Systems Thinking
In Practice

2nd National Conference on

دومین کنفرانس ملی (مجازی)

تفکر سیستمی در عمل

Amirchap

NIAN ELECTRONIC
نیان الکترونیک
www.nianelectronic.com

مهندسی سیستم ها رهیافتی نوین در بهینه سازی چندمنظوره

ارائه دهنده: دکتر مصطفی ذاکری

مهندسي تعريفي عام است و به علم و تكنيكي اطلاق مي شود كه علوم پايه را به عملكرد, تكنولوژي,كاربرد و عمل تبديل مي كند. مهندسي مكانيک, مهندسي الكترونيک, مهندسي فرهنگي و غيره

سيستم كلي است كه هدف مشخص را دنبال مي كند، از مجموعه هاي مختلفي تشكيل شده كه هر كدام كاركرد خاصي دارند ولي آنچه هدف(ماموريت) سيستم را محقق مي نمايد، اجزاء آن نيستند بلكه نحوه تعامل و ارتباطات اجزاء است

مهندسی سیستم ها

روشی نظام مند و عملگرا برای تحقق محصول زیر چتر تفکر سیستمی

مهندس سیستم ها

فردی با تفکر سیستمی و بهره مند از هنر و علم مهندسی سیستم ها

رئوس مطالب

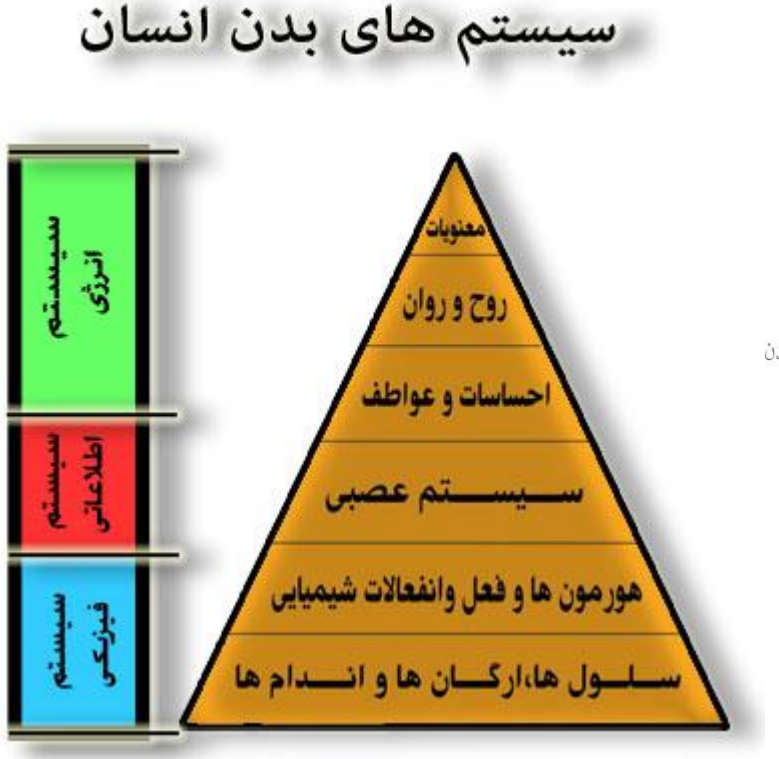
سیستم

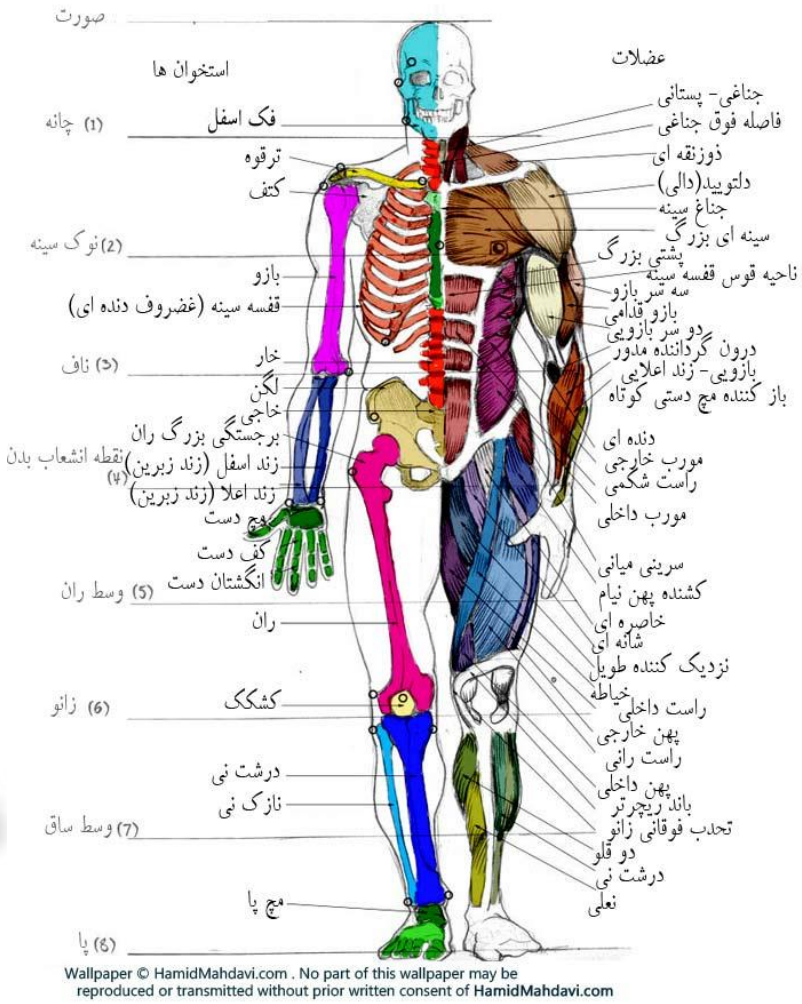
سیستم های پیچیده

بهینه سازی

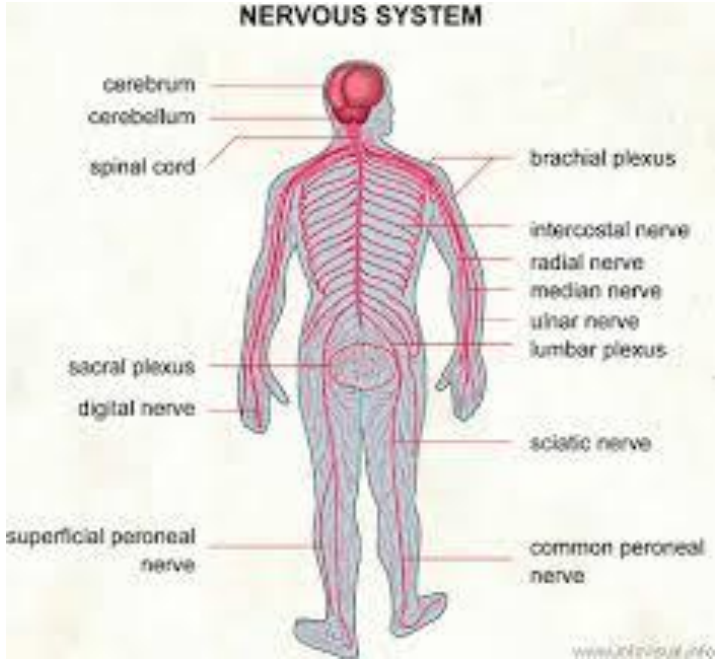
روش حل بهینه سازی سیستم های پیچیده

سیستم بدن انسان

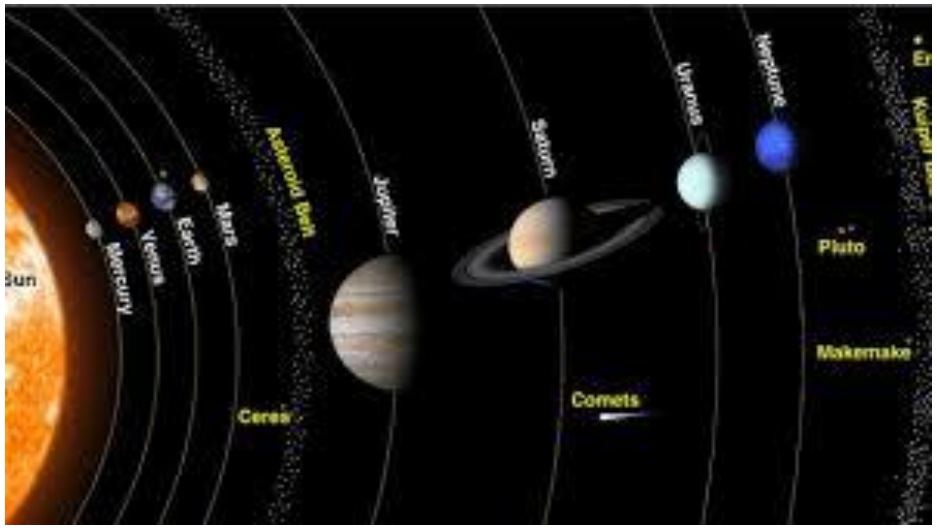




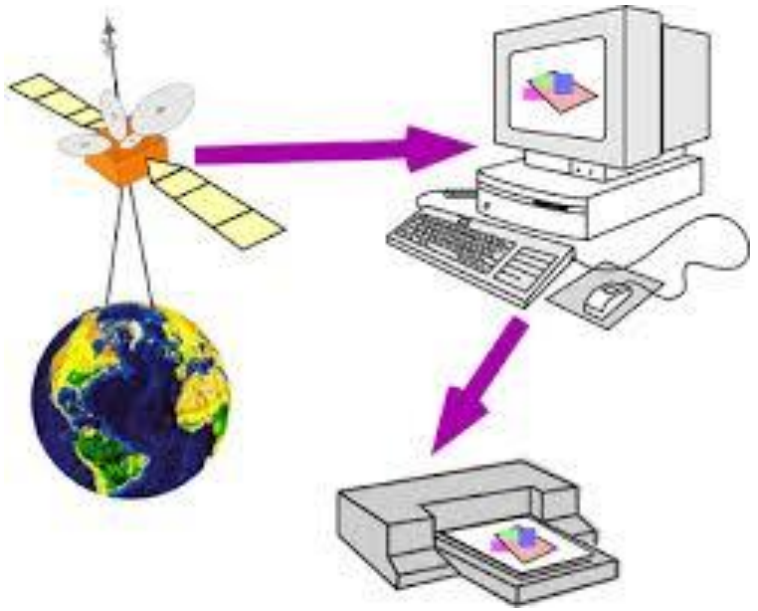
Wallpaper © HamidMahdavi.com . No part of this wallpaper may be reproduced or transmitted without prior written consent of HamidMahdavi.com



