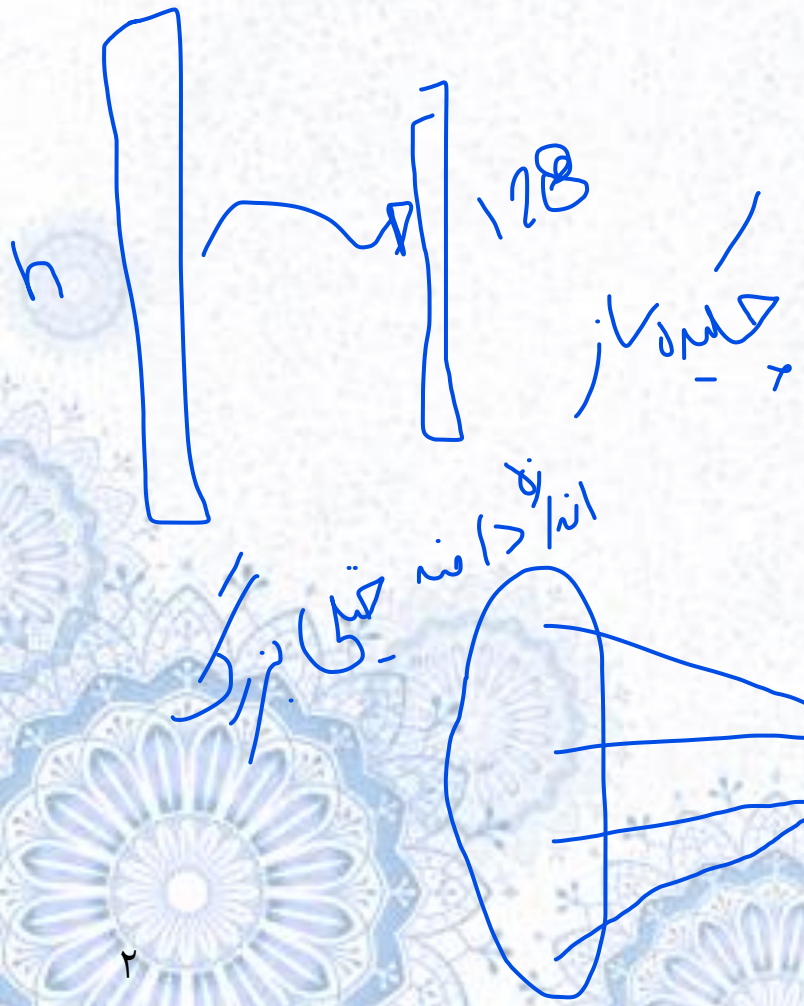
کدهای تصدیق صحت پیام و توابع درهم ساز

MAC codes and Hash functions

اصغر اصلاصغریان – دانشگاه ارومیه

فهرست مطالب

- مفاهیم اولیه
- رمزگذاری پیام و کدهای تشخیص خطا
- کدهای تصدیق صحت پیام
- اصول توابع درهم‌ساز
- توابع درهم‌ساز مهم
- HMAC



تصدیق صحت پیام چیست؟

- **اطمینان از صحت محتوای پیام (Data Integrity)**
  - یعنی پیام دریافتی دستکار ی نشده باشد
    - بدون تغییر
    - بدون درج
    - بدون حذف
- **پیام از جانب فرستنده ادعا شده ارسال شده است (Origin Integrity)**

تصدیق صحت پیام

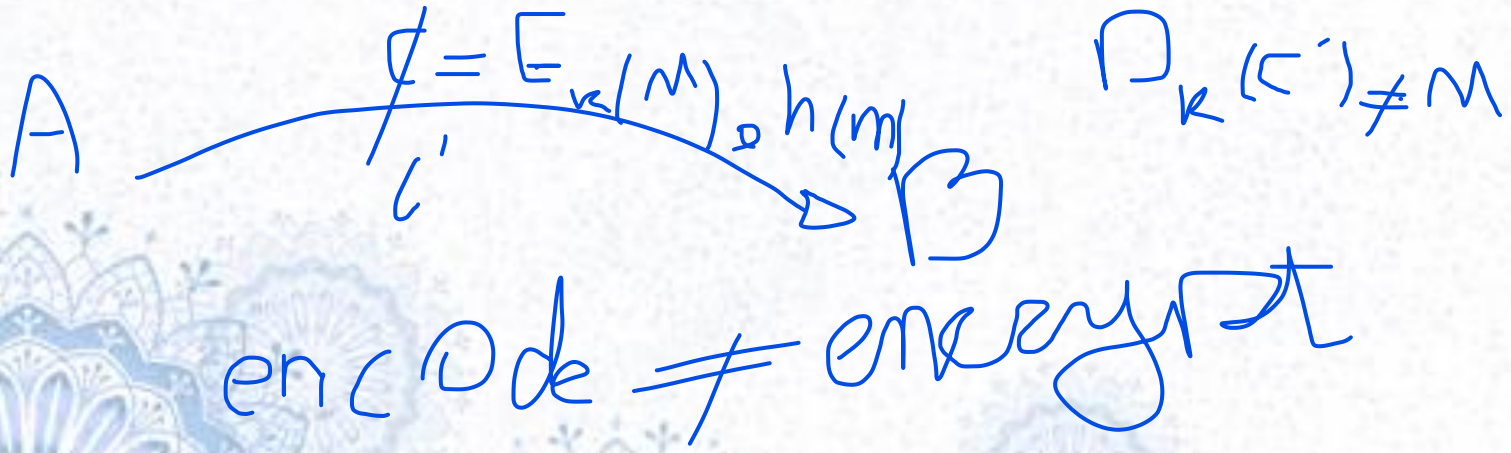
- **در برخی از کاربردها:**
  - حفظ محرمانگی پیام اهمیت بالایی ندارد
  - ولی صحت آنها اهمیت بالایی دارد (قابل اعتماد بودن پیام)
  - مثال: تراکنش‌های بانکی
- **نیاز به دو عملکرد داریم:**
  - یک تابع برای تولید عامل تصدیق کننده
  - یک تابع برای وارسی (یا چک کردن) عامل تصدیق کننده

فهرست مطالب

- مفاهیم اولیه
- رمزگذاری پیام و کدهای تشخیص خطا
- کدهای تصدیق صحت پیام
- اصول توابع درهم‌ساز
- توابع درهم‌ساز مهم
- HMAC

رمزگذاری پیام برای تصدیق صحت پیام

- فرستنده پیام را رمز می کند
- اگر متن رمز شده دستکاری شود
  - با رمزگشا یی به متن آشکار نامفهوم (درهم و برهم) می رسیم
- گیرنده، بعد از رمزگشایی چک می‌کند ک آیا پیام مفهوم است یا نه؟
- می توان از الگوریتم‌های رمز متقارن و یا نامتقارن برای این منظور استفاده کرد



مشکلات استفاده از رمزنگاری

- **کارایی پایین**
- **بررسی مفهوم بودن محتوا همواره آسان نیست**
  - برای مثال باید پیام یک قالب استاندارد داشته باشد
  - نیاز به افزونگی
  - دشواری خودکارسازی فرآیند های تولید و وارسی
- **راه حل اولیه: استفاده از کدهای تشخیص خطا**
  - مثال ساده: استفاده از بیت Parity:
    - یک بیت به انتهای پیام اضافه نماییم، به گونه‌ای که تعداد بیتهای یک، زوج شود

