بنام خداوند جان و خرد

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# چالش‌های اساسی طراحی سیستم‌های نهفته بحرانی و رویکردهای مواجهه با آن‌ها

**ارائه‌دهنده:** آتنا عبدی

*مهرماه ۱۳۹۹*

# فهرست مطالب


- مقدمه‌ای بر سیستم‌های نهفته و کاربردهای آن‌ها
  - سیستم‌های نهفته بحرانی
- الزامات و چالش‌های اساسی در طراحی سیستم‌های نهفته بحرانی
- رویکردهای مواجهه با چالش‌های طراحی سیستم‌های نهفته بحرانی
- جمع‌بندی و روال تحقیقاتی





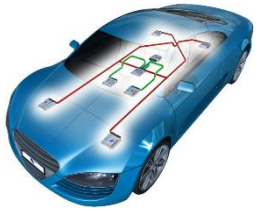
آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# مقدمه‌ای بر سیستم‌های نهفته و کاربردهای آن‌ها

مقدمه و کاربردها | چالش‌های طراحی | رویکردهای مواجهه | جمع‌بندی و روال تحقیقاتی

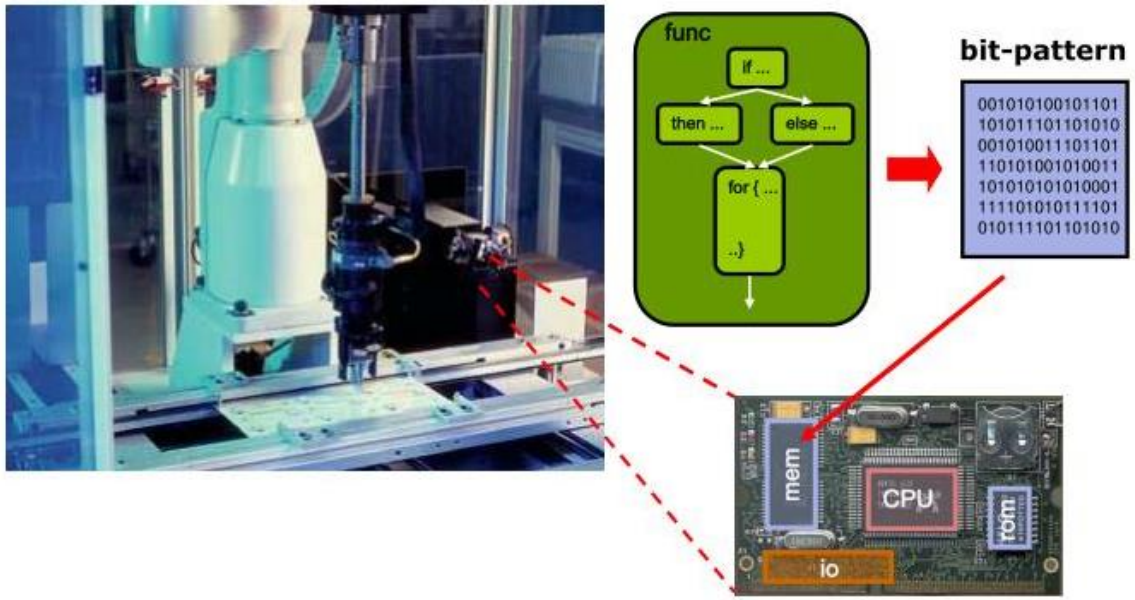
# مقدمه

- سیستم‌های نهفته:
  - سیستم‌های پردازش اطلاعات تعبیه‌شده در محصول بزرگتر با هدف افزایش هوشمندی و توانمندی
  - پرکاربردترین سیستم پردازشی
  - متشکل از اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری
  - طراحی مدرن براساس سیستم‌های چندپردازنده‌ای



# سیستم‌های نهفته

- پیاده‌سازی در بستر سیستم‌های چندپردازنده‌ای روی تراشه (MPSoC)
  - پرکاربردترین سیستم مجتمع در مقیاس بزرگ و استاندارد پیاده‌سازی سیستم‌های نهفته



# کاربردهای سیستم‌های نهفته

- بکارگیری با هدف انجام عملیات مشخص
  - کاربردهای عام
    - انجام عملیات با دقت مشخص موردنظر کاربر
    - تلفن‌های همراه، تجهیزات چندرسانه‌ای، بازی و سرگرمی و ...
  - کاربردهای بحرانی
    - انجام عملیات با دقت و حساسیت بسیار زیاد
    - تجهیزات پزشکی، تجهیزات هوایی و فضایی، تجهیزات صنعتی و ....

# کاربردهای بحرانی

- الزامات ناشی از اهمیت و حساسیت این سیستم‌ها:
  - عملکرد قابل اتکا و مطمئن
  - عملکرد مستقل و توانایی مدیریت در شرایط خطر
  - عملکرد طولانی مدت و با کیفیت
  - بی‌درنگ و قطعی و ...

آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# اهمیت طراحی کارآمد در کاربردهای بحرانی

- قابل تحمل نبودن اشکالات و نقص‌ها در این سیستم‌ها
  - خسارت‌های گسترده جانی، زیست‌محیطی و مالی
- اطمینان ناشی از بکارگیری سیستم‌های نهفته در کاربردهای بحرانی
  - فراگیر شدن کاربردهای بحرانی
- اهمیت زیاد و وابستگی الزامات
  - لزوم درنظر داشتن تمامی الزامات و حساسیت‌ها

آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# چالش‌های طراحی سیستم‌های نهفته بحرانی

مقدمه و کاربردها | چالش‌های طراحی | رویکردهای مواجهه | جمع‌بندی و روال تحقیقاتی

# چالش‌های فرایند طراحی

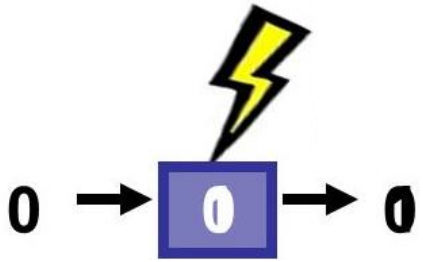
- محقق نمودن تمامی الزامات سیستم‌های بحرانی
  - الزامات کارکردی، الزامات عملکردی و محدودیت‌های پیاده‌سازی
- درنظر داشتن همزمان این الزامات
  - وجود روابط ناهمسو و متخاصم
  - شکل‌گیری مصالحه در تحقق الزامات
  - در نظر داشتن محدودیت‌های پیاده‌سازی

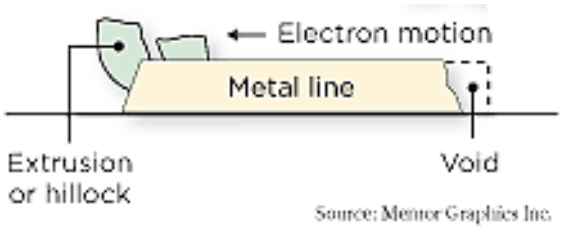
# چالش‌های طراحی سیستم‌های نهفته بحرانی

- تحقق هم‌زمان و بهینه‌سازی توام براساس الزامات عملکردی و ساختاری سیستم
  - قابلیت اطمینان
  - توان مصرفی
  - کارایی و زمان اجرا
  - دمای تراشه