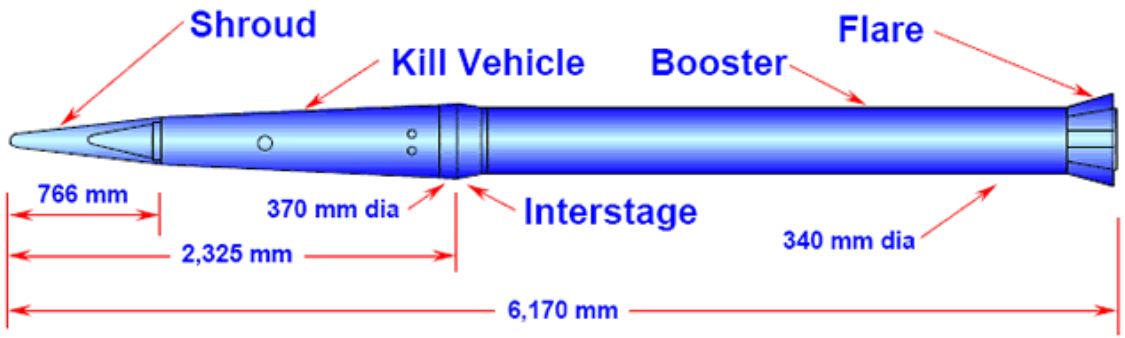
سیستم منظومه ها

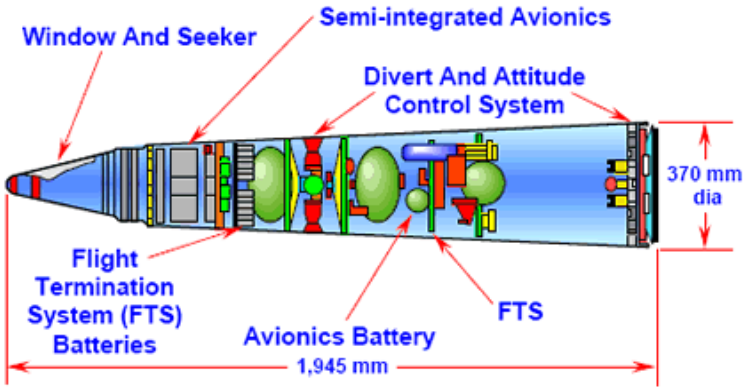


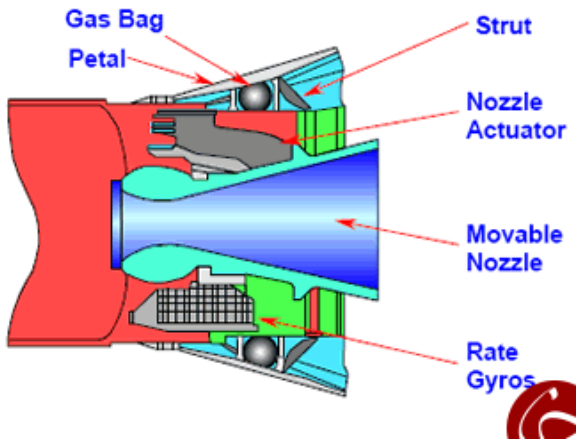
سیستم رایانه



سیستم موشک





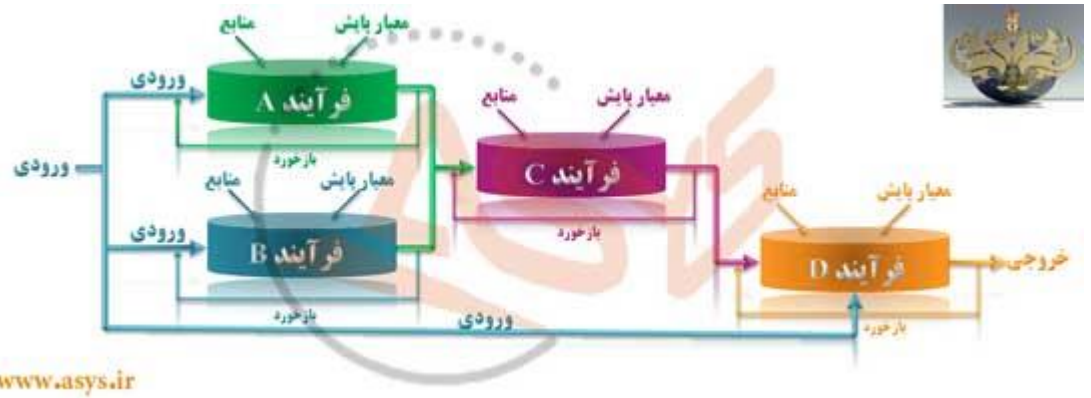


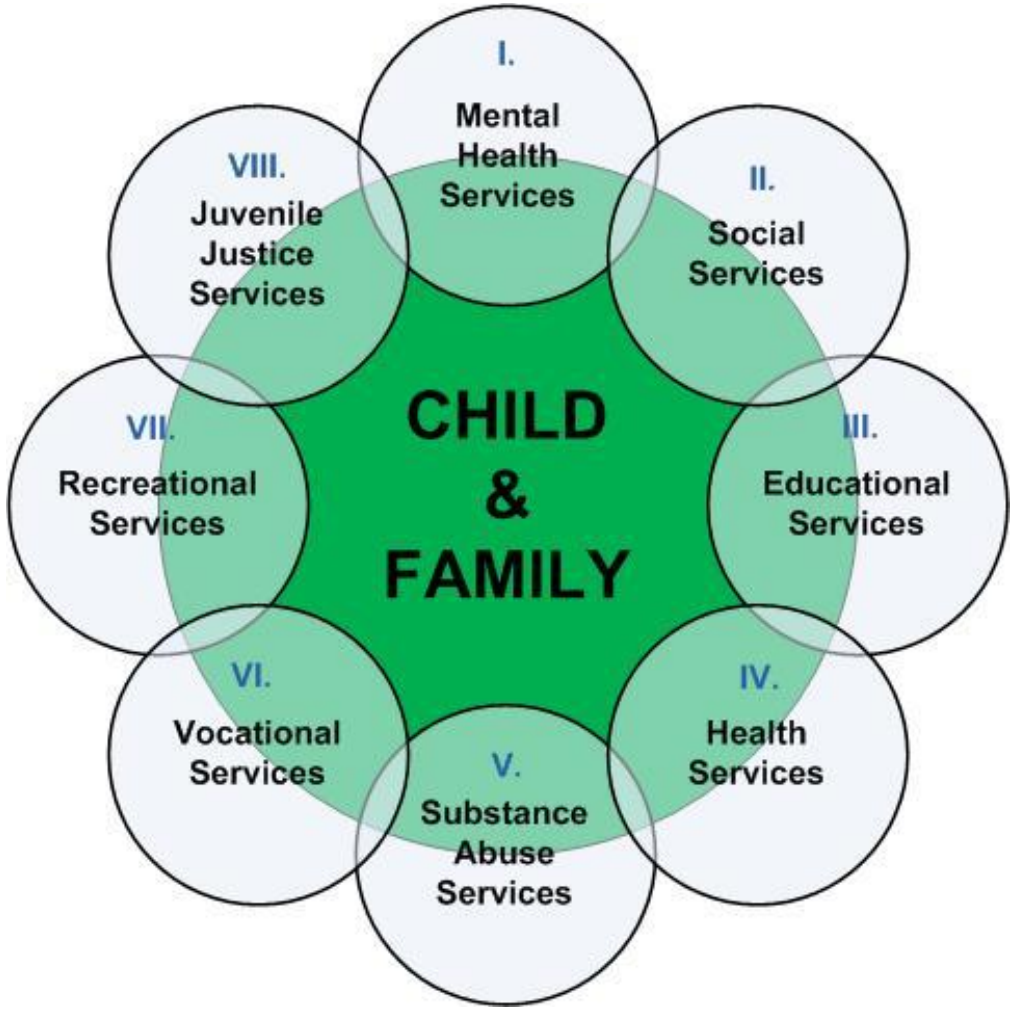
سیستم خودرو

WWW.SQS.IR
خط مشی و
اهداف
نظامنامه
روشهای اجرائی
مستندات پشتیبان

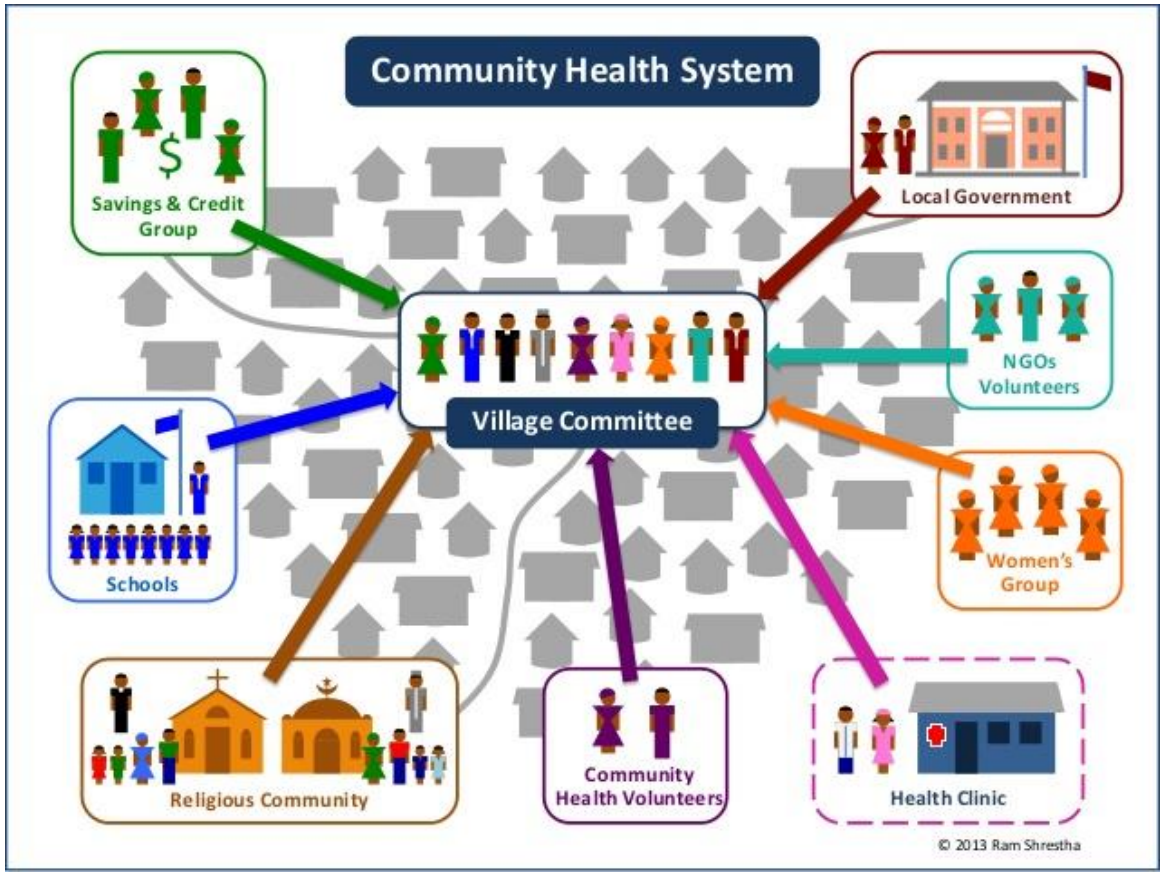
سیستم کیفیت

Quality System
Production System


منابع
معیار پایش
ورودی
فرآیند A
بازخورد
فرآیند C
فرآیند B
فرآیند D
خروجی
www.asys.ir



سیستم خانواده

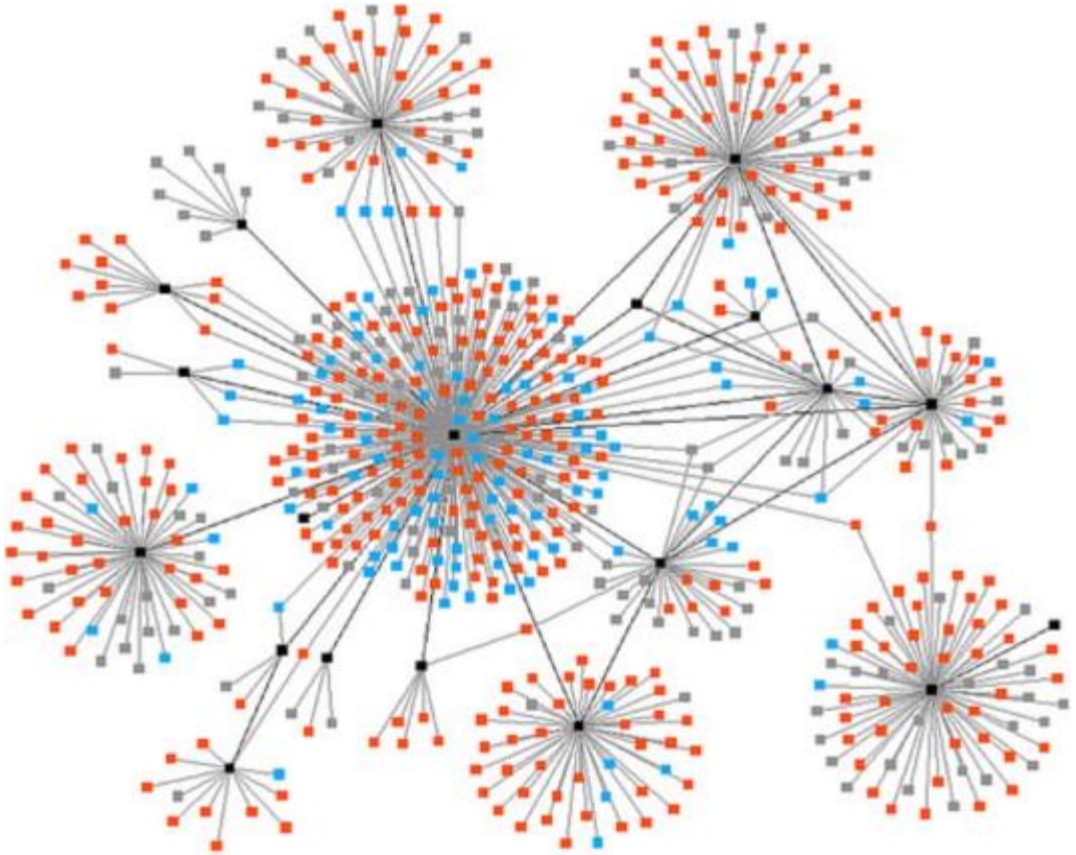


سیستم بهداشت

خصوصیات مشترک سیستم:

- سیستم از اجزای متعدد تشکیل می‌شود.
- اجزای سیستم با یکدیگر در ارتباط و تعامل هستند.
- برای سیستم‌ها می‌توان رفتار تعریف کرد. با حذف هر یک از اجزای سیستم، رفتار کلی سیستم تغییر می‌کند.
- معمولاً برای سیستم یک مرز تعریف می‌شود.
- برای بسیاری از سیستم‌ها می‌توان هدف تعریف کرد.
- سیستم‌ها را می‌توان به دو دسته‌ی باز و بسته تقسیم کرد.

سیستم های پیچیده



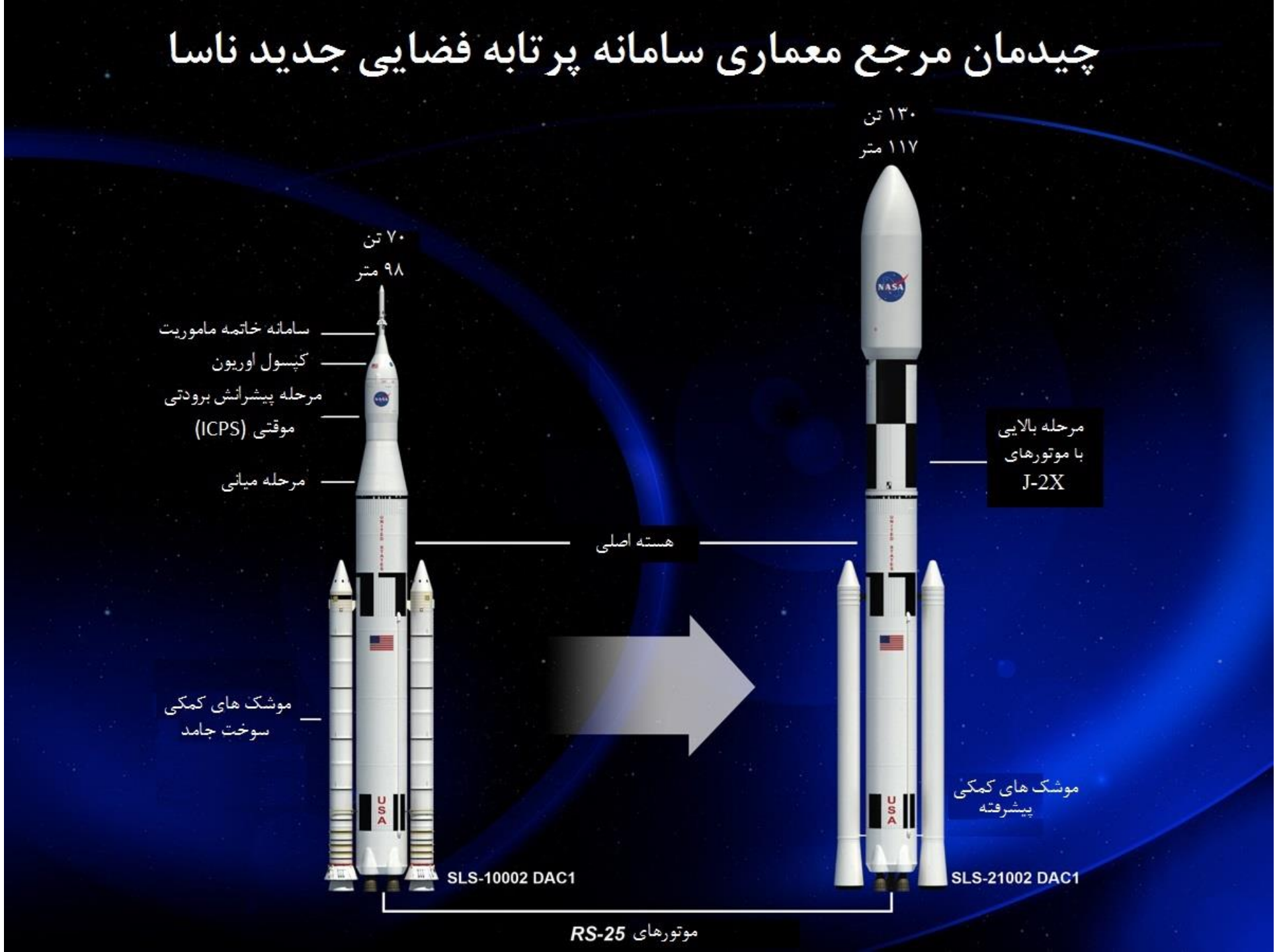
- تعریف ساختاری پیچیدگی:

سیستمی که تعداد عناصر و تعداد و تراکم روابط بینشان بیشتر باشد، پیچیده تر است.

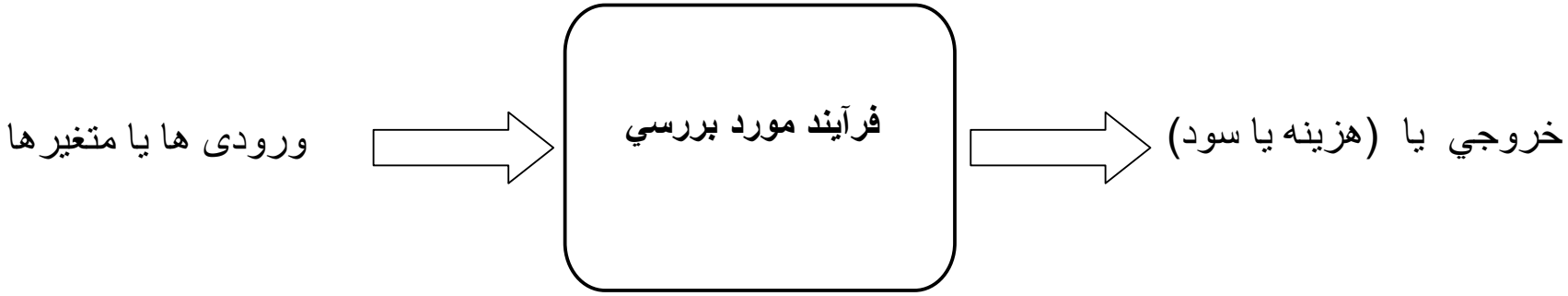
- تعریف کارکردی پیچیدگی:
- **سیستمی که میزان تراکم اطلاعات در درون سیستم و چگالی روابط میان عناصرش بیشتر باشد، پیچیده تر است.**

صنایع بزرگ همچون فولاد ، نساجی و ..

چیدمان مرجع معماری سامانه پرتابه فضایی جدید ناسا



بهینه سازی



۱. یک مجموعه از متغیرها $x_1,\ldots,x_n$ موسوم به به متغیر بهینه‌سازی[۴] یا متغیر تصمیم[۵].
۲. یک تابع موسوم به تابع هدف[۶] یا تابع معیار[۷] که روی متغیرهای تصمیم اعمال می‌شود و یک مقدار حقیقی را برمی‌گرداند و باید این تابع می‌نیمم یا ماکزیمم(بهینه) گردد.
۳. مجموعه‌ای از قیدها که روی متغیرهای تصمیم اعمال می‌شوند. این قیود می‌توانند به صورت تساوی یا غیرمساوی اعمال شوند.
۴. مجموعه‌های $\mathcal{D}_1,\ldots,\mathcal{D}_n$ به عنوان دامنه‌های متغیرهای $x_1,\ldots,x_n$. به عبارت دیگر x_i از مجموعه $\mathcal{D}_i$ انتخاب می‌گردد($x_i \in \mathcal{D}_i$). قیود دامنه‌ای $x_i \in \mathcal{D}_i$ برای اعمال شرایط خاصی روی متغیرهای از قبیل قیود کرانه‌ای[۸] به‌صورت $a \leq x_i \leq b$ و یا صحیح بودن متغیرها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

$$\min\ f(x_1,\ldots,x_n) \quad \}\ \text{تـابع هـدف}$$

$$\text{subject to}\begin{cases} g_1(x_1,\ldots,x_n) \le 0, \\ \quad\vdots \\ g_m(x_1,\ldots,x_n) \le 0, \end{cases} \quad \}\ \text{قیـــود نامســـاوی}$$

$$\begin{cases} h_1(x_1,\ldots,x_n) = 0, \\ \quad\vdots \\ h_k(x_1,\ldots,x_n) = 0, \end{cases} \quad \}\ \text{قیـــود تســـاوی}$$

$$\begin{cases} x_1 \in \mathcal{D}_1,\ldots,x_n \in \mathcal{D}_n \end{cases} \quad \}\ \text{قیـــود دامنـــه ای}$$

مساله بهینه‌سازی (۱) را می‌توان به فرم برداری زیر نیز بیان کرد

$$\begin{aligned} &\min f(\mathbf{x}) \\ &\quad \mathbf{h}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}, \\ &\quad \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0}, \\ &\quad \mathbf{x} \in \boldsymbol{\mathcal{D}}. \end{aligned} \tag{۲}$$

به‌طوری‌که

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix},$$

بردار متغیرهای تصمیم یا به طور خلاصه بردار تصمیم[۱۰] می‌باشد. توابع $\mathbf{h} : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^k$ و $\mathbf{g} : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^m$ به ترتیب متناظر با قیود تساوی و نامساوی به صورت زیر می‌باشد

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} g_1(x_1,\ldots,x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1,\ldots,x_n) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{h}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} h_1(x_1,\ldots,x_n) \\ \vdots \\ h_k(x_1,\ldots,x_n) \end{bmatrix}$$

همچنین $\boldsymbol{\mathcal{D}}$ دامنه بردار تصمیم $\mathbf{x}$ می‌باشد که

$$\boldsymbol{\mathcal{D}} = \mathcal{D}_1 \times \mathcal{D}_2 \times \cdots \times \mathcal{D}_n$$

مساله بهینه‌سازی زیر را در نظر بگیرید

$$\min \quad x_1^2 + 25x_1x_2 - 2x_3^3 + x_1x_4 - x_5$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} -x_1 + x_5 + 4 \leq 0, \\ x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 \leq 1, \\ x_5 + 3x_3 \geq 0, \\ x_1x_2 + x_2^3 - x_5x_3 = 0, \\ x_1x_2x_3 + x_2x_5 = 5, \\ x_1, x_3, x_5 \in \mathbb{R},\ x_2 \in \{0,1\},\ x_5 \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

فرم برداری مساله فوق و هر مساله بهینه‌سازی به صورت (۲) است و باید بردار تصمیم $\mathbf{x}$ ، مجموعه دامنه $\boldsymbol{\mathcal{D}}$ و توابع $\mathbf{h}$ و $\mathbf{g}$ را برای مساله فوق مشخص کنیم.