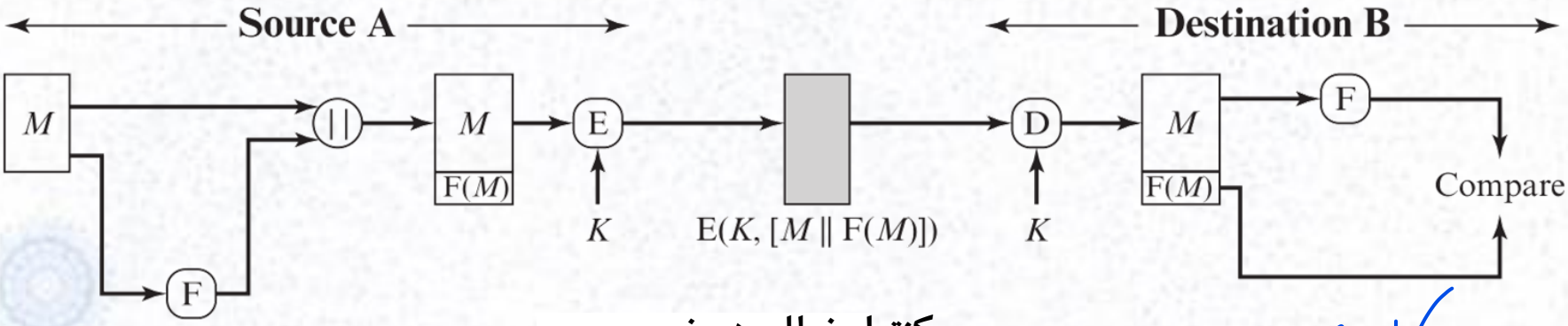
کدهای تشخیص خطا

- فرض کنید F یک تابع برای تولید کد تشخیص خطا باشد
- یک مثال از تابع F، کد CRC است:
  - CRC: Cyclic Redundancy Check
  - مثال:

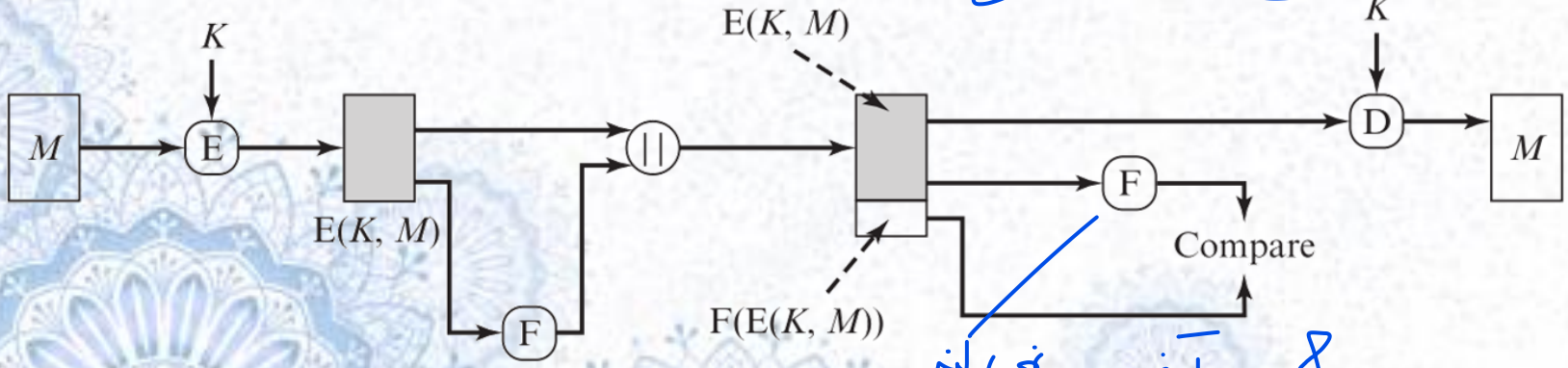
CRC-32(“Hello”) = 0xF7D18982

- کد تشخیص خطا یه عنوان برچسب پیام همراه پیام رمز شده ارسال می‌شود
- گیرنده، بعد از رمز گشایی چک می‌کند
  - که آیا «کد تشخیص خطای» محاسبه شده با استفاده از F با برچسب پیام مطابقت دارد یا نه؟

انواع روشهای اِعمال کدهای تشخیص خطا



کنترل خطای درونی



کنترل خطای بیرونی (نا امن)

ناامن بودن کدهای تشخیص خطا

- **کدهای تشخیص خطا (مانند CRC)**
  - برای تشخیص خطای حاصل از نویز در کاربردهای مخابراتی طراحی شده‌اند
- **نویز:**
  - تغییرات غیرهوشمندانه و غیرعمدی
- **حمله دشمن:**
  - تغییرات هوشمندانه و عمدی

- **حملات موفقی به الگوریتم هایی که از کدهای تشخیص خطا برای کاربردهای امنیتی استفاده می‌کردند، صورت پذیرفته است:**
  - مثال: پروتال WEP

جمع بندی

- هدف رمزگذاری، محرمانگی است و نه صحت
- کد تشخیص خطا از هیچ کلیدی استفاده نمی‌کند
- کد تشخیص خطا نمی‌تواند در حالت کلی از دستکاری بسته‌ها جلوگیری کند
- راه حل: کدهای تصدیق صحت پیام

فهرست مطالب

- مفاهیم اولیه
- رمزگذاری پیام و کدهای تشخیص خطا
- کدهای تصدیق صحت پیام
- اصول توابع درهم‌ساز
- توابع درهم‌ساز مهم
- HMAC

کد های تصدیق صحت پیام

MAC: Message Authentication Code

نام دیگر: Cryptographic Checksum

هدف: تولید یک برچسب (Tag) با طول ثابت:

- وابسته به پیام
- لزوماً برگشت پذیر نیست (بر خلاف توابع رمزنگاری)
- نیازمند اشتراک یک کلید مخفی بین طرفین

کد های تصدیق صحت پیام (۲)

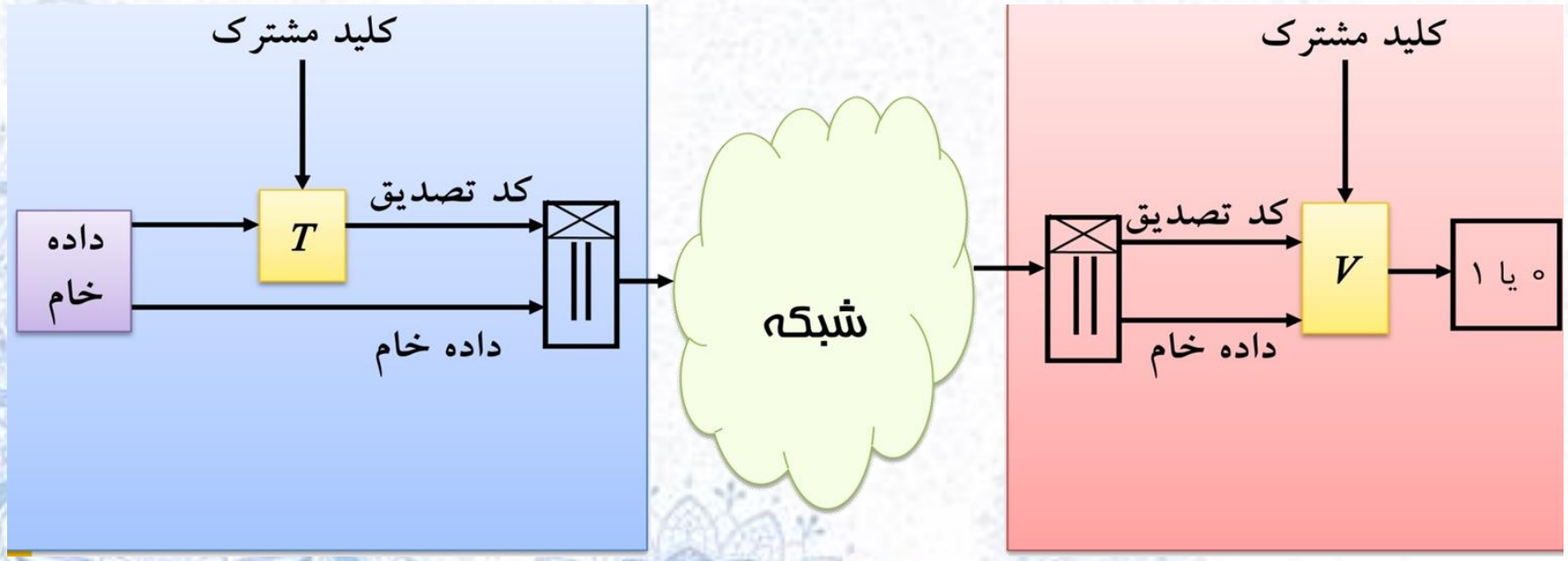
- گیرنده و فرستندها یک **کلید مشترک** دارند
- فرستنده با استفاده از کلید یک **برچسب** برای هر پیام تولید می‌کند
- فرستنده برچسب تولید شده را به پیام **الحاق** می‌کند (همراه پیام ارسال می‌کند)
- گیرنده پیام، برچسب، و کلید را به الگوریتم **تصدیق** (Verification) می‌دهد
  - الگوریتم تصدیق، برچسب را دوباره با کلید مشترک محاسبه می‌کند و با برچسب ارسالی مقایسه می‌کند
- در صورتی که خروجی الگوریتم TRUE باشد، از صحت پیام و هویت فرستنده طمینان حاصل می‌کند

