معمولاً با محدودیت‌های قانونی و حقوقی گسترده‌ای همراه است. بسیاری از سیستم‌های نرم‌افزاری موجود در شرکت‌های بزرگ، تحت مجوزهای اختصاصی، قراردادهای توسعه یا توافق‌نامه‌های عدم افشا (NDA) طراحی و نگهداری می‌شوند. در چنین شرایطی، هرگونه تلاش برای تحلیل معکوس، استخراج کد منبع یا بازطراحی اجزای نرم‌افزار می‌تواند نقض حق مالکیت فکری محسوب شود [۶]. به‌ویژه در کشورهایی با نظام حقوقی سختگیرانه مانند ایالات متحده، قوانین

کپی‌رایت و پتنت می‌توانند مانع هرگونه مهندسی معکوس حتی با هدف بهبود سازگاری یا پایداری سیستم شوند [۳۵]. از سوی دیگر، محدودیت‌های بین‌المللی نیز موجب پیچیدگی بیشتر می‌شوند. در محیط‌های چندملیتی، تعریف و اجرای حقوق مالکیت نرم‌افزار می‌تواند میان کشورها متفاوت باشد و در نتیجه، دسترسی به کد یا داده‌های واقعی جهت تحلیل علمی محدود گردد [۳۲]. همچنین، تضاد میان نوآوری و حفاظت از مالکیت فکری چالشی فلسفی در این حوزه ایجاد کرده است. برخی محققان معتقدند که قوانین سختگیرانه‌ی IP، پیشرفت فناوری را کند می‌کنند زیرا مانع از یادگیری از سیستم‌های پیشین می‌شوند [۱۹]. در مقابل، گروهی دیگر بر این باورند که مهندسی معکوس بی‌رویه بدون رعایت مجوزها، ریسک سرقت فناوری و نقض حقوق مولف را افزایش می‌دهد. در این تحقیق نیز، به دلیل عدم دسترسی به داده‌های واقعی شرکت‌ها و محدودیت حقوقی تحلیل نمونه‌های صنعتی، بررسی‌های تجربی محدود به جنبه‌های نظری باقی مانده است.

## هزینه و زمان بر بودن

از منظر اقتصادی و اجرایی، بازمهندسی نرم‌افزار فرآیندی پرهزینه و زمان‌بر است که نیازمند منابع انسانی، زیرساختی و مالی قابل‌توجهی است [۳۳]. در گزارش‌های صنعتی آمده است که شرکت‌ها سالانه میلیاردها دلار صرف نگهداری و بازطراحی سیستم‌های قدیمی خود می‌کنند و در بسیاری از موارد، هزینه‌ی بازمهندسی از هزینه‌ی توسعه‌ی مجدد سیستم جدید نیز بیشتر است [۳۷]. عوامل متعددی در افزایش این هزینه موثرند. برای نمونه، نبود مستندات کافی، نیاز به تحلیل وابستگی‌ها، بازسازی مدل داده‌ها، بازطراحی معماری و آزمون‌های مکرر همه باعث افزایش زمان اجرای پروژه می‌شوند. هرچه ساختار کد قدیمی‌تر و پیچیده‌تر باشد، زمان تحلیل و اصلاح آن به‌صورت تصاعدی افزایش می‌یابد [۲۷]. به‌علاوه، یکی از مشکلات رایج در پروژه‌های بازمهندسی، برآورد نادرست هزینه و زمان است. بسیاری از سازمان‌ها در آغاز پروژه تخمین دقیقی از میزان بدهی فنی و سطح ناسازگاری فناوری ندارند؛ در نتیجه، با افزایش غیرمنتظره‌ی هزینه‌ها، پروژه در میانه‌ی راه متوقف یا محدود می‌شود [۹].

## تفسیر نادرست از منطق کد

در فرآیند بازمهندسی، درک صحیح از منطق درونی نرم‌افزار اهمیت حیاتی دارد. با این حال، بسیاری از سیستم‌های میراثی فاقد مستندات کامل هستند و مهندسان مجبورند رفتار سیستم را تنها از طریق تحلیل کد استنباط کنند. این امر منجر به تفسیر نادرست از منطق برنامه و روابط میان اجزای آن می‌شود [۲۲]. مطالعات نشان می‌دهند که درصد قابل‌توجهی از خطاهای به‌وجودآمده پس از بازمهندسی، ناشی از برداشت اشتباه از منطق کسب‌وکار و وابستگی‌های داخلی سیستم است [۲۶]. علاوه بر این، خروج



نیروهای کلیدی از سازمان و از بین رفتن دانش ضمنی باعث می شود که درک دقیق از چرایی و چگونگی تصمیمات گذشته از بین برود [۲۱]. ابزارهای خودکار تحلیل معنایی و مدل سازی معکوس هنوز در بسیاری از محیط های صنعتی به طور کامل توسعه نیافته اند، و این امر احتمال سوء برداشت از منطق کد را بیشتر می کند.

## ریسک های امنیتی

ریسک های امنیتی از مهم ترین موانع در مسیر باز مهندسی و باز طراحی نرم افزار محسوب می شوند. بسیاری از سیستم های قدیمی بر پایه ی فناوری ها و چارچوب هایی بنا شده اند که دیگر به روزرسانی نمی شوند [۱۷]. این وضعیت باعث می شود که آسیب پذیری های شناخته شده برای مدت طولانی در سیستم باقی بمانند و مهاجمان بتوانند از آن ها سوء استفاده کنند [۱۴]. در فرآیند باز مهندسی، این خطر وجود دارد که مهاجرت داده ها، تقسیم مازول ها یا اتصال سیستم های جدید با سیستم های قدیمی، مسیرهای جدیدی برای نفوذ ایجاد کند. همچنین، اگر فرآیند DevOps به درستی با الزامات امنیتی یکپارچه نشود، اتوماسیون نادرست می تواند دروازه هایی برای نفوذ به محیط تولید باز کند [۳]. یکی دیگر از چالش های امنیتی، ضعف در مدیریت وصله های امنیتی است. پژوهش Dissanayake و همکاران [۱۰] نشان می دهد که کمتر از ۲۰ درصد از سازمان ها فرآیند وصله گذاری خود را به صورت نظام مند و خودکار انجام می دهند، که این امر احتمال بروز آسیب پذیری در چرخه ی باز مهندسی را افزایش می دهد.