# قابلیت اطمینان

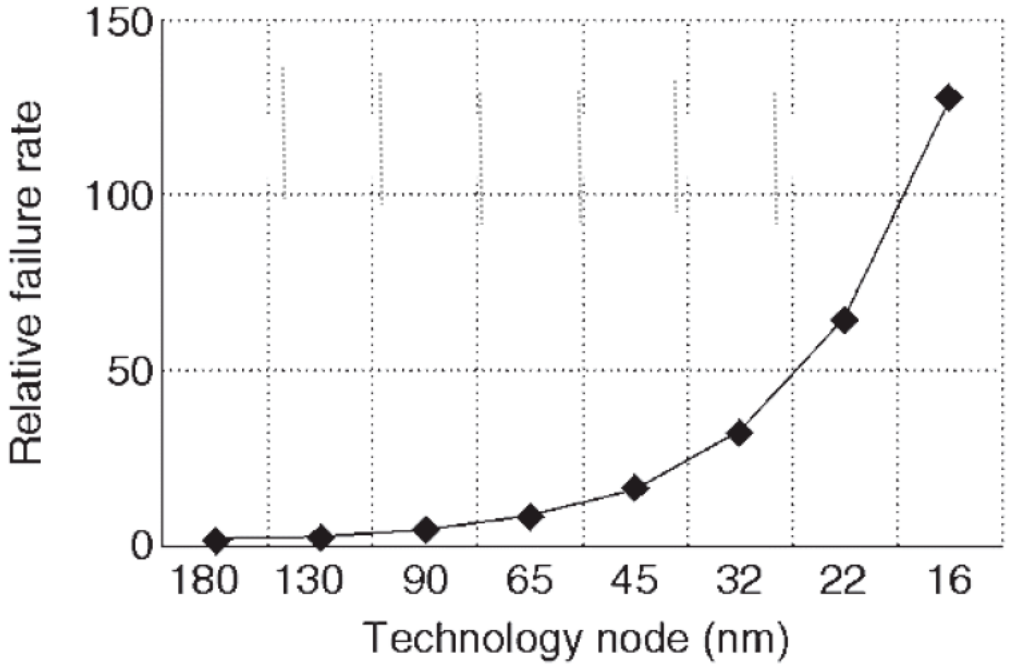
- رخداد خرابی در واحدهای پردازشی و اتصالات
  - خرابی‌های گذرا
    - تاثیر موقت بر کارکرد سیستم و تولید خروجی نادرست
    - وابسته به مشکلات گذرا و نوسانات
  - خرابی‌های دائمی
    - تاثیر دائم به‌دلیل ایجاد فرسودگی در سیستم
    - وابسته به ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری سیستم
    - مکانیزم‌های خرابی متنوع



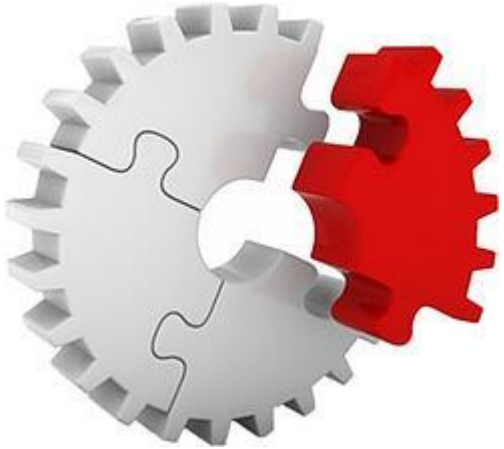
# قابلیت اطمینان

- افزایش اهمیت مسئله قابلیت اطمینان با پیشرفت فناوری ساخت



# قابلیت اطمینان

- عوامل تاثیرگذار بر قابلیت اطمینان
  - فرکانس پردازشی سیستم، دما، تنظیمات فرایند ساخت
- روش‌های مدیریت قابلیت اطمینان
  - افزونگی و اجراهای موازی
  - افزایش طول‌عمر و به تاخیر انداختن فرسودگی
    - بکارگیری تجهیزات با کیفیت بالاتر
  - بازپیکربندی سیستم

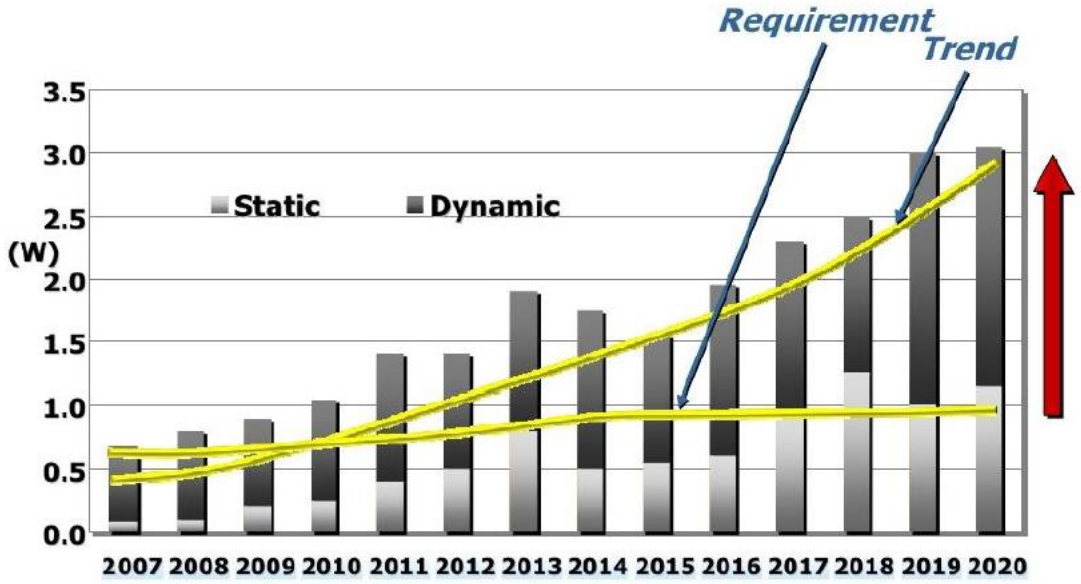


# توان مصرفی

- اهمیت توان مصرفی
  - افزایش مصرف انرژی با بیشتر شدن کارایی محاسبات
  - الزام مستقل بودن سیستم‌های بحرانی و وابستگی آن‌ها به منبع انرژی محدود باتری
  - افزایش با پیشرفت تکنولوژی ساخت

# انواع توان مصرفی

- ایستا
  - ناشی از جریان نشتی و اهمیت زیاد در تکنولوژی‌های جدید
- پویا
  - ناشی از سوئیچینگ و وابسته به ولتاژ و فرکانس

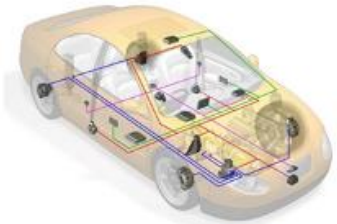


# توان مصرفی

- عوامل تاثیرگذار بر توان مصرفی
  - فرکانس پردازشی، ولتاژ، دما، جریان نشتی
- روش‌های مدیریت توان مصرفی
  - مقیاس پویای ولتاژ و فرکانس
  - Clock gating
  - روش‌های مدیریت دما و ...