نحوه عملکرد کد های تصدیق صحت پیام

T: Tag

V: Verification

حسن ***علی***



سه روش برای ترکیب MACبا رمزنگاری

AtE (Authenticate then Encrypt) 🔒

$$E_{K2}(M \| T_{K1}(M))$$ ✗

EtA (Encrypt then Authenticate) 🔒

$$E_{K2}(M) \| T_{K1}(E_{K2}(M))$$ ✓

E&A (Encrypt & Authenticate) 🔒

$$E_{K2}(M) \| T_{K1}(M)$$ ✗

🔒 **K1** کلید تصدیق صحت و **K2** کلید رمزنگاری (محرمانگی)

توضیح در مورد سه روش

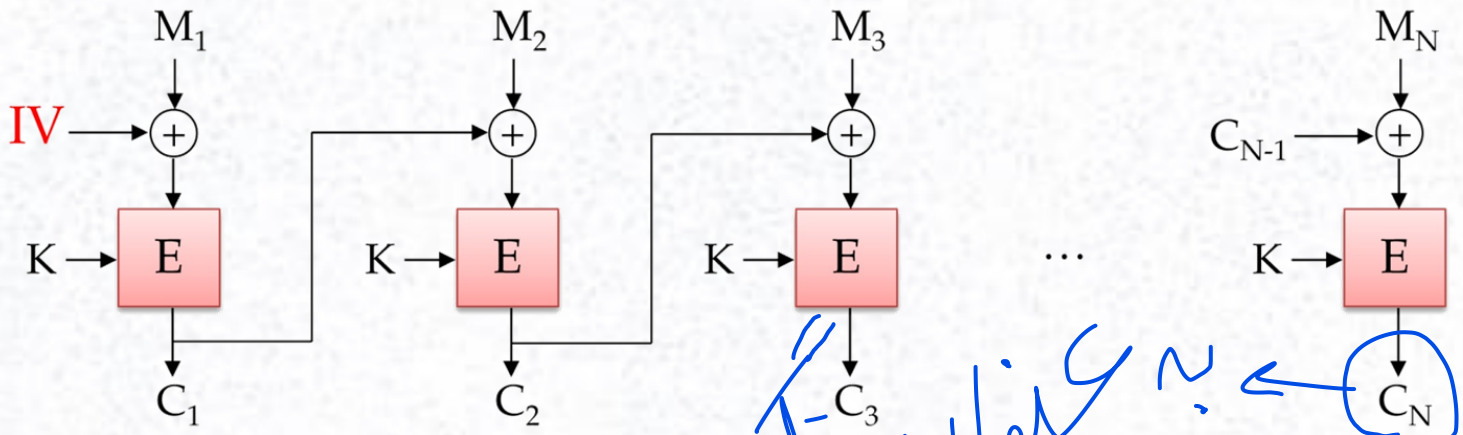
- **در حالت کلی، فقط روش EtAامن است**
  - در حالتهای خاص ممکن است روشهای دیگر هم امن باشند
  - IPSec از این روش استفاده می‌کند
- **SSL از حالت خاصی از AtE استفاده می کند که امن است**
- **SSH از حالت خاصی از E&A استفاده می کند که امن است**
- **H. Krawczyk. The Order of Encryption and Authentication for Protecting Communications (Or How Secure Is SSL), CRYPTO 2001.**

ساختن MAC امن با استفاده از توابع رمزگذاری

- **تابع MAC**:
  - با استفاده از پیام و کلید (ورودیها) یک کد درست می‌کند
  - **تفاوت** با تابع رمزنگاری:
    - لزوما برگشت پذیر نیست (به همین علت امن‌تر است)

- **با استفاده از توابع رمزگذاری امن و برخی از سبک های رمزنگاری می‌توان توابع MAC امن ساخت**
  - **مثال: سبک‌های CBC و CFB**
    - در ساختن MACاز این سبک ها باید دقت زیادی کرد
    - جزئیات بسیار مهم اند
  - در ادامه تلاش می کنیم تا با سبک CBC، MAC بسازیم!

CBC-MAC – تلاش ۱



- پیام: $M=(M_1,\ldots,M_N)$
- برچسب: $T=(IV,C_N)$
- پیام به همراه برچسب فرستاده می‌شود
- برای تصدیق، برچسب از نو محاسبه و با برچسب دریافتی مقایسه می‌شود

حمله به تلاش ۱

- مهاجم می تواند با انتخاب IV، قطعه اول پیغام را به دلخواه تغییردهد
- با داشتن پیام $M=(M_1,M_2,\ldots,M_N)$ و برچسب $T = (IV, C_N)$
- می‌توان پیام و برچسب جدیدی را بدون داشتن کلید جعل کرد:
  - مهاجم قطعه اول پیام را به دلخواه عوض می‌کند

$$M'=(M_1',M_2,\ldots,M_N)$$

  - و می تواند IV’ را به روش زیر حساب کند

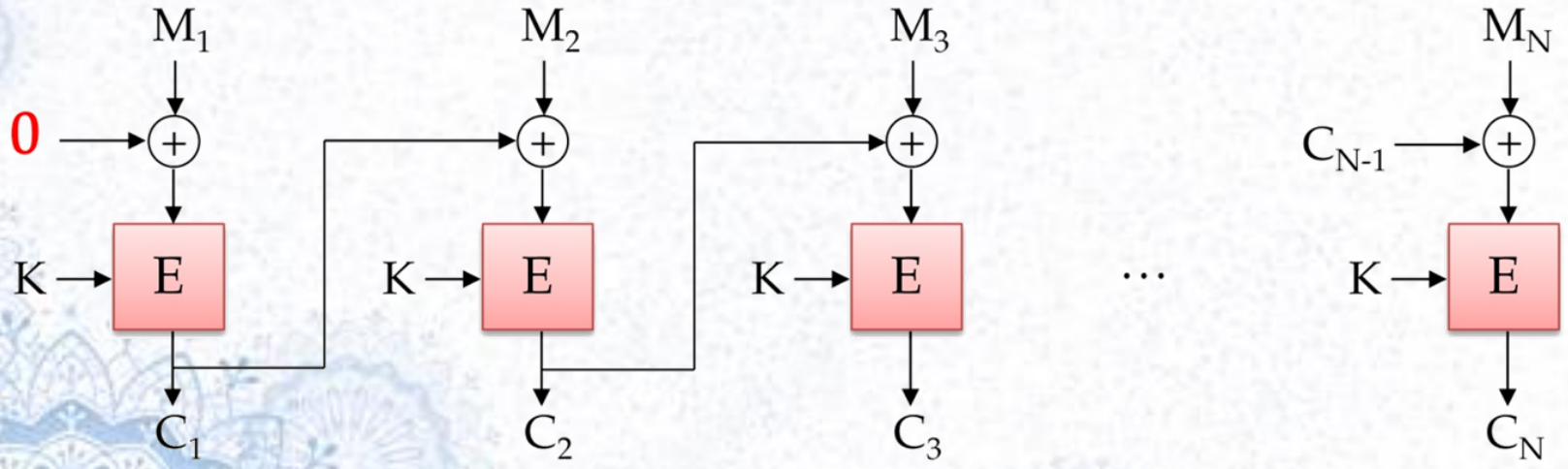
$$IV'\oplus M_1'=IV\oplus M_1 \quad \rightarrow \quad IV'=IV\oplus M_1\oplus M_1'$$