## ۴.۵ مطالعه موردی (Case Study)

### مثال از تحلیل معکوس یک سیستم قدیمی یا نرم افزار متن باز

یکی از مطالعات شاخص در این حوزه، پژوهش Reverse engineering a legacy software in a complex system: A systems engineering approach و Maximiliano Moraga است که توسط Yang-Yang Zhao در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است؛ در این تحقیق یک نرم افزار میراثی که در قالب بخشی از سیستم پیچیده ای قرار داشت، مورد تحلیل معکوس قرار گرفت تا دلیل شکل گیری ساختار، منطق عملکرد، و جایگاه آن در بستر کلی سیستم بازشناسی شود [۲۸]. در این مطالعه، تیم محققان با استفاده از مدل CAFCR (Customer Objectives – Application – Function – Component – Resources) و ابزارهای مهندسی معکوس، توانستند نقشه راه مرحله ای برای ارتقای تدریجی و همزمان نگهداری و توسعه نرم افزار میراثی تدوین کنند [۲۸]. به عنوان مثال، ابتدا نمودارهای رابطه ای

بین مؤلفه‌ها، وابستگی‌های زمان‌بر و حرکت از معماری مونوپولی به معماری ماژولار استخراج شد، سپس بر اساس آن تصمیماتی برای بهبود کارایی، ارتقای قابلیت نگهداری و افزون‌کردن کارکردهای جدید اتخاذ گردید [۲۸]. مطالعه دیگری تحت عنوان Case Studies in Model-Driven Reverse Engineering توسط A. Pascal و همکاران در سال ۲۰۱۹ ارائه شده است که در آن بازمهندسی سه نرم‌افزار عملیاتی با استفاده از رویکرد مدل‌محور بررسی شده است؛ در این نمونه، استخراج مدل‌های سطح بالا، تحلیل ماژول‌ها و طراحی مجدد با هدف کاهش فرسایش معماری انجام شده است [۳۰]. این مثال‌ها نشان می‌دهند که تحلیل معکوس در نرم‌افزارهای میراثی صرفاً جهت استخراج کد نیست، بلکه درک منطق کسب‌وکار، وابستگی‌های پنهان، و ساختار معماری را نیز امکان‌پذیر می‌کند؛ ولی همزمان باید توجه داشت که هر پروژه پژوهشی یا صنعتی با محدودیت‌ها و پیچیدگی‌های خاص خود مواجه است.

### بررسی خروجی‌های حاصل از فرآیند مهندسی معکوس

در پروژه Moraga Zhao، خروجی‌های مهمی حاصل شده است: از جمله بازسازی نمودار زمینه (con-text diagram) برای نرم‌افزار مورد بررسی، استخراج اهداف مشتریان، مشخص شدن معیارهای کیفیت در رابطه با بازار هدف و ترکیب آن با وابستگی فنی مؤلفه‌ها، که منجر به تدوین نقشه‌راه برای بازمهندسی تدریجی نرم‌افزار شد [۲۸]. این نقشه راه به شرکت امکان داد تا ضمن ادامه نگهداری سیستم قدیمی، به تدریج عملکردهای جدید را نیز افزوده و قابلیت نگهداری را ارتقا دهد. در مطالعه Pascal، یکی دیگر از خروجی‌های کلیدی، استخراج مدل‌های معماری (architecture models) و فرم‌های بصری وابستگی‌ها میان ماژول‌ها بود؛ این مدل‌ها کمک کردند تا مسیرهای پرتکرار تغییرات، نقاط بحرانی در سیستم و اجزایی که بیشترین پیچیدگی را داشتند شناسایی شوند [۳۰]. همچنین گزارش شده که این مدل‌سازی موجب کاهش هزینه نگهداری و کاهش فرسایش معماری شده است. علاوه بر این، خروجی‌های عملی دیگری نیز شامل مستندسازی بازگشتی (redocumentation) سیستم، بازیابی دانش ضمنی کارکنان قدیمی، انتقال آن به اعضای تیم جدید، کاهش وابستگی به افراد خاص، و آماده‌سازی سیستم برای استقرار روش‌های نوین مانند DevOps بود. به عنوان مثال، مکانیسم‌های اتوماسیون استقرار (CI/CD) و کانتینری‌سازی پس از مهندسی معکوس بهتر قابل پیاده‌سازی شدند زیرا ساختار ماژولار بهتر درک شده بود. با این حال، باید به این نکته نیز توجه شود که خروجی‌های مهندسی معکوس معمولاً به صورت کامل قابل تعمیم نیستند؛ یعنی مدل‌ها، نقشه‌ها و تصمیماتی که در یک سازمان حاصل شده، ممکن است در سازمان دیگر با زیرساختی متفاوت، قابل اجرا یا مؤثر نباشند. همچنین کیفیت خروجی‌ها وابسته به میزان دسترسی به کد، مستندسازی قبلی، همکاری تیم‌های پیشین، و ابزارهای تحلیل مورد استفاده است؛ در محیط‌هایی که مستندات کم است، خطای استخراج

#### ۴.۵. مطالعه موردی (CASE STUDY) فصل ۵. چرایی نیاز به مهندسی معکوس در تکامل نرم افزار

منطق می تواند زیاد شود.

## فصل ۶

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات آینده

### ۱.۶ مرور کلی یافته‌ها

در این گزارش، سیر تحول مهندسی نرم‌افزار از روش‌های ابتدایی و فاقد ساختار مانند «کد و فیکس»، به مدل‌های ساختارمند و خطی نظیر «آبشاری»، و در ادامه به رویکردهای تکرار شونده و تکاملی مانند مدل «افزایشی»، «مارپیچی» و در نهایت متدولوژی‌های «چابک» (Agile) و DevOps مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که هدف اصلی این تکامل، تبدیل توسعه نرم‌افزار از یک فعالیت تجربی به فرآیندی نظام‌مند برای مدیریت پیچیدگی و تولید سیستم‌های نرم‌افزاری قابل اعتماد و با کیفیت بالا بوده است. در فصل دوم، چالش‌های کلیدی در چرخه توسعه و تکامل نرم‌افزار شناسایی شدند. این مشکلات در سه دسته‌ای طبقه‌بندی شدند:

۱. **مشکلات سازمانی:** شامل ارتباطات ناکارآمد بین تیم‌ها، مستندسازی ضعیف و مدیریت ناکارآمد تغییرات.

۲. **مشکلات فنی:** شامل انباشت بدهی فنی (Technical Debt)، ناسازگاری با فناوری‌های جدید و چالش‌های ناشی از سیستم‌های قدیمی (Legacy Systems).

۳. **مشکلات انسانی (شامل فرسودگی تیم و فقدان مهارت‌های جدید):** مطالعات موردی پروژه‌های شکست‌خورده مانند LASCAD و Virtual Case File (VCF) نشان داد که عواملی چون تست ناکافی، طراحی ضعیف و مدیریت تغییرات کنترل‌نشده نقش مستقیمی در شکست پروژه‌های بزرگ داشته‌اند.

