



ENDÜSTRİDE MALZEME

SEÇİMİ

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU

Prof. Dr. İrfan AY



Doç. Dr. İRFAN AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU



MALZEME SEÇME STRATEJİSİ

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU



BALIKESİR



UNİVERSİTESİ



Doç. Dr. İRFAN AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU



Malzeme seçim kitaplarını incelediğimiz zaman makine parçaları için malzeme seçmede iki yol izlendiğini görüyoruz.

1. **Klasik malzeme seçme** yöntemi
2. **Prof.Asby 'nin malzeme seçme** yöntemi





KLASİK

MALZEME SEÇME YÖNTEMİ

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU



BALIKESİR



UNİVERSİTESİ



Doç. Dr. İRFAN AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU



Klasik malzeme seçimi için önce ;

- 1)-Makine parçasının ne iş yapacağı sorgulanır?
- 2)-Makina parçasının olduğu yerde malzemedeki beklenen özellikler tesbit edilir.
- 3)-Bu işi görecek Aday malzemeler belirlenir
- 4)-Aday malzemelere puan uygulaması yapılır.
- 5)-Aday malzemeler arasında en uygunu belirlenmeye çalışılır.

Doc.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU





ÖRNEK 1.

OTOMOBİL TAMPON PARÇASI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

1. Parça nedir ne iş yapar?

Tampon, otomobilin önünde ve arkasında darbe ve şoklara karşı emicilik görevi yapan bir parçadır.





2. Tampon malzemesinden beklenen özellikler nelerdir?

- Çarpma dayanımı(kırılma tokluğu) yüksek olmalı
- Yoğunluğu hafif olmalı
- Kolayca şekilverilebilir olmalı
- Paslanma olmamalı
- Ucuz olmalı

3. Yukarıdaki özellikleri gözönüne alarak gerek yeni malzeme kartlarından, gerekse özelliklerin verildiği malzeme özellik tablolarından aday malzeme seçimi yapılır.





Aday malzemeler ;

- * PLASTİKLERDEN (**PMM, HDPE,PP**)
- * METALLERDEN (**Çelikler, Al alaşımları**)
- * KOMPOZİTLERDEN (**CFRP, GFRP**)

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU





Tampon için aday malzemeler ve puanlama

Malzeme / Özellik	PPMA	HDPE	PP	Paslanmaz Ç.	Al alaşımı	CFRP	GFRP
Kırılma Tokluğu	1.5 (1p)	3.5 (1p)	3 (1p)	50 (10p)	25 (7p)	20 (6p)	30 (8p)
Yoğunluk	1.2 (10p)	1 (10p)	0.9 (10p)	7.8 (2p)	2.8 (5p)	1.7 (8p)	1.8 (8p)
Şekil verilebilirlik	+++ (10p)	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (8p)	++ (8p)	+ (6p)	+ (6p)
Korozyon direnci	P.İyi (10p)	P.İyi (10p)	P.İyi (10p)	İyi (7p)	İyi (7p)	İyi (7p)	İyi (7p)
Fiyat / birim hacim	15 (8p)	2.5 (10p)	2.5 (10p)	60 (4p)	15 (8p)	400 (1p)	35 (6p)
Toplam puan	39 p	41 p	41 p	31 p	35 p	28 p	35 p





4. En uygun malzeme seçiminin yorumlanması

- * **HDPP ve PP** En iyileri
- * **PMMA** sırada olan en uygun malzeme
- * **GFRP ve Al alaşımı** sırada olan uygun malzemelerdir.
- * **Paslanmaz çelik** pahalılık ve ağır olması sebebiyle tercihte en sona kalan malzemelerdendir.

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU





ÖRNEK 2.

EVDE VE İŞYERİNDEKİ FAN PARÇASI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

1. Parça nedir ne iş yapar?

Ev ve iş yerlerinde kullanılan fan parçasıdır. Ortamın havasını üfler. **Vantilatör fanı** olarak kullanılan parçadır.





2. Fan malzemesinden beklenen özellikler nelerdir?

- Orta dayanımlı olmalı
- Yoğunluğu hafif olmalı
- Kolayca şekilverilebilir olmalı
- Ucuz olmalı

Doç.Dr.İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU

3. Yukarıdaki özellikleri gözönüne alarak gerek yeni malzeme kartlarından, gerekse özelliklerin verildiği malzeme özellik tablolarından aday malzeme seçimi yapılır.





Aday Malzemeler ;

- * PP
- * Mg döküm
- * Orta Muk.çelik
- * Naylon
- * Al döküm
- * GFRP
- * CFRP
- * Seramik

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU



Doç. Dr. İRFAN AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU



Fan için aday malzemeler ve puanlama

Malzeme / Özellik	PP	Naylon	Mg dök.	Al dök.	Orta muk. Ç	GFRP	CFRP	Seramik
Orta muk. MPa	60 (2p)	80 (3p)	150 (6p)	150 (6p)	300 (10p)	300 (10p)	800 (2p)	100 (4p)
Yoğunluk g/cm³	0.9 (10p)	1.2 (10p)	1.8 (6p)	2.8 (4p)	7.8 (1p)	1.7 (7p)	1.6 (8p)	3.8 (3p)
Şekil verilebilme	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (8p)	++ (8p)	++ (8p)	+ (5p)	+ (5p)	++ (8p)
Fiyat / birim hacim	2.5 (10p)	12 (8p)	20 (7p)	12 (8p)	25 (6p)	30 (5p)	300 (1p)	150 (3p)
Toplam puan	32 p	30 p	27 p	26 p	25 p	27 p	16 p	18p





4. En uygun malzeme seçiminin yorumlanması

- * En uygun malzemeler **PP ve Naylon** - Çünkü ucuz, hafif ve kolay şekil verilebiliyor.
- * **Mg ve Al alaşımları** da uygun malzemeler
- * **GFRP ve orta muk.çelik** kullanılabilir malzemelerdir.