  - برچسب حاصل:

$$T'=(IV',C_N)$$

CBC-MAC – تلاش ۲

- **راهکار حمله به تلاش ۱:** استفاده از یک مقدار ثابت برای IV، مثلاً بردار صفر
- **برچسب:** مساوی C_N است



حمله به تلاش ۲ – افزایش طول(Length Extension)

- با داشتن پیام تک قالبی $M=(M_1)$ و برچسب $T = C_1$ می‌توان پیام و برچسب جدیدی را بدون داشتن کلید جعل کرد:

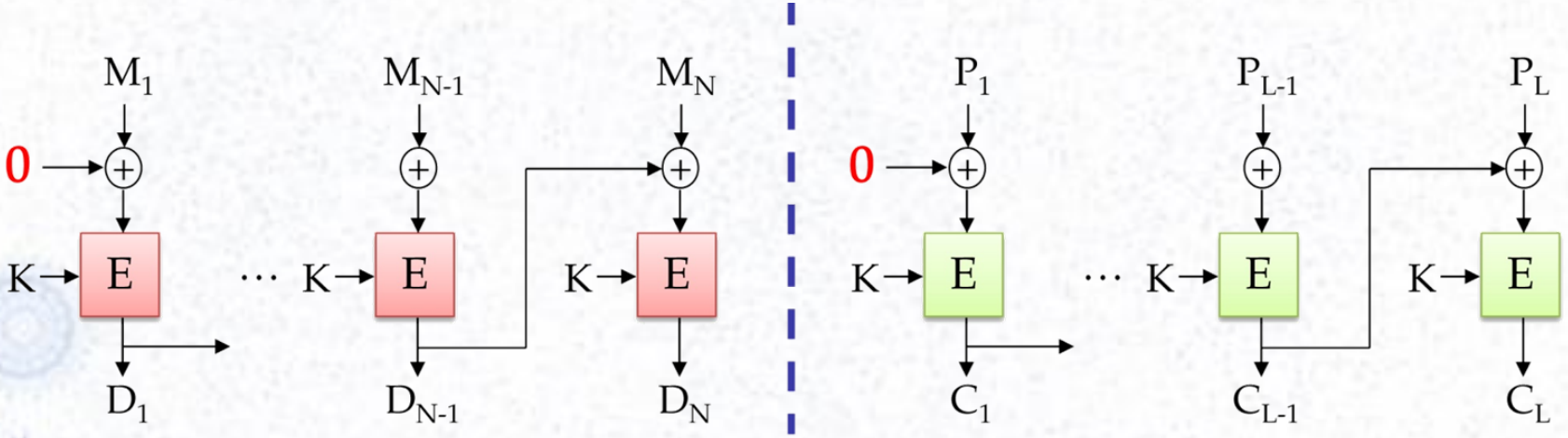
$M'=M_1,M_2$

$T'=T=C_1$

$M_2=M_1 \oplus C_1$

- به همین ترتیب می‌توان جعل را ادامه داد و به پیام هایی با طول بیشتر رسید

حمله به تلاش ۲ – برچسب جدید از دو برچسب موجود



- دو پیام و برچسب روی هریک را داریم:
  - پیام $P=(P_1,\ldots,P_L)$ با برچسب C_L
  - پیام $M=(M_1,\ldots,M_N)$ با برچسب D_N

$$M'=(M_1,\ldots,M_N,D_N\oplus P_1,P_2,\ldots,P_L)$$

$$T'=T=C_L$$

راهکارها

- **راهکار ۱: همه پیامهای سیستم، طول N داشته باشند**
  - جلوگیری از حمل افزایش طول
  - مناسب برای بسیاری از پروتالها
- **راهکار ۲: همیشه طول پیام را به عنوان قطعه اول به تابع CBC-MAC بدهیم**
- **راهکار ۳ : قطعه آخر (C_N) را یک مرتبه مجددا رمز کنیم**
- **اثبات شده است که هر سه راهکار امن هستند**

سوالات متداول در مورد MAC

- **آیا MAC همانند امضا غیر قابل انکار است؟**
  - خیر
  - چون گیرنده نیز می‌تواند برچسب را تولید کند
- **امضا با یک زوج کلید عمومی/خصوصی فراهم می‌شود**
  - ولی کلید MAC یک کلید مشترک سری است
  - بر خلاف امضا، دو طرف قادر به ایجاد MAC هستند

معایب تولید MAC با رمزنگاری

- **ایراد اصلی: کارایی پایین**
  - الگوریتم های بسیار سریع‌تری برای تولید MAC وجود دارد
    - مثال: بکارگیری توابع درهم‌ساز

فهرست مطالب

- مفاهیم اولیه
- رمزگذاری پیام و کدهای تشخیص خطا
- کدهای تصدیق صحت پیام
- اصول توابع درهم‌ساز
- توابع درهم‌ساز مهم
- HMAC

توابع درهم‌ساز (Hash)

- تابع یک طرفه
- طول ورودی دلخواه
- طول خروجی ثابت (نگاشت از فضای بزرگتر به فضای کوچکتر)
- در حالت کلی، کلیدی در کار نیست!
  - بر خلاف MAC و رمزنگاری

امنیت توابع درهم ساز: ایده کلی

- **نگاشت پیام‌های طولانی به رشته‌های کوتاه به نحوی که:**
  - یافتن پیام‌های متفاوتی که به یک رشته یکسان نگاشته می‌شوند دشوار باشد
- **به این رشته، عصاره یا چکیده پیام (Message Digest) می‌گوییم**

نیازمندیهای امنیتی توابع درهم ساز

- **دشواری یافتن پیش نگاره (Preimage Resistance)**
  - نام دیگر: یک طرفه بودن (One-wayness)

- **دشواری یافتن پیش نگاره دوم (2nd Preimage Resistance)**
  - نام دیگر: مقاومت ضعیف در برابر تصادم(Weak Collision Resistance)

- **مقاومت در برابر تصادم (Collision Resistance)**
  - نام دیگر: مقاومت قوی در برابر تصادم (Strong Collision Resistance)

تعریف نیازمندیهای امنیتی توابع درهم‌ساز

دشواری یافتن پیش‌نگاره:

- فقط با داشتن $H(x)$ (برای یک x تصادفی)، یافتن y به طوری که $H(x)=H(y)$ از لحاظ محاسباتی ناممکن باشد