در فصل سوم، DevOps به‌عنوان یک فرهنگ، فلسفه و مجموعه‌ای از ابزارها معرفی شد که با

هدف یکپارچه سازی تیم های توسعه (Dev) و عملیات (Ops) و رفع شکاف میان آن ها پدید آمده است. نشان داده شد که DevOps با تکیه بر خودکارسازی فرآیندهای CI/CD و استفاده از ابزارهایی نظیر Docker، Kubernetes و Jenkins، منجر به افزایش سرعت تحویل نرم افزار، بهبود پایداری استقرارها و ارتقای کیفیت محصول می شود. با این حال، چالش هایی نظیر مقاومت فرهنگی و پیچیدگی فنی ابزارها نیز در مسیر استقرار آن وجود دارد.

در نهایت، فصل چهارم به ضرورت باز طراحی (Reengineering) در چرخه عمر نرم افزار پرداخت. دلایل اصلی این نیاز، مواردی چون ضعف معماری اولیه (مانند الگوی ضد طراحی «توپ گلی بزرگ» (BBoM)، منسوخ شدن فناوری ها و انباشت بدهی فنی است؛ بدهی فنی می تواند هزینه ی فرصت سنگینی ایجاد کند، به طوری که توسعه دهندگان حدود ۴۲٪ از هفته کاری خود را صرف رسیدگی به آن می کنند. تکنیک هایی مانند بازآرایی (Refactoring)، مهندسی معکوس (Reverse Engineering) و مهاجرت (Migration) به عنوان ابزارهای کلیدی معرفی شدند. همچنین مشخص شد که استفاده از ابزارهای نوین هوش مصنوعی می تواند فرآیند مهندسی معکوس سیستم های قدیمی را تسریع بخشد. در اجرای بازطراحی، استراتژی های مهاجرت افزایشی (مانند «الگوی انجیر خفه کننده») ریسک بسیار کمتری نسبت به رویکرد «انفجار بزرگ» دارند. مطالعات موردی نشان داد که بازطراحی می تواند اهداف استراتژیک متفاوتی داشته باشد؛ از بهبود تجربه کاربری و شخصی سازی (مانند اپلیکیشن PayPal) تا یکپارچه سازی خدمات بانکی و ابزارهای عملیاتی برای پاسخ به نیازهای بازار (مانند نئو بانک فوربیکس). تصمیم گیری نهایی برای باز طراحی نیازمند ارزیابی دقیق معیارهایی چون هزینه، زمان، ریسک و تأثیر بر کیفیت است.

## ۲.۶ تأثیر DevOps و بازطراحی بر پایداری نرم افزار

پایداری نرم افزار، به معنای توانایی سیستم برای ادامه عملکرد صحیح و قابلیت تکامل در طول زمان، به شدت تحت تأثیر چالش های نگهداری است. بخش عمده ای از هزینه های چرخه عمر نرم افزار (حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد) صرف نگهداری و تکامل می شود. همچنین، هزینه های پنهان ناشی از بدهی فنی، پایداری بلندمدت پروژه ها را تهدید می کند.

رویکردهای DevOps و بازطراحی، راهکارهای مستقیمی برای افزایش پایداری و کاهش این هزینه ها ارائه می دهند. DevOps با خودکارسازی فرآیندهای تست و ادغام (CI)، باعث کشف سریع خطاها در مراحل اولیه توسعه می شود. این امر هزینه های نگهداری بلندمدت را به طور قابل توجهی کاهش می دهد. فرهنگ DevOps مبتنی بر چرخه های بازخورد سریع و مسئولیت مشترک است؛ رویکردی مانند "You build it, you run it" در آزمون تضمین می کند که توسعه دهندگان به پایداری محصول

پس از استقرار نیز متعهد باشند، که این امر مستقیماً به ارتقای کیفیت و پایداری سیستم کمک می‌کند.

از سوی دیگر، بازطراحی برای پایداری سیستم‌های قدیمی (Legacy Systems) که اغلب پیچیده و فاقد مستندات هستند، حیاتی است. تکنیک‌هایی مانند Refactoring با بهبود ساختار داخلی کد و افزایش خوانایی، قابلیت نگهداری سیستم را افزایش داده و هزینه اصلاح بدهی فنی را در بلند مدت کاهش می‌دهد. مهاجرت (Migration) نیز به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا از فناوری‌های منسوخ که دارای ریسک‌های امنیتی و عملیاتی هستند، فاصله بگیرند.

در مجموع، DevOps فرآیند تکامل و تحول مداوم را ممکن می‌سازد، در حالی که بازطراحی تضمین می‌کند که پایه‌های فنی سیستم برای این تکامل مستمر، مستحکم و قابل نگهداری باقی بمانند.

## ۳.۶ توصیه‌ها برای تیم‌های مهندسی نرم‌افزار

بر اساس یافته‌های این گزارش و چالش‌های مطرح شده در فصول قبل، توصیه‌های زیر برای تیم‌های مهندسی نرم‌افزار جهت بهبود فرآیندهای توسعه، نگهداری و تکامل نرم‌افزار ارائه می‌گردد:

۱. **پذیرش فرهنگ DevOps فراتر از ابزارها:** به یاد داشته باشید که DevOps پیش از هر چیز یک تغییر فرهنگی است. بر شکستن سیلوها (تیم‌های ایزوله)، ایجاد ارتباط ارتباط باز، همکاری میان‌تیمی و مسئولیت مشترک تمرکز کنید تا مقاومت‌های فرهنگی کاهش یابد.

۲. **بازطراحی به عنوان یک فرصت استراتژیک:** بازطراحی را نه فقط یک رفع نقص فنی، بلکه یک فرصت استراتژیک برای بازنگری در مدل کسب‌وکار (مانند فوربیکس) یا بهبود چشمگیر تجربه کاربری (مانند پی‌پال) در نظر بگیرید.

۳. **مدیریت فعال بدهی فنی:** بدهی فنی را به عنوان بخشی از فرآیند بپذیرید اما برای بازپرداخت آن برنامه‌ریزی منظم داشته باشید. برای توجیه اقتصادی بازطراحی، از معیارهای کمی مانند «نسبت بدهی فنی» (TDR) و محاسبه‌ی هزینه‌ی فرصت ناشی از زمان صرف شده بر روی بدهی فنی (حدود ۴۲٪) استفاده کنید.

