

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Prof. Dr. Erdem ACAR

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İçerik

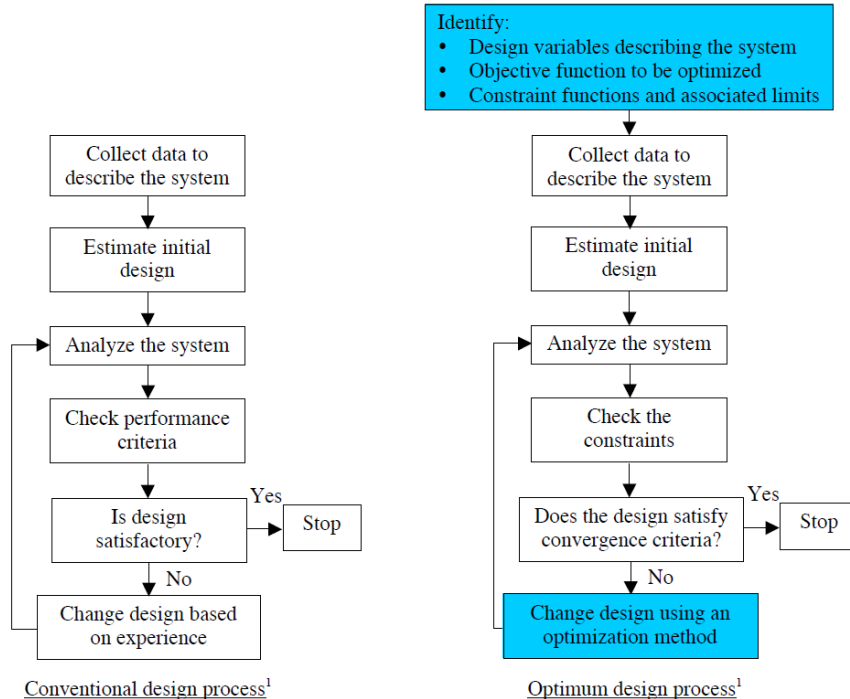
- Eniyileme (optimizasyon) nedir?
 - Mühendislikte eniyileme örnekleri
- Eniyileme problemlerinin sınıflandırılması
- Kısa tarihçe
- Yapısal eniyileme
- Standart formülasyon
 - Örnek problemler
- Bazı tanımlar
- Grafiksel optimizasyon
- Kapanış notları

Eniyileme nedir?

- **Tasarım değişkenlerini** (karar değişkenleri) uyarlayarak, tasarım **kısıtlarını** sağlamak koşuluyla belirli bir **amaç fonksiyonunu** (veya fonksiyonlarını) enküçükmek veya enbüyüklemek için takip edilen bir sistematik prosestir.
- **Tasarım değişkenleri:** tasarımcı tarafından değiştirilebilen problem parametreleri
 - kalınlık, çap, kesit alanı, vb.
- **Amaç fonksiyonları:** sistemin optimize edilecek yanıtları
 - ağırlık, maliyet, vb.
- **Kısıtlar:** sağlanması gereken şartlar (regülasyon, sınır, vb.)
 - gerilmelerin malzeme sınırlarını geçmemesi
 - tasarım değişkenlerindeki sınırlar (geometrik sınırlar, vb.)

3

Geleneksel Tasarım vs. Optimizasyon*



* Class notes of Prof. Rais-Rohani (Mississippi State University)

¹ J.S. Aurora, 2004, "Introduction to Optimum Design" 2nd Edition, Elsevier.

4

Analiz vs. Tasarım

ANALİZ

- **Verilen**
 - bir parça veya sistem
 - yükleme, malzeme bilgisi, vb.
- **Bul**
 - parça/sistem yanıtları gereksinimleri karşılıyor mu?