بردار متغیرهای تصمیم به صورت

$$\mathbf{x} = \left[x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\right]^{\mathsf{T}}$$

می‌باشد و دامنه آن عبارت است از

$$\boldsymbol{\mathcal{D}} = \mathbb{R} \times \{0,1\} \times \mathbb{R} \times \mathbb{N} \times \mathbb{R}$$

به عبارت دیگر هر عضو $\boldsymbol{\mathcal{D}}$ یک بردار پنج‌تایی است که مولفه دوم آن یا صفر است و یا یک و مولفه پنجم آن یک عدد طبیعی است و بقیه مولفه‌ها هر عدد دلخواه حقیقی می‌تواند باشد.تابع متناظر با قیود تساوی و نا مساوی به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند. دقت شود که در تعریف این توابع در ابتدا مساله به فرم کانونی تبدیل شده و سپس ضابطه این توابع نوشته شده است

$$\mathbf{h} : \mathbb{R}^5 \rightarrow \mathbb{R}^2,$$

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} x_1x_2 + x_2^3 - x_5x_3 \\ x_1x_2x_3 + x_2x_5 - 5 \end{pmatrix}$$

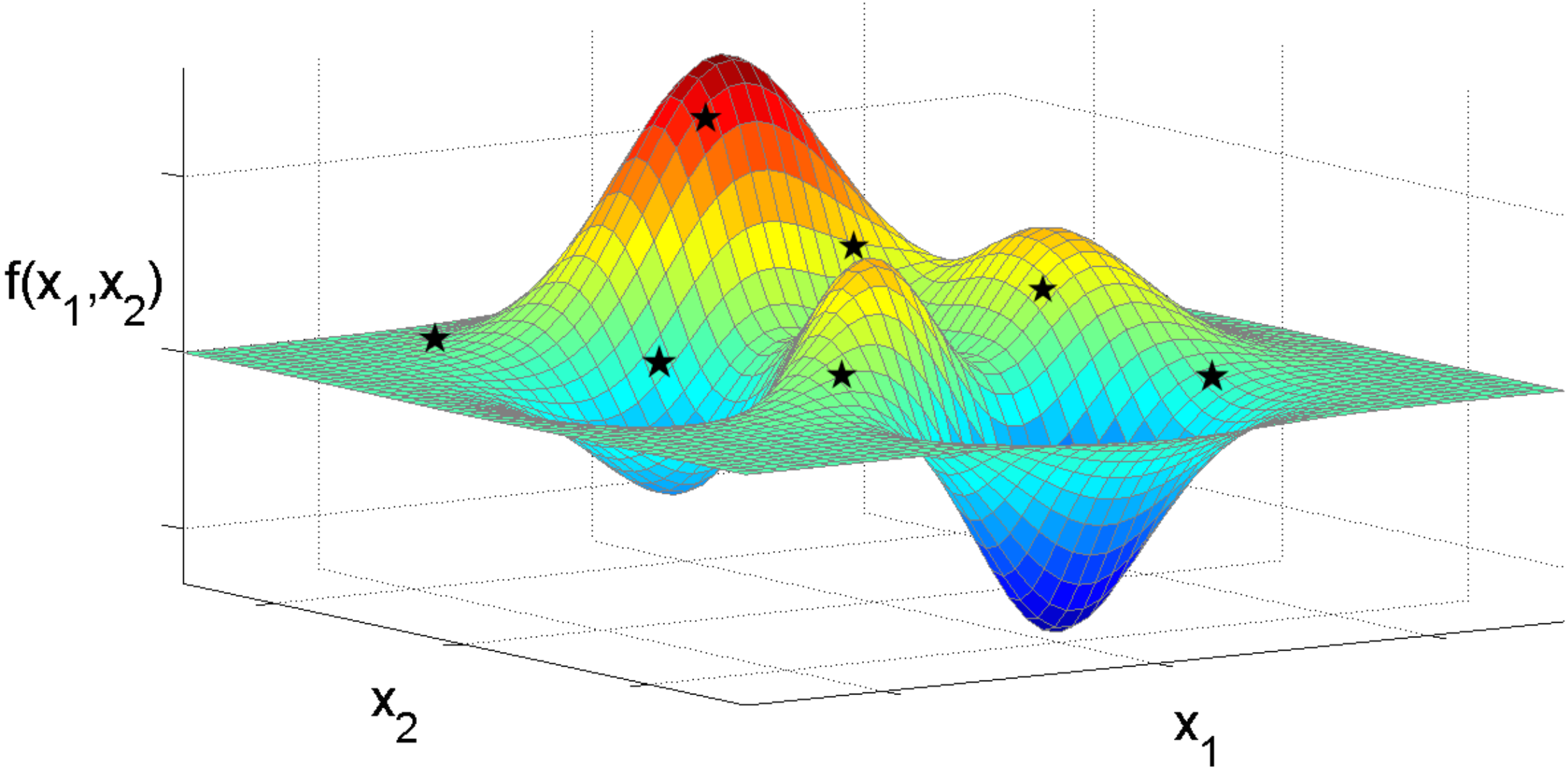
و

$$\mathbf{g} : \mathbb{R}^5 \rightarrow \mathbb{R}^3,$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} -x_1 + x_5 + 4 \\ x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 - 1 \\ -x_5 - 3x_3 \end{pmatrix}$$

روند کلی بهینه سازی

- تعریف مساله
- تعریف متغیرها
- تعریف عبارات برای استفاده از تابع هدف و قیود
- تعریف هدف
- تعریف قیود
- نمایش مساله، حل و تحلیل



Tutorial for Optimization Toolbox™ - MATLAB & Simulink

روش حل بهینه سازی سیستم های پیچیده

ایجاد درخت محصولی یا ساختار شکست

جهت متوازن کردن ارتباطات در یک سیستم

ایجاد مدل ارتباطات به صورت ماتریسی

جهت شناسایی ارتباطات

شناسایی ورودی های سیستم و هر یک از زیربخش ها

شناسایی پارامترهای اصلی هزینه و شناسایی پارامترهای هزینه در زیربخش ها (شکست الزام اصلی)

ایجاد مدل ریاضی هر زیربخش طبق دانش مدلسازی زیربخش

انتخاب توابع بهینه سازی مورد استفاده

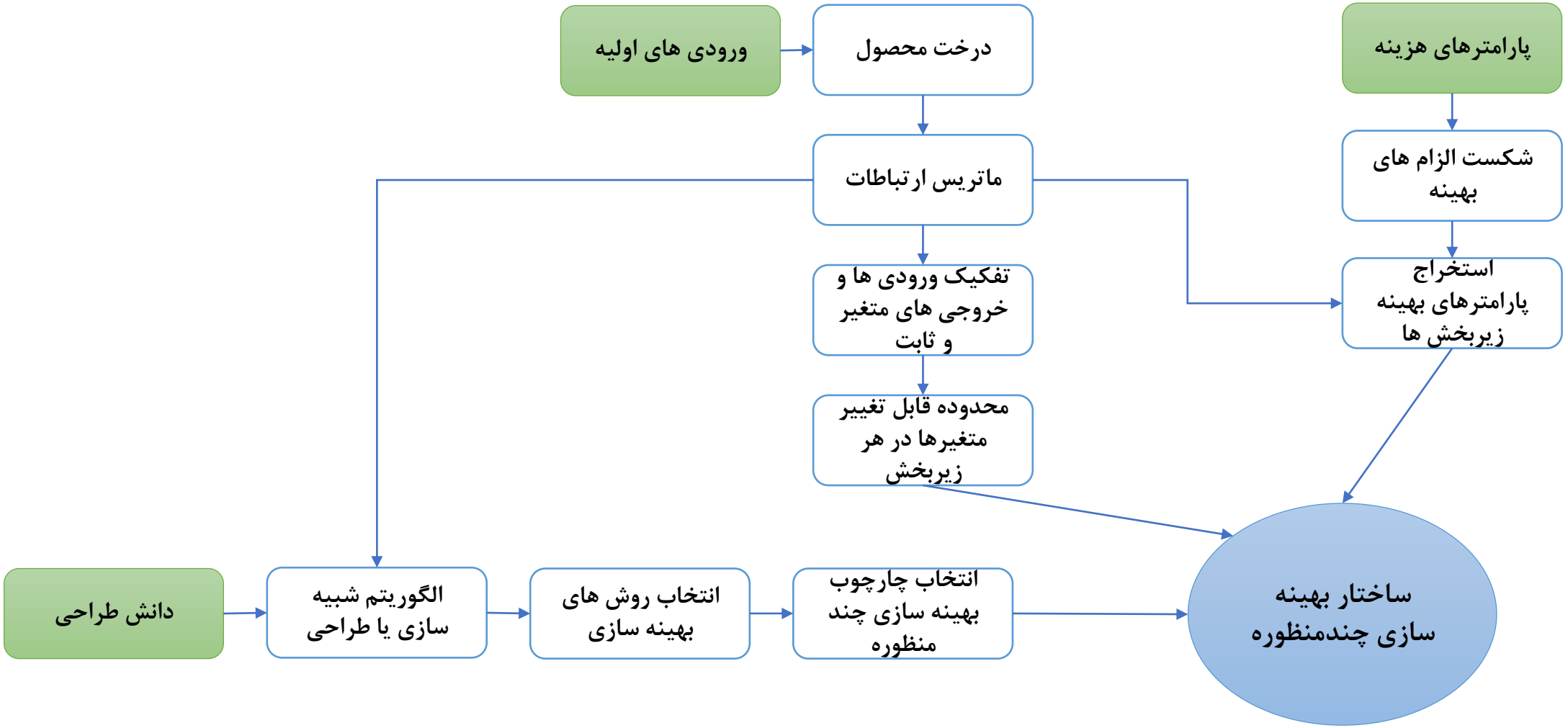
فعالیت پژوهشی و مقایسه

یک نکته

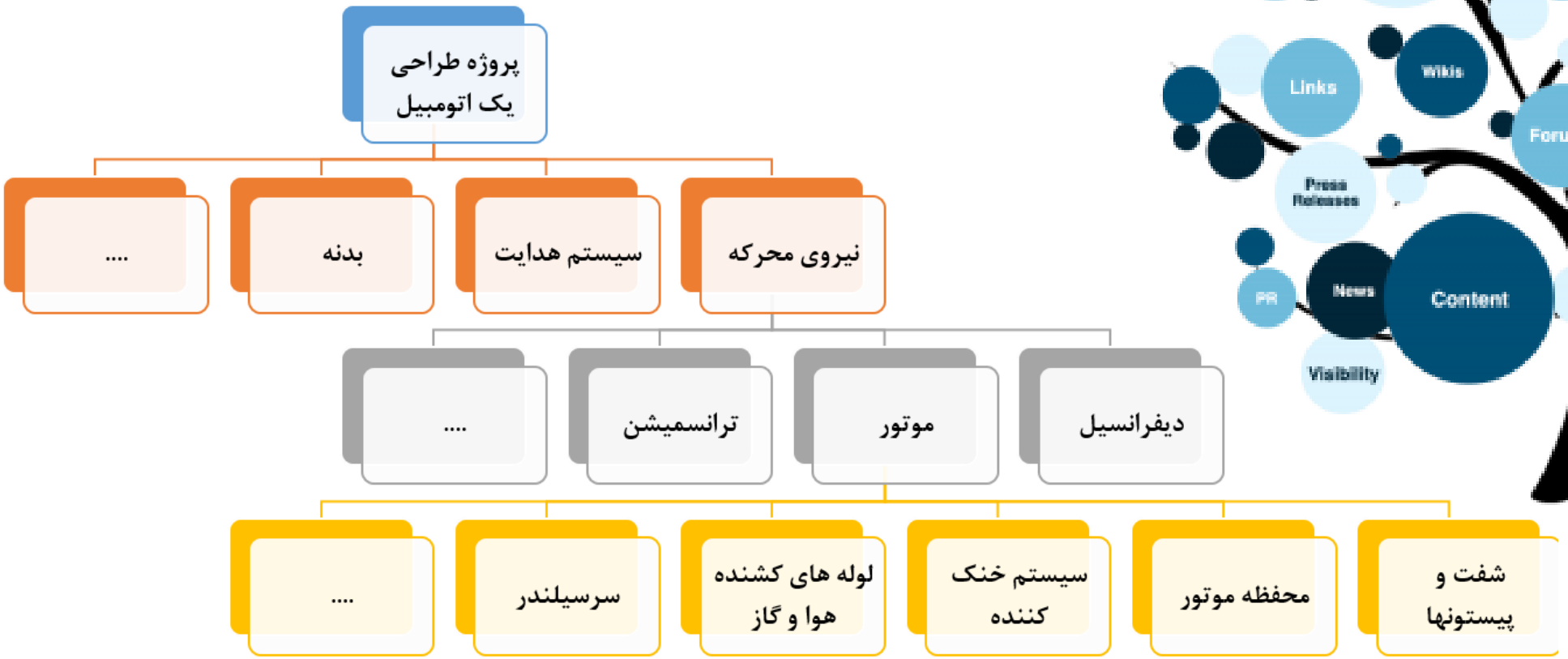
ساختار مدل بهینه سازی چند منظوره

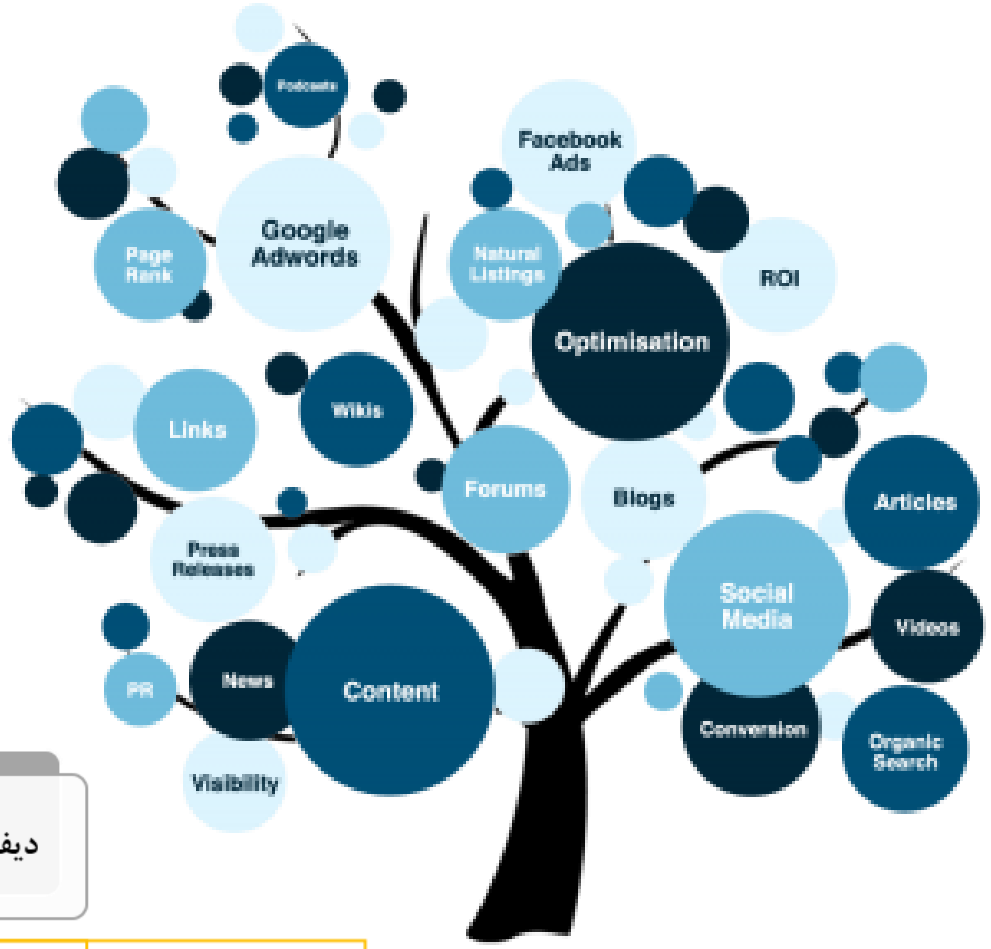
آشنایی با مدل های مختلف و مثال کاربردی

نحوه همگرایی و یک پارچه سازی در سیستم

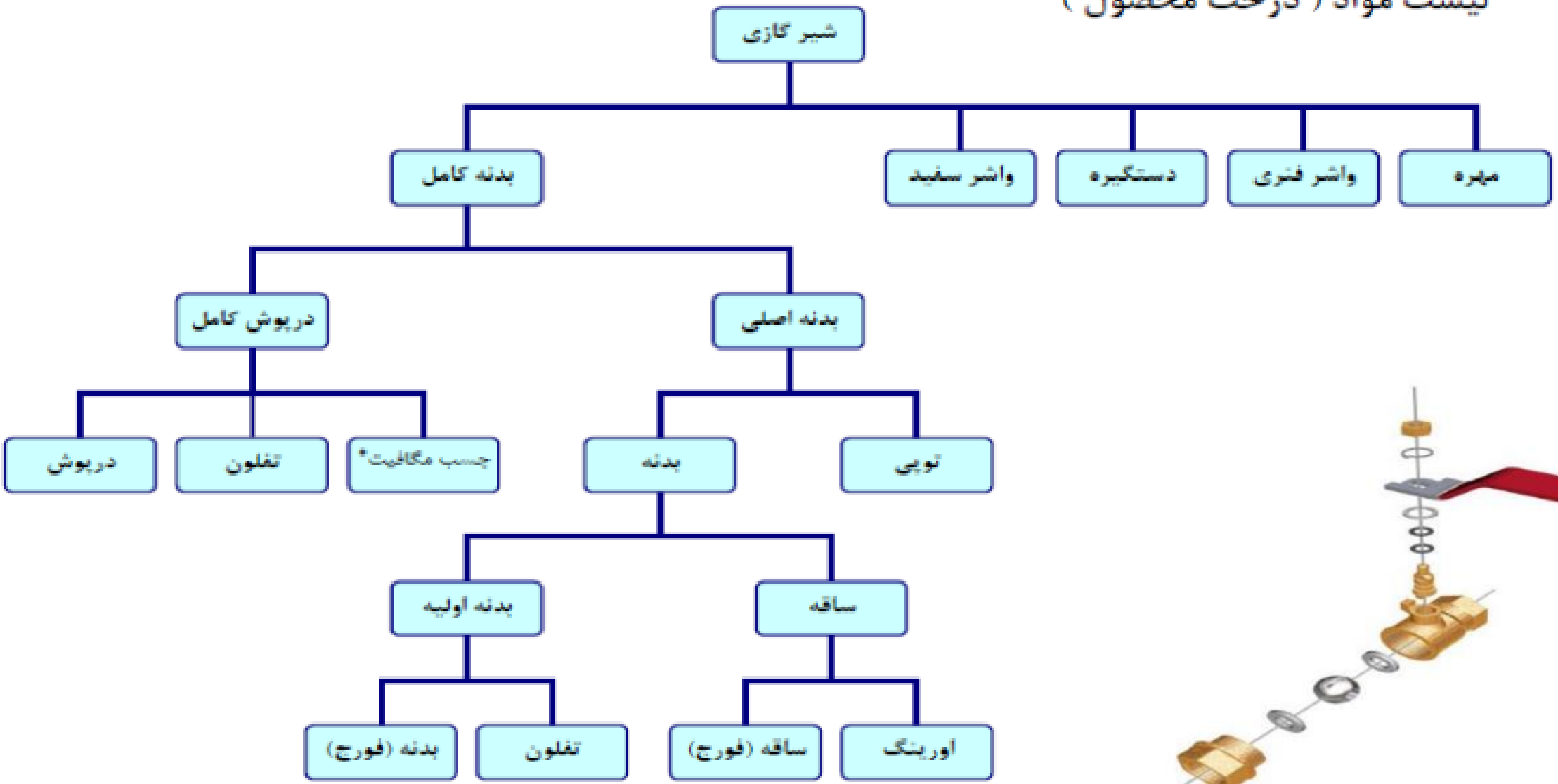

ورودی های اولیه
درخت محصول
پارامترهای هزینه
ماتریس ارتباطات
شکست الزام های بهینه
تفکیک ورودی ها و خروجی های متغیر و ثابت
استخراج پارامترهای بهینه زیربخش ها
محدوده قابل تغییر متغیرها در هر زیربخش
دانش طراحی
الگوریتم شبیه سازی یا طراحی
انتخاب روش های بهینه سازی
انتخاب چارچوب بهینه سازی چند منظوره
ساختار بهینه سازی چندمنظوره