۴. **اجرای فرآیندهای مدیریت تغییر (change Management):** برای جلوگیری از آشفتگی و ناسازگاری‌های ناشی از تغییرات کنترل نشده (که عامل شکست پروژه‌هایی چون LASCAD بود)،

فرآیندهای رسمی مدیریت تغییر را پیاده‌سازی کنید. این فرآیند باید شامل مستندسازی تغییرات، تحلیل تاثیر و تست پیش از اجرا باشد.

۵. **سرمایه‌گذاری بر خودکارسازی (CI/CD):** از ابزارهای ادغام مداوم (CI) و تحویل مداوم (CD) مانند Jenkins یا GitLab CI/CD برای خودکارسازی ساخت، تست و استقرار استفاده کنید. این کار به کشف سریع خطاها و افزایش پایداری استقرارها کمک شایانی می‌کند.

#### ۶. برنامه‌ریزی استراتژیک برای سیستم‌های قدیمی (Legacy)

- **مهاجرت افزایشی:** در مواجهه با سیستم‌های حیاتی، از استراتژی‌های پرخطر «انفجار بزرگ» پرهیز کرده و از «الگوی انجیر خفه‌کننده» (Strangler Fig Pattern) برای مهاجرت افزایشی و کم‌ریسک استفاده کنید.

- **مهندسی معکوس هوشمند:** برای درک ساختار سیستم‌های قدیمی فاقد مستندات، از ابزارهای مدرن هوش مصنوعی به عنوان «ابزار باستان‌شناسی» برای تسریع فرآیند تحلیل کد و مهندسی معکوس بهره ببرید.

۷. **توجه به عوامل انسانی و آموزش مستمر:** موفقیت پروژه به عوامل انسانی نیز وابسته است. با ایجاد فرهنگ کاری سالم از فرسودگی تیم جلوگیری کنید. با سرمایه‌گذاری بر آموزش و اشتراک دانش، مهارت‌های مورد نیاز برای فناوری‌های نوین را در تیم تقویت نمایید.

۸. **مستندسازی به عنوان یک دارایی کلیدی:** با مستندسازی ضعیف که فرآیندهای نگهداری و ورود اعضای جدید به تیم را مختل می‌کند، مقابله کنید. مستندات باید به عنوان منبع حیاتی دانش سازمان تلقی شده و شامل مستندات سیستم، فرآیند و تصمیمات طراحی باشند.

## ۴.۶ مسیرهای تحقیقاتی و آموزشی آینده

با توجه به چالش‌ها و روندهای بررسی‌شده، به‌ویژه در فصول ۳ و ۴، مسیرهای زیر برای تحقیقات و آموزش‌های آتی در حوزه مهندسی نرم‌افزار پیشنهاد می‌شود:

۱. **امنیت در چرخه‌های خودکار (DevSecOps):** همان‌طور که در چالش‌های استقرار DevOps اشاره شد، افزایش سرعت استقرار می‌تواند نگرانی‌های امنیتی ایجاد کند. تحقیقات و آموزش‌های آینده باید بر ادغام یکپارچه امنیت در تمام مراحل چرخه عمر نرم‌افزار (رویکرد DevSecOps) و روش‌های مدیریت خودکار دسترسی‌ها و داده‌های حساس متمرکز شوند.

۲. **کاربرد هوش مصنوعی در بازمهندسی نرم‌افزار:** علاوه بر استفاده‌ی فعلی از AI در درک کد، مسیرهای تحقیقاتی آینده باید بر توسعه و ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی برای خودکارسازی فرآیند مهندسی معکوس، استخراج منطق تجاری از کدهای قدیمی، شناسایی الگوهای ضد طراحی و تولید خودکار مستندات فنی برای سیستم‌های Legacy متمرکز شوند.

۳. **مدیریت پیچیدگی ابزارها و زیرساخت‌های DevOps:** یکی از موانع استقرار DevOps پیچیدگی فنی ابزارهایی مانند Kubernetes و Terraform و بار آموزشی سنگین آن‌هاست. تحقیقات آتی می‌تواند بر «ساده‌سازی تعامل» با این ابزارها متمرکز باشد؛ چه از طریق توسعه‌ی پلتفرم‌های سطح بالاتر (PaaS) که به عنوان یک لایه‌ی انتزاعی عمل کرده و پیچیدگی‌های زیرساخت را از توسعه‌دهنده پنهان می‌کنند، و چه از طریق ایجاد روش‌های مدیریتی هوشمندتر و ابزارهای کمکی برای مدیریت بهینه‌ی خود این زیرساخت‌های پیچیده.

۴. **توسعه‌ی چارچوب‌های آموزشی و تحقیقاتی برای جنبه‌های انسانی DevOps:** با توجه به اینکه «مقاومت فرهنگی» یکی از مهم‌ترین موانع در استقرار موفق DevOps شناسایی شده است، یک خلاء تحقیقاتی و آموزشی آشکار وجود دارد. برنامه‌های آموزشی فعلی اغلب بیش از حد بر ابزارها متمرکز هستند. لذا، مسیرهای تحقیقاتی آینده باید بر توسعه و ارزیابی «مدل‌های مدیریت تغییر» و «تکنیک‌های روانشناسی سازمانی» متمرکز شوند که گذار فرهنگی به DevOps را تسهیل می‌کنند. همچنین، مسیرهای آموزشی آینده باید چارچوب‌هایی مدون برای آموزش مهارت‌های نرم (Soft Skills)، مانند ایجاد فرهنگ گزارش‌دهی بدون سرزنش (Blameless Postmortem) و همکاری بین‌تیمی، در کنار آموزش‌های فنی ارائه دهند.

۵. **الگوهای پیشرفته بازطراحی و مدیریت داده در مهاجرت:** با توجه به اهمیت حیاتی سیستم‌های قدیمی (مانند سیستم‌های Core Banking)، نیاز به الگوها و استراتژی‌های اثبات‌شده برای مدرن‌سازی آن‌ها وجود دارد. تحقیقات آینده می‌تواند بر توسعه‌ی مدل‌هایی برای ارزیابی دقیق ریسک، هزینه و زمان در سناریوهای مختلف بازطراحی، و همچنین تحقیق بر روی الگوهای مدیریت سازگاری داده‌ها (مانند Saga و Idempotency) در طول مهاجرت افزایشی به معماری میکروسرویس تمرکز کند.

۶. **بهبود فرآیندها مبتنی بر داده‌های مانیتورینگ (AIOps):** با گسترش ابزارهای نظارت و بازخورد مانند Prometheus و Sentry، فرصت‌های جدیدی برای استفاده از هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های عملیاتی جهت بهبود مستمر فرآیندهای توسعه و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شاخص‌های کمی (مانند SLOs) فراهم آمده است که نیازمند تحقیق و توسعه‌ی بیشتر است.