ÖRNEK 3.

YAY PARÇASI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

1. Parça nedir ne iş yapar?

Yay, bir kuvvetin etkisi altında kaldığında elastik şekil değiştirebilme özelliğine sahip, enerjiyi depolayan sonra kuvvet etkisi üzrinden kalktığında bu depolanmış enerjinin bir kısmını geri verebilen bir makine elemanıdır.





2. Yay malzemesinden beklenen özellikler nelerdir?

- Özgül mukavemeti (σ^2/E ve $\sigma^2/E\rho$) yüksek olmalı
- Hafif olmalı (Yoğunluk düşük)
- Yüksek elastik (düşük elastik modül)
- Titreşimi dağıtmalı (yüksek kayıp faktörü)
- Kolay şekil verilebilmeli
- Ucuz olmalı

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU





3. Yukarıdaki özellikleri gözönüne alarak gerek yeni malzeme kartlarından, gerekse özelliklerin verildiği malzeme özellik tablolarından aday malzeme seçimi yapılır.

- * Yay çeliği
- * Ti alaşımları
- * CFRP
- * GFRP
- * Naylon
- * Kauçuk (elastomer)





BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

Yay aday malzemeleri ve puanlamaları

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

Malzeme / Özellik	Yay çeliği	Ti alaşımı	CFRP	GFRP	Naylon	Elastomerler
Spesifik muk. MPa/(Mg/m ³)	50 (2p)	150 (7p)	200 (10p)	170 (8p)	70 (4p)	55 (2p)
Yoğunluk Mg/cm ³	7.8 (2p)	4.5 (5p)	1.7 (8p)	1.8 (8p)	1.2 (10p)	1.2 (10p)
Şekil verilebilirlik	++ (8p)	+(3p)	+(3p)	+(3p)	+++ (10p)	+++ (10p)
Fiyat / birim hacim	25 (8p)	200 (3p)	300 (1p)	30 (7p)	12 (9p)	5 (10p)
Elastik modül(GPa)	200 (3p)	120 (5p)	40 (7p)	25 (8p)	2.5 (9p)	0.05 (10p)
Kayıp katsayısı	10 ⁻³ (4p)	10 ⁻³ (4p)	10 ⁻² (6p)	10 ⁻² (6p)	10 ⁻² (6p)	0,8 (10p)
Toplam puan	27 p	27 p	35 p	40p	48p	52p





4. En uygun malzeme seçiminin yorumlanması

1. Puanlama tablosundan en uygun malzemenin polimerlerden **kauçuk** (elastomer) ve **naylon** olduğu görülüyor.(Hafif yaylar için süper seçimdir.)

2. Bunları **GFRP** ve **CFRP** kompozitleri izlemektedir.

3. Metalik malzemelerden ise ;

* **Yay çeliği**

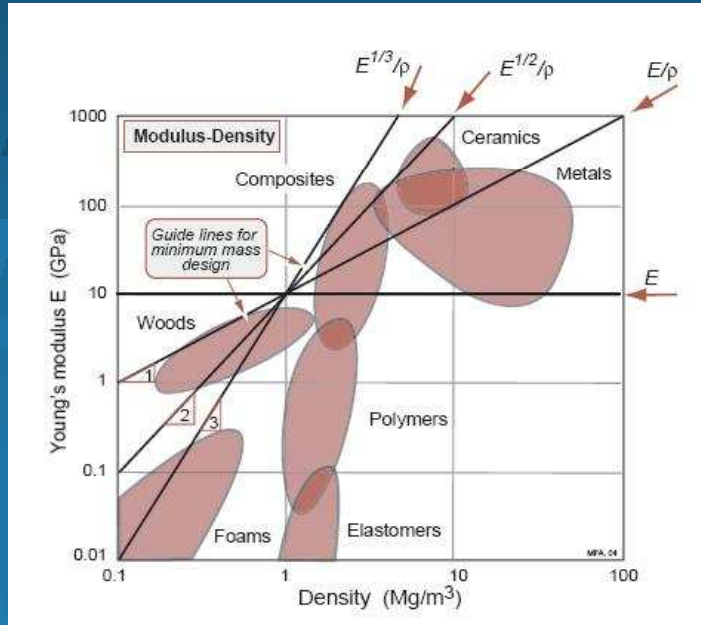
* **Ti alaşımları**

Metaller yüksek yoğunlukları sebebiyle dezavantajdır lar.Ancak yüksek mukavemet gerektiğinde en iyi seçim olur.