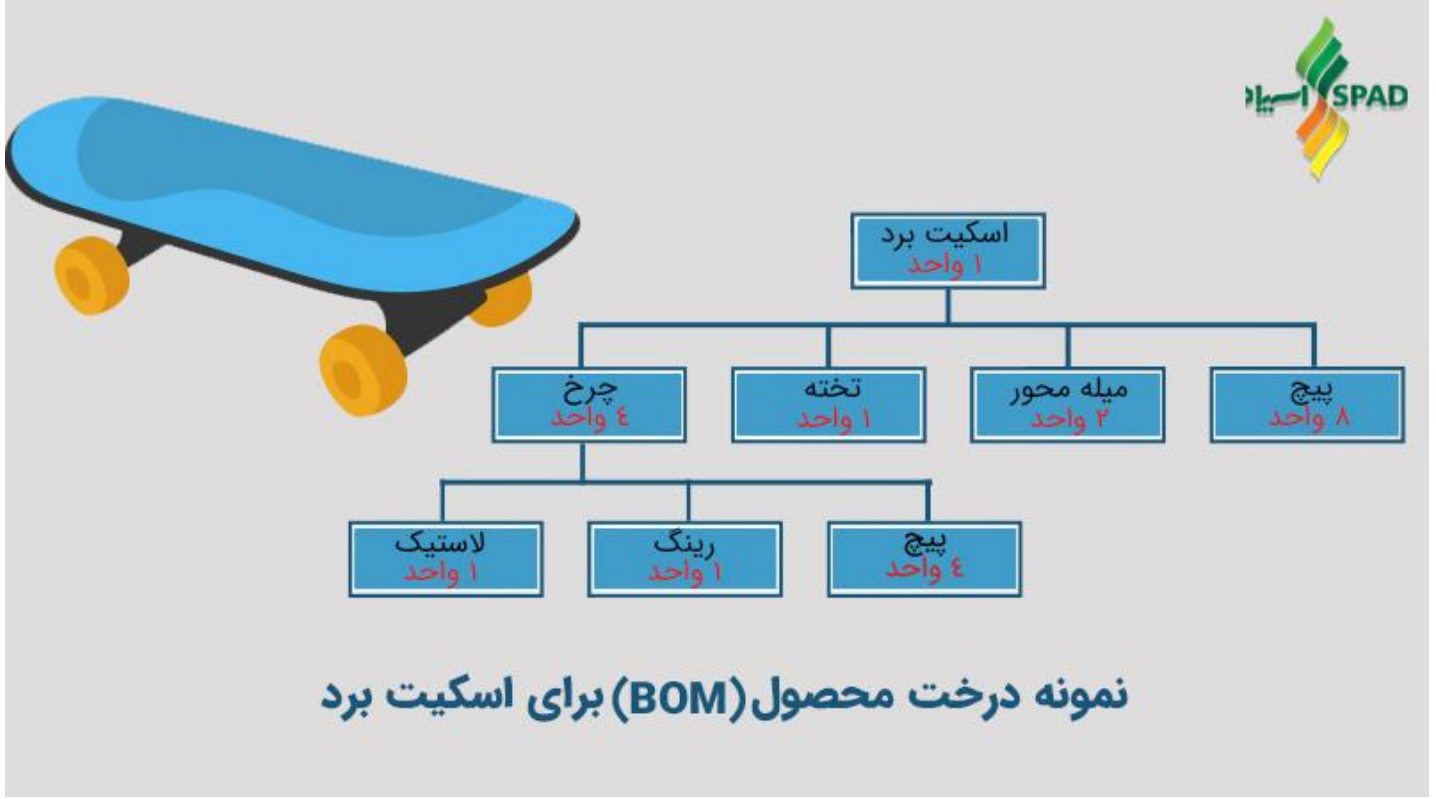
در خت محصول یا ساختار شکست

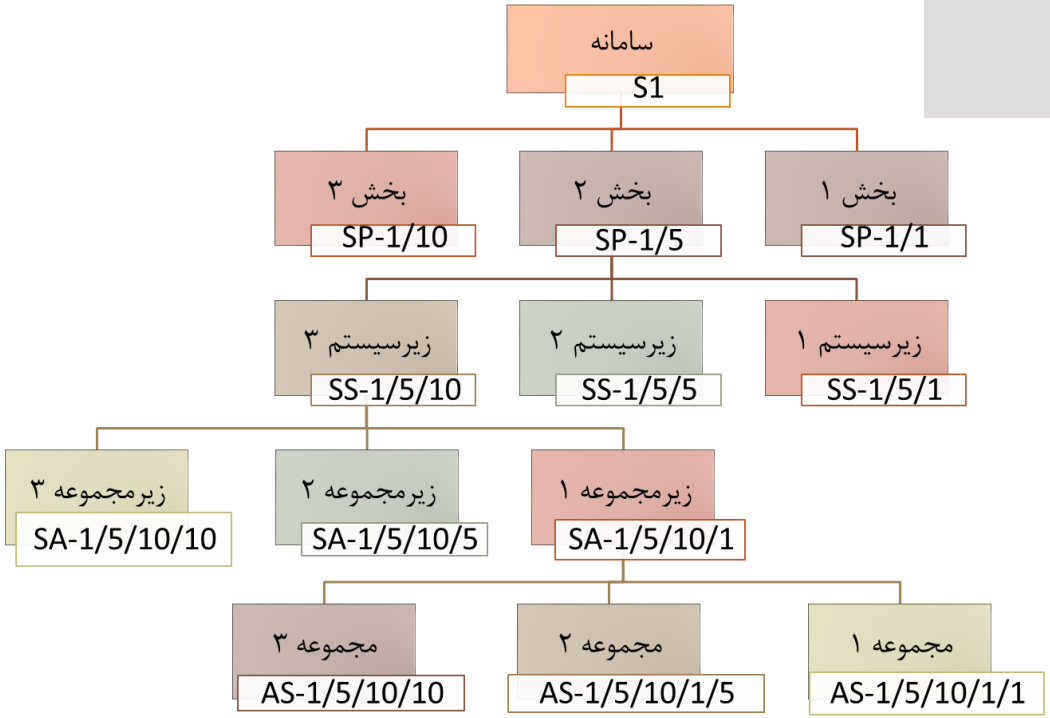


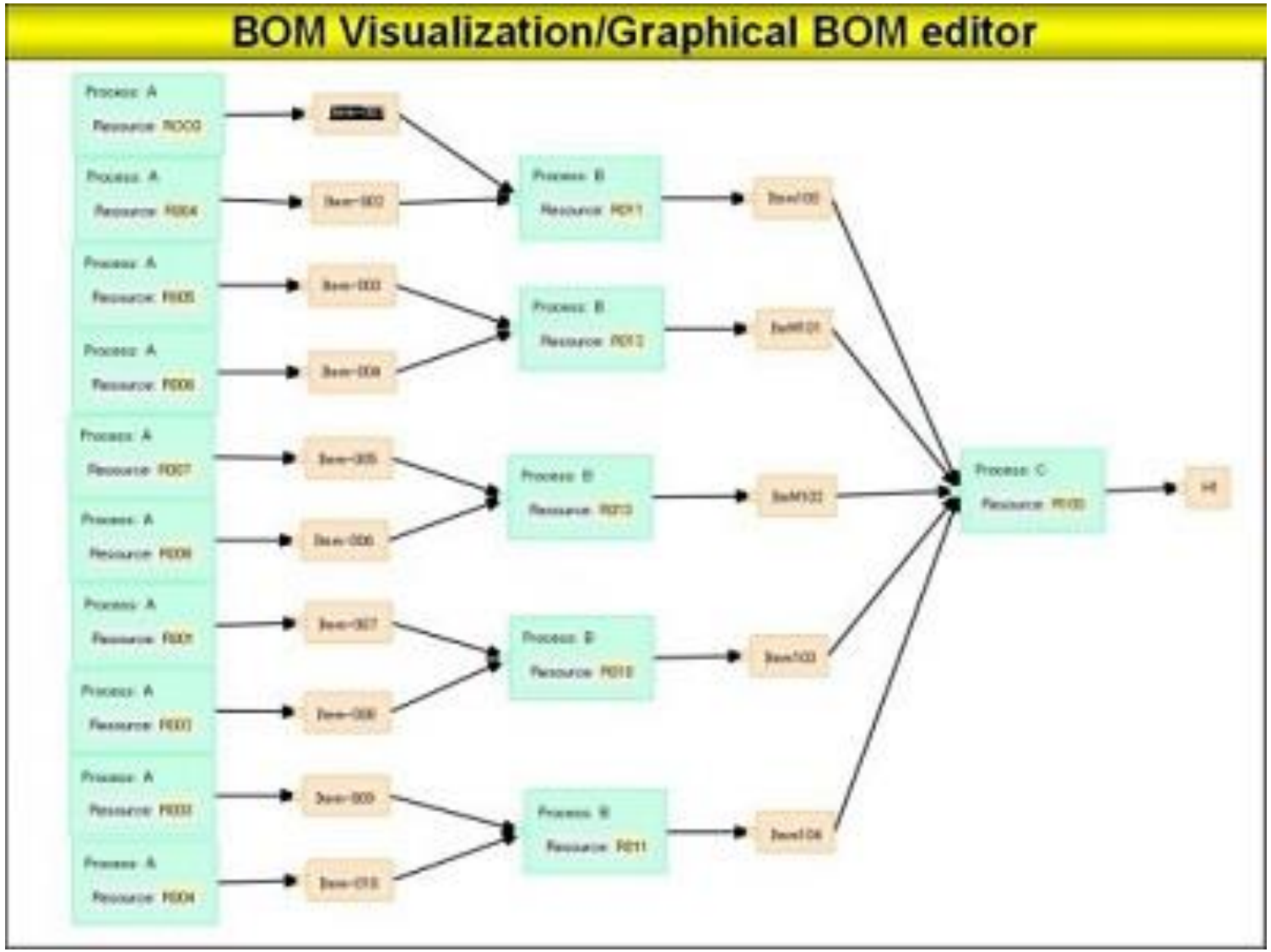


لیست مواد (درخت محصول)

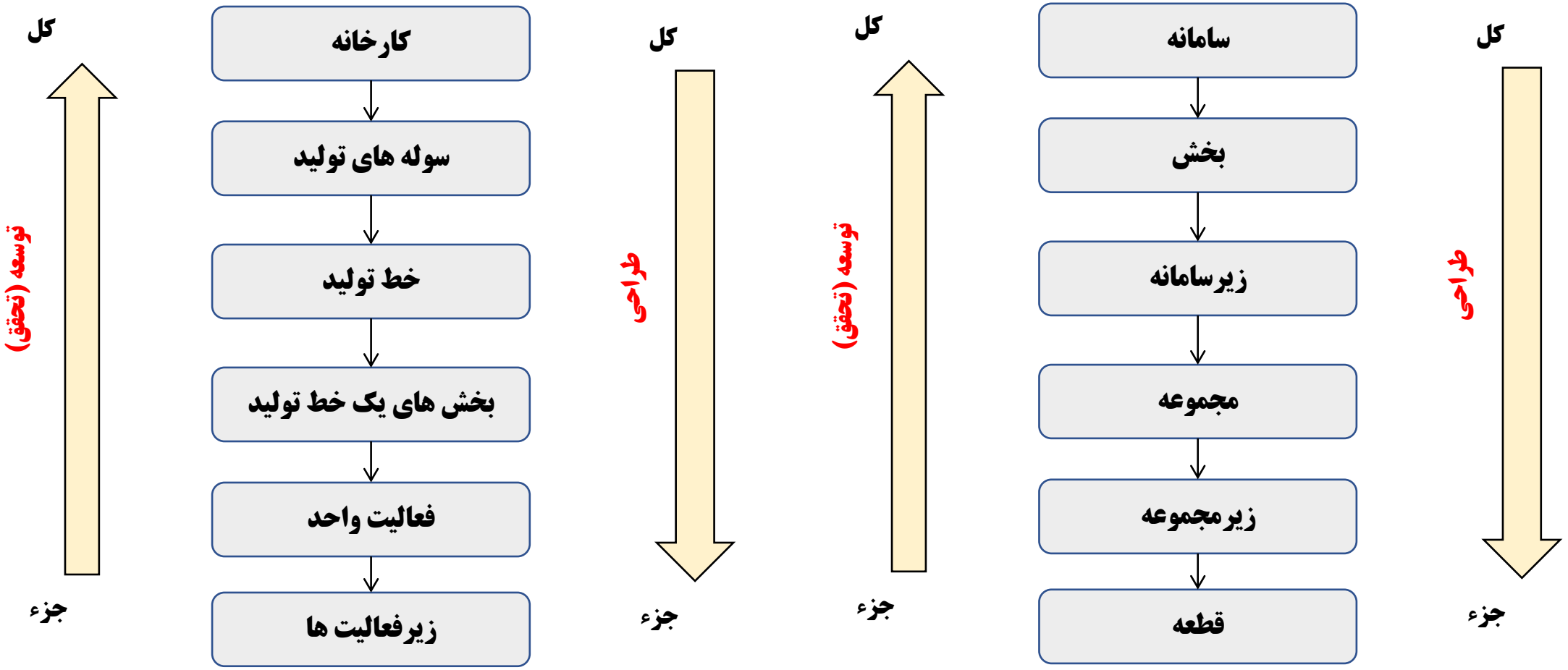



اسکیت برد
۱ واحد
چرخ
٤ واحد
تخته
۱ واحد
میله محور
۲ واحد
پیچ
۸ واحد
لاستیک
۱ واحد
رینگ
۱ واحد
پیچ
٤ واحد
نمونه درخت محصول (BOM) برای اسکیت برد


سامانه
S1
بخش ۳
SP-1/10
بخش ۲
SP-1/5
بخش ۱
SP-1/1
زیرسیستم ۳
SS-1/5/10
زیرسیستم ۲
SS-1/5/5
زیرسیستم ۱
SS-1/5/1
زیرمجموعه ۳
SA-1/5/10/10
زیرمجموعه ۲
SA-1/5/10/5
زیرمجموعه ۱
SA-1/5/10/1
مجموعه ۳
AS-1/5/10/10
مجموعه ۲
AS-1/5/10/1/5
مجموعه ۱
AS-1/5/10/1/1

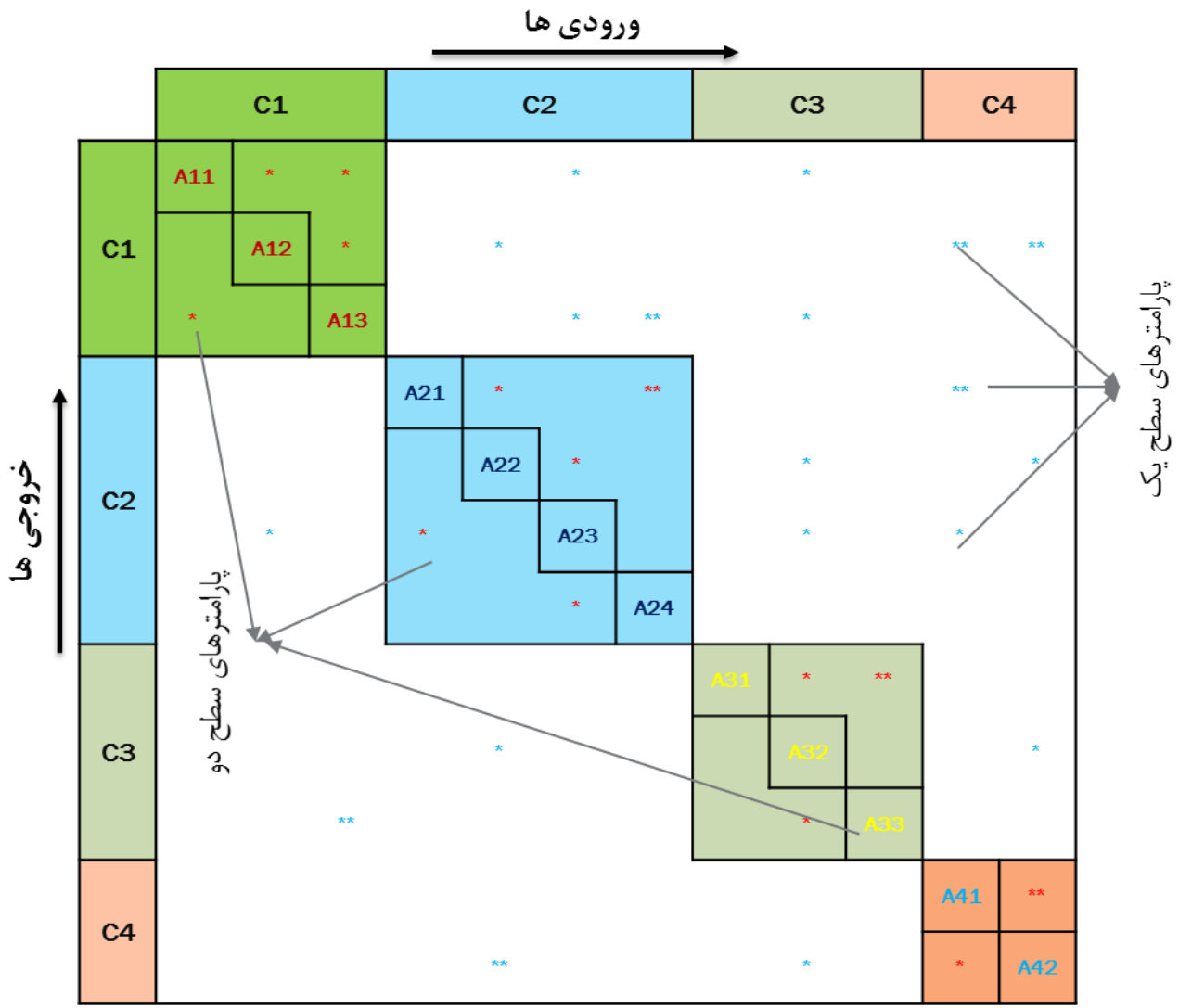


- مدیریت خط تولید در سطوح مختلف
- تجمیع با سیستم کنترل موجودیها
- ردیابی لیست تامین کنندگان مواد و قطعات
- مدیریت مدارک مربوطه (مثل فایل های طراحی و غیره)
- کنترل Versionنرم افزار/ تجمیع با سیستم خرید
- محاسبات بهای تمام شده محصول در سطوح مختلف
- تواناییهای برقراری ارتباط گرافیکی با واحد قطعات
- تعیین سطوح دسترسی کاربران

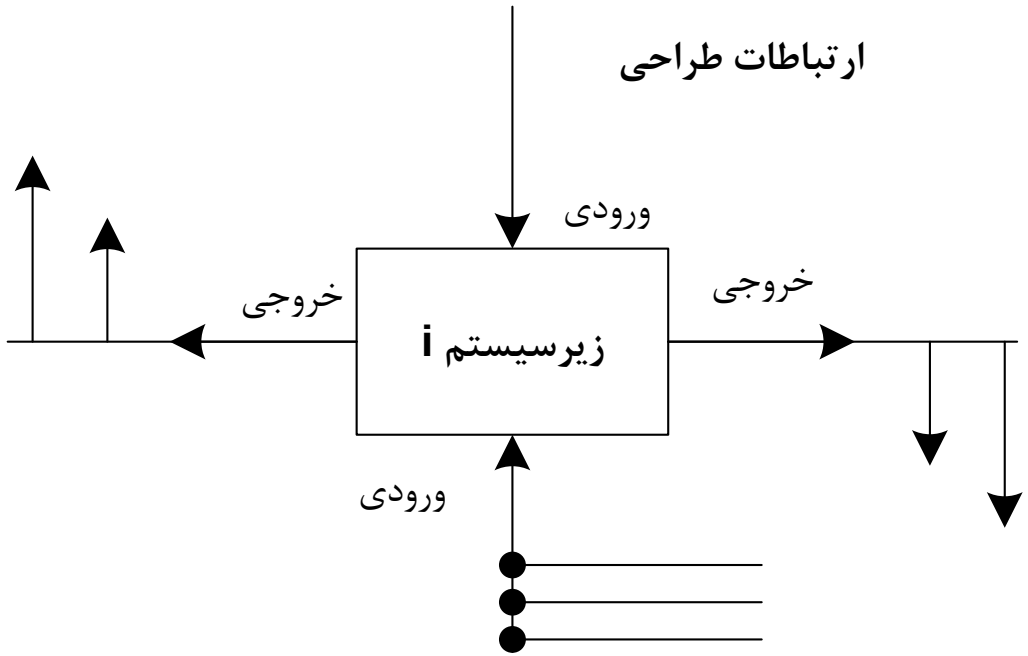

کل
طراحی
جزء
سامانه
بخش
زیرسامانه
مجموعه
زیرمجموعه
قطعه
کل
توسعه (تحقق)
جزء
کل
طراحی
جزء
کارخانه
سوله های تولید
خط تولید
بخش های یک خط تولید
فعالیت واحد
زیرفعالیت ها
کل
توسعه (تحقق)
جزء