## فصل ۷

# دیباک (Debugging) و اشکال‌زداها (Debuggers)

### ۱.۷ تعریف اشکال‌زداها

### ۲.۷ انواع آن‌ها

### ۳.۷ ابزارهای تجاری و غیرتجاری

با توجه به اینکه چشم‌انداز تهدیدات سایبری روز به روز «پیچیده‌تر و خطرناک‌تر» می‌شود، نقش این ابزارها در تشریح، ممیزی، دیباگینگ و مقابله با تهدیدات، محوری و حیاتی است. آژانس امنیت ملی ایالات متحده (NSA) در توصیف چارچوب Ghidra، بر اهمیت این ابزارها در تحلیل کدهای مخرب و ایجاد بینش عمیق برای درک آسیب‌پذیری‌های بالقوه در شبکه‌ها و سیستم‌ها تأکید می‌کند. [۲۹] در واقع، این ابزارها دیگر یک کنجکاوی آکادمیک نیستند، بلکه یک ضرورت استراتژیک در دفاع سایبری محسوب می‌شوند. مطالعه ابزارهای مختلف و امکان ترکیب آن‌ها برای بهره‌گیری از هم‌افزایی (Synergies) جهت بهبود تشخیص آسیب‌پذیری، یک حوزه تحقیقاتی فعال است. [۳۶]

### ۱.۳.۷ طبقه‌بندی متدولوژیک ابزارها

درک این اکوسیستم پیچیده، نیازمند یک طبقه‌بندی سه‌گانه بر اساس عملکرد اصلی و جایگاه تاریخی ابزارها است:

۱. **چارچوب‌های تحلیل جامع (SRE Frameworks):** این‌ها پلتفرم‌های یکپارچه‌ای هستند که اکوسیستم کاملی برای تحلیل استاتیک (بررسی کد بدون اجرا) و تحلیل دینامیک (بررسی کد در حین اجرا) ارائه می‌دهند. ابزارهای اصلی در این دسته شامل **Pro IDA**، **Ghidra**، **Binary Ninja** و **Radare ۲** می‌باشند. [۸] این چارچوب‌ها هسته اصلی تحقیقات مدرن SRE را تشکیل می‌دهند.

۲. **دیباگرهای تخصصی (Specialist Debuggers):** ابزارهایی که منحصراً بر تحلیل دینامیک (مشاهده برنامه در حین اجرا) تمرکز دارند، مانند **GDB**، **WinDbg** و **x64dbg**.

۳. **ابزارهای میراث (Legacy Tools):** ابزارهایی مانند **OllyDbg** که زمانی استاندارد صنعتی بودند اما اکنون توسعه آن‌ها متوقف شده و با جایگزین‌های مدرن تعویض شده‌اند.

روند کلیدی در این اکوسیستم، «همگرایی» (Convergence) است. مرز بین تحلیل استاتیک و دینامیک در حال از بین رفتن است؛ چارچوب‌های استاتیک (مانند IDA) دیباگرهای قدرتمندی اضافه کرده‌اند و دیباگرها (مانند x64dbg) قابلیت‌های تحلیل استاتیک پایه را ارائه می‌دهند.

### ۲.۳.۷ بررسی چارچوب‌های جامع (SRE Frameworks)

این پلتفرم‌ها راه‌حل‌های کاملی برای مهندسی معکوس ارائه می‌دهند.

#### IDA Pro (Interactive Disassembler)

Pro IDA استاندارد تثبیت‌شده و تجاری صنعت برای تحلیل استاتیک است. شهرت آن به دلیل دیس‌اسمبلر فوق‌العاده قدرتمند با پشتیبانی از ده‌ها معماری و دکامپایلر پیشرو (و بسیار گران‌قیمت) **Hex-Rays** است. IDA همچنین شامل یک دیباگر چند پلتفرمی توانا است و از طریق **IDA Python** به شدت قابل توسعه می‌باشد. هزینه بسیار بالا، مانع اصلی ورود به آن است. [۸]

## Ghidra

Ghidra چارچوب SRE رایگان و متن‌بازی است که توسط NSA توسعه یافته و رقیب اصلی IDA محسوب می‌شود. بزرگترین مزیت آن، ارائه یک **دکامپایلر داخلی بسیار باکیفیت به صورت رایگان** برای تمام معماری‌های پشتیبانی‌شده است. Ghidra همچنین قابلیت‌های قوی برای تحلیل تیمی و همزمان (Collaboration) دارد. این ابزار مبتنی بر جاوا است که می‌تواند منجر به مصرف حافظه بالا و رابط کاربری کندتر نسبت به رقبای بومی (Native) شود. [۲۹]

## Ninja Binary

Ninja Binary یک پلتفرم تجاری مدرن است که با تمرکز بر **رابط کاربری تمیز**، سرعت بالا و یک **API قدرتمند (API-First)** برای اتوماسیون خود را متمایز می‌کند. ستون فقرات آن، زبان میانی (BNIL) است که نوشتن اسکریپت‌های تحلیلی پیچیده را آسان می‌کند. دکامپایلر باکیفیت آن در قیمت پایه (که از IDA ارزان‌تر است) گنجانده شده و های‌API آن در Python، C++ و Rust در دسترس هستند. [۴] [۸]

## Radare2 (R2)

R۲ یک چارچوب مهندسی معکوس رایگان، متن‌باز و با رویکرد «اول خط فرمان» (CLI-first) است. این ابزار به دلیل ماژولار بودن، قابلیت حمل فوق‌العاده (عالی برای IoT و موبایل) و قدرت خام، محبوب پژوهشگران پیشرفته است. R۲ **منحنی یادگیری بسیار شیب‌داری** دارد، اما رابط گرافیکی **Cutter** استفاده از آن را آسان‌تر کرده است. R۲ برای دکامپایل با کیفیت، به پلاگین‌های خارجی (مانند r2ghidra که از موتور Ghidra استفاده می‌کند) متکی است. [۸]

## ۳.۳.۷ دیباگرهای تخصصی: هنر تحلیل دینامیک

این ابزارها بر تحلیل دینامیک و کنترل اجرای برنامه متمرکز هستند.