PROF. ASHBY 'NİN MALZEME SEÇME YÖNTEMİ



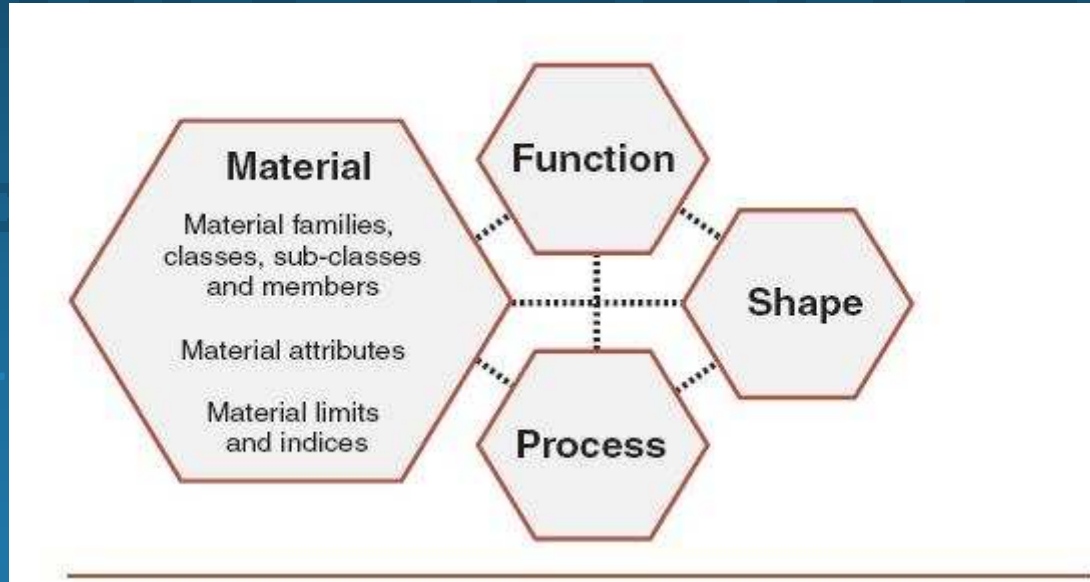
Doç.Dr. İrfan

DEMİRCİOĞLU

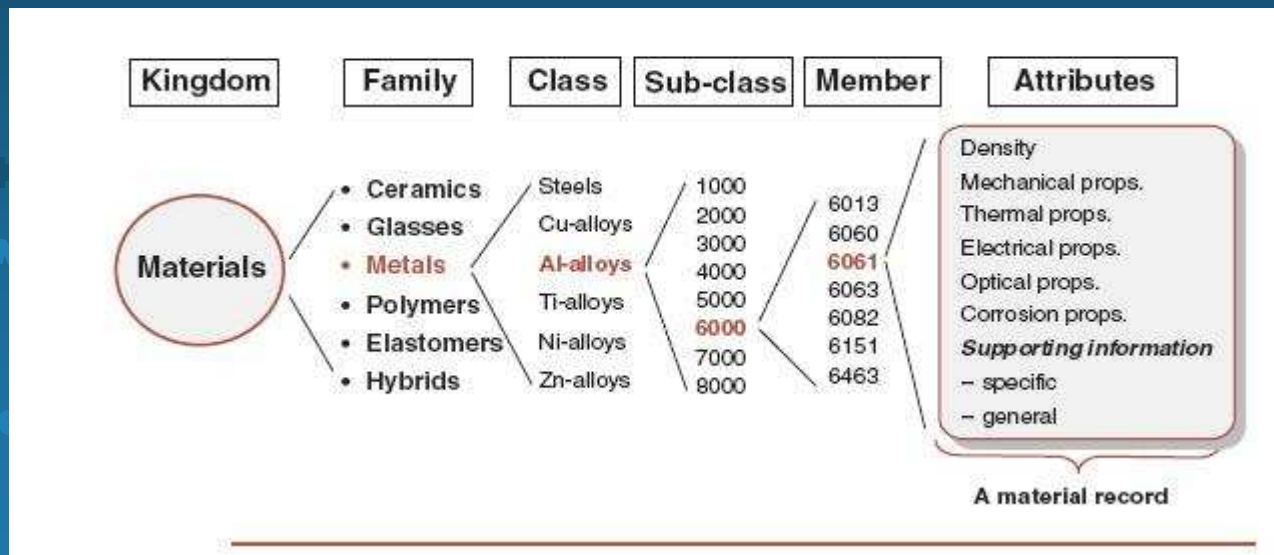




Malzeme seçimi, o malzemenin yapacağı **fonksiyon**, malzemenin **şekli** ve o malzemenin hangi **prosesle** üretildiği ile yakından alakalıdır.



Malzeme seçme stratejisi izlenirken, **Prof.Ashby**'nin yönteminde Malzemeler aşağıdaki şekilde gösterilen düzene göre bir mevcut veri tabanından araştırılır.





Önce malzemeler menüsünden

1. **METALLER**, sonra metallerin içersinden
2. **ALUMİNYUM**, sonra alüminyum çeşitlerinden
3. **6000 serisi**, sonra bu serinin içinden
4. **6061 serisi**, sonra
5. **Bu serinin özellikleri** (Yoğunluk, mekanik özellikleri, termal özellikleri, Elektriksel özellikleri, Optik özellikleri, Korozyon özellikleri) sergilenmektedir.