TASARIM

- **Verilen**
 - gereksinimler
- **Bul**
 - gereksinimleri karşılayan bir parça veya sistem
 - minimum ağırlığa (veya maliyete) ve maksimum performansa sahip

* Workshop notes of Dr. Gary Vanderplaats (Vanderplaats Research & Development, Inc)

5

Mühendislikte optimizasyon örnekleri

- Uçak yapılarının minimum ağırlık için tasarımı
 - Acar, E., Haftka, R.T., Johnson, T.F., "Tradeoff of Uncertainty Reduction Mechanisms for Reducing Structural Weight," Journal of Mechanical Design, Vol. 129, No. 3, 2007, pp. 266-274.
- Metal şekil verme işlemlerinde minimum üretim maliyeti veya minimum yüzey pürüzlülüğü için optimum proses koşullarının belirlenmesi
 - Acar, E., Camuscu, N., Er, A.O., Aslan, E., "Experimental Robust Optimal Machining of Hardened AISI 420 Stainless Steel with Al₂O₃+TiCN Mixed Ceramic Tool," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 225, No. 7, 2011, pp. 1033-1039.
- Pompa, türbin ve ısı transferi ekipmanlarının maksimum verim için tasarımı
 - Ayancık, F., Acar, E., Celebioglu, K., Aradag, S., "Simulation-based Design and Optimization of Francis Turbine Runners by Using Multiple Types of Metamodels," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 231, No. 8, 2017, pp. 1427-1444.
- Bir endüstriyel kuruluş için mekan seçimi
- İmalathanedeki makineler için yer seçimi

6

Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması

- Sınıflandırma tasarım değişkenleri, sistem yanıtları, amaç ve kısıt fonksiyonları, bu fonksiyonların yapısı veya diğer özellikler açısından yapılabilir.
- **Tasarım değişkeni/Yanıt:** kesikli, sürekli, karışık (*mixed*)
- **Amaç fonksiyonu:** tek amaçlı, çok amaçlı
- **Kısıt:** kısıtsız, kısıtlı
- **Fonksiyon yapısı:** doğrusal, doğrusal olmayan
- **Belirlilik:** deterministik, stokastik
- **Doğası gereği:** tek modlu (convex), çok modlu
(tek tepeli/çukurlu) (çok tepeli/çukurlu)

7

Kısa Tarihçe

- Optimizasyon yöntemlerinin kökleri, endüstri mühendisliğindeki **yöneylem araştırması** alanına dayanmaktadır.
- Mühendislik mekaniği çalışmalarına girişi ise 18'inci yüzyılda gerçekleşmiştir.
- 1960'larda popüleritesi artmıştır.
 - Schmit, L.A., "Structural Design by Systematic Synthesis, Proceedings," 2nd Conference on Electronic Computation, ASCE, New York, 1960, pp. 105 – 122.
 - Barnett, R.L., "Minimum Weight Design of Beams for Deflection," J. EM Division, ASCE, Vol. EM1, 1961, pp. 75-95.

Kısa Tarihçe (devam)

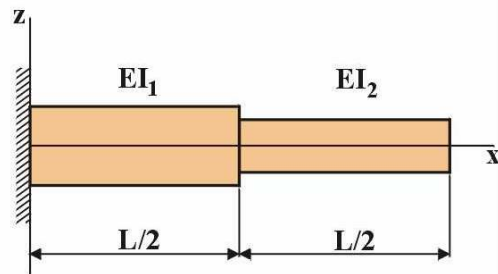
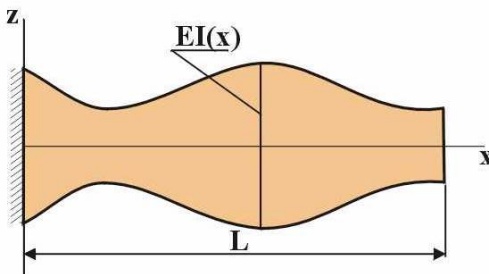
- **1948:** Lineer Programlama için SIMPLEX Yöntemi
- **1950'ler:** Çeşitli Rassal Yöntemler. Gradyan Tabanlı Yöntemlerin gelişimi ise 1950'lerin sonunda meydana gelmiştir.
- **1960'lar:** Ardışık Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri, Ardışık Doğrusal Programlama, Olurlu Yönler Yöntemleri
- **1970'lar:** Geliştirilmiş Olurlu Yönler Yöntemleri, Çarpan Yöntemleri, İndirgenmiş Gradyan Yöntemleri
- **1980'ler:** Değişken Metrik Yöntemleri, Ardışık Karesel Programlama Yöntemleri
- **1990'lar:** Genetik Algoritma, Benzetimsel Tavlama, Ardışık Kısıtsız Optimizasyon Tekniklerine Tekrar İlginin Başlaması
- **2000'ler:** Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Gelişmiş Ardışık Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri

* Workshop notes of Dr. Gary Vanderplaats (Vanderplaats Research & Development, Inc)

9

Kısa Tarihçe (devam)

- İlk **yapısal optimizasyon** uygulamalarında, sistem yanıtları (örneğin, deplasmanlar, gerilmeler) sürekli ortamda fonksiyonlar olarak tanımlanmakta ve yapısal özelliklerin optimal dağılımı elde edilmeye çalışılmaktaydı.
- Tipik bir uygulama problemi; bir kirişin minimum ağırlık için tasarımıydı, optimum tasarımda amaç eylemsizlik momentinin kiriş boyunca değişimini bulmak üzerineydi.
- Günümüzde; yapısal analizde Sonlu Elemanlar Yöntemi ile elde edilen sonuçlar, tasarımda ise yapısal özelliklerin fonksiyonel değişimi yerine elemanlar boyunca değişimi ele alınmaktadır.



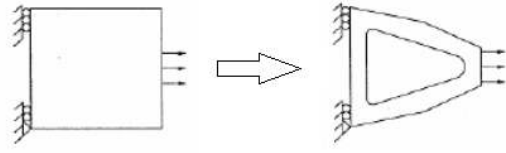
* Class notes of Prof. R.T. Haftka (University of Florida)

10

Yapısal optimizasyon

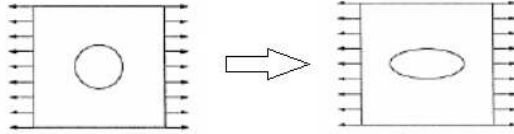
■ Topoloji optimizasyonu

- Bir kara kutu ile başla
- Optimal malzeme konumlandırma



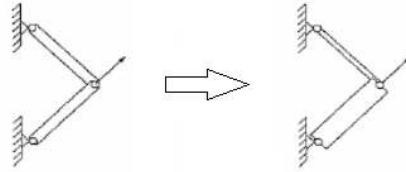
■ Şekil optimizasyonu

- Sınırları belirle
- Sonlu elemanlar şekli ve büyüklüğü değiştirilerek en iyi şekli belirle



■ Boyut optimizasyonu

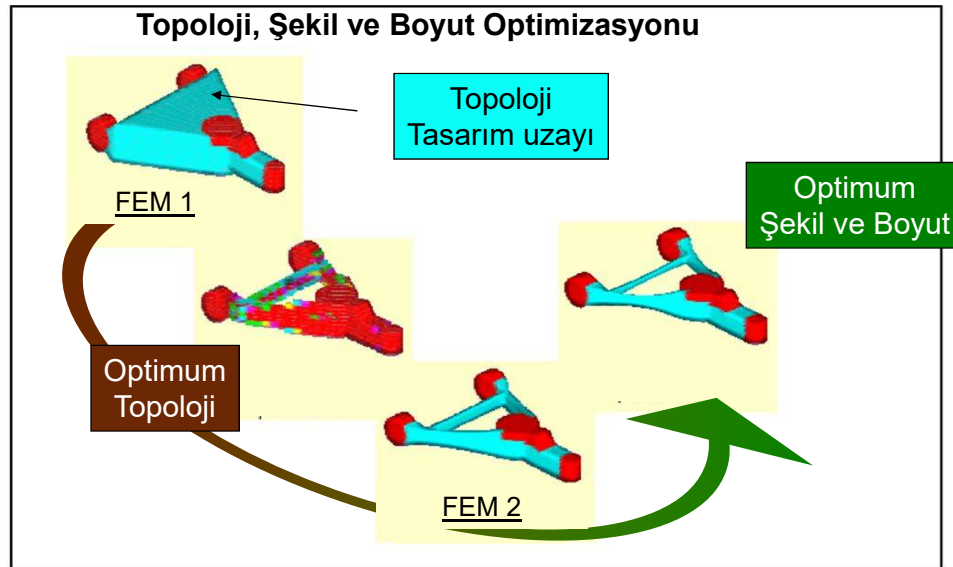
- Kalınlık ve kesit alanları belirlenir
- Sonlu elemanlar modeli değişmez



* Class notes of Prof. R.T. Haftka (University of Florida)