### GDB (The GNU Debugger)

GDB دیباگر استاندارد و قابل حمل در اکوسیستم‌های Unix-like (مانند Linux) است. این ابزار رایگان و متن‌باز، ستون فقرات دیباگینگ در این پلتفرم‌ها است و از طیف وسیعی از زبان‌ها و معماری‌ها (x۸۶، MIPS، ARM، RISC-V) پشتیبانی می‌کند. قدرت اصلی آن در قابلیت **دیباگینگ از راه دور (Remote Debugging)** (حیاتی برای سیستم‌های نهفته) و اسکریپت‌پذیری (Python API) است. رابط کاربری پیش‌فرض آن خط فرمان (CLI) است. [۳۱]

### WinDbg (Windows Debugger)

WinDbg ابزار رسمی و رایگان مایکروسافت برای دیباگینگ عمیق در ویندوز است. تخصص اصلی و غیرقابل جایگزین آن، **تحلیل سطح هسته (Kernel-mode)**، درایورها و تحلیل **dump crash** (فایل‌های BSOD) است. قابلیت منحصربه‌فرد **Time Travel Debugging (TTD)**، که امکان ضبط و اجرای معکوس اجرای برنامه را می‌دهد، آن را برای یافتن باگ‌های پیچیده بی‌نظیر می‌سازد. منحنی یادگیری آن بسیار شیب‌دار است. [۲۳]

#### x64dbg

x64dbg جایگزین مدرن، رایگان و متن‌باز برای OllyDbg است. این ابزار بر دیباگینگ **user-mode** برنامه‌های ۳۲ بیتی (x86) و ۶۴ بیتی (x64) در **ویندوز** تمرکز دارد. به دلیل رابط کاربری آشنا (شبیه به IDA و OllyDbg) و توسعه فعال، به انتخاب اول بسیاری از مهندسان معکوس و تحلیلگران بدافزار برای تحلیل دینامیک در ویندوز تبدیل شده است. [۸]

### OllyDbg (میراث)

OllyDbg برای سال‌ها استاندارد طلایی دیباگینگ **user-mode** ۳۲ بیتی در ویندوز بود. توسعه این ابزار متوقف شده و به دلیل **عدم پشتیبانی از ۶۴ بیت**، کاملاً منسوخ تلقی می‌شود. این ابزار به طور کامل توسط x64dbg جایگزین شده است. [۸]

### ۴.۳.۷ تحلیل مقایسه‌ای و جمع‌بندی

انتخاب ابزار مناسب به سناریوی مورد استفاده، بودجه و ترجیح کاربر (GUI) vs (CLI) بستگی دارد.

#### جدول مقایسه جامع

جدول ۱.۷ یک نمای کلی و مقایسه‌ای از ویژگی‌های کلیدی، هزینه‌ها و موارد استفاده ابزارهای مورد بحث ارائه می‌دهد.

ویژگی	Pro IDA	Ghidra	Ninja Binary	Cut- (w/ ۲Radare ter)	x64dbg	WinDbg	GDB	(Legacy) OllyDbg
کارکرد اصلی	چارچوب SRE	چارچوب SRE	چارچوب SRE	چارچوب SRE	دیباگر تخصصی	دیباگر تخصصی	دیباگر تخصصی	دیباگر تخصصی
تحلیل اصلی	استاتیک (قوی) / دینامیک	استاتیک (قوی) / دینامیک (با پل)	استاتیک (قوی) / دینامیک	استاتیک / دینامیک	دینامیک (قوی) / استاتیک (پایه)	دینامیک (بسیار قوی)	دینامیک (بسیار قوی)	دینامیک
پلتفرم ابزار	Win/Mac/Linux	Win/Mac/Linux (جاوا)	Win/Mac/Linux	Mac/Linux/Mobile	Windows	Windows	Win/- Unix-like Mac/Linux	فقط Windows
دیباگ کرنل؟	بله (Remote)	خیر (از طریق پل GDB)	خیر	بله (Remote)	خیر	بله (تخصص اصلی)	بله (Remote)	خیر
دکامپایلر؟	بله (Hex-Rays، پولی)	بله (داخلی، رایگان)	بله (داخلی، در قیمت پایه)	بله (پلاگین r2pipe r2ghidra)	خیر (پلاگین ضعیف)	خیر	خیر	خیر
اسکرپت‌نویسی	IDC، IDAPython، C++	Python، Java، (Jython)	Python، Rust، C++	r2pipe (چند زبانه)	C++، زبان داخلی،	JavaScript، NatVis	Guile Python،	پلاگین (C)
هزینه و مجوز	تجاری (بسیار گران)	رایگان (Apache ۲.۰)	تجاری (مختلف)	رایگان (LGPLv۳)	رایگان (GPLv۳)	رایگان (بخشی از SDK)	رایگان (GPL)	رایگان (Share-ware)
بهترین مورد استفاده	تحلیل استاتیک عمیق	تحلیل استاتیک رایگان، همکاری	اتوماسیون first API-	هک و تحلیل CLI	دیباگ User-mode ویندوز	دیباگ کرنل ویندوز، TTD	دیباگ Unix/Linux	دیباگ (میراث) ۳۲ بیتی

جدول ۱.۷: جدول مقایسه جامع ابزارهای مهندسی معکوس و دیباگینگ

## توصیه‌های سناریو محور

انتخاب ابزار بهینه مستقیماً به وظیفه پیش رو بستگی دارد:

### • سناریو ۱: تحلیل بدافزار مدرن ویندوز (۶۴ بیتی)

- گردش کار پیشنهادی: ترکیب Ghidra یا Pro IDA (برای تحلیل استاتیک و دکامپایل) با x64dbg (برای تحلیل دینامیک، آنپک کردن و پیچ).
- توضیح: IDA/Ghidra تصویر بزرگ را ارائه می‌دهند؛ x64dbg بهترین ابزار تعاملی رایگان برای مشاهده رفتار واقعی بدافزار در user-mode است.

### • سناریو ۲: توسعه اکسپلویت و آسیب‌پذیری در لینوکس

- گردش کار پیشنهادی: GDB (اغلب با افزونه‌هایی مانند GEF/PEDA) به همراه Binary Ninja یا Radare ۲ (برای تحلیل استاتیک، یافتن گجت‌های ROP و اسکریپت‌نویسی).
- توضیح: GDB ابزار بومی و ضروری برای دیباگینگ در لینوکس است. Binja و R۲ قابلیت‌های اسکریپت‌نویسی قوی‌تری برای اتوماسیون تحلیل ارائه می‌دهند.

### • سناریو ۳: دیباگینگ درایور یا کرنل ویندوز

- گردش کار پیشنهادی: WinDbg.
- توضیح: این ابزار در این حوزه (دسترسی به کرنل، نمادها و TTD غیرقابل جایگزین است).

### • سناریو ۴: تحلیل مقیاس بزرگ و اتوماسیون (Vulnerability Research)

- گردش کار پیشنهادی: Binary Ninja یا Pro IDA (با لایسنس‌های headless).
- توضیح: تمرکز این سناریو بر API است. API مدرن Binary Ninja و API بالغ IDAPython امکان تحلیل خودکار هزاران باینری را فراهم می‌کنند.