# کارایی و زمان اجرا

- اهمیت مدیریت زمان اجرا
  - تاثیر مستقیم بر کارایی سیستم
  - لزوم رعایت موعد زمانی در کاربردهای بحرانی
    - سیستم‌های بی‌درنگ

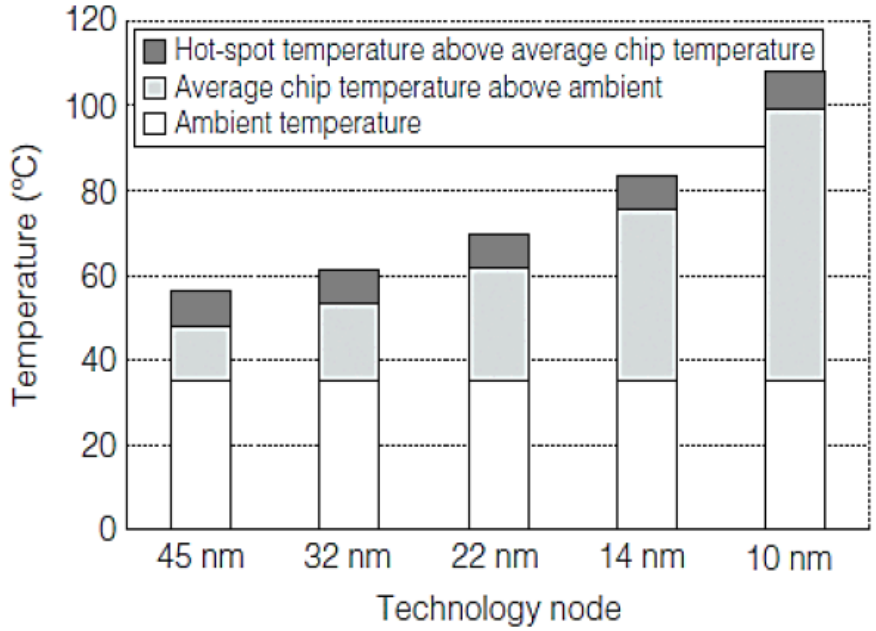


# کارایی و زمان اجرا

- عوامل تاثیرگذار بر زمان اجرا
  - فرکانس پردازشی سیستم، ارتباطات
- روش‌های افزایش کارایی و کاهش زمان اجرا
  - افزایش ظرفیت و فرکانس پردازشی سیستم
  - موازی‌سازی منابع پردازشی
  - اجرای برنامه در قالب دستورات کم و زود اجرا

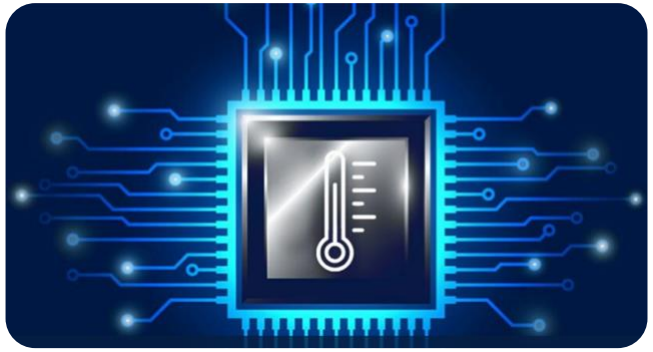
# دمای تراشه

- اهمیت دمای تراشه
  - پیشرفت تکنولوژی ساخت و افزایش چگالی توان
  - اهمیت یافتن خطاهای سخت و دائمی



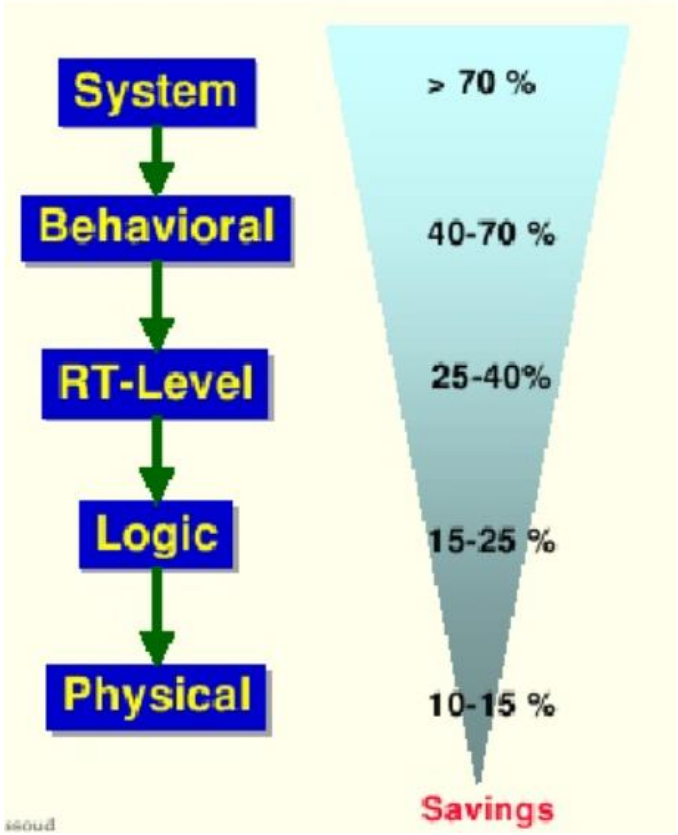
# دمای تراشه

- عوامل تاثیرگذار بر دما
  - توان مصرفی، تغییرات دما در زمان، دمای سایر اجزای سیستم
- روش‌های مدیریت دمای تراشه
  - خنک کردن
    - کنترلرهای فن
    - افزودن زمان‌های بیکاری
  - مدیریت توان مصرفی



# مدیریت چالش‌ها در سطوح مختلف تجرید

- قابلیت مدیریت پارامترهای مطرح شده در سطوح مختلف تجرید
  - انعطاف بیشتر در سطوح بالاتر
  - تصمیمات موثرتر با هدف بهبود پارامترهای طراحی

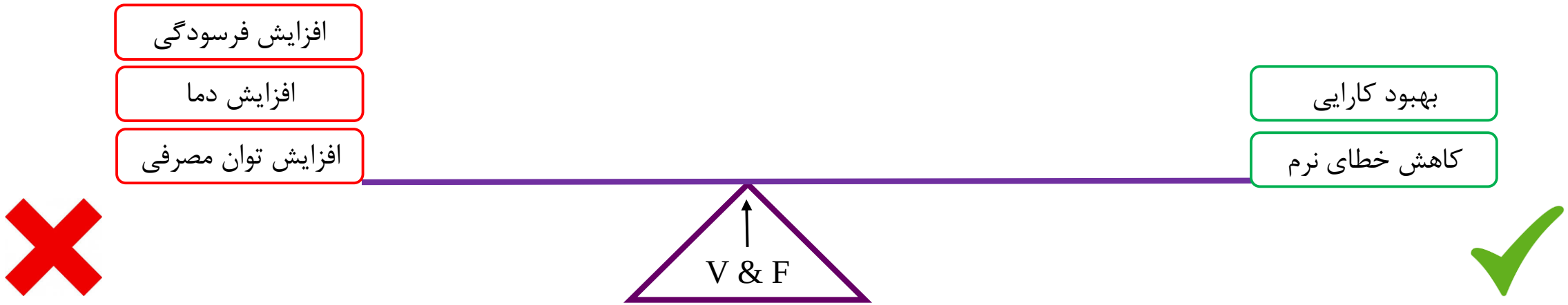


# تحقق همزمان چالش‌های طراحی

- رعایت تمامی الزامات مستلزم تحقق همزمان چالش‌های طراحی
  - قابلیت اطمینان: تاثیر بر طول‌عمر و خطاهای نرم
  - توان مصرفی: تاثیر بر دمای تراشه و طول‌عمر باتری‌ها
  - کارایی: تاثیر بر رعایت موعد و اجرای به‌موقع کاربرد
  - دمای تراشه: تاثیر بر چگالی توان مصرفی و طول‌عمر
- رابطه ناهمسو و درهم آمیخته این پارامترها و شکل‌گیری مصالحه
- درنظر گرفتن محدودیت‌های معماری