11

Yapısal optimizasyon örneği



Altair Concept Design Environment

12

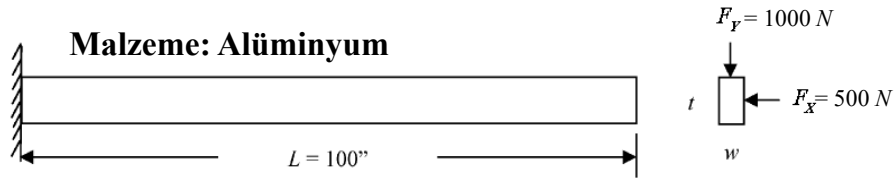
Standart formülasyon

$$\begin{aligned} \text{Find} \quad & \mathbf{x} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T \\ \text{Min} \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{S.t.} \quad & h_j(\mathbf{x}) = 0 \quad j = 1, \dots, n_e \\ & g_k(\mathbf{x}) \leq 0 \quad k = 1, \dots, n_g \\ & \mathbf{x}^L \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^U \end{aligned}$$

- $\mathbf{x}$: tasarım değişkenleri (design variables)
- f : amaç fonksiyonu (objective function)
- h : eşitlik kısıtları (equality constraints)
- g : eşitsizlik (inequality constraints)
- yan kısıtlar (side constraints)

13

Örnek - 1



Find w, t

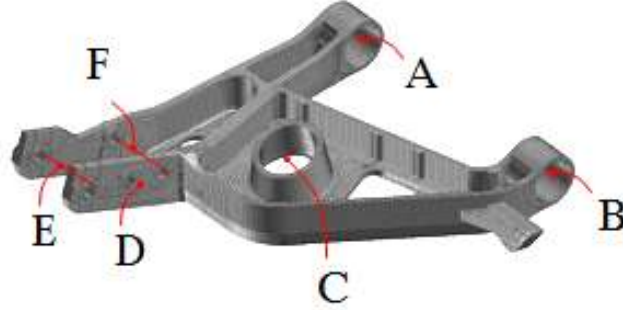
Minimize $A = w \times t$

Such that $\sigma - \sigma_Y \leq 0; \quad \sigma = \left(\frac{6L}{wt^2} F_Y + \frac{6L}{w^2 t} F_X \right), \quad \sigma_Y = 275 \text{ MPa}$

14

Örnek -2

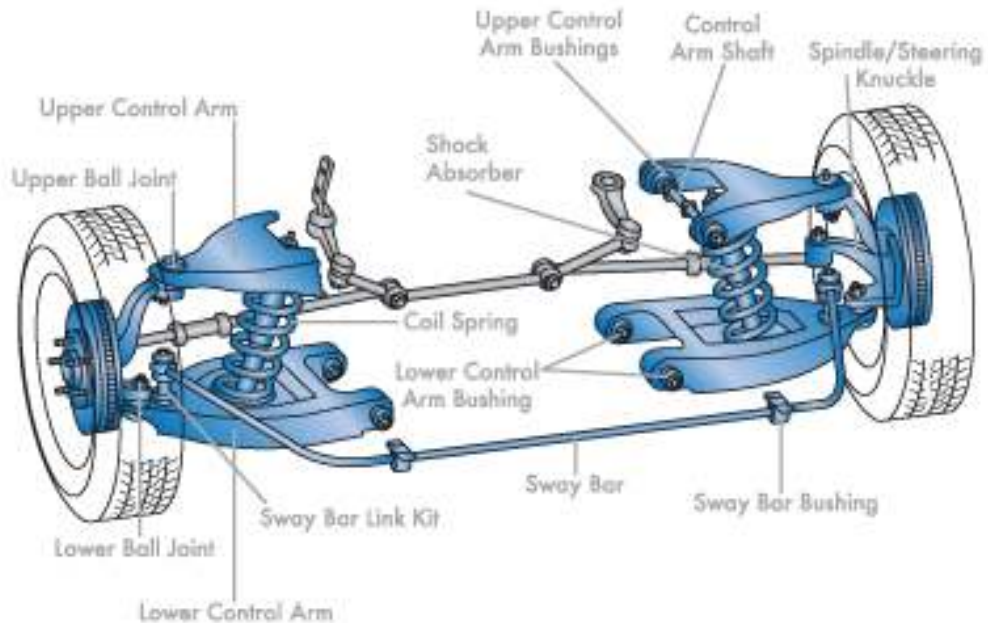
- Corvette aracının kontrol kolu (Al 356)
- Minimum ağırlık için tasarım
 - panik anındaki fren ve çukura düşme koşulları