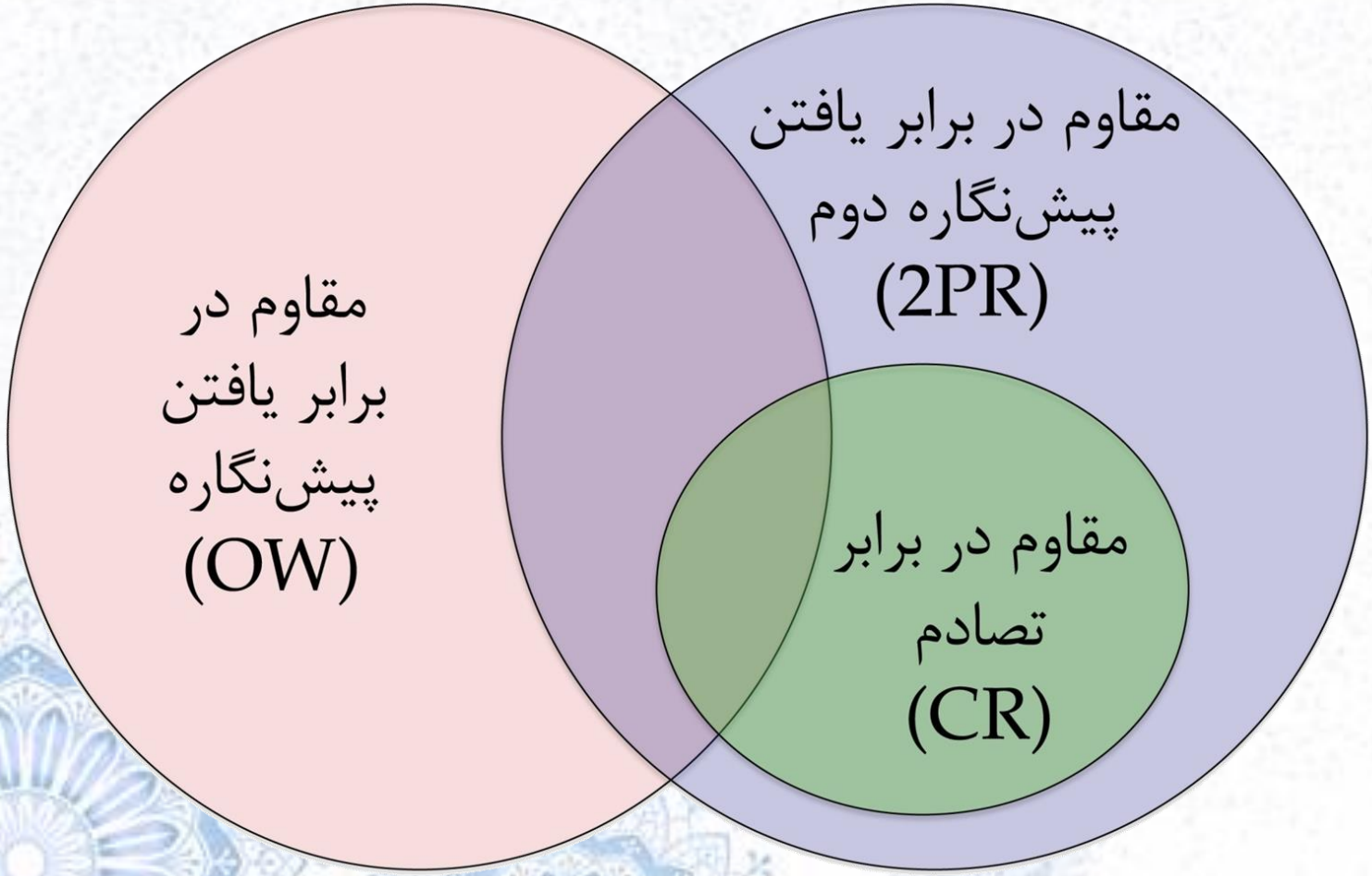
دشواری یافتن پیش‌نگاره دوم:

- با داشتن x (و در نتیجه $H(x)$)، یافتن y به طوری که $H(x)=H(y)$ و $y\neq x$ از لحاظ محاسباتی ناممکن باشد

مقاومت در برابر تصادم:

- یافتن $y\neq x$ به طوری که $H(x)=H(y)$ از لحاظ محاسباتی ناممکن باشد

نمودار وِن انواع توابع درهم ساز



CR نتیجه می‌دهد 2PR

اثبات با برهان خلف:

- فرض کنیم تابع H خاصیت CR دارد ولی خاصیت 2PR ندارد (فرض خلف)
- یک x تصادفی تولید کنید
  - یافتن $y \neq x$ به طوری که $H(x)=H(y)$ از لحاظ محاسباتی ممکن است (چون 2PR نداریم)
- یک زوج x و y با مقدار درهم‌سازی یکسان پیدا کردیم
- پس خاصیت CR وجود ندارد
- تناقض!

CR الزاماً نتیجه نمی‌دهد OW

- **مثال نقض: تابع $H(x)=x$**
  - این تابع CR (و 2PR) است چون هیچ تصادمی ندارد
  - این تابع OW نیست چون پیشنگاره هر مقداری را می‌توان یافت

- **نتیجه:**
  - 2PR الزاما OW را نتیجه نمی‌دهد

- **توابع فشرده ساز:**
  - اگر برد H نسبت به دامنه آن خیلی کوچک باشد:
    - *CR نتیجه می‌دهد OW*
  - همه توابع درهم‌ساز در عمل چنین هستند

OW الزاماً نتیجه نمی‌دهد 2PR

- **مثال نقض:**
- **فرض کنید $n=pq$ حاصلضرب دو عدد اول باشد**
- **می‌توان ثابت کرد که $f(x)= x^2 \bmod n$ تابعی یک طرفه است**
  - با فرض دشواری تجزیه n
- **با این حال خاصیت 2PR (و در نتیجه CR) را ندارد**
  - هر x با مقدار $-x$ تصادم دارد
  - دو مقدار متفاوت با مقدار درهم‌سازی یکسان

حمله آزمون‌جامع به توابع درهم‌ساز

- **تابع درهم‌ساز زیر را در نظر بگیرید:**
  - ورودی به طول دلخواه و خروجی به طول n

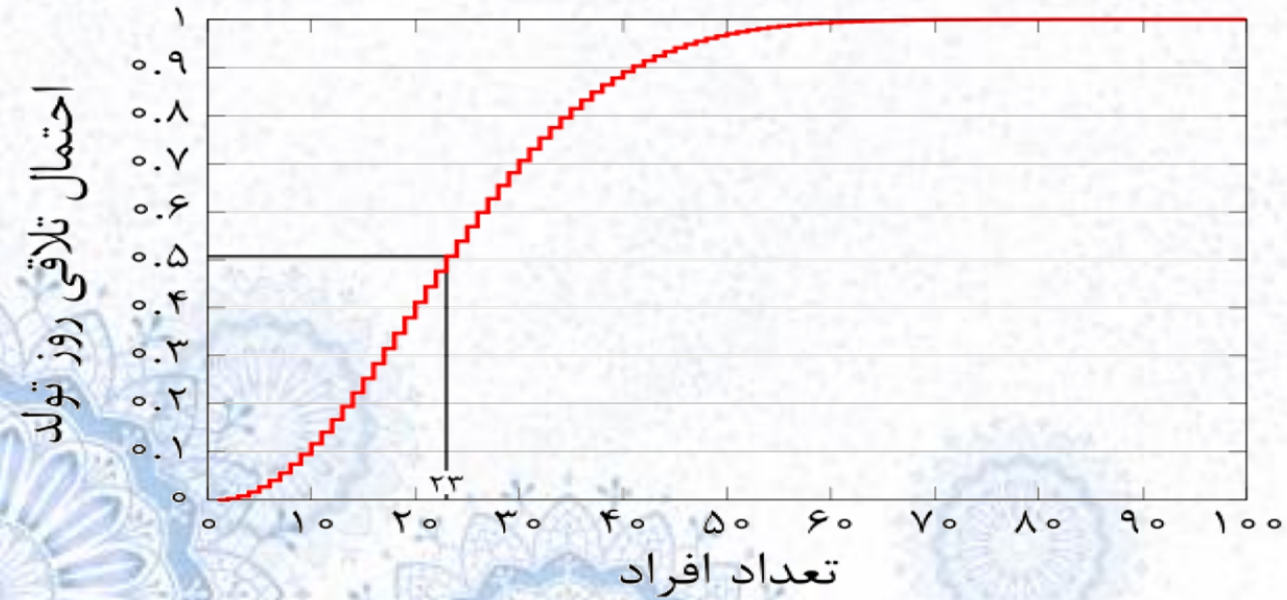
$$H: \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^n$$