Prof.Ashby'nin yönteminde malzeme seçimi için izlenecek yol ;

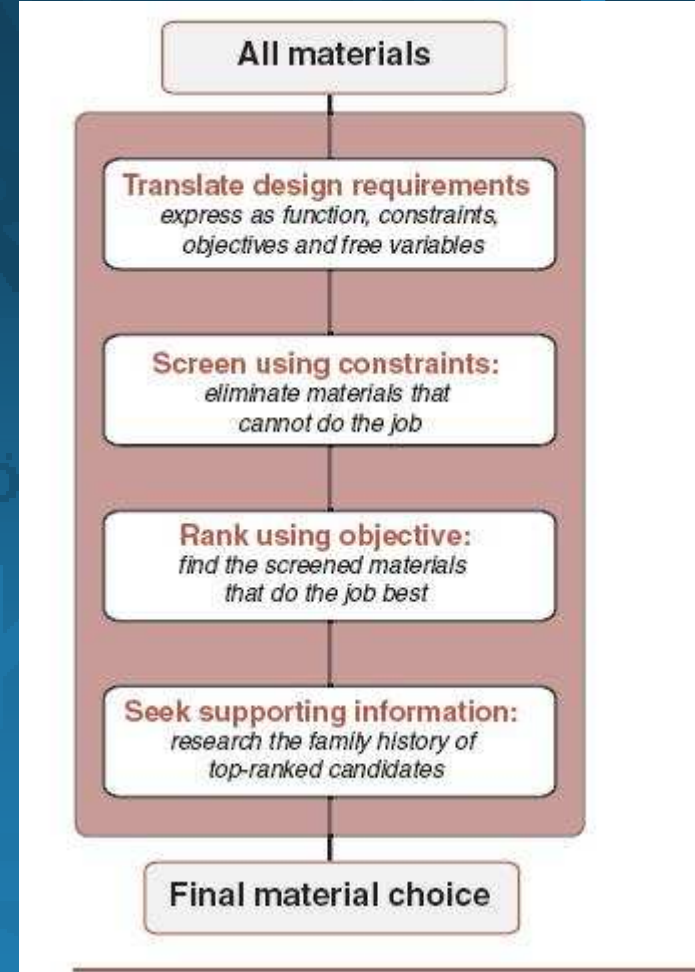
*** Tüm malzemelerin içinde**

1. * Tasarım şartları (Fonksiyon,sınırlama, amaç ve serbest değişkenler)

2. * İşe yaramayan mlz.leri elimine etme

3. * En iyi mlz.leri sıralama

4. * Seçilen malzeme için ilave bilgi desteği





1.)-Tasarım şartları deyince neyi anlamalıyız?

Fonksiyon : Bu parça ne iş yapacak?

Sınırlama : Parça boyutları sınırlandırılır,hata vermeden yüke, sıcaklığa,vs.ye dayanması istenir.

Amaç : Parçayı min kütle,max.prformanslı nasıl yaparız?

Serbest değişkenler : Amacımızı gerçekleştirmek için bazı parametreleri nasıl ayarlarız ?

Function, constraints, objectives and free variables

Function	What does component do?
Constraints*	What non-negotiable conditions must be met? What negotiable but desirable conditions ... ?
Objective	What is to be maximized or minimized?
Free variables	What parameters of the problem is the designer free to change?

*It is sometimes useful to distinguish between "hard" and "soft" constraints. Stiffness and strength might be absolute requirements (hard constraints); cost might be negotiable (a soft constraint).





2.)- İşimize yaramayan malzemelerin elimine edilmesi

Bundan kastımız,

- * Parça kaynar suda iş göremiyecek ise ayrılmalıdır.
- * Parça transparent değilse(ışın geçirmiyorsa) ayrılmalıdır.
- * İstedğimiz özellik yalıtkanlık ise, iletken olanlar ayrılmalıdır.
- * İstedğimiz özellik korozyona dayanım ise, korozyona dayanmayanlar ayrılmalıdır.





3.)- En iyi malzemeleri sıraya koyma ,

En uygun malzeme için bir “**optimizasyon kriteri**”ne ihtiyaç vardır.

Performans, bazen “**tek**” bazen de “**birden fazla**” özellikle sınırlanır.

En düşük yoğunlukla (ρ) , en düşük termal iletkenlik katsayısı (λ) özellikleri sınırlı olan özelliklerdendir.

Tek bir özellik (**Max. Veya Min**) performansı en üstte tutar.





Örnek vermek gerekirse;

* Hafif, rijit bir bağlama çubuğu malzemesinde performans tek bir özellik olan (E/ρ) su en büyük olan değer, seçilecek en iyi malzeme demektir.

* Yaylarda performans tek bir özellik olan $[(\sigma_f)^2 / E]$ si en büyük olan değer, seçilecek en iyi yay malzemesi demektir.

* İŞTE MALZEME SEÇİMİNDE PERFORMANSI , MAX.YAPAN KRİTER'E "**MALZEME İNDİS**" LERİ DİYORUZ.





4.)- Seçilen malzeme için ilave bilgi desteği

Bizim yaptığımız tasarımla – malzeme özellikleri arasında son seçimi doğru yapmamıza **BİLGİ DESTEĞİ** olarak sağlar.

* Seçilecek malzemenin korozyon davranışı, çevreye zararının olup olmaması vs gibi bilgiler seçilecek malzeme meleri daha da dar alana sokar.





Prof. Ashby nin malzeme seçme yöntemine basit örneklerle giriş yapalım.

* Şunu unutmıyalım .

1. **Sınırlamalar**, malzeme özelliklerinin sınırlarını ayarlarlar.

2. **Amaçlarımız** da, malzeme indislerini belirtirler.