A-F: Locations of specified boundary conditions

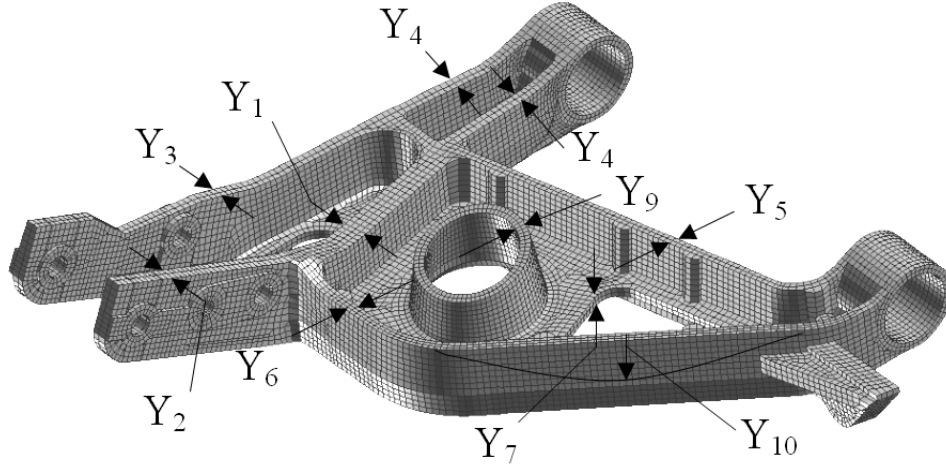
15

Kontrol kolu



16

Örnek – 2



Minimize $W(\mathbf{Y})$

Such that $g(\mathbf{Y}) = \sigma_{VM}(\mathbf{Y}) - \sigma_{cr} \leq 0$

$$\mathbf{Y}^L \leq \mathbf{Y} \leq \mathbf{Y}^U$$

17

Bazı tanımlar

- Tasarım değişkenleri birbirinden **bağımsızdır**.
- Amaç fonksiyonu, **iyi tasarımı** diğer tasarımlardan ayıran bir kriterdir.
- Amaç fonksiyonunun diğer isimleri:
 - maliyet fonksiyonu (enküçükleme problemi)
 - zindelik fonksiyonu (enbüyükleme problemi)
- Kısıtlar olurlu (*feasible*) tasarım uzayının sınırlarını çizerler. Bir veya birden fazla kısıtı sağlamayan tasarım **olursuz (*infeasible*) tasarım** olarak adlandırılır.
- Eşitsizlik kısıtları; bir marjinle sağlanıyorsa: **aktif olmayan** [$g < 0$]
sıfır marjinle sağlanıyorsa: **aktif** [$g = 0$]
sağlanmıyorsa: **ihlal edilmiş (*violated*)** [$g > 0$]
- **Yan kısıtlar (*side constraints*)**, tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını belirler.

18

Grafiksel Optimizasyon

- Sadece iki tasarım değişkeni olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir.

Prosedür

- Öncelikle olurlu bölge (*feasible region*) belirlenir.
 - Ardından amaç fonksiyonu konturları çizilir.
 - Olurlu bölgeyi kesen en küçük kontur, optimumu verir.
- **Örnek Problem** (*çözümü sonraki 2 slaytta verilmiştir*)