- **پیچیدگی یافتن تصادم:**
  - به طور متوسط پس از امتحان حدودا $1.25\times 2^{n/2}$ ورودی با احتمال ۵۰٪ یک تصادم پیدا می‌شود
- **علت:**
  - تناقض روز تولد

تناقض روز تولد

- در میان ۲۳ نفر،
  - احتمال یافتن دو نفر که در یک روز از سال متولد شده‌اند بیش از ۵۰٪ است

$$۱٫۲۵ \times \sqrt{۳۶۵} \approx ۲۳$$



نمونه ای از حمله روز تولد

- **Tom و Bob دو کاندیدای استخدام هیئت علمی هستند**

- **Tom می‌داند که رئیس دانشکده نسبت به وی نظر مثبتی دارد**
  - از وی می‌خواهد که برایش توصیه نامه‌ای بنویسد، و پس از امضا به دفتر رئیس دانشگاه بفرستد
- **فرض کنیم برای امضا، چکیده ۶۴ بیتی متن نامه تهیه شده و این چکیده امضا می‌شود**

- **منشی رئیس دانشکده که با Tom خصومت دارد، دو نامه جداگانه تهیه می‌کند...**
  - یک نامه با نظر مثبت
  - و یک نامه با نظر منفی
  - هر کدام با ۳۲ انتخاب

نامه اول (شامل ۳۲ انتخاب دو تایی)

Dear Dean Smith,

This [letter | message] is to give my [honest | frank] opinion of Prof. Tom Wilson, who is [a candidate | up] for tenure [now | this year]. I have [known | worked with] Prof. Wilson for [about | almost] six years. He is an [outstanding | excellent] researcher of great [talent | ability] known [worldwide | internationally] for his [brilliant | creative] insights into [many | a wide variety of] [difficult | challenging] problems.

He is also a [highly | greatly] [respected | admired] [teacher | educator]. His students give his [classes | courses] [rave | spectacular] reviews. He is [our | the Department's] [most popular | best-loved] [teacher | instructor].

[In addition | Additionally] Prof. Wilson is a [gifted | effective] fund raiser. His [grants | contracts] have brought a [large | substantial] amount of money into [the | our] Department. [This money has | These funds have] [enabled | permitted] us to [pursue | carry out] many [special | important] programs, [such as | for example] your State 2016 program. Without these funds we would [be unable | not be able] to continue this program, which is so [important | essential] to both of us. I strongly urge you to grant him tenure.

نامه دوم (شامل ۳۲ انتخاب دو تایی)

Dear Dean Smith,

This [letter | message] is to give my [honest | frank] opinion of Prof. Tom Wilson, who is [a candidate | up] for tenure [now | this year]. I have [known | worked with] Tom for [about | almost] six years. He is a [poor | weak] researcher not well known in his [field | area]. His research [hardly ever | rarely] shows [insight in | understanding of] the [key | major] problems of [the | our] day.

Furthermore, he is not a [respected | admired] [teacher | educator]. His students give his [classes | courses] [poor | bad] reviews. He is [our | the Department's] least popular [teacher | instructor], known [mostly | primarily] within [the | our] Department for his [tendency | propensity] to [ridicule | embarrass] students [foolish | imprudent] enough to ask questions in his classes.

[In addition | Additionally] Tom is a [poor | marginal] fund raiser. His [grants | contracts] have brought only a [meager | insignificant] amount of money into [the | our] Department. Unless new [money is | funds are] quickly located, we may have to cancel some essential programs, such as your State 2016 program. Unfortunately, under these [conditions | circumstances] I cannot in good [conscience | faith] recommend him to you for [tenure | a permanent position].

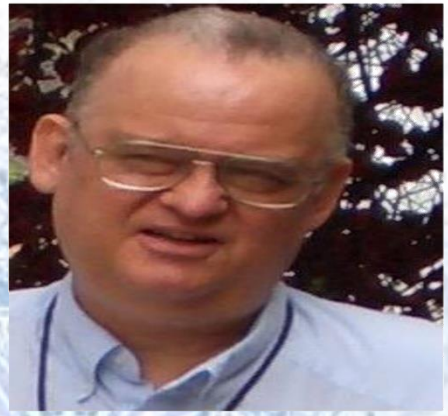
چگونگی جعل...

- **حال منشی به کمک کامپیوتر:**
  - جدولی از هر یک از 2^{32} انتخاب ممکن برای نامه اول، به همراه چکیده متناظر به عنوان **کلید جدول** تشکیل می‌دهد
  - چکیده هر یک از 2^{32} انتخاب ممکن برای نامه دوم را در جدول جستجو میکند، تا به اولین تساوی برسد

- **در صورتی که چکیده L1(یکی از انتخابها برای نامه اول) و چکیده L2 (یکی از انتخابها برای نامه دوم) مساوی شوند..**
  - منشی L1 را به امضای رئیس دانشکده میرساند؛
  - ولی L2 را به همراه امضا ارسال می‌کند

ساختار مِرکل – دَمگارد (MD)

- مورد استفاده در بسیاری از توابع درهم‌ساز معروف
- اِعمال مکرر یک تابع فشرده‌ساز به یک رشته با طول ثابت
- اگر تابع فشرده‌ساز CR باشد، تابع درهم‌ساز نیز CRخواهد بود