# تحقق همزمان چالش‌های طراحی

- رابطه ناهمسو و درهم آمیخته این پارامترها و شکل‌گیری مصالحه

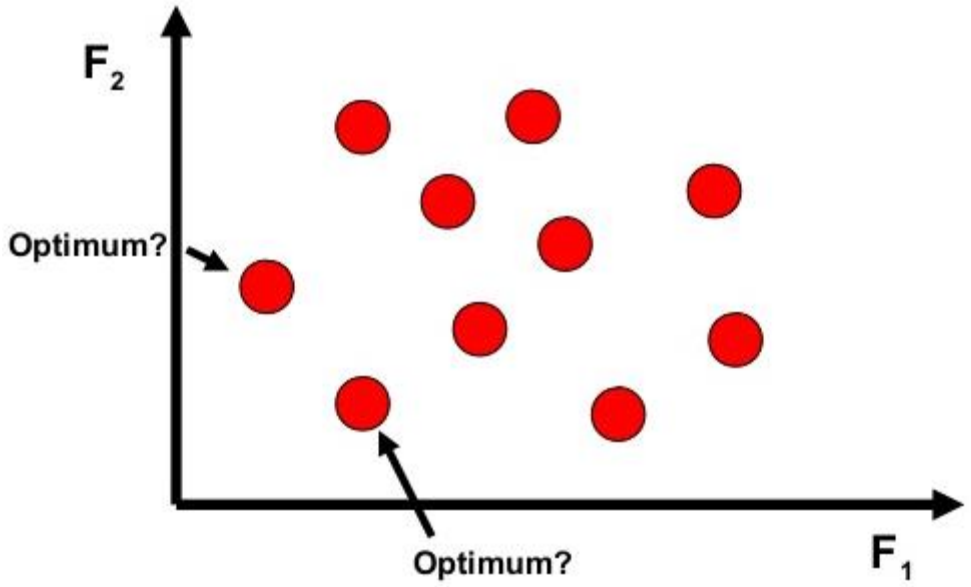





آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# تحقق همزمان چالش‌های طراحی

- شکل‌گیری مسئله بهینه‌سازی چندهدفی
  - تحقق همزمان چالش‌های طراحی و مدیریت مصالحه بین پارامترها
  - حل مسئله در سطوح مختلف
    - تمرکز بر سطح سیستم در ادامه ارائه

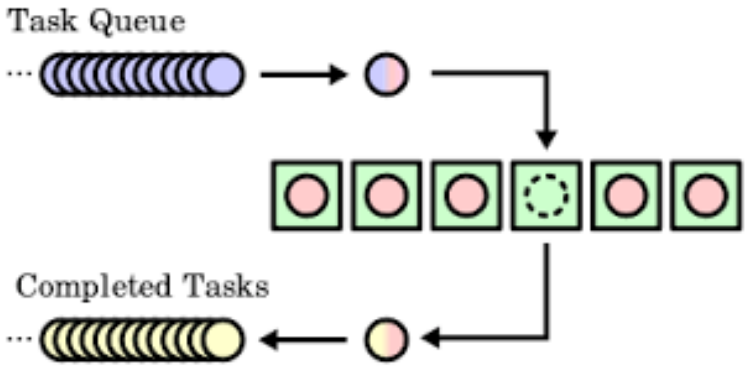


# رویکردهای مواجهه با چالش‌های طراحی سیستم‌های نهفته بحرانی

مقدمه و کاربردها | چالش‌های طراحی | رویکردهای مواجهه | جمع‌بندی و روال تحقیقاتی

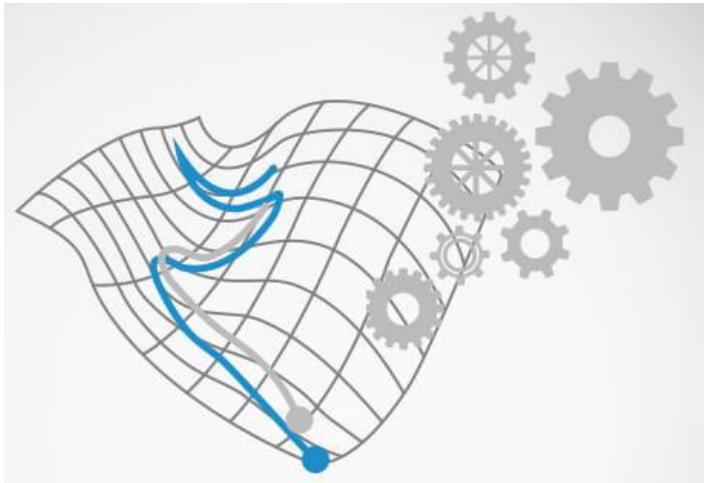
# مواجهه با چالش‌های طراحی در سطح سیستم

- زمان‌بندی و نگاشت وظایف
  - فرایند سطح سیستمی تعیین زمان و مکان اجرای وظایف و اتصالات با هدف:
    - بهبود موثر چالش‌های طراحی
  - مساله با پیچیدگی NP-hard
  - قابل حل در زمان طراحی، زمان اجرا و هردو



# مواجهه با چالش‌های طراحی در سطح سیستم

- شکل‌گیری مسئله بهینه‌سازی چندهدفی در حین زمان‌بندی و نگاشت وظایف
  - مشخص کردن ترتیب اجرای وظایف برنامه کاربردی
  - تخصیص وظایف به عناصر پردازشی مناسب در سیستم چندپردازنده‌ای روی تراشه
  - بهینه‌سازی توأم پارامترهای اساسی در طراحی سیستم‌های بحرانی
    - قابلیت اطمینان، توان مصرفی، کارایی و دمای تراشه
  - حل توسط رویکردهای جستجوی فضای طراحی