ماتریس ارتباطات DSM

	A	B	C	D	E
A		2		1	
B	2				
C				4	1
D			3		
E			2	3	

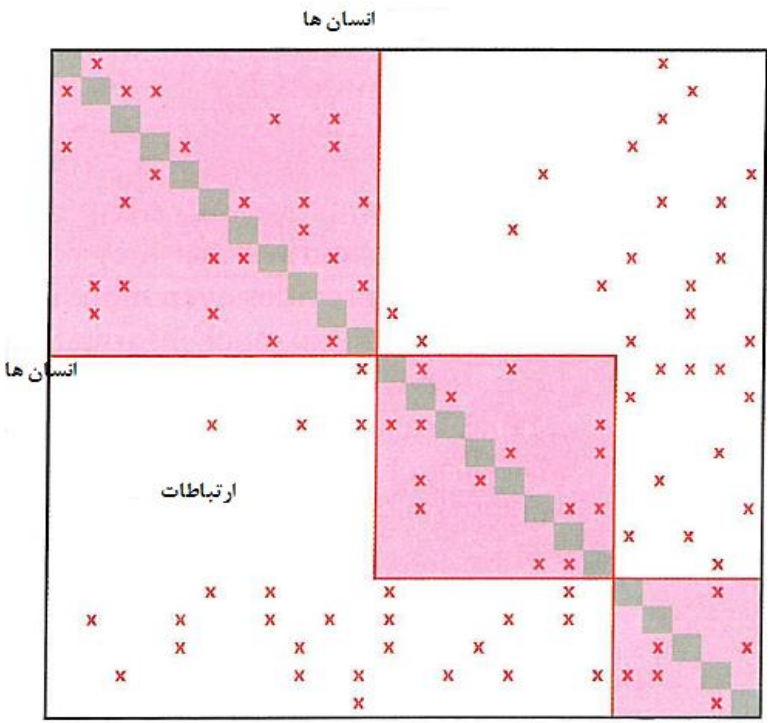


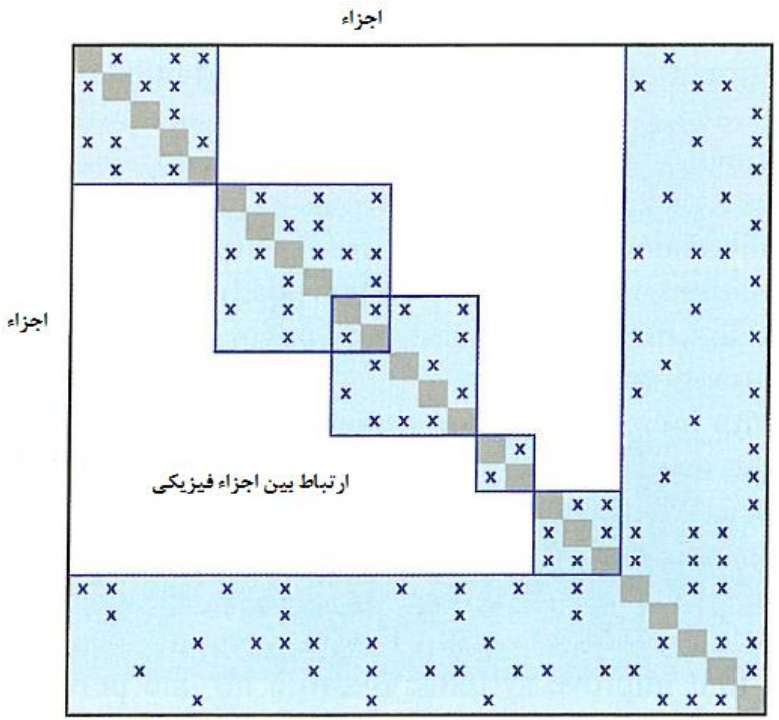
Input: \ Output:	Design Inputs	Outbound Trajectory	Inbound Trajectory	DeltaV Budget	Launch Vehicle	Power & Mass Margin	Propellant Margin	Margined Outbound Trajectory	Margined Inbound Trajectory	Margined DeltaV Budget	Margined Launch Vehicle	Residual Propellant	Solar Array Power	CDHS	ADCS	Telecom	Power	Propulsion	Thermal	Mechanical	MEL	Timeline
Design Inputs		3	2	2		4	1			1				1	1	5	3	2	1	3	2	1
Outbound Trajectory				3	2			2					1					1				
Inbound Trajectory				2									1									
DeltaV Budget		1	1									3										
Launch Vehicle																					2	
Power & Mass Margin								1	1	1	2											
Propellant Margin										1	1											
Margined Outbound Trajectory										2	2		1									3
Margined Inbound Trajectory										2			1									3
Margined DeltaV Budget					1	1	1	1	1		1	3						3		1	2	
Margined Launch Vehicle																						
Residual Propellant				1								1										
Solar Array Power		1	1					1	1								1					
CDHS																				1	1	
ADCS																				1	1	
Telecom																				1	1	
Power																				2	1	
Propulsion				4						3										1	1	
Thermal																				1	1	
Mechanical																					2	
MEL				1	2	1													2	2		
Timeline																						

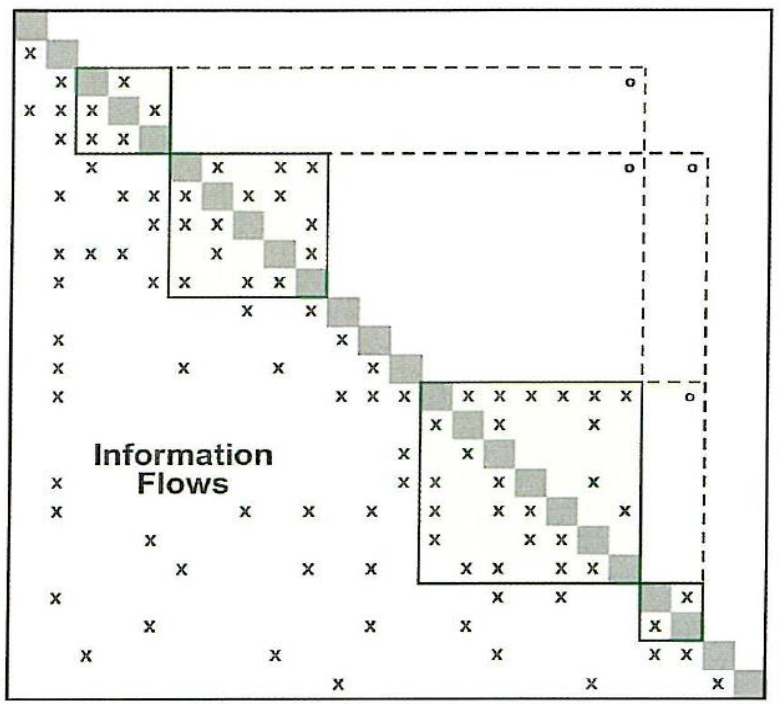


مدل‌های ماتریس ساختار طراحی

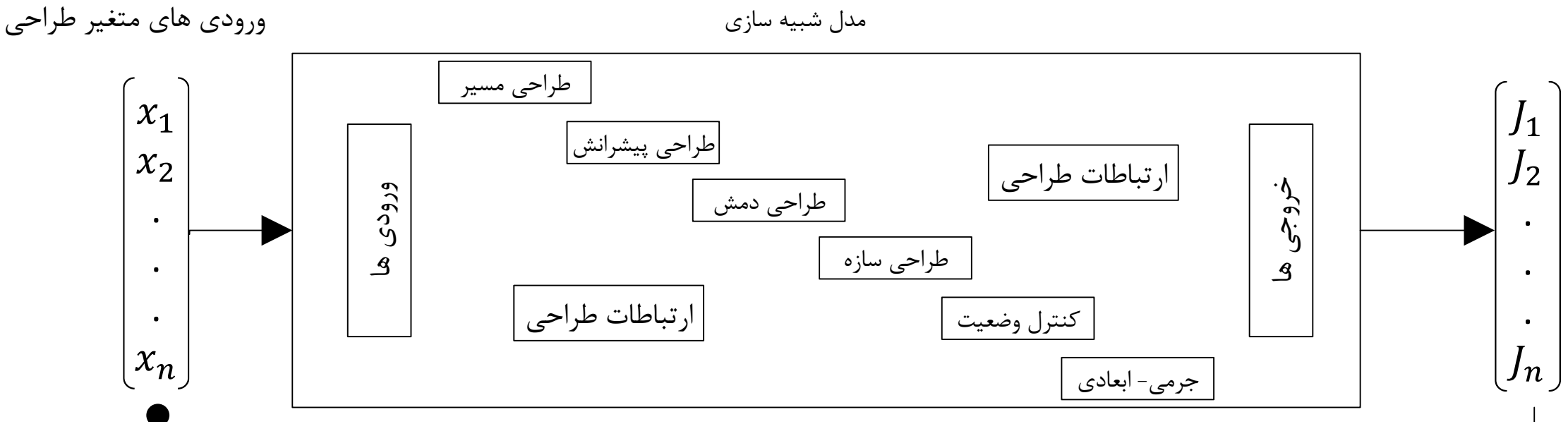
- مدل‌های ترکیبی
  - ترکیب مدل محصول‌محور، سازمان‌محور و فرآیندمحور
- مدل‌های گذرا
  - فرآیندمحور
- مدل‌های استاتیکی
  - محصول‌محور
  - سازمان‌محور





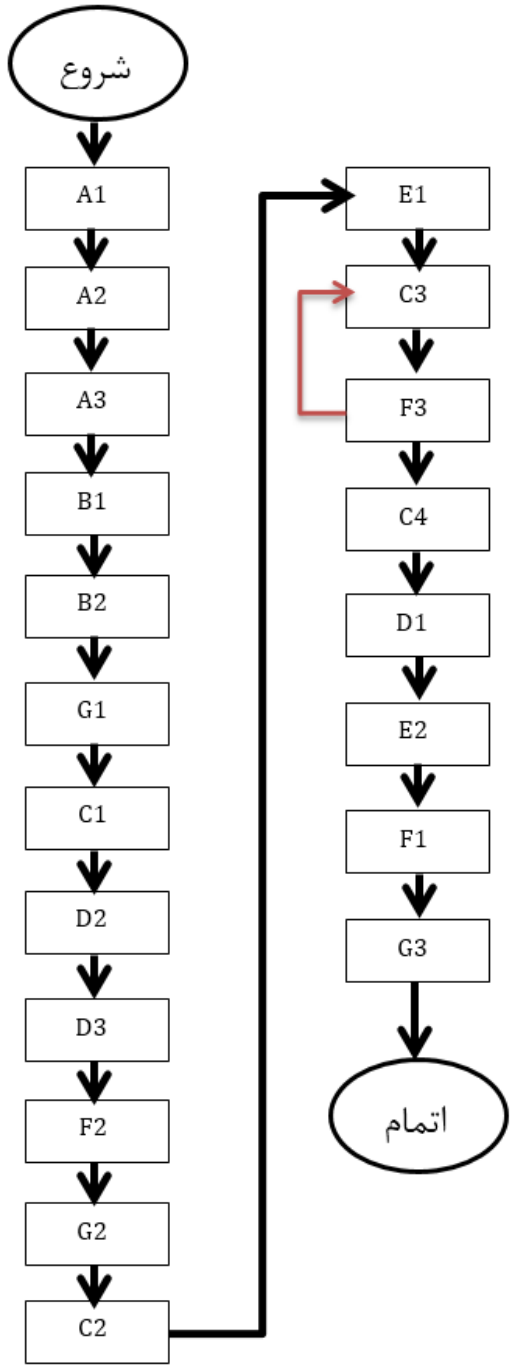


شناسایی ورودی های سیستم و هر یک از زیربخش ها



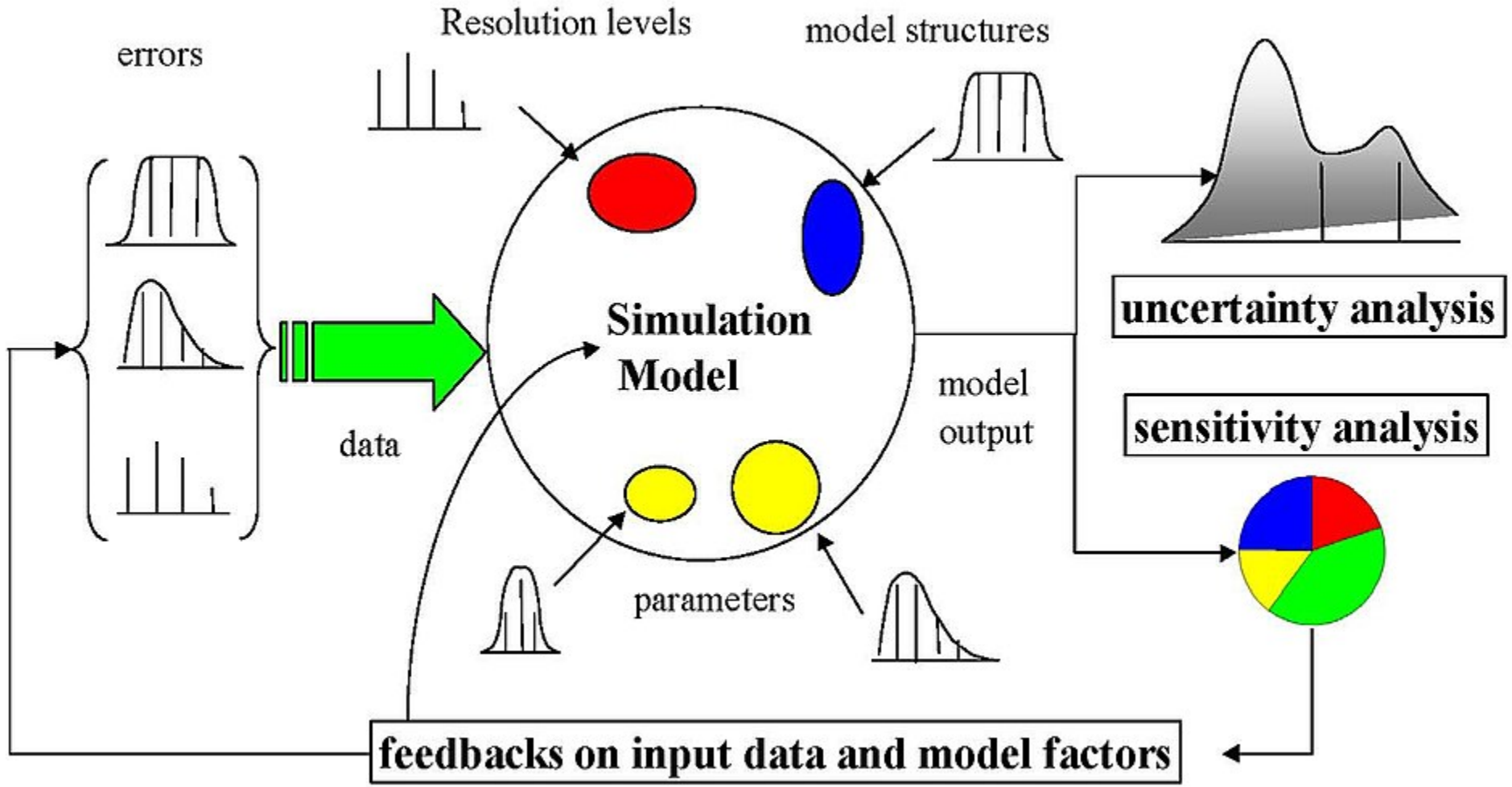
مدل ساده

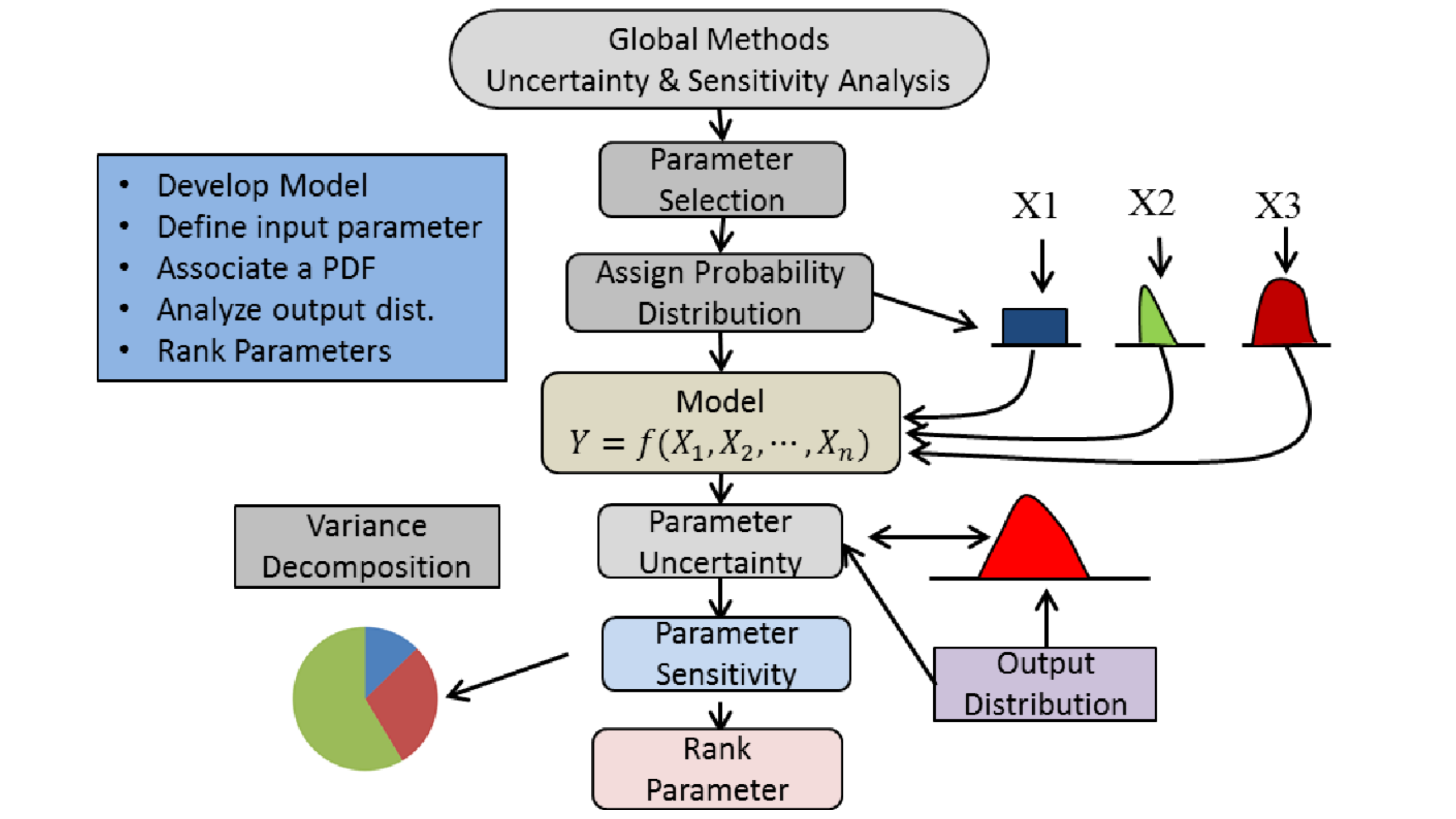
#		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	A1	●																			
2	A1		●																		
3	A3			●																	
4	B1				●																
5	B2					●															
6	G1						●														
7	C1		●					●													
8	D2		●						●												
9	D3	●		●						●											
10	F2		●		●	●					●										
11	G2	●	●									●									
12	C2		●						●				●								
13	E1	●		●									●	●							
14	C3	●	●	●											●	●					
15	F3				●	●									●	●					
16	C4			●	●										●		●				
17	D1	●	●		●											●		●			
18	E2	●		●											●				●		
19	F1				●	●											●	●		●	
20	G3	●	●																	●	●