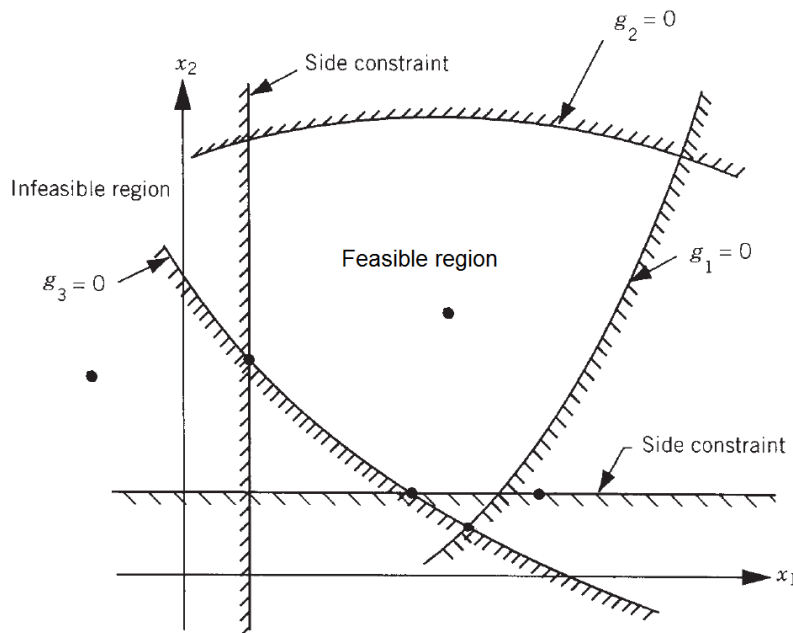
Minimize $f(x_1, x_2)$

Such that $g_1(x_1, x_2) \leq 0$, $g_2(x_1, x_2) \leq 0$, $g_3(x_1, x_2) \leq 0$.

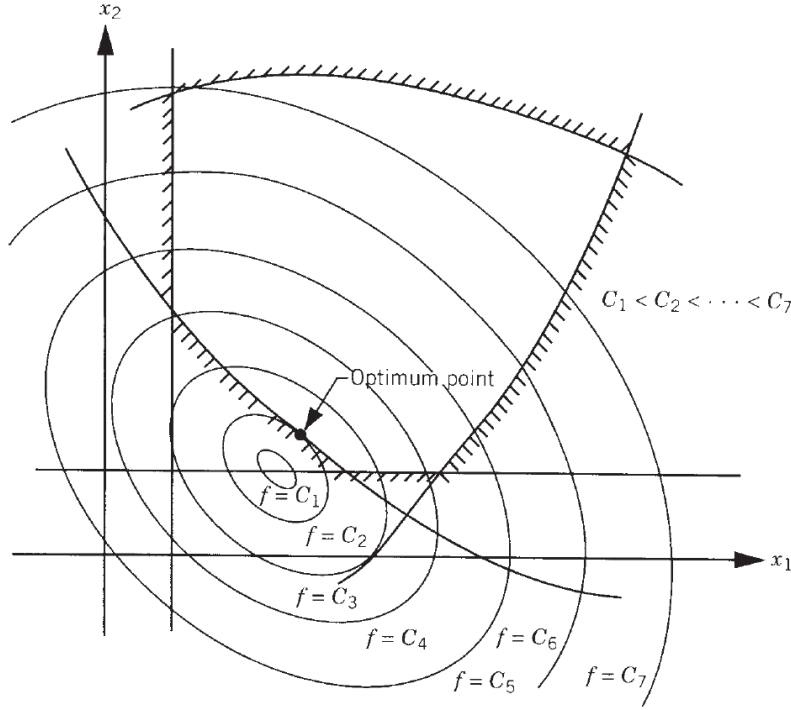
$$x_1^L \leq x_1, \quad x_2^L \leq x_2.$$

19

Olurlu bölgenin belirlenmesi*



Amaç fonksiyonu konturları*



* S.S. Rao, 2009, "Engineering Optimization Theory and Practice" 4th Edition, Wiley.

21

Kapanış Notları

- Optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan yaklaşımlar
 - Grafiksel yaklaşım** – sadece iki tasarım değişkeni varsa
 - Analitik yaklaşım** – az sayıda tasarım değişkeni, amaç ve kısıt fonksiyonları tasarım değişkenleri cinsinden açık analitik fonksiyonlar olarak ifade ediliyorsa
 - Sayısal yaklaşım** – çok sayıda tasarım değişkeni, amaç ve kısıt fonksiyonları hesabı karmaşık analizler gerektiriyorsa (ör., SEA)
- Bir fonksiyonun minimum değeri, o fonksiyonun negatifinin maksimum değerine tekabül eder.
 - "Maximize $f(x)$ " ile "Minimize $-f(x)$ " eşdeğerdir.
- Eşitlik kısıtlarını sağlamak zordur. Genellikle, belirli toleranslar dahilinde sağlanmaları yeterli sayılır.
 - Yapısal optimizasyon problemlerinde eşitlik kısıtları genellikle karşımıza çıkmaz.

22