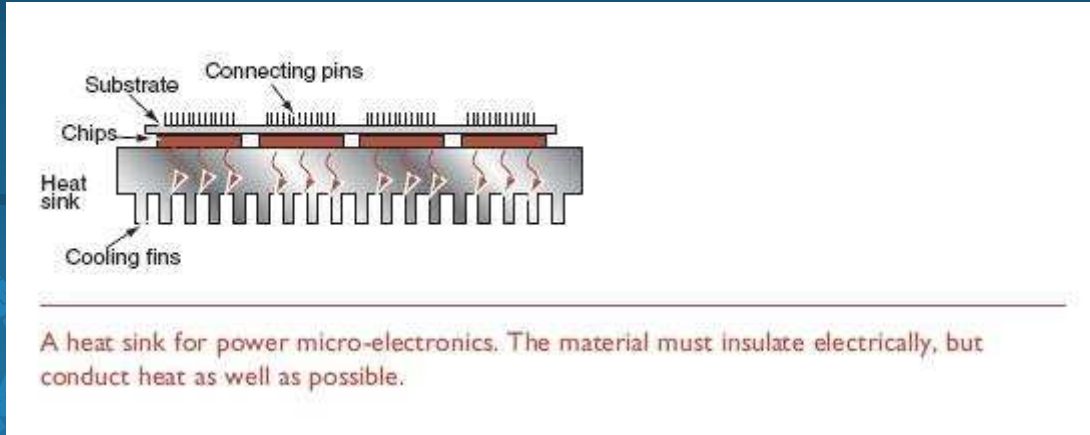
a)- Amaç, sınırlama ile **birlikte değilse** ; Malzeme indisi , **basit bir malzeme özelliği**'dir.

b)- Fakat amaç, sınırlama ile **birlikte olduğunda**, Malzeme indisi bir **“grup özelliği”** halini alır.





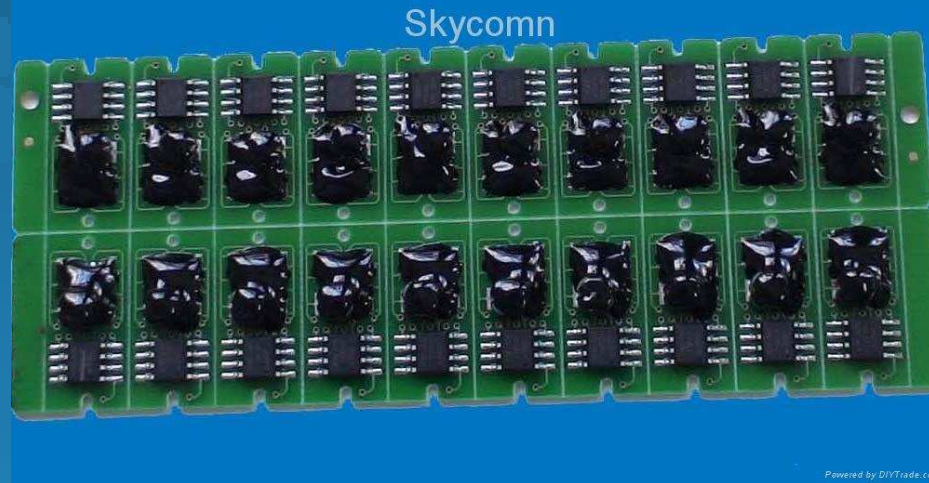
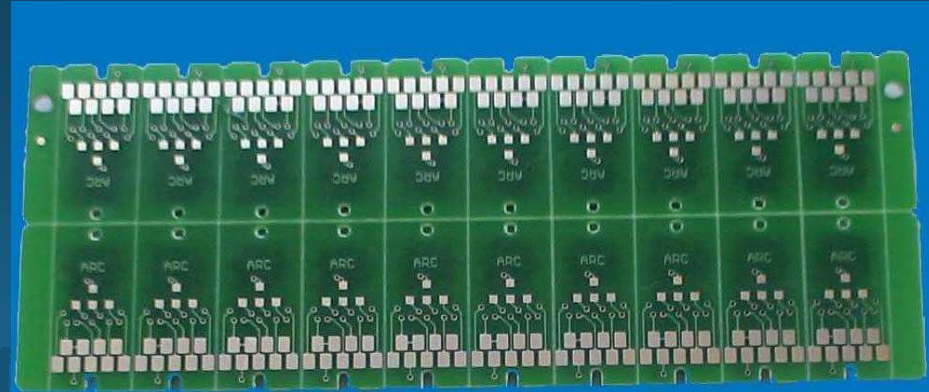
ÖRNEK 1)- Aşağıdaki şekilde bugünkü PCL'deki pentum chip'ler görülmektedir. Bir mikrochip miliwatt seviyesinde ısı yutar. Güçleri düşüktür ama güç yoğunlukları fazladır. Çalışırken zaman geçtikçe ısınırlar



Sıcaklıları **85⁰** C ye ulaşır. Tek bir yüzeye 130 adet chip yerleştirilebilmektedir. Isı, ısı düşürücü bir aparat ile kontrol altında tutulur. Chip'lerin altında ısıyı düşüren bir parça olmalıdır.



Chip ve chip'ler



Powered by DIYTrade.com



Peki şimdi bu parçanın performansı nasıl Maksimum yapılır?

Öncelikle bu parçanın öz direnci $(\rho_e) > 10^{19} \mu\Omega\text{cm}$ den büyük olmalıdır. Aynı zamanda λ ısıl iletkenlik katsayısının da en yüksek seviyede olması gerekir.

Öz direnç bu örnekte “sınırlayıcı” olarak işlem görür. Yukarıdaki değerden düşük olan malzemeler elenir.

Termal iletkenlik (λ) bir “amaç” olarak işlev görür. Ama yine malzemeler sınırlama ile karşı karşıya kalırlar ve λ değeri en yüksek olanı arar, gerisini eleriz.