الزامات پایه ارتباطات ماتریسی

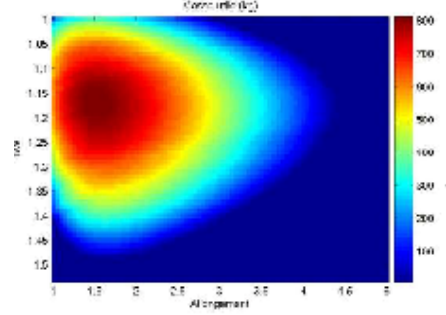
- شناسایی مقادیر ثابت بعضی از پارامترها در سیستم و زیربخش های آن
- شناسایی موارد قابل تغییر در هر سطح از مدل (پارامترهای سطح یک .... سطح نهایی)
- حدود بالا و پائین هر متغییر با استفاده از آنالیز حساسیت پارامترها در مدل
- شناسایی خروجی های مدل
- شناسایی پارامترهای بهینه سازی


errors
Resolution levels
model structures
Simulation Model
data
model output
parameters
uncertainty analysis
sensitivity analysis
feedbacks on input data and model factors


Global Methods
Uncertainty & Sensitivity Analysis
Parameter Selection
Assign Probability Distribution
Model
$Y = f(X_1, X_2, \cdots, X_n)$
Parameter Uncertainty
Parameter Sensitivity
Rank Parameter
Develop Model
Define input parameter
Associate a PDF
Analyze output dist.
Rank Parameters
Variance Decomposition
X1
X2
X3
Output Distribution

شناسایی پارامترهای اصلی هزینه و شناسایی پارامترهای هزینه در زیربخش ها (شکست الزام اصلی)

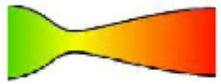
یکی از دو نکته مهم که در صورت عدم انجام، فعالیت های پژوهشی هیچ گونه ارزش اجرایی ندارد



OPTIMIZATION ALGORITHM

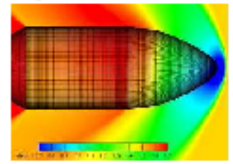
Objective : minimum Gross-Lift-Off-Weight
Constraints : design constraints
specifications of mission
coupling constraints

Propulsion



Weights and Sizing

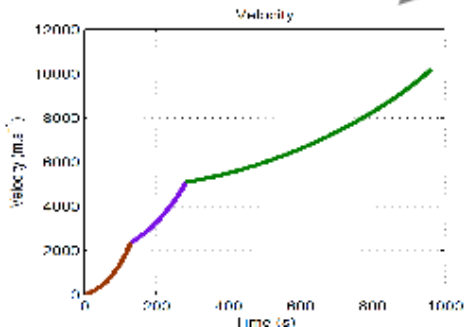
Aerodynamics

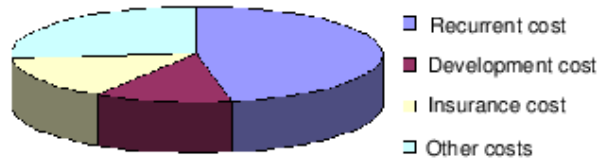


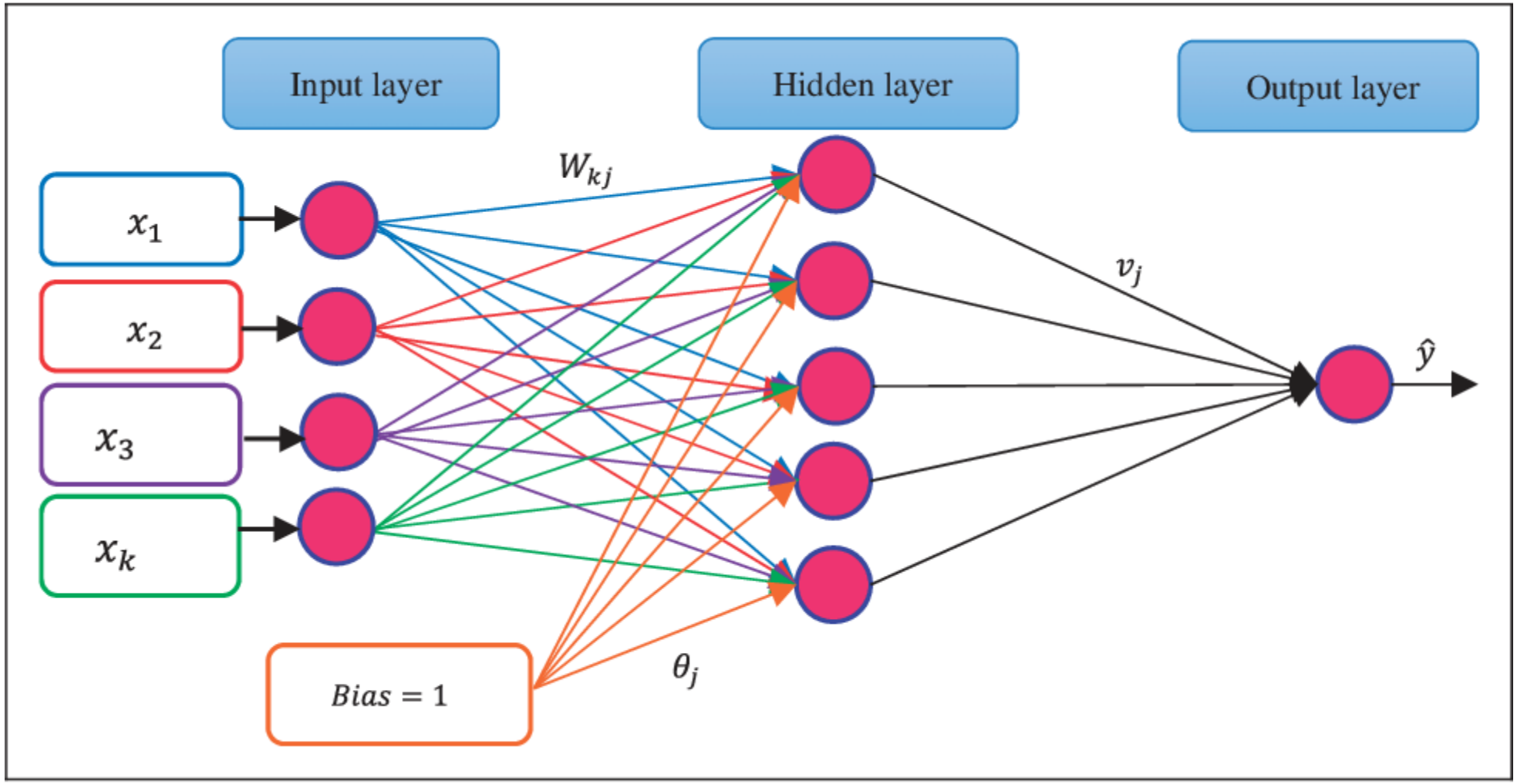
Structure

Cost estimation

Trajectory






Input layer
Hidden layer
Output layer
W_{kj}
x_1
x_2
x_3
x_k
v_j
$\hat{y}$
$Bias = 1$
θ_j

شکست یک الزام بهینه از سیستم به زیرسیستم ها و تجمیع موارد بهینه زیربخش ها برای بهینه سازی سیستم

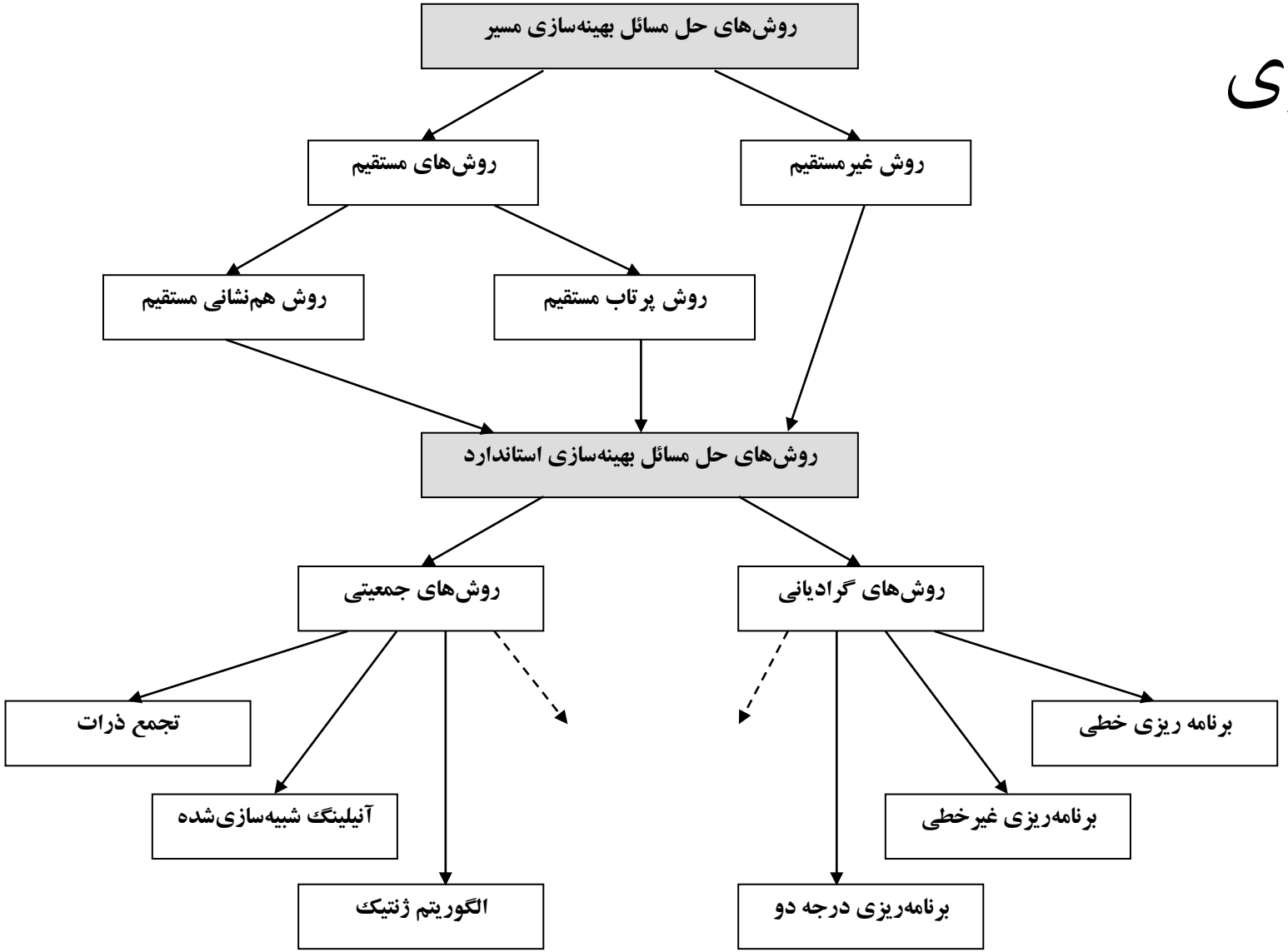
در صورت چند منظوره بودن بهینه سازی، باید برای هر یک از پارامترهای سیستم به صورت مجزا این فعالیت انجام شده و بعد به صورت همگرا، یک پارچه گردد

این توانایی با دانش سیستمی مدل مربوطه و استفاده از ماتریس های ارتباطات و ساختار شکست بدست می آید

یعنی همان دانش ....

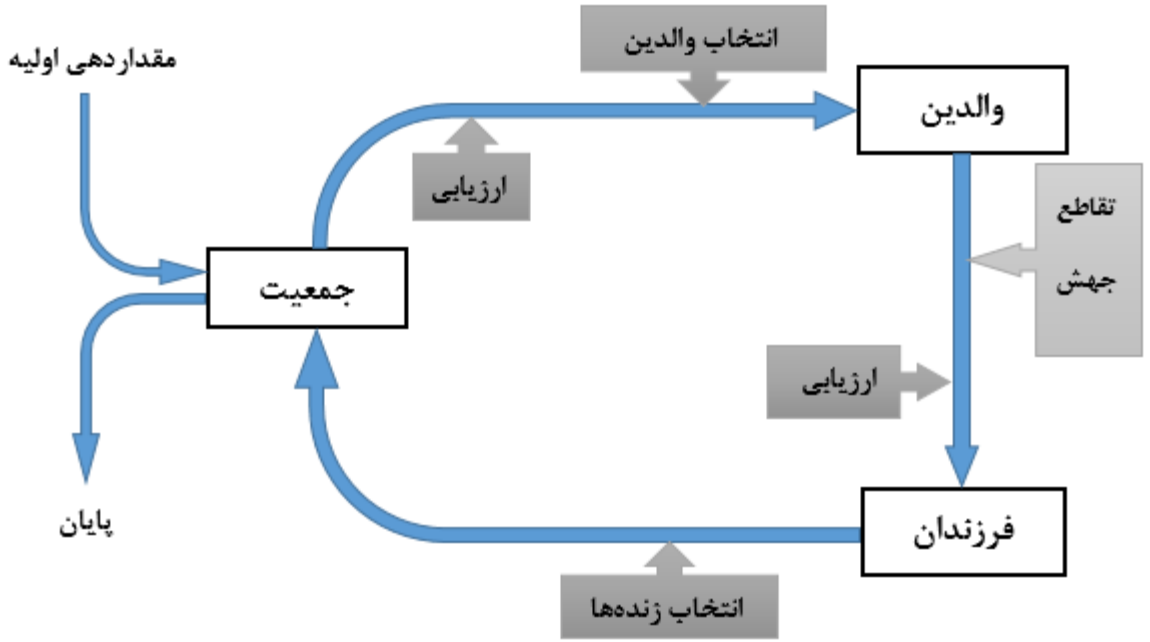
ردیابی الزامات

انتخاب توابع بهینه سازی



اجزای اصلی Genetic algorithmبه صورت زیر است

_ بازنمایی محیط
_ تابع ارزیابی
_ جمعیت (مجموعه‌ای از جواب‌ها)
_ فرآیند انتخاب والدین
_ عملگرهای ایجاد تنوع (تولید نسل)
_ فرآیند انتخاب زنده‌ها (انتخاب افراد بهتر جهت ساخت نسل بعد)
_ شرط توقف



مزایا استفاده از الگوریتم ژنتیک

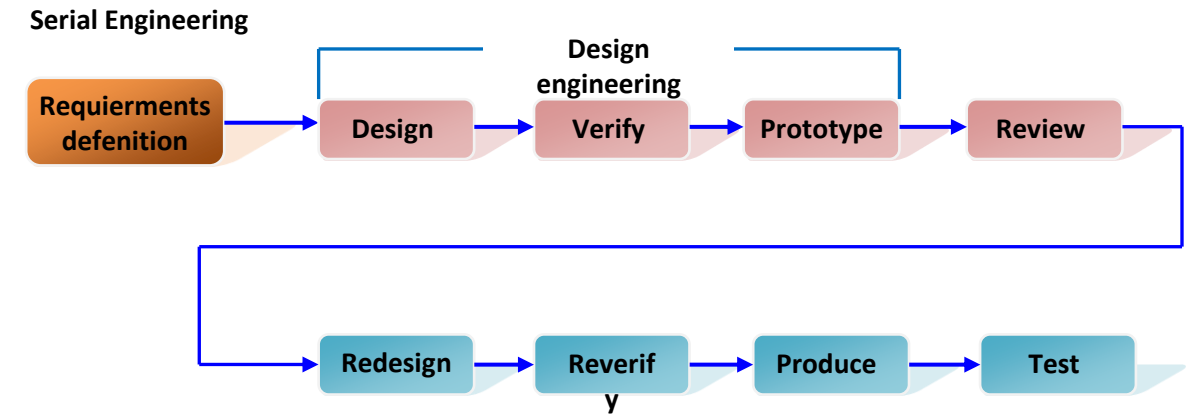
GAبه سرعت می تواند یک مجموعه بزرگ از راه حل ها را پویش نماید.همچنین راه حل های بد ف تاثیر منفی ای بر روی راه حل نهایی نداشته وبه آسانی حذف می شوند.