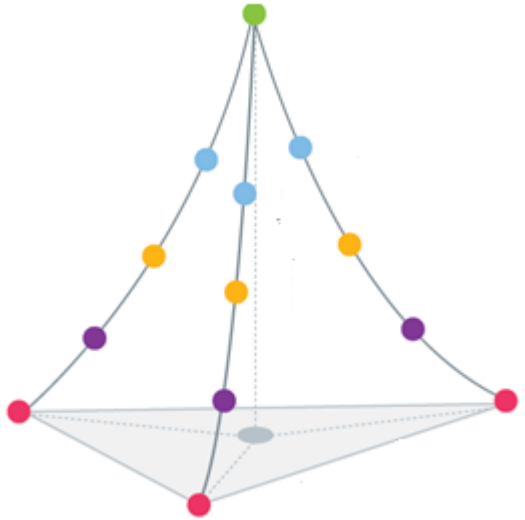




آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

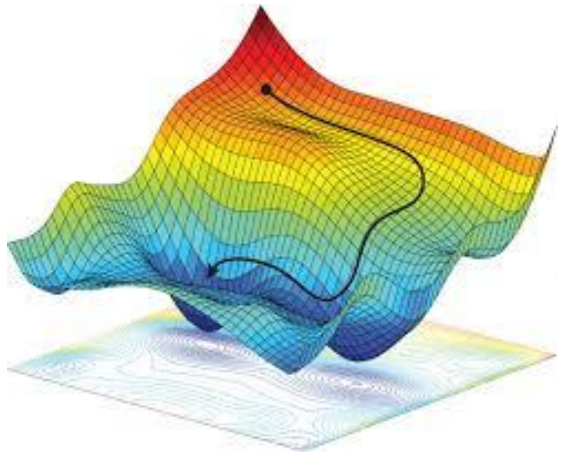
# بهینه‌سازی چندهدفی در حین زمان‌بندی و نگاشت وظایف

- اهداف و محدودیت‌های مسئله
  - بهینه‌سازی پارامترهای اساسی سیستم
  - رعایت محدودیت‌های ناشی از معماری سیستم
  - رعایت محدودیت‌های مسئله زمان‌بندی و نگاشت وظایف



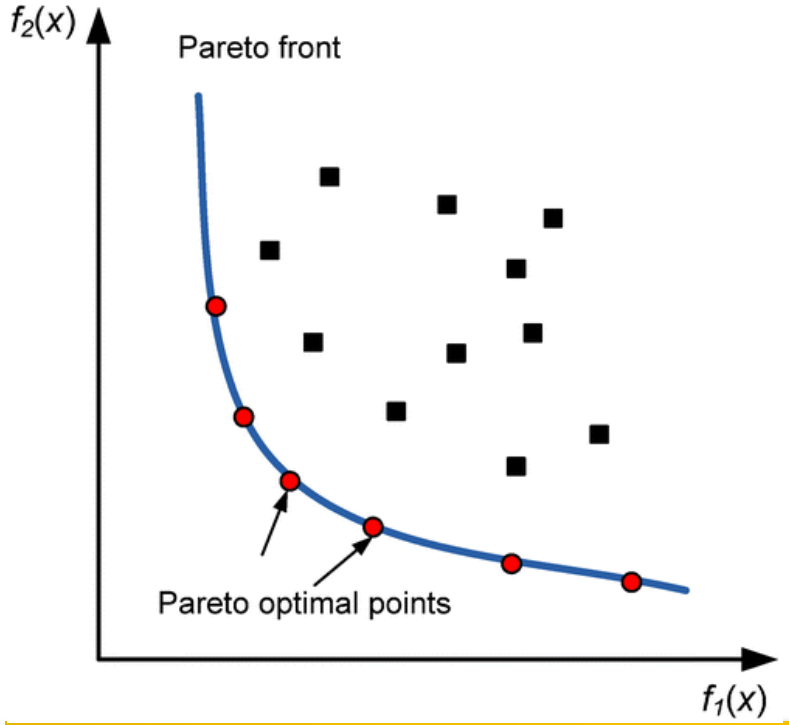
# بهینه‌سازی چندهدفی در حین زمان‌بندی و نگاشت وظایف

- رویکردهای حل و جستجوی فضای طراحی
  - با هدف وارسی نقاط طراحی و یافتن راهکارهایی جهت تحقق اهداف و محدودیت‌های مسئله
  - روش‌های دقیق
    - جستجوی کامل، مدلسازی ریاضی مسئله
  - روش‌های تقریبی
    - جستجوی تصادفی، روش‌های مکاشفه‌ای و فرامکاشفه‌ای



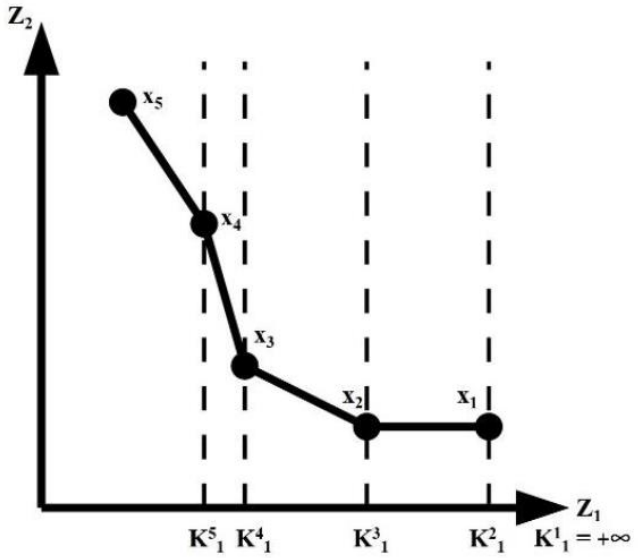
# بهینه‌سازی چندهدفی در حین زمان‌بندی و نگاشت وظایف

- عدم وجود جواب یکتا برای حل مسئله
  - مجموعه جواب در قالب پوسته Pareto
  - انتخاب نقاط مجموعه جواب براساس جستجوی فضای طراحی
    - با هدف بهینه کردن اهداف و رعایت محدودیت‌ها
  - مفهوم غلبه در انتخاب نقاط بهینه



# رویکردهای مکاشفه‌ای حل مسئله

- اساس: تبدیل مسئله بهینه‌سازی چندهدفی به تک‌هدفی
  - مانند انتقال همه اهداف به‌جز یکی به محدودیت‌ها
  - تعریف آستانه برای اهداف منتقل شده به محدودیت‌ها و حل تکراری مسئله
    - انتخاب هدف اصلی برحسب کاربرد و اولویت‌ها