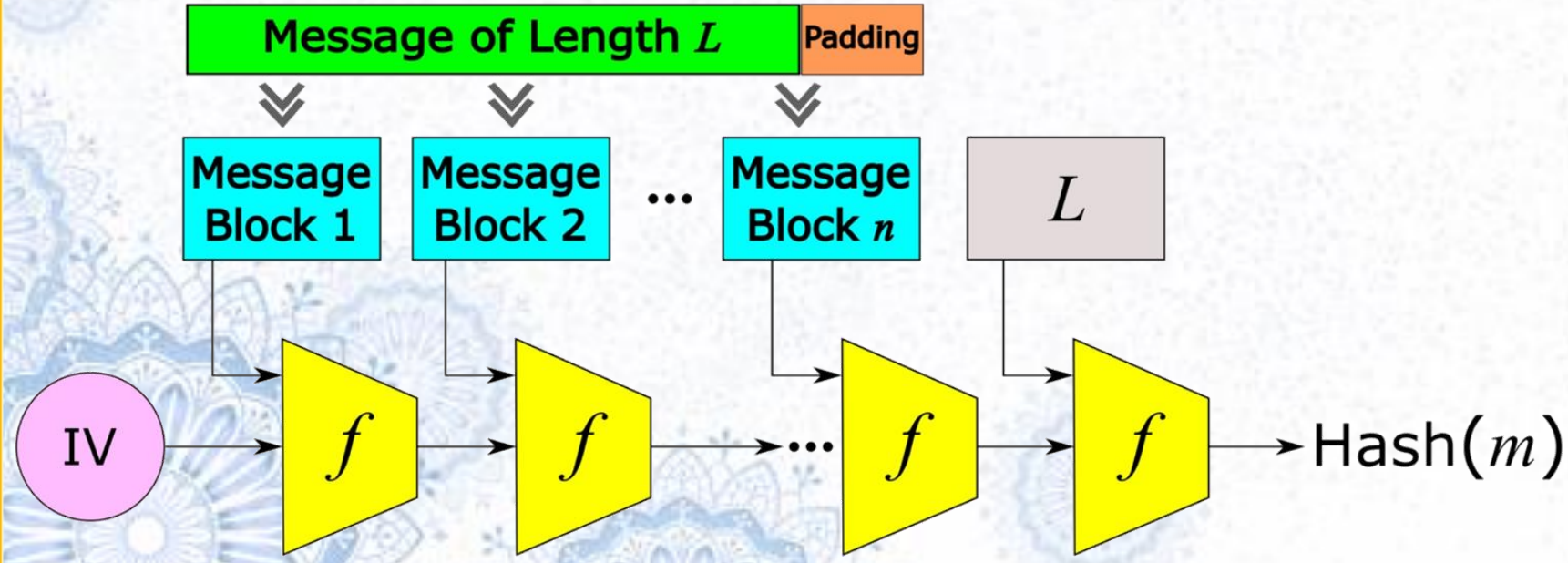


Ralph Merkle
(1952 –)

Ivan Bjerre
Damgård (1956 –)

ساختار درونی توابع درهم‌ساز

- تابع فشرده ساز: f
- این تابع باید CR باشد
- IV: مقداری ثابت



ضعف MD در برابر حملات افزایش طول

- ساختار MD در برابر حملات افزایش طول آسیب‌پذیر است
- با داشتن $H(x)$ برای x نامعلوم به طول L، می‌توان مقدار:

$$H(x \,||\, \text{pad}(x) \,||\, L \,||\, y)$$

را برای y دلخواه به دست آورد

  - حمله به Flickr در سال ۲۰۰۹ با این روش

- راه حل:
  - طول پیام را به عنوان قطعه نخست به ساختار MD داد
  - یا برای قطعه آخر از یک تابع فشرده‌ساز متفاوت استفاده کرد

فهرست مطالب

- مفاهیم اولیه
- رمزگذاری پیام و کدهای تشخیص خطا
- کدهای تصدیق صحت پیام
- اصول توابع درهم‌ساز
- توابع درهم‌ساز مهم
- HMAC

تابع MD5

- **MD5: Message Digest 5**
- **طراحی در ۱۹۹۲ توسط رایوست، یکی از سه طراح RSA**
- **استفاده گسترده در گذشت**
  - امروزه SHA-1 و SHA-2 جایگزین آن شده‌اند
- **ویژگیها:**
  - ساختار مرکل-دمگارد
  - پیام به قطعات ۵۱۲ بیتی تقسیم می‌شود
  - خروجی ۱۲۸ بیتی

Ronald Linn Rivest
(1947 –)

امنیت MD5

- **مقاومت در برابر حمله روز تولد: 2^{64} گام**
  - امروزه امن محسوب نمی‌شود
- **حملات کاراتری نیز به این الگوریتم پیدا شده است:**
  - بهترین حمله تصادم: سال ۲۰۱۳
  - حمله در 2^{18} گام
  - کمتر از ۱ ثانیه
- **در سال ۲۰۱۲ ویروس Flame با سوء استفاده از این حمله به MD5 امضای دیجیتال مایکروسافت را جعل کرد**

تابع SHA-1

SHA-1: Secure Hash Algorithm – 1

- استاندارد NIST، سال ۱۹۹۵
- ساختار مرکل-دمگارد
- طول ورودی کوچتر از 2^{64} بیت
- طول خروجی ۱۶۰ بیت

امنیت SHA-1

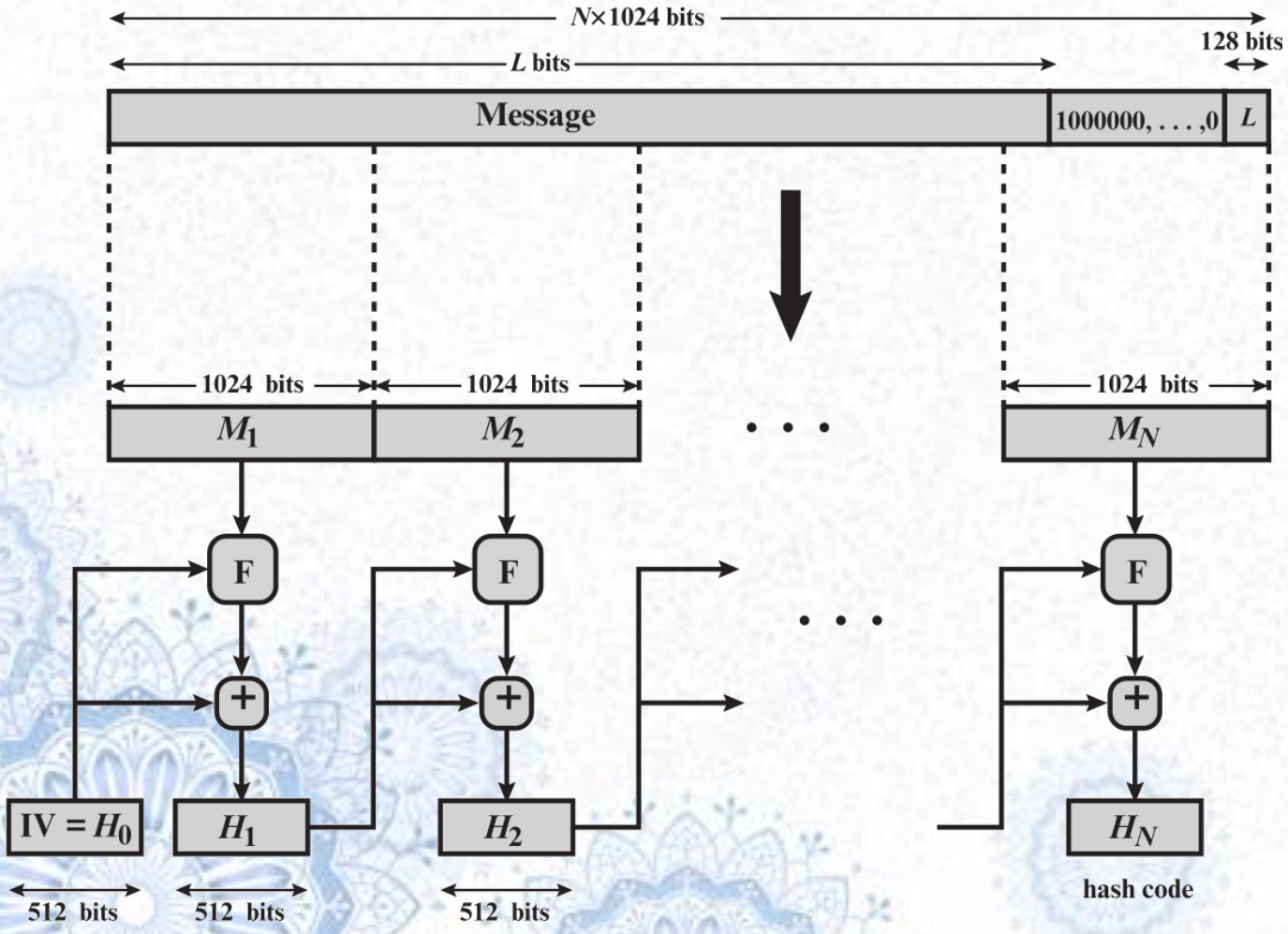
- مقاوم در برابر تصادم با حمله روز تولد : 2^{80} گام
- بهترین حمله: در سال ۲۰۱۱ توسط Marc Stevens
  - پیچیدگی حمله بین $2^{60/3}$ و $2^{65/3}$
- جایگزینی با گونه‌های امن‌تر
  - خانواده SHA-2
- در حال استفاده گسترده در حال حاضر