Bu λ bu örnek için **malzeme indisi** olur.





Function, constraints, objective, and free variables for the heat sink

Function	Heat sink
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Material must be "good insulator", or $\rho_e > 10^{19} \mu\Omega \cdot \text{cm}$• All dimensions are specified
Objective	Maximize thermal conductivity, λ
Free variables	Choice of material





Bu adımları (λ - $\rho_{\text{öz}}$) malzeme özellik kartını kullanarak yapabiliriz.

Fonksiyon : Isıyı düşürmek

Sınırlamalar :

1. Max. servis sıcaklığı $> 200^{\circ}\text{C}$
2. Elektrik yalıtkanlığı $R > 10^{20} \mu\Omega\text{cm}$ olmalı
3. Isı iletim katsayısı $\lambda > 100 \text{ W/m K}$ olmalı
4. Ağır olmamalı yoğunluk $\rho < 3 \text{ Mg /m}^3$

Amaç : Termal iletkenlik max. olmalı (λ),

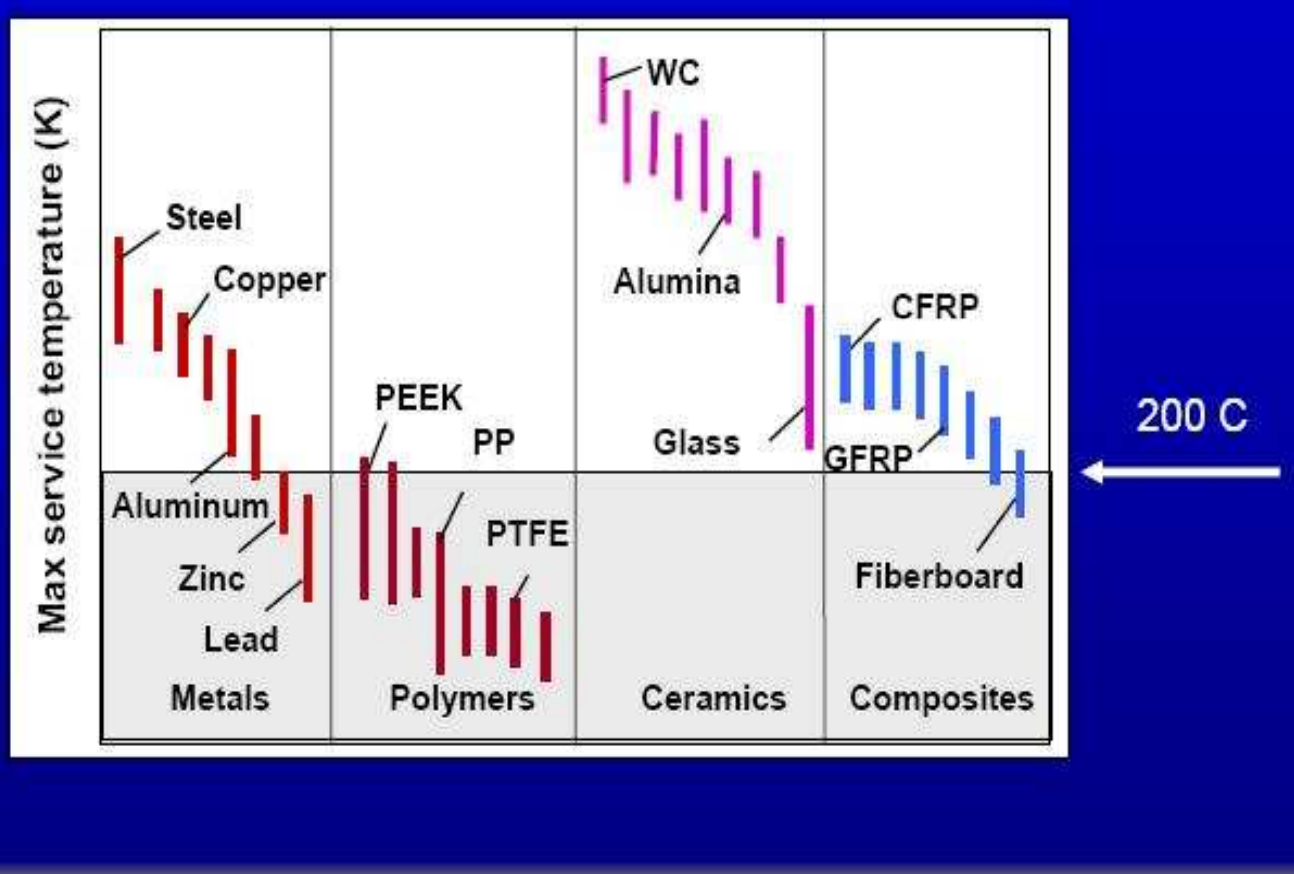
Serbest değişkenler : Sadece malzeme seçimi ve üretim prosesi olarak sıralanır.