# رویکردهای مکاشفه‌ای حل مسئله

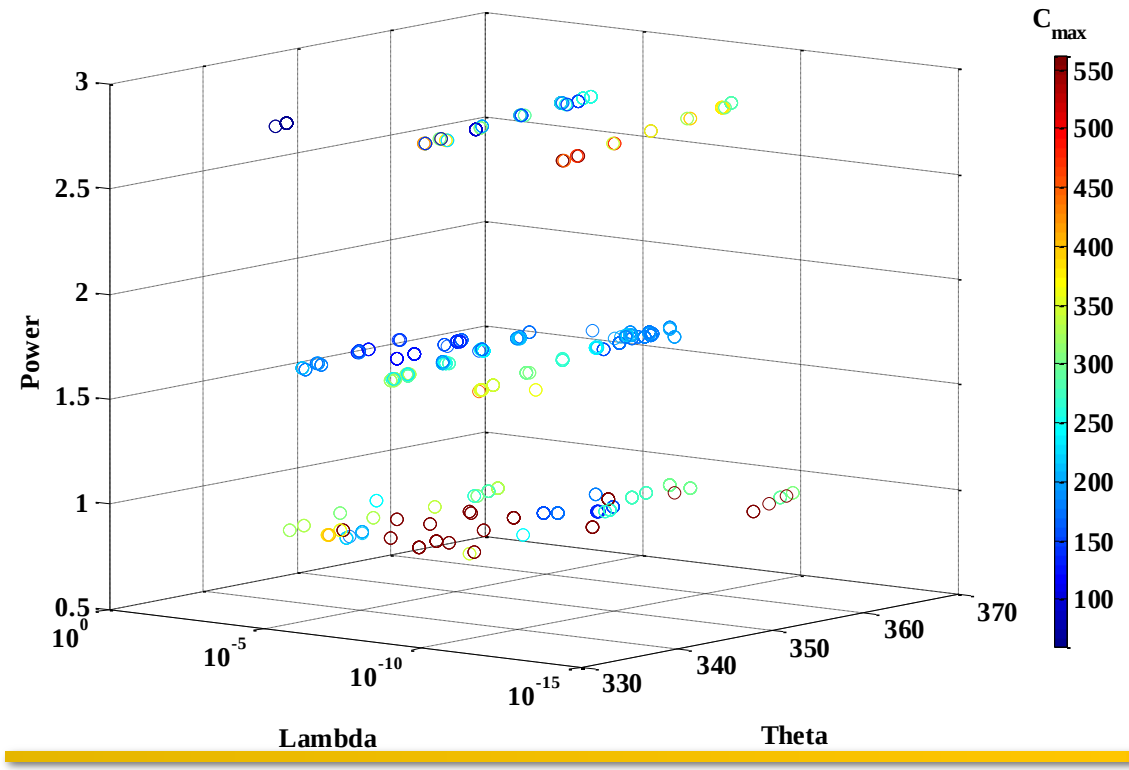
- رویکرد مکاشفه‌ای حل مسئله (ERPOT):
  - درنظر گرفتن کارایی به‌عنوان هدف اصلی مسئله
  - مدلسازی دقیق محدودیت‌ها
  - روش زمان‌بندی مبتنی بر الگوریتم لیستی و نگاشت براساس تابع هدف و محدودیت‌ها
  - جستجوی فضای طراحی با تغییر تکراری آستانه‌های محدودیت‌ها

$$Q_{best} = argmin_{Q_i \subseteq Q} \{L^{(n+1)} \mid (\Lambda(\tau, Q_i) \leq \Lambda_{obj}) \wedge ((E^{(n+1)} - E^{(n)}) \leq P_{obj}.(L^{(n+1)} - L^{(n)})) \wedge (T^{(n+1)} \leq T_{obj})\}$$

**Reference:** Abdi, A. Girault, and H. Zarandi, "ERPOT: A Quad-Criteria Scheduling Heuristic to Optimize Execution Time, Reliability, Power Consumption and Temperature in Multicores," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2019.

# رویکردهای مکاشفه‌ای حل مسئله

- رویکرد مکاشفه‌ای حل مسئله (ERPOT):
  - نمونه‌ای از پوسته Pareto مجموعه جواب‌ها
    - برنامه کاربردی سایز متوسط



# رویکردهای مکاشفه‌ای حل مسئله

- رویکرد مکاشفه‌ای حل مسئله دیگر (PETOS):
  - تجمیع اهداف مسئله در قالب یک تابع هزینه وزن‌دار
  - رویکرد حریصانه براساس نرمال‌سازی ضرایب پارامترها
    - مشخص کردن ترتیب و مکان اجرا به‌صورت حریصانه و تکراری

$$\frac{w_1}{n_1} LFT_k + \frac{w_2}{n_2} Energy_k + w_3(Max.Temp_k - n_3), \quad \forall 1 \leq k \leq K$$

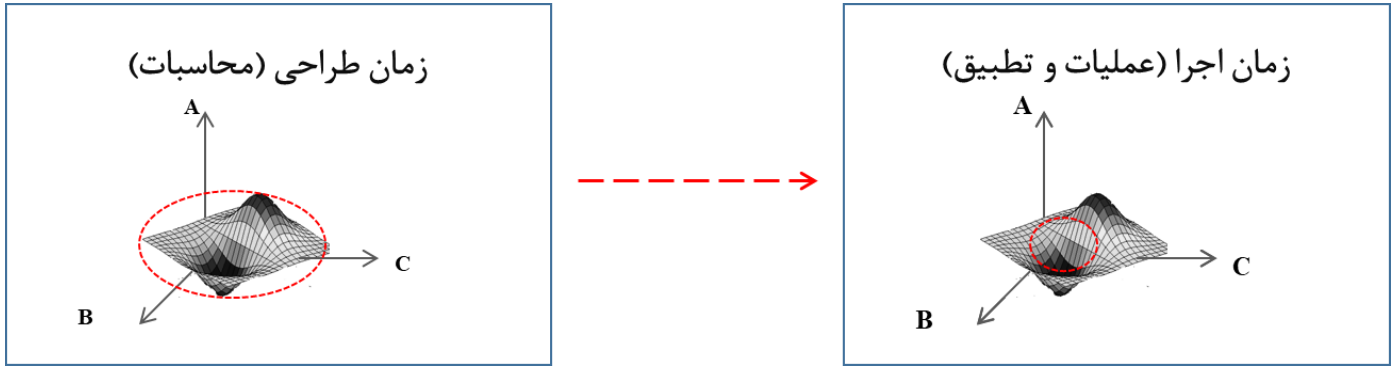
**Reference:** H. F. Sheikh and I. Ahmad, "Sixteen Heuristics for Joint Optimization of Performance, Energy, and Temperature in Allocating Tasks to Multi-Cores," *ACM Transactions on Parallel Computing*, 2016.



آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# رویکردهای مکاشفه‌ای حل مسئله

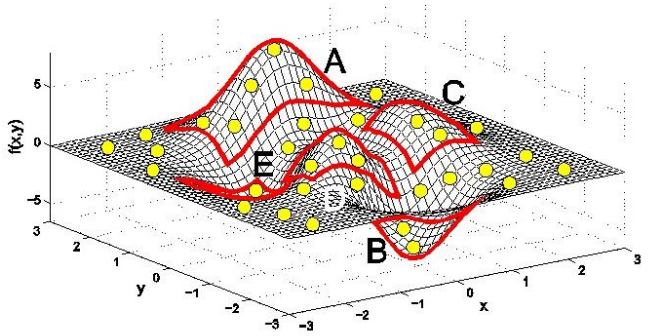
- قابلیت بهبود عملکرد رویکردهای مکاشفه‌ای با افزودن کنترل برخط محدود
  - تطبیق دادن جواب‌های ایستا برحسب شرایط اجرا
  - درنظر گرفتن شرایط واقعی مدلسازی نشده در حل مسئله
  - افزودن سربار زمانی به سیستم




**Reference:** A. Abdi, and H. Zarandi, "HYSTERY: a hybrid scheduling and mapping approach to optimize temperature, energy consumption and lifetime reliability of heterogeneous multiprocessor systems," The Journal of Supercomputing, 2018.