توابع درهم ساز مهم: SHA-2

- نسخه‌های زیر نیز علاوه بر SHA-1 استاندارد شده‌اند:
  - SHA-224، SHA-256، SHA-38، و SHA-512
  - معروف به خانواده SHA-2 هستند
  - از لحاظ ساختار و جزئیات مشابه SHA-1 هستند

Algorithm	Digest size	Block size	Message size	CR Security
SHA-1	160	512	$< 2^{64}$	80 bits
SHA-224	224	512	$< 2^{64}$	112 bits
SHA-256	256	512	$< 2^{64}$	128 bits
SHA-384	384	1024	$< 2^{128}$	192 bits
SHA-512	512	1024	$< 2^{128}$	256 bits

ساختار SHA-512



مشکلات

- **MD5، SHA-1 و تمامی توابع خانواده SHA-2 در برابر حملات افزایش طول آسیب‌پذیر هستند**
  - اگر بخواهیم پیام m را با $H(K||m)$ تصدیق هویت کنیم،
  - مهاجم برای مقدار دلخواه m' می‌تواند به سادگی مقدار $H(K||m||pad||L||m')$ را به دست آورد

- **ضعف در برابر حمله تصادم جزئی از پیام برای همه توابع تکراری**
  - با یافتن تصادم در تابع فشرده‌ساز

راهکار: استاندارد SHA-3

- ساختار غیر مرکل-دمگارد
  - دارای ساختار توابع اسفنجی
- مقاوم در برابر حمله افزایش طول
- استاندارد شده در ۲۰۱۵
  - به عنوان مکمل و (نه جایگزین) SHA-2
- پشتیبانی از طول خروجی‌های ۲۲۴، ۲۵۶، ۳۸۴، ۵۱۲

فهرست مطالب

- مفاهیم اولیه
- رمزگذاری پیام و کدهای تشخیص خطا
- کدهای تصدیق صحت پیام
- اصول توابع درهم‌ساز
- توابع درهم‌ساز مهم
- HMAC

کد تصدیق اصالت HMAC

- **HMAC روش است برای ترکیب کلید مخفی با الگوریتم‌های درهم‌ساز فعلی**
  - با توجه به اینکه $H(K||m)$ یا $H(m||K)$ برای توابع درهم‌ساز فعلی امن نیستند
- **راهکار :**
  - دو مرحله استفاده از H
  - یعنی $H(K_2||H(K_1||m))$
  - بهتر است کلیدهای درونی و بیرونی متفاوت باشند
- **امروزه HMAC به طور گسترده استفاده می‌شود**
  - به طور مثال در SSL و IPSec

اهداف طراحی HMAC

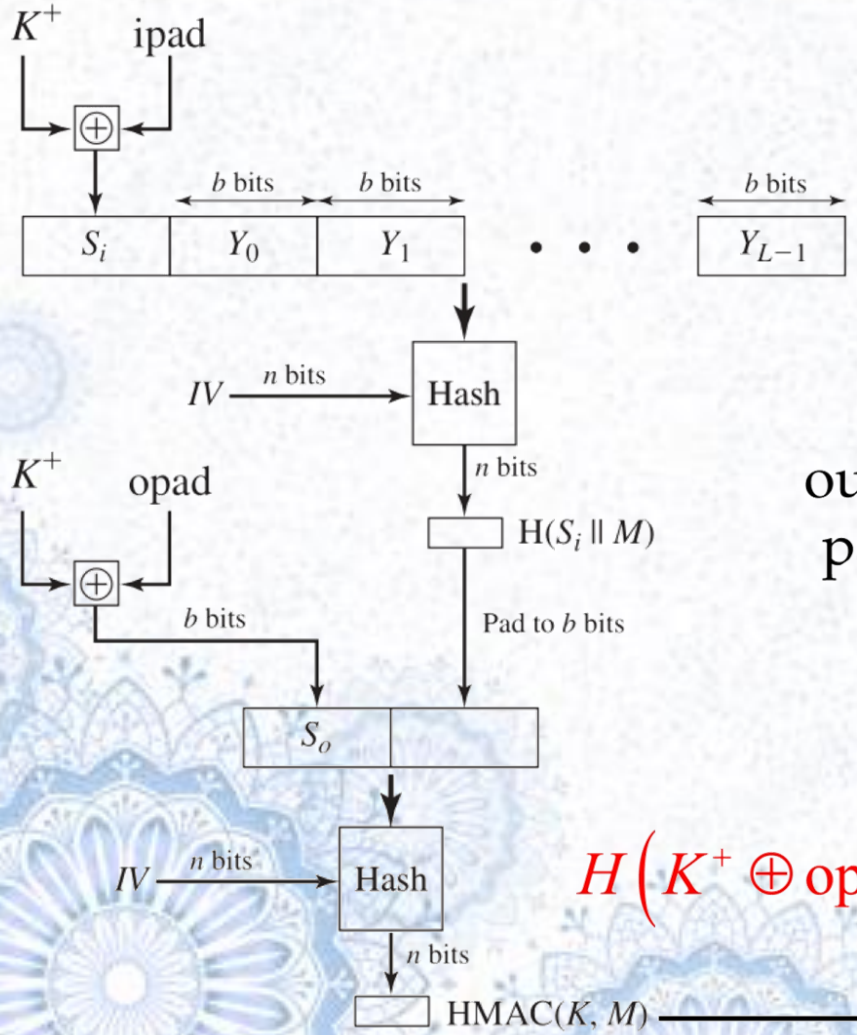
- استفاده از توابع درهم‌ساز بدون تغییر آنها
- پشتیبانی از توابع درهم‌ساز متنوع
  - مانند RIPEMD-160، MD5، SHA-1، SHA-2، و Whirlpool
- حفظ کارایی و سرعت تابع درهم‌ساز به کار گرفته شده
- لایه دوم Hash معادل ۱ یا ۲ تابع فشرده‌سازی
- استفاده ساده از کلید

نماد گذاری الگوریتم HMAC

- **H**: تابع درهم سازی به کار گرفته شده (با خروجی n بیتی)
- **M**: پیام ورودی (با قطعه‌های b بیتی)
- **K**: کلید مخفی
  - طول آن باید بیشتر از n باشد
  - اگر طول کلید بیشتر از b بود $H(k)$ به جای آن استفاده می‌شود
- **K^+**: کلید مخفی که از سمت چپ با صفر **pad** شده است تا به طول b برسد

- **ipad**: رشته b بیتی حاصل از تکرار بایت **0x36** (به تعداد $b/8$)
- **opad**: رشته b بیتی حاصل از تکرار بایت **0x5c** (به تعداد $b/8$)

نحوه محاسبه HMAC



outer pad

inner pad

$$H\left(K^+ \oplus \text{opad} \,\|\, H\left(K^+ \oplus \text{ipad} \,\|\, M\right)\right)$$

امنیت HMAC

- **ارتباط دقیق بین امنیت HMAC با امنیت تابع درهم ساز اثبات شده است**

- **حمله به HMAC:**
  - حمله آزمون جامع بر روی کلید (میزان مقاومت بسته به طول کلید)
  - حمله روز تولد: با توجه به نداشتن کلید، نیازمند مشاهده تعداد زیادی پیام و HMAC آنها با کلید یکسان

- **مقاومت HMAC در برابر حمله روز تولد از تابع درهم‌ساز به کار گرفته شده، بیشتر است**