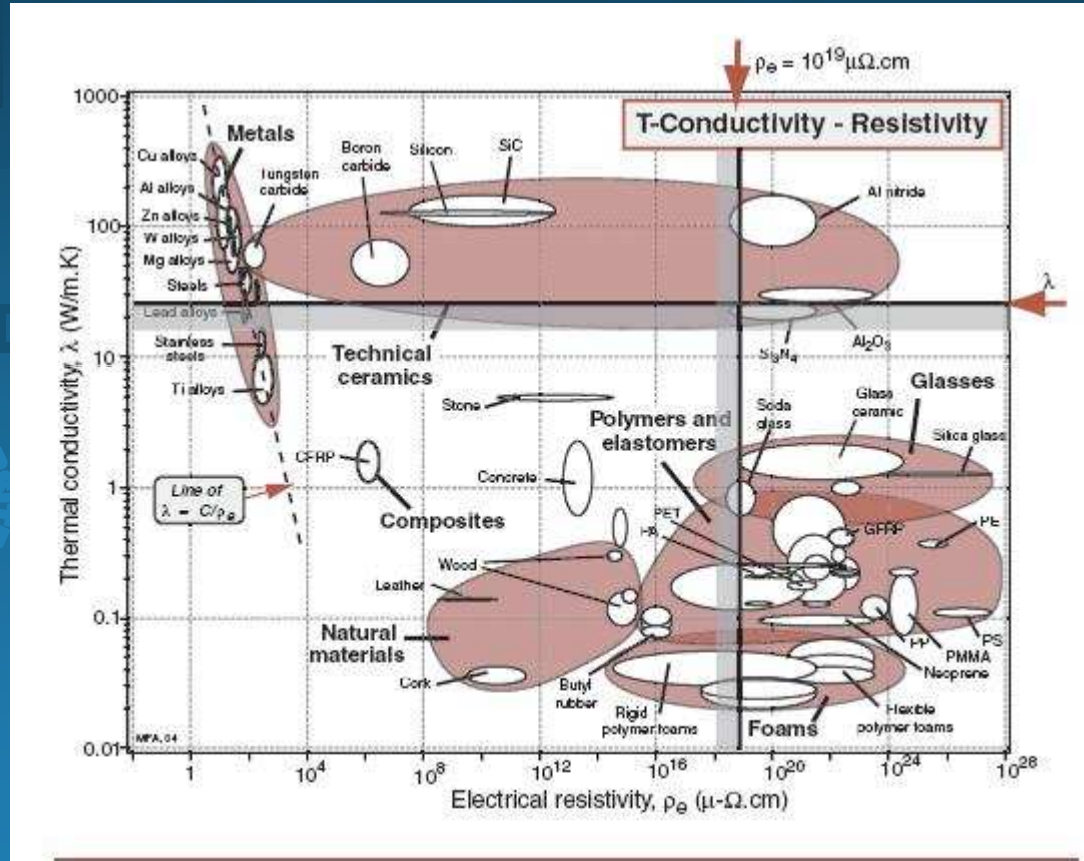


Max.servis sıcaklığı malzeme çubuk kartı

Bu kart sayesinde ısıyı uzaklaştıramıyacak malzemeler elenir. (200°C nin altındakiler elenir.)

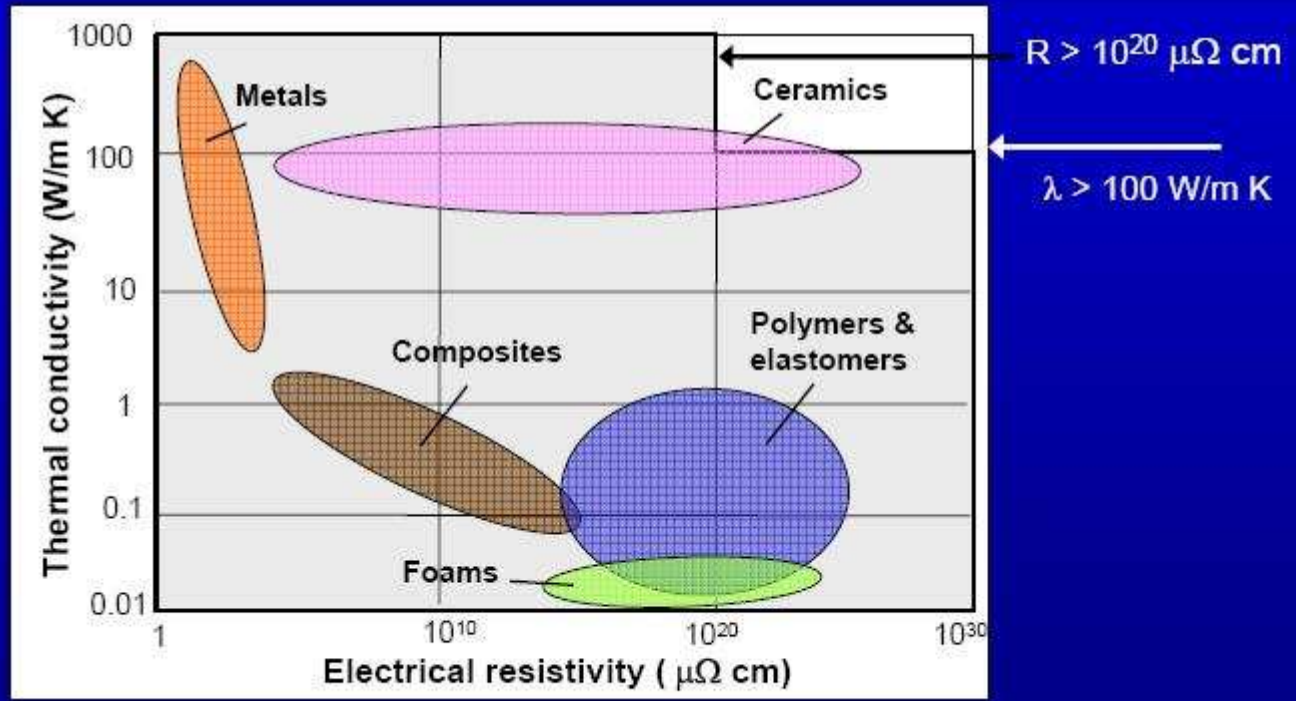


Aşağıdaki **iletkenlik-özdirenç** Malzeme Özellik kartından önceden bildiğimiz değerleri kesiştirirsek, hangi malzemeleri seçeceğimiz açığa çıkar.