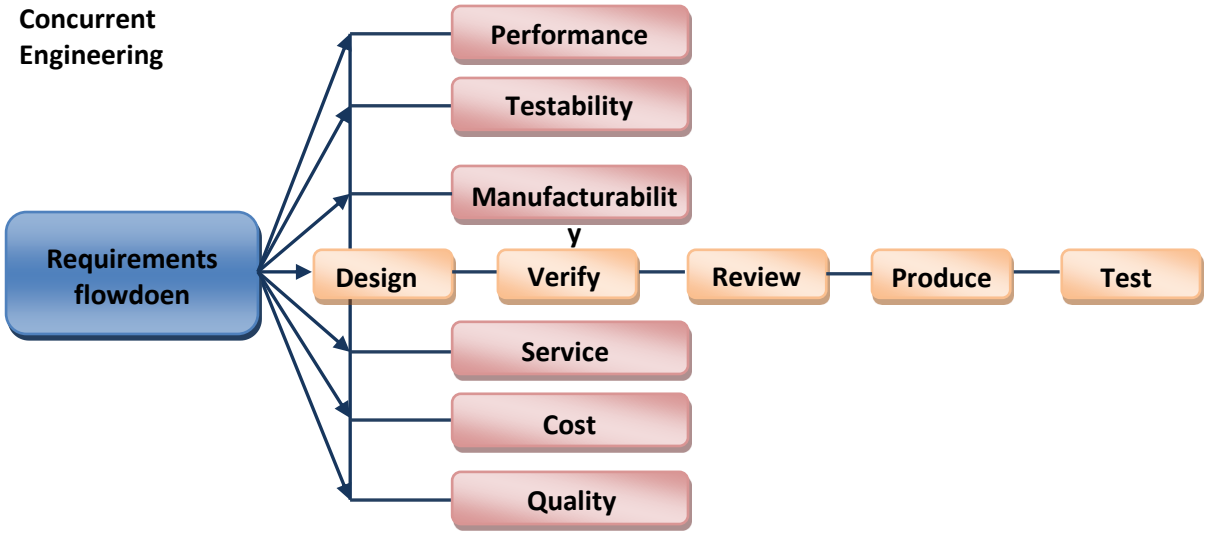
- طبیعت الگوریتم ژنتیک به گونه ای است که نیازی به دانستن هیچ قاعده ای در ارتباط با مساله موردنظر ندارد وتنها با قواعد داخلی خودش عمل می کند.بنابراین شانس بیشتری نسبت به روش های بهینه سازی محلی برای یافتن نقطه ی بهینه سراسری خواهد داشت.
- در این روش هیچ نیازی به خطی سازی مسئله وجود ندارد.
- در این روش نیازی به محاسبه مشتقات جزئی ندارد.
- در این روش نمونه های بیشتری از مدل های محتمل تر نسبت به مدل های غیرمحتمل ساخته می شود.

مهندسی همزمان

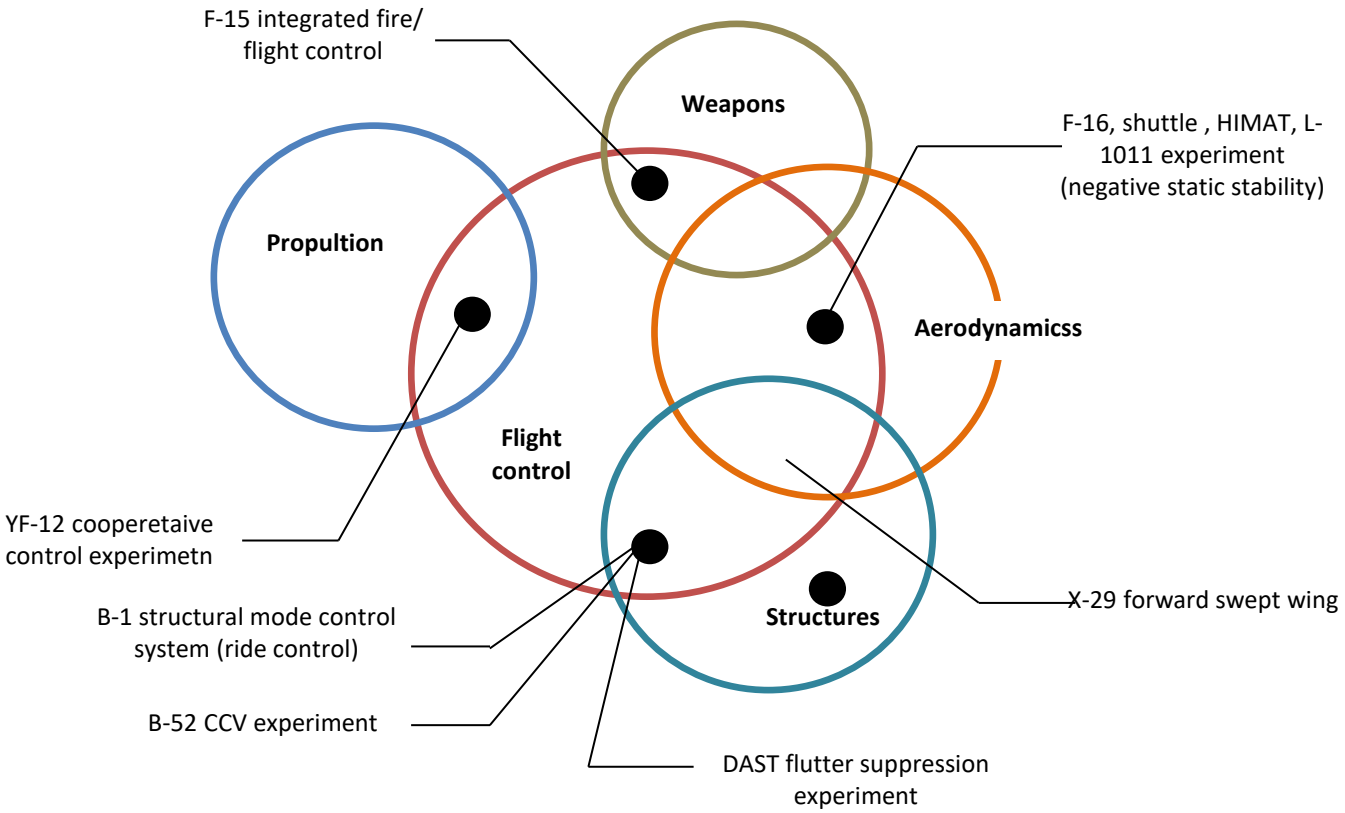
چرا؟ بهینه سازی در سیستم های پیچیده

- ✓ رویکرد نظام‌مند به طراحی یکپارچه و همزمان محصولات و فرآیند های تولید، پشتیبانی ونگهداری
- ✓ در نظر گرفتن کلیهٔ عناصر دوره عمر محصول، از جمله کیفیت، هزینه، زمان بندی، ردیابی الزامات مشتری و کاربر را از تعریف و طراحی مفهومی تا انقضای استفاده آن
- ✓ تلفیق ابزارهای مهندسی سیستم در محیط محاسباتی یکپارچه
- ✓ کاهش زمان توسعه سیستم‌ها (دوره عمر)
- ✓ همزمان کردن وظایف تخصصی (موضوعی) مرسوم از حالت سری به حالت موازی و همزمان





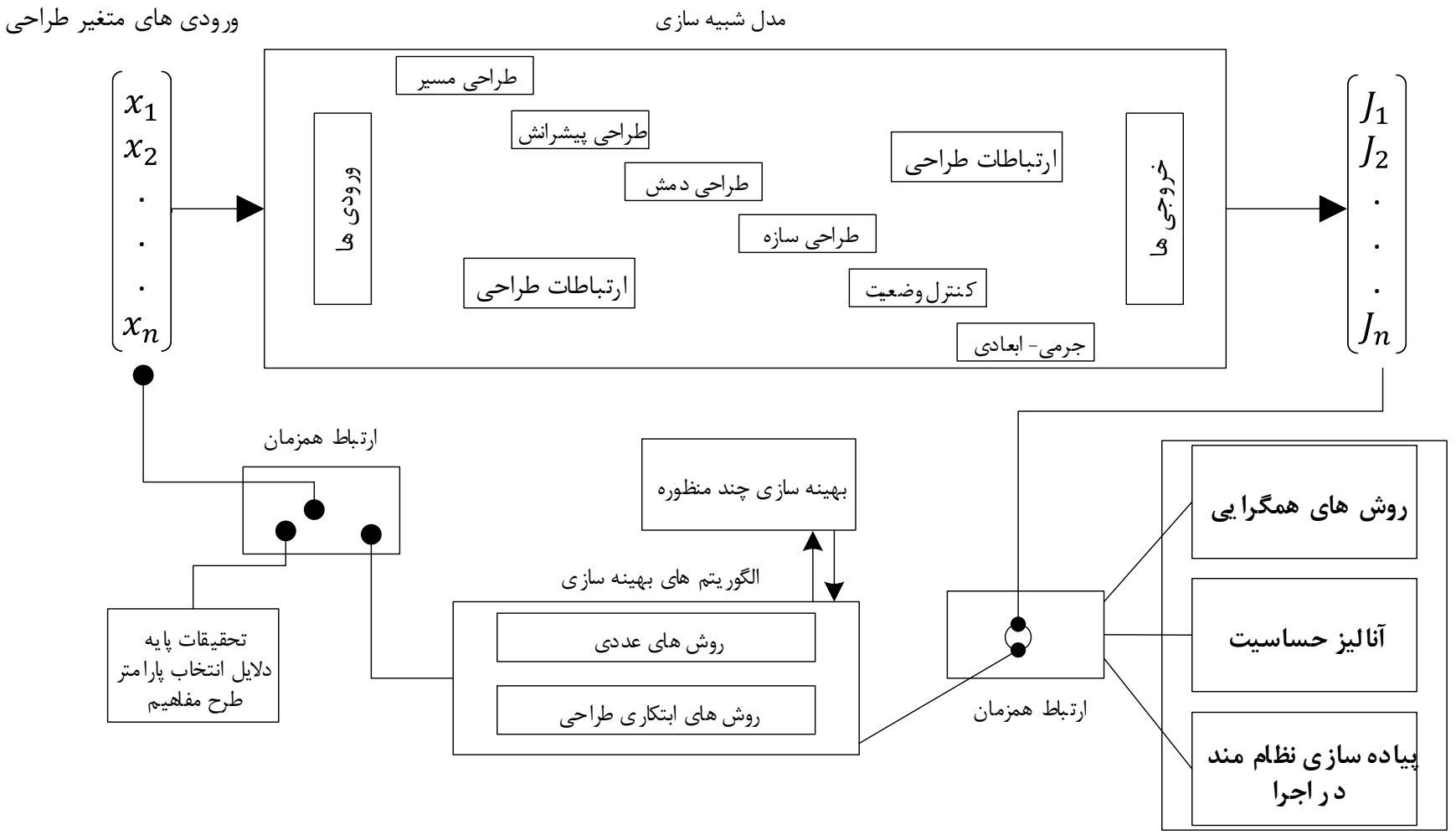
ضرورت بهینه‌سازی طراحی چند موضوعی



- ✓ ارتباطات سیستمی پیچیده
- ✓ تشکیل حلقه های طراحی فراوان با تعداد دفعات زیاد با سایر زیر سیستم ها
- ✓ عدم شناسایی نواقص طراحی زیرسیستم ها
- ✓ هزینه های گزاف طراحی
- ✓ قابلیت اطمینان طراحی
- ✓ یکپارچه سازی زیرسیستم ها در طراحی

ایجاد مدل بهینه سازی چند منظوره سیستم های پیچیده (سیستم) = بهینه سازی چند منظوره سیستم طراحی

MSDO= Multidisciplinary System Design Optimization



بهینه‌سازی طراحی چند موضوعی (MDO)

خصوصیات اصلی:

- خودکارکردن فعالیت های معمول طراحی
- تهیهٔ اطلاعات مفید و مهم از کمیات موضوعی (میان دو یا چند موضوع)
- جستجوی فضای طراحی به کمک کدهای رایانه‌ای

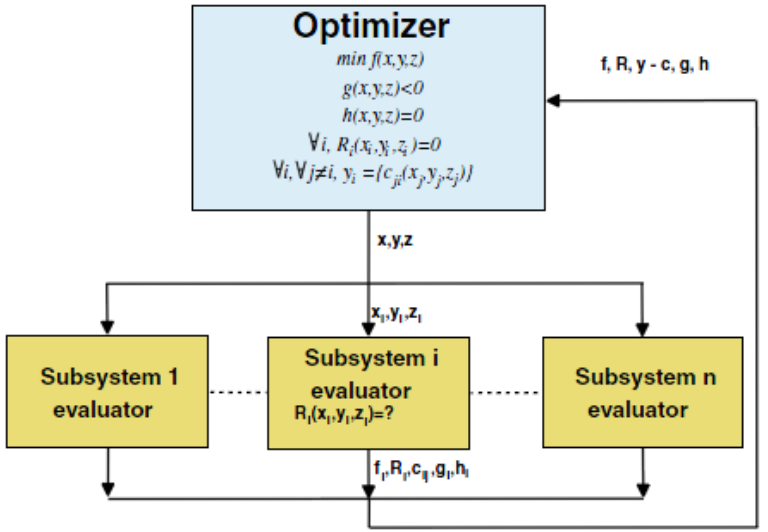
	یک موضوعی
تک منظوره	**دارای یک یا چند هدف بدون تقابل با هم** **دارای یک یا چند دیسیپلین بدون بر هم کنش** **دارای یک حل صریح (نه لزوماً یکتا)**
چند منظوره	**دارای چند هدف متقابل** **دارای یک یا چند دیسیپلین بدون بر هم کنش** **دارای جبهه پرتو از حل های بهینه**
تک منظوره	**دارای یک یا چند هدف بدون تقابل با هم** **دارای چند دیسیپلین با بر هم کنش** **دارای یک حل صریح (نه لزوماً یکتا)**
چند منظوره	**دارای چند هدف با تقابل با هم** **دارای چند دیسیپلین با بر هم کنش** **دارای جبهه پرتو از حل های بهینه**

مراحل اجرایی :

1) معین کرده کلیه نیازمندی های سیستم
2) معین کردن بردار x طراحی، موضوعات J و شرایط طراحی
3) تجزیه سیستم به واحدهای مشخص
4) مدلسازی فیزیکی با یکسان سازی توابع
5) همگرایی مدل در شبیه سازی همه جانبه سیستمی
6) ارزیابی مدل نسبت به تجربه قبلی، اگر مناسب باشد
7) طراحی ساختاری (DoE) به جهت بدست آوردن حساسیت و اهمیت متغیرهای xi در طراحی
8) پیاده سازی فرمولاسیون بهینه برای بدست آوردن مینیمم J(x)
9) آنالیز بهینه سازی و اکتشاف حساسیت ها و ارتباطات: آنالیز حساسیت، روش های همگرایی، استاندارد اجرا و در برداشتن عدم اطمینان

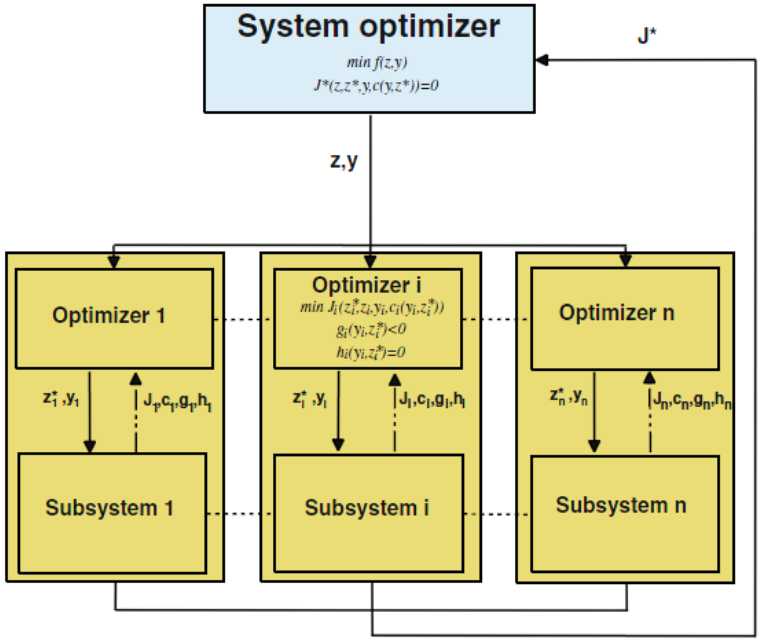
چارچوب های MDO

در این روش، بردار متغیر های طراحی وارد شده و در پایان ارزیابی، مقدار آن به شرطی مناسب می شود که تمامی دیسیپلین ها، تمامی قیود را ارضا کنند .در غیر این صورت، متغیر های طراحی تغییر یافته و دیسیپلین ها مجدداً درصدد ارزیابی تابع هدف بر خواهند آمد.



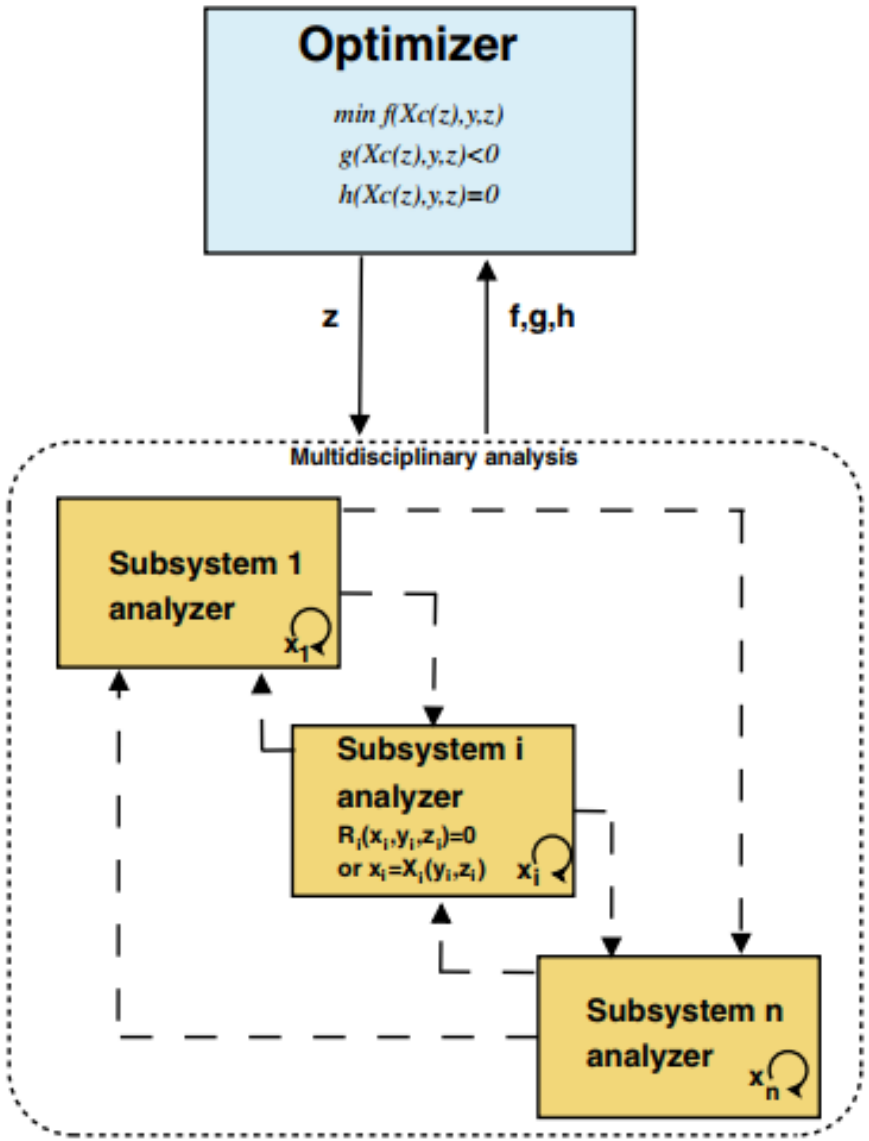
AAO method

در این روش تمام پارامترهای کوپل در موضوعات مختلف، به عنوان متغیر در بهینه ساز سطح سیستم قرار می گیرند و به عنوان هدف هر موضوع به سمت موضوعات فرستاده می شوند .