### • سناریو ۵: یادگیری مهندسی معکوس (با بودجه محدود)

- گردش کار پیشنهادی: Ghidra (برای تحلیل استاتیک و دکامپایل) به همراه x64dbg (برای دیباگینگ ویندوز) و Radare Cutter (۲) (برای آشنایی با پلتفرم‌های دیگر).
- توضیح: این ترکیب ۱۰۰٪ رایگان است و تمام جنبه‌های کلیدی (استاتیک، دکامپایل و دینامیک) را پوشش می‌دهد.

## ۴.۷ نحوه کارکرد IDA-Pro و x64dbg

## ۵.۷ مشکلات و محدودیت‌های ابزارهای دیباگ

### محدودیت‌های فنی:

#### ۱. عملکرد پایین در فایل‌های بزرگ

بارگذاری نقشه‌های حافظه، تحلیل گراف فراخوانی/کنترل و به‌روزرسانی نماهای گرافیکی در پروژه‌های حجیم، به‌ویژه در IDA و x64dbg، موجب تأخیر محسوس، مصرف زیاد RAM و UI غیرپاسخ‌گو می‌شود. این مسئله در باینری‌های فشرده یا دارای تعداد زیاد DLL/so تشدید می‌شود. [۳۴، ۱۵]

#### ۲. نیاز به سمبل‌ها

در غیاب PDB/DWARF یا هنگام mismatch نسخه سمبل‌ها (رایج در WinDbg) شناسایی توابع، ساختارها و بازسازی Stack-Trace ناپایدار و خطاپذیر می‌شود. بهینه‌سازی‌های شدید کامپایلر (Inlining/حذف Frame Pointer) نیز مسیر قابل‌دیباگ را محو می‌کند. [۷، ۱۱]

#### ۳. کرش/بی‌ثباتی در دیباگ چندریسمانی (Multi-Thread)

وقفه نرم‌افزاری (INT3) زمان‌بندی نخ‌ها را تغییر می‌دهد؛ گاه باعث محوشدن یا ایجاد Race می‌شود. اعمال Breakpoint سراسری روی همه نخ‌ها ممکن است Deadlock، توقف ناخواسته یا حتی کرش ابزار را رقم بزند. هماهنگ‌سازی step-over/into بین نخ‌ها نیز در برخی ابزارها قابل اتکا نیست. [۳۴، ۷]

#### ۴. محدودیت انواع Breakpoint

رجیسترهای سخت‌افزاری (DR0-DR3) تعداد محدودی Watchpoint می‌دهند؛ Breakpoint نرم‌افزاری بایت کد را تغییر می‌دهد و توسط ضددیباگ‌ها شناسایی می‌شود؛ Page-Guard پوشش کامل ندارد و سربار ایجاد می‌کند. [۳۴، ۱۸]

#### ۵. قیود سطح کرنل و وابستگی به پلتفرم

دیباگ Kernel-Mode نیازمند دسترسی‌های ویژه، Secure-Boot سازگار و سمبل‌های نسخه‌همخوان است؛ کوچک‌ترین عدم همخوانی، تحلیل Stack و Context را بی‌اعتبار می‌کند. [۲۵، ۱۵]



## تکنیک‌های ضد دیباگ (Anti-Debugging) و مشکلات امنیتی:

### ۱. تشخیص دیباگر

API‌های رایج: `NtQueryInformationProcess`, `CheckRemoteDebuggerPresent`, `IsDebuggerPresent` (پرچم‌های `ProcessDebugPort/ProcessDebugFlags`)، بررسی رجیسترهای `DRx`.  
مصنوعات: حضور پنجره/فرآیند شناخته شده (`IDA, x64dbg`)، وجود هندل‌های مشکوک، نام‌گذاری `Pipe/Mutex` خاص. چک یکپارچگی بایت‌ها برای شناسایی `INT3`. [۳۴، ۳۸، ۱۸]

### ۲. آنتی-Attach و آنتی-Hook

استفاده از `CreateProcess` با فلگ‌های خاص، محافظت از نخ‌ها، تغییر `ACL` روی اشیاء کرنلی، یا اختصاص دادن استثناها به هندلر داخلی (`SEH`) برای بی‌اثر کردن وقفه‌های دیباگر. [۳۴، ۷، ۲۵]

### ۳. آنتی-Single-Step و زمان‌سنجی

بررسی `Trap Flag`، استفاده از `QueryPerformanceCounter/RDTSC` برای کشف تأخیر `stepping`، اندازه‌گیری شکست‌های کش و شاخه‌ها. برخی برنامه‌ها با شناسایی کمترین انحراف زمانی، مسیر بدیل/بن‌بست اجرا می‌کنند. [۳۴، ۱۸، ۲۴]

### ۴. کد خود-تغییرده/پک‌شده (Self-modifying / Packed)

آنپک/دی‌کریپت در زمان اجرا باعث می‌شود `break` روی بخش‌های «قبل از گسترش کد» بی‌اثر باشد. تغییر مداوم نقشه حافظه، آدرس‌ها و `CRC-check`ها ممانعت اضافی ایجاد می‌کند. [۳۴، ۵]

### ۵. سوءاستفاده از ویژگی‌های زبان/سیستم

`TLS Callbacks`، اتصالات تأخیری (`delay-load`)، `inline syscalls`، و تکنیک‌های `SEH-Obfuscation` مسیر کنترل را پنهان می‌کنند و بازسازی جریان (`Control-Flow`) را دشوار می‌سازند. [۵، ۷]

### ۶. ریسک‌های امنیتی محیط تحلیل

اجرای نمونه‌های ناشناس (به‌خصوص بدافزار) در دیباگر ممکن است به فرار از `VM`، آلودگی میزبان یا افشای شبکه منجر شود؛ پیکربندی نادرست `snapshot/aisolیشن` و پوشه‌های اشتراکی ریسک را بالا می‌برد. [۳۴، ۷]

## محدودیت‌های قانونی یا اخلاقی در استفاده از ابزارهای خاص:

**مجوز و حق مؤلف** – مهندسی معکوس برای سازگاری/آموزش در برخی حوزه‌ها معافیت دارد، ولی دور زدن سازوکارهای حفاظت (Obfuscation/DRM) در بسیاری نظام‌های حقوقی می‌تواند نقض قانون باشد. [۵]

**مالکیت داده و حریم خصوصی** – دیباگ روی داده‌های کاربران/شرکت‌ها باید با مجوز صریح، محیط ایزوله و سیاست نگهداشت انجام شود. [۳۴]