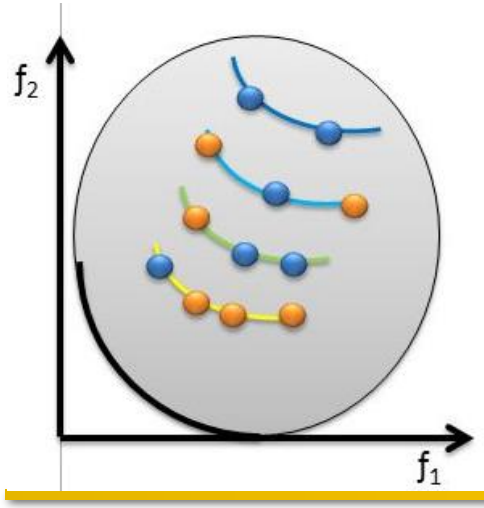
# رویکردهای فرامکاشفه‌ای حل مسئله

- جستجوی فضای جواب با الهام از پدیده‌ها و رفتارهای طبیعی
- جستجوی مؤثرتر نسبت به رویکرد مکاشفه‌ای به‌دلیل موازی‌سازی و تکرار زیاد
- مانند الگوریتم‌های تکاملی، ازدحام ذرات و ...
- مشکل این روش‌ها، کنترل همگرایی و تطبیق دادن مسئله به الگوریتم مناسب



# رویکردهای فرامکاشفه‌ای حل مسئله

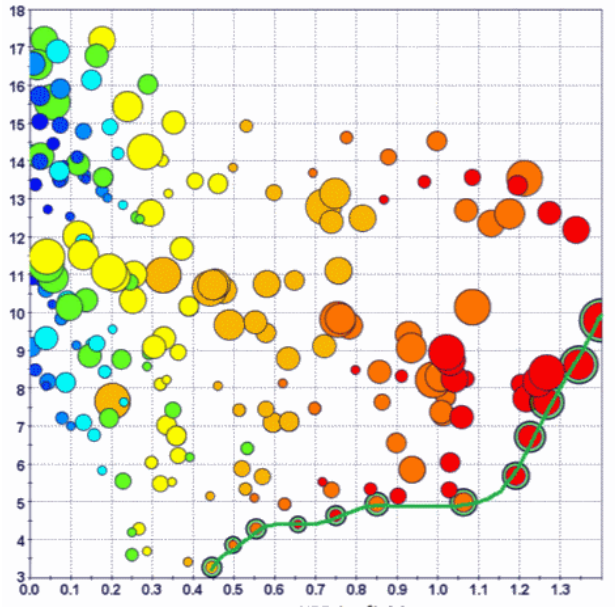
- حل مسئله مبتنی بر الگوریتم ژنتیک:
  - سازگاری ویژگی‌های مسئله زمان‌بندی و نگاشت با الگوریتم ژنتیک
  - الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفی مبتنی بر ژنتیک: NSGA-II
    - ساخت پوسته Pareto و جستجوی فضای طراحی به‌صورت تصادفی و توسط تقاطع و جهش
    - پیاده‌سازی جواب‌های مسئله به‌صورت مجموعه کروموزوم‌ها




**Reference:** A. Abdi, and H. Zarandi, "A Meta heuristic-based Scheduling approach to Optimize Lifetime Reliability, Performance and Power Consumption of Heterogeneous MPSoCs," Microelectronics Journal, 2019.

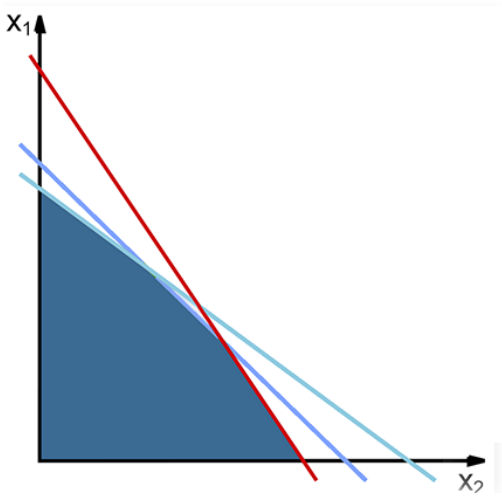
# رویکردهای فرامکاشفه‌ای حل مسئله

- سایر روش‌های فرامکاشفه‌ای حل مسئله:
  - الگوریتم‌های ازدحام ذرات، شبیه‌ساز ذوب، جستجوی TABU و ....
  - تمرکز بر پارامترها و چالش‌های گوناگون در تعریف مسئله
  - زمان اجرای طولانی و قابل بکارگیری در حین طراحی



# رویکردهای قطعی حل مسئله

- رویکردهای قطعی مبتنی بر مدلسازی ریاضی:
  - تعریف مسئله بهینه‌سازی در قالب مدل برنامه‌سازی خطی
  - جستجوی کامل و دقیق تمامی فضای طراحی و استخراج پاسخ بهینه
  - تبدیل مسئله چند هدفی به یک‌هدفی و استخراج پوسته Pareto



# رویکرد قطعی مبتنی بر مدلسازی ریاضی

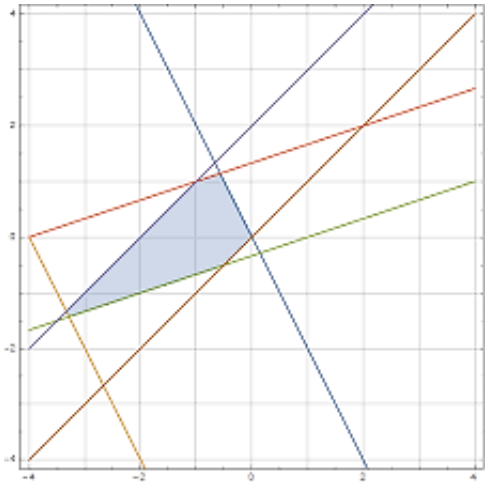
- مسئله زمان‌بندی و نگاشت قابل مدل‌سازی توسط مدل برنامه‌سازی صحیح خطی
  - بهینه‌سازی: مشخص کردن ترتیب اجرا و تخصیص وظایف به عناصر پردازشی با هدف رعایت محدودیت‌ها
- زمان‌گیر و پیچیده بودن جستجوی دقیق و قطعی فضای مسئله
  - حل توسط Solverها و در مقیاس محدود
- تعریف تابع هدف و محدودیت‌ها
  - پوشش کامل مسئله با رعایت محدودیت‌های سیستمی و پیاده‌سازی
  - تعریف به‌صورت خطی و با متغیرهای صحیح



آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# رویکرد قطعی مبتنی بر مدلسازی ریاضی

- حل مسئله زمان‌بندی و نگاشت با هدف بهینه‌سازی همزمان چالش‌های مطرح شده
- مدلسازی دقیق و خطی چالش‌ها و روش‌های بهبود آن‌ها
  - افزایش نمایی تعداد متغیرها و محدودیت‌های مسئله با افزایش اندازه برنامه کاربردی
    - قابل حل بودن مسئله (Feasibility)



**Reference:** Abdi, A. Girault, and H. Zarandi, "ERPOT: A Quad-Criteria Scheduling Heuristic to Optimize Execution Time, Reliability, Power Consumption and Temperature in Multicores," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2019.



آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# بهینه‌سازی چندهدفی در حین زمان‌بندی و نگاشت وظایف

- جمع‌بندی و مقایسه رویکردهای بیان شده:
  - روش‌های مکاشفه‌ای:
    - سادگی، زمان اجرای کم، دقت کم
  - روش‌های فرامکاشفه‌ای:
    - جامعیت بیشتر در جستجو، زمان اجرای زیاد، پیچیدگی تنظیمات
  - روش‌های قطعی:
    - دقت بالای جستجو، زمان و پیچیدگی بسیار بالا، دشواری استخراج، محدودیت تعریف

# جمع‌بندی و روال تحقیقاتی

مقدمه و کاربردها
چالش‌های طراحی
رویکردهای مواجهه
جمع‌بندی و روال تحقیقاتی

# جمع‌بندی

- سیستم‌های نهفته به‌عنوان پرکاربردترین سیستم‌های پردازشی
- کاربردهای بحرانی و الزامات اساسی آن‌ها
  - قابلیت اطمینان، توان مصرفی، کارایی و دمای تراشه
- روش‌های مواجهه با الزامات و چالش‌ها در سطوح مختلف تجرید
- رویکردهای بهینه‌سازی توأم پارامترها در حین زمان‌بندی و نگاشت وظایف
  - روش‌های مکاشفه‌ای، فرامکاشفه‌ای و مدلسازی قطعی


آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

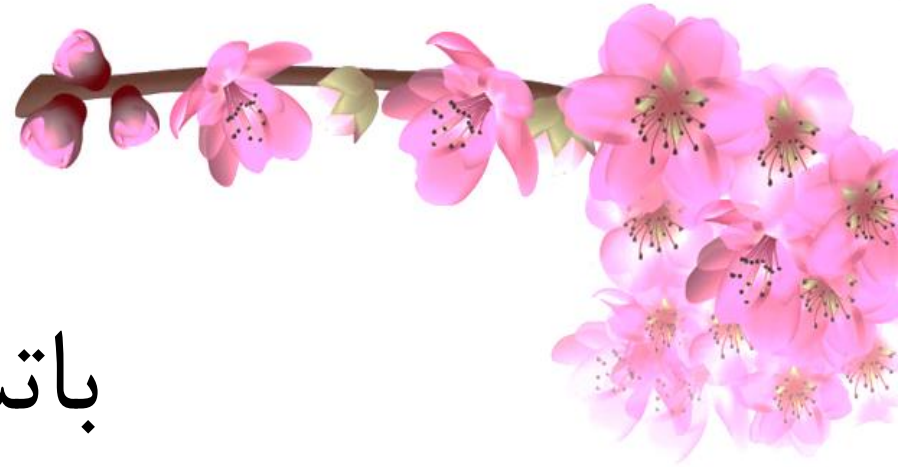
# روال تحقیقاتی

- پیاده‌سازی و امکان‌سنجی مسئله در معماری‌های مدرن با هدف بهبود بیشتر
  - تراشه‌های سه‌بعدی
  - سیستم‌های میان‌ارتباطی جدید
- مواجهه با چالش‌ها در بستر روش‌های میان‌لایه‌ای
  - بکارگیری اطلاعات و روش‌های سطوح مختلف تجرید با هدف افزایش توانمندی بهبود
- طرح مسئله در سامانه‌های اینترنت اشیا و ناهمگن پردازشی
- بهبود روش‌های موجود و رفع چالش‌ها

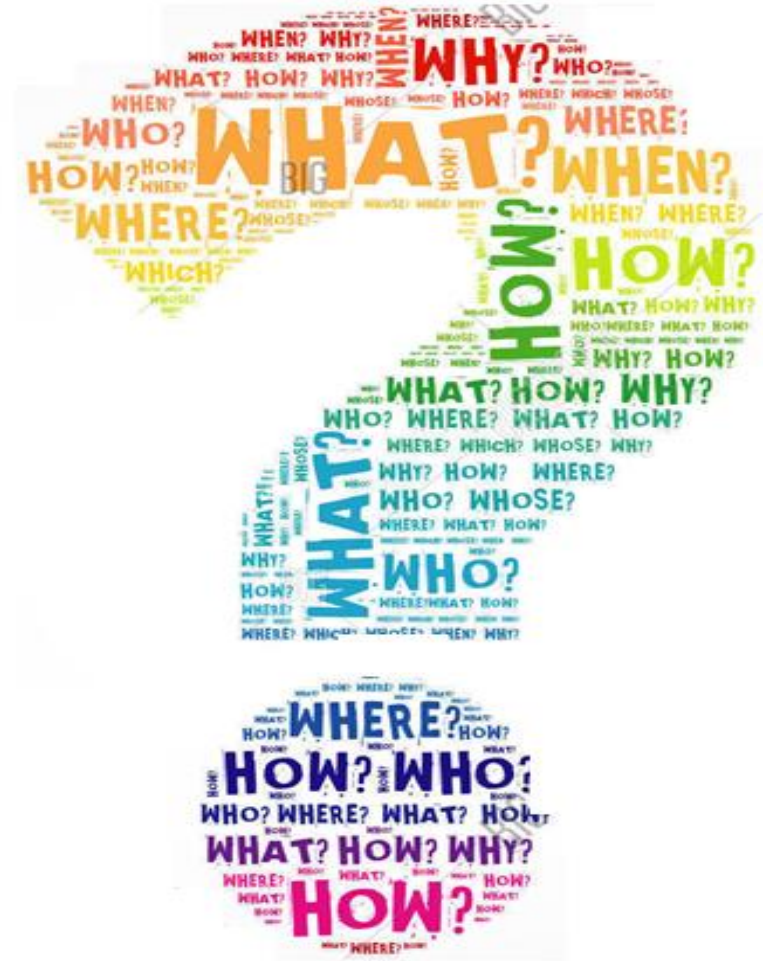

آتنا عبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# مطالعات بیشتر ...


- A. Abdi, A. Girault, and H. Zarandi. “ERPOT: A Quad-Criteria Scheduling Heuristic to Optimize Execution Time, Reliability, Power Consumption and Temperature in Multicores.” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2019.
- A. Abdi, and H. Zarandi. "HYSTERY: a hybrid scheduling and mapping approach to optimize temperature, energy consumption and lifetime reliability of heterogeneous multiprocessor systems." *The Journal of Supercomputing*, 2018.
- A. Abdi, and H. Zarandi. “A Meta heuristic-based Scheduling approach to Optimize Lifetime Reliability, Performance and Power Consumption of Heterogeneous MPSoCs.” *Microelectronics Journal*, 2019.
- K. Cao, X. Guo, Z. Junlong, Mingsong Chen, W. Tongquan, L. Keqin, "Lifetime-aware real-time task scheduling on fault-tolerant mixed-criticality embedded systems." *Future Generation Computer Systems*, 2019.
- M. Ansari, J. Saber-Latibari, M. Pasandideh, A.Ejlali. "Simultaneous Management of Peak-Power and Reliability in Heterogeneous Multicore Embedded Systems." *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2020.
- M. Ammar, M. Baklouti, and M. Abid, "The Performance-Energy Tradeoff in Embedded Systems Design: A Survey of Existing Design Space Exploration Tools and Trends," *International Journal of Computer Science and Information Security,* 2016.
- Y. Ma, T. Chantem, R. P. Dick, and X. S. Hu, "Improving System-Level Lifetime Reliability of Multicore Soft Real-Time Systems," *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 2017.
- M. Karami, A. Abdi, and H. Zarandi. "A cross-layer aging-aware task scheduling approach for multiprocessor embedded systems." *Microelectronics Reliability, 2018.*
- A. K. Das, A. Kumar, B. Veeravalli, and F. Catthoor, "Literature Survey on System-Level Optimizations Techniques," in *Reliable and Energy Efficient Streaming Multiprocessor Systems*, Springer, 2018.
- B. Ouni, I. Mhedbi, C. Trabelsi, R. B. Atitallah, and C. Belleudy, "Multi-level energy/power-aware design methodology for MPSoC," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2017.



# باتشکر از توجه شما


WHAT?
WHY?
WHEN?
WHERE?
HOW?
WHO?
BIG