CO method

چارچوب های MDO



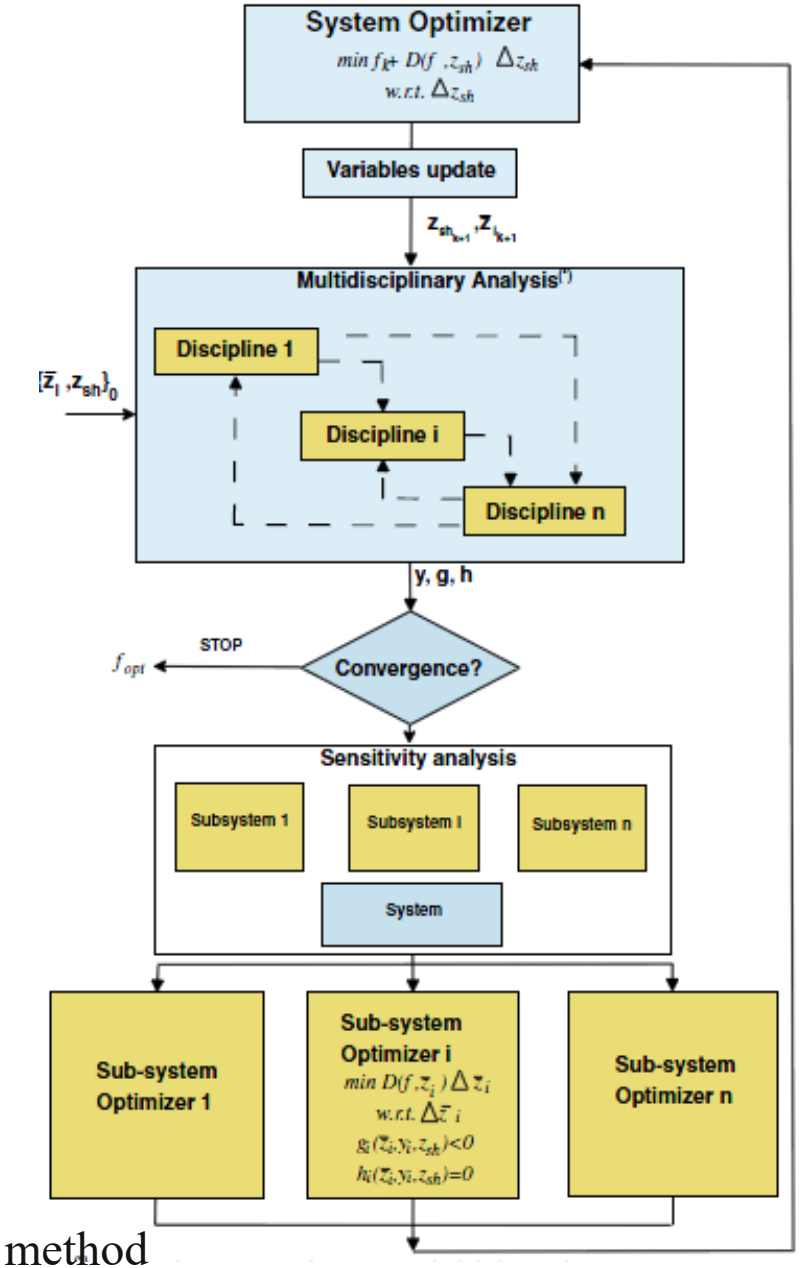
MDF method

چارچوب های MDO

در این روش متغیرهای کوپل و ضرایب وزنی در سطح سیستم طوری تغییر می کند که از یک بهینه سازی در سطح موضوعات، بهینه سازی در سطح سیستم حاصل شود.

شکل اولیه ساختار شامل مراحل زیر است:

1. نرم‌افزار و سخت‌افزارهای مورد نیاز برای حل مسئله بهینه-سازی به همراه کدهای مربوط به سطح سیستمی و زیرفضاها.
2. هر زیرفضا اطلاعات مربوط به خود را در حافظه اختصاصی خودش حفظ می‌کند و از رد و بدل کردن آنها بین تیم‌های طراحی جلوگیری می‌کند.
3. سطح سیستمی بیشترین انتخاب متغیرهای محلی را برای زیرفضاهای طراحی انجام می‌دهد تا مسائل محلی را بهتر درک کند.



BLISS method

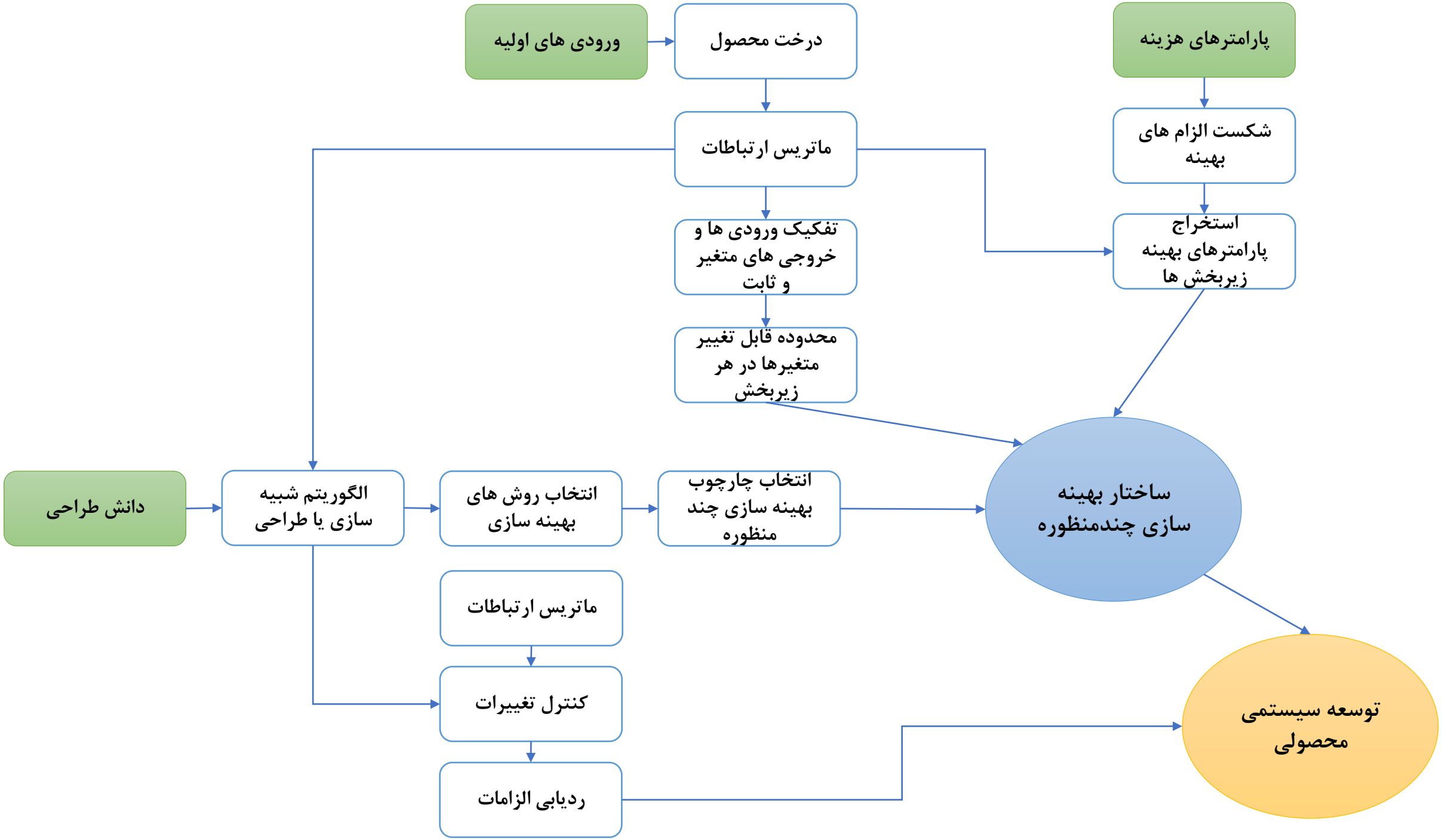

ورودی های اولیه
درخت محصول
پارامترهای هزینه
ماتریس ارتباطات
شکست الزام های بهینه
تفکیک ورودی ها و خروجی های متغیر و ثابت
استخراج پارامترهای بهینه زیربخش ها
محدوده قابل تغییر متغیرها در هر زیربخش
دانش طراحی
الگوریتم شبیه سازی یا طراحی
انتخاب روش های بهینه سازی
انتخاب چارچوب بهینه سازی چند منظوره
ساختار بهینه سازی چندمنظوره
ماتریس ارتباطات
کنترل تغییرات
ردیابی الزامات
توسعه سیستمی محصولی

Table 1
Case study specifications [16,17].

Thruster model	Propellant	O/F	Thrust	Chamber pressure	Expansion ratio (area)	Chamber-nozzle material	Cooling method	Valve
Model S 400 -12	MMH-N_2O_4	1.64	**420 N**	10 bar	220	Platinum–Nimonic	Film & radiative	Solenoid single seat
Model S 10–21	MMH-N_2O_4	1.65	**10 N**	9bar	150	Platinum–Rhodium	Film & radiative	Torque single seat

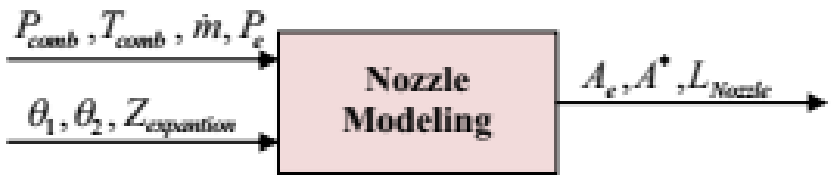
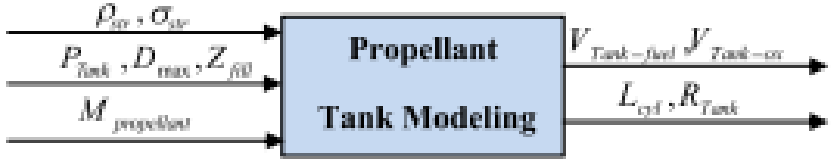
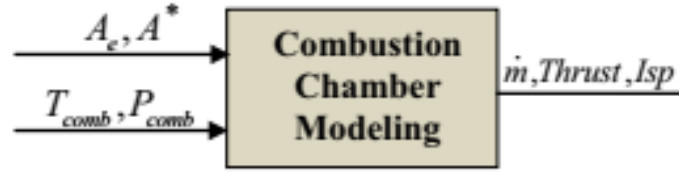
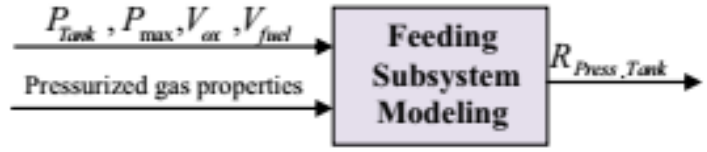
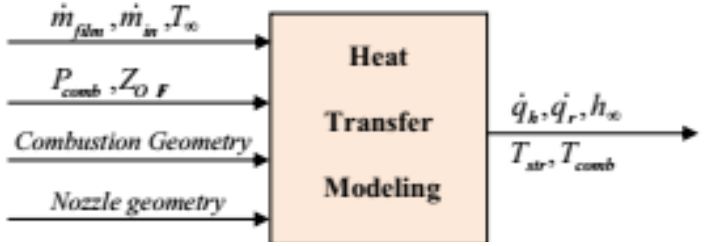


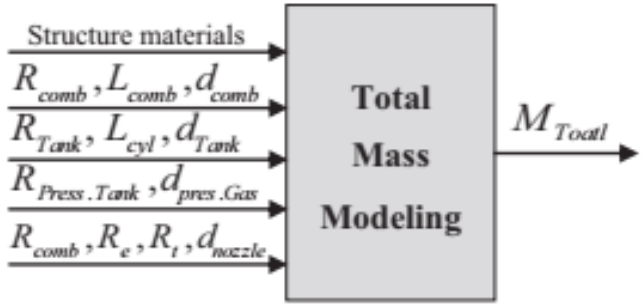
Fig.5. Nozzle modeling and Input–Output diagram.

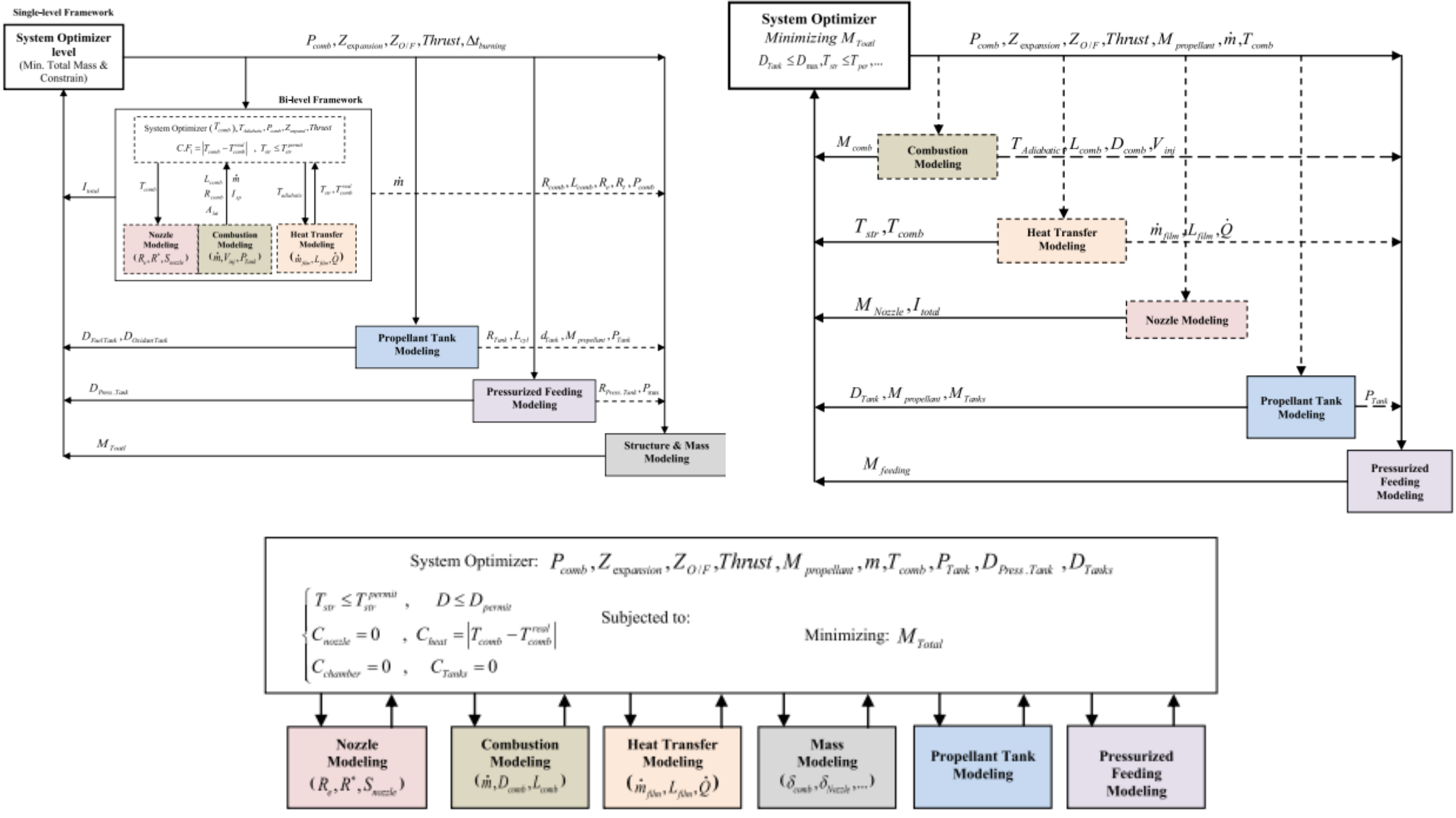











Single-level Framework
System Optimizer level
(Min. Total Mass & Constrain)
$P_{comb}, Z_{expansion}, Z_{O/F}, Thrust, \Delta t_{burning}$
Bi-level Framework
System Optimizer (T_{comb}), $T_{Adiabatic}, P_{comb}, Z_{expand}, Thrust$
$C.F_1 = |T_{comb} - T_{comb}^{real}|$, $T_{str} \le T_{str}^{permit}$
T_{comb}
L_{comb} R_{comb} A_{ht}
$\dot{m}$ I_{sp}
$T_{Adiabatic}$
T_{str}, T_{comb}^{real}
$\dot{m}$
$R_{comb}, L_{comb}, R_e, R_t, P_{comb}$
I_{total}
Nozzle Modeling (R_e, R^*, S_{nozzle})
Combustion Modeling ($\dot{m}, V_{inj}, P_{Tank}$)
Heat Transfer Modeling ($\dot{w}_{film}, L_{film}, \dot{Q}$)
$D_{FuelTank}, D_{OxidizerTank}$
Propellant Tank Modeling
R_{Tank}, L_{cyl} $d_{Tank}, M_{propellant}, P_{Tank}$
$D_{Press.Tank}$
Pressurized Feeding Modeling
$R_{Press.Tank}, P_{max}$
M_{Total}
Structure & Mass Modeling
System Optimizer
Minimizing M_{Total}
$D_{Tank} \le D_{max}, T_{str} \le T_{per}, \ldots$
$P_{comb}, Z_{expansion}, Z_{O/F}, Thrust, M_{propellant}, \dot{m}, T_{comb}$
M_{comb}
Combustion Modeling
$T_{Adiabatic}, L_{comb}, D_{comb}, V_{inj}$
T_{str}, T_{comb}
Heat Transfer Modeling
$\dot{m}_{film}, L_{film}, \dot{Q}$
M_{Nozzle}, I_{total}
Nozzle Modeling
$D_{Tank}, M_{propellant}, M_{Tanks}$
Propellant Tank Modeling
P_{Tank}
$M_{feeding}$
Pressurized Feeding Modeling
System Optimizer: $P_{comb}, Z_{expansion}, Z_{O/F}, Thrust, M_{propellant}, m, T_{comb}, P_{Tank}, D_{Press.Tank}, D_{Tanks}$
$T_{str} \le T_{str}^{permit}$, $D \le D_{permit}$
$C_{nozzle} = 0$, $C_{heat} = |T_{comb} - T_{comb}^{real}|$
$C_{chamber} = 0$, $C_{Tanks} = 0$
Subjected to:
Minimizing: M_{Total}
Nozzle Modeling (R_e, R^*, S_{nozzle})
Combustion Modeling ($\dot{m}, D_{comb}, L_{comb}$)
Heat Transfer Modeling ($\dot{m}_{film}, L_{film}, \dot{Q}$)
Mass Modeling ($\delta_{comb}, \delta_{Nozzle}, \ldots$)
Propellant Tank Modeling
Pressurized Feeding Modeling

یکپارچه سازی کلیه زیربخش ها در کنار یکدیگر به صورت همگرا

دومین نکته مهم که در صورت عدم انجام، فعالیت های پژوهشی هیچ گونه ارزش اجرایی ندارد

ومن الله التوفيق...