**ایمنی آزمایشگاه** – تحلیل بدافزار یا ابزارهای با کارکرد دوگانه بدون رویه‌های استاندارد (شبکه بسته، snapshots no-internet، عدم استفاده از حساب‌های اصلی) غیرمسئولانه است. [۳۴]

**افشای مسئولانه** – کشف آسیب‌پذیری در حین دیباگ باید طبق خطوط‌مشی افشای مسئولانه و هماهنگی با ذی‌نفعان انجام شود. [۷]

## کتابنامه

- [۱] .۲۰۲۲ devops, to agile to waterfall From history: development Software
- [۲] .۲۰۲۵ (sdlc). cycle life development Software
- [۳] .۲۰۲۵ mitigations, and risks Key software: legacy using in Vulnerabilities Atiba.
- [۴] ninja. Binary Ninja. Binary
- [۵] obfus- of taxonomy A Low. Douglas and Thomborson. Clark Collberg. Christian
- .۱۹۹۷ Auckland, of University report, Technical transformations. cating
- National Software. in Issues Property Intellectual Council. Research National [۶]
- .۱۹۹۱ D.C., Washington, Press, Academies
- Practical Josse. Sebastien and Bachaalany, Elias Gazet, Alexandre Dang, Bruce [۷]
- Ob- and Tools, Reversing Kernel, Windows ARM, x۶۴, x۸۶, Engineering: Reverse
- .۲۰۱۴ Wiley, fuscation.
- com- cons pros, Features, :۲۰۲۵ in tools engineering reverse ۱۰ Top devopsschool. [۸]
- .۲۰۲۵ parison,
- .۲۰۲۵ them, avoid to how & systems legacy maintaining of costs V DevSquad. [۹]
- security Software Babar. Ali M. and Zahedi, M. Jayatilaka, A. Dissanayake, N. [۱۰]
- approaches, challenges, of review literature systematic a — management patch
- .۲۰۲۰ preprint, arXiv practices. and tools
- .۲۰۰۳ McGraw-Hill, Engineering. Reverse of Secrets Reversing: Eagle. Eldad [۱۱]

- [۱۲] <https://www.geeksforgeeks.org/blogs/best-practices-for-data-migration/>, ۲۰۲۵. تاریخ دسترسی: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱. Best GeeksforGeeks. migration. data for practices
- [۱۳] <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering-reverse-engineering/>, ۲۰۲۵. تاریخ دسترسی: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱. GeeksforGeeks. Reverse engineering. software in engineering
- [۱۴] How HeroDevs. [۱۴] cyber modern fueling are software legacy and systems outdated attacks, ۲۰۲۴.
- [۱۵] Binaries), Large on (Performance View Graph and Debugger Pro IDA Hex-Rays. [۱۵] manual. Online ۲۰۲۰.
- [۱۶] <https://www.ibm.com/think/topics/code-refactoring> refactoring. Code IBM. [۱۶] ۲۰۲۵. تاریخ دسترسی: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱.
- [۱۷] risk security cyber ticking a is hardware and software legacy How Integrity۳۶۰. [۱۷] ۲۰۲۳ time-bomb.
- [۱۸] Reg- Debug Manual: Developer's Software Architectures IA-۳۲ and ۶۴ Intel Intel. [۱۸] manual. Online ۳ Volume ۲۰۱۹ Flag, Trap RDTSC, isters,
- [۱۹] minimize and restrictions Understanding law: engineering Reverse Watchdog. IP [۱۹] ۲۰۲۱ risks.
- [۲۰] Understanding practice: to theory From Kumar. S. and Kumar, K. Jha, Saurabh [۲۰] ۲۰۲۳, ۲۲۵۱۷۵۸:(۱)۱۰ Engineering, Cogent mindset. and culture devops
- [۲۱] ap- and models concepts, re-engineering software of Overview Journal. JoIV [۲۱] ۲۰۲۳ proaches,
- [۲۲] and debt technical in Lessons product: the becomes code legacy When Medium. [۲۲] ۲۰۲۳ opportunities, missed
- [۲۳] ۲۰۲۵ windbg?, is What microsoft. [۲۳]
- [۲۴] ETW/Perf. Resolution. Timer and QueryPerformanceCounter Docs. Microsoft [۲۴] manual. Online ۲۰۱۹

Debugging), Kernel (Symbols, WinDbg with Debugging Windows Docs. Microsoft [۲۵]  
manual. Online .۲۰۲۰

during logic business misinterpreting of risks biggest The Blog. AI ModelCode [۲۶]  
.۲۰۲۴ modernization, legacy

.۲۰۲۲ mitigations, and Risks re-engineering: software Legacy ModLogix. [۲۷]

complex a in software legacy a engineering Reverse Zhao. Y. and Moraga M. [۲۸]  
Symposium, International INCOSE In approach. engineering systems A system:  
.۲۰۱۸, ۱۲۶۴–۱۲۵۰ pages, ۲۸ volume

.- framework, engineering reverse software Ghidra NSA-github. [۲۹]

Proceed- In engineering. reverse model-driven in studies Case al. et Pascal A. [۳۰]  
Knowledge Discovery, Knowledge on Conference Joint International ۱۱th the of ings  
.۲۰۱۹, ۷۴۰–۷۳۱ pages, ۲ volume (IC۳K), Management Knowledge and Engineering

debugger. gnu - Gdb Project. GNU [۳۱]

innovations?, of property intellectual to threat A engineering: Reverse Quarkslab. [۳۲]  
.۲۰۲۳

.۲۰۲۴ systems, legacy maintaining of costs hidden The RecordPoint. [۳۳]

Press, Starch No Analysis. Malware Practical Honig. Andrew and Sikorski Michael [۳۴]  
.۲۰۱۲

Balancing rights: property intellectual and engineering Reverse Consultants. TTC [۳۵]  
.۲۰۲۴ considerations, legal and innovation

Higuera, Bermejo Javier Higuera, Bermejo Juan-Ramón Tudela, Mateo Francesc [۳۶]  
dy- static, combining On Argyros. I. Michael and Montalvo, Sicilia Juan-Antonio  
ten top owasp improve to tools testing security analysis interactive and namic  
.۲۰۲۰ mdpi, applications. web in detection vulnerability security

.۲۰۲۲ systems?, software legacy maintain to cost it does much How vFunction. [۳۷]

[۳۸] (Anti-Anti-Debug/ScyllaHide), Wiki and Documentation x64dbg Project. x64dbg [۳۸] manual. Online .۲۰۲۰

[۳۹] نویسنده اول and نویسنده دوم. عنوان مقاله نمونه. نام مجله، ۱۰(۲):۱۲۳-۱۴۵، ۱۴۰۲.