Bir önceki **termal iletkenlik-elektrik direnç** eğrisinin daha basit hali





Malzeme kartından ;

1. Aluminyum nitrid (AlN)

2. Alumina (Al_2O_3)

Bu iki malzeme en uygun malzemeler olarak seçilir.

Bundan sonraki son adım, bu iki malzeme arasında **İLAVE BİLGİ DESTEĞİ** almaktır.

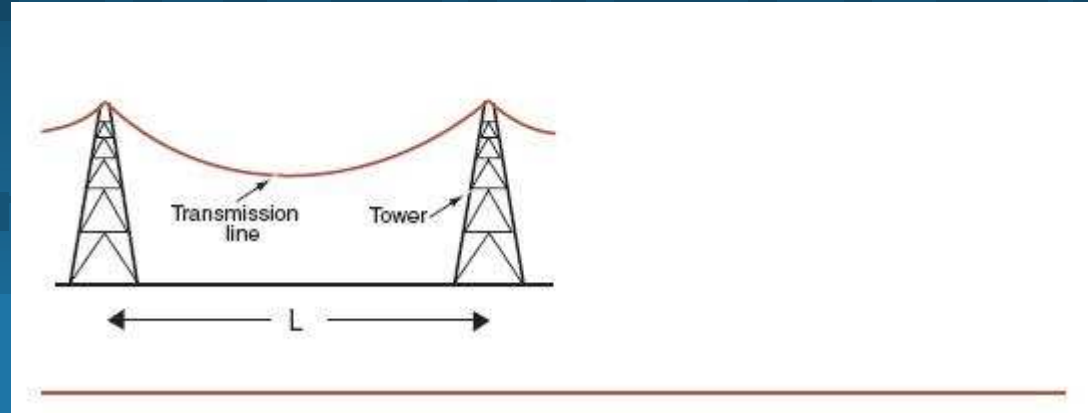
Daha sonra web sitesinden yaptığımız araştırmalar da **AlN** nin veri datasının daha çok olduğunu görürüz.





ÖRNEK 2. Havai elektrik nakil hattı malzemesi seçimi

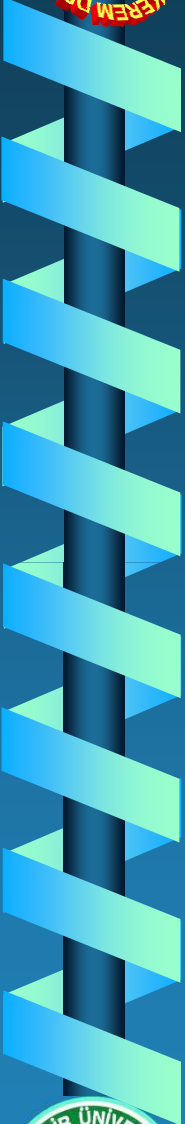
Bu gün elektrik gücü yer altı kabloları veya havai hatları üzerinden taşınır. Yeraltı kabloları havai hattan



daha ucuzdur. Havai hatlarda **büyük kule** ve taşıyıcı **elektrik hatlarına** –geniş aralığa ihtiyaç vardır.

Kule pahalıdır. Geniş aralıkta kullanılacak malzemenin de enerji kayıplarını minimize edecek çok düşük elektrik direncine sahip olması gerekir.





İki kule arasındaki kablo mesafesi, rüzgar ve buzlanma yüklerini tolere edecek şekilde ve onun bel verme limitini karşılayacak mukavemette olması gerekir. Mesafe L , ve mukavemet σ 80 MPa ile **sınırlandırılır**.

Amaç, direnç kayıplarını minimize etmek olsun. Bu da o malzemenin öz direncinin (ρ_e) en düşük olmasını gerektirir.

Şimdi problem, **malzeme indisi**'ni tanımlamaktır.

Bundan sonraki tablo'da bu adımların nasıl atılacağı gösterilmiştir.



Fonksiyon : Elektriği uzaklara taşıyacak malzeme

Sınırlamalar : İki kule arası (**L**) ve tel kesiti (**A**) önceden belli, Malzeme mukavemeti $\sigma_f > 80$ MPa olmalı, çünkü rüzgara ve buza yenik düşmemeli

Amaç : Min elektrik direncine sahip olma **$R = \rho(L/A)$**

Serbest değişkenler : Malzeme seçme [mukavemete göre **eleme**, min. elektrik dirence göre **sıralama yapma**]

Function, constraints, objective, and free variables for the transmission line

Function	Long span transmission line
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Span L is specified• Material must be strength $\sigma_f > 80$ MPa
Objective	Minimize electrical resistivity ρ_e
Free variables	Choice of material





Bu örnekte yazılacak reçete ,

* **Mukavemet** üzerinden “**eleme**” yapmaktır. Arka sayfadaki çubuk karta bakılırsa, mukavemet bakımından **polimerler** ve **bazı seramikler** elenir.

* **Özdirenc** üzerinden “**sıralama**” yapmaktır.

Bunun için de ($\sigma_f - \rho_e$) malzeme özellik kartına müracaat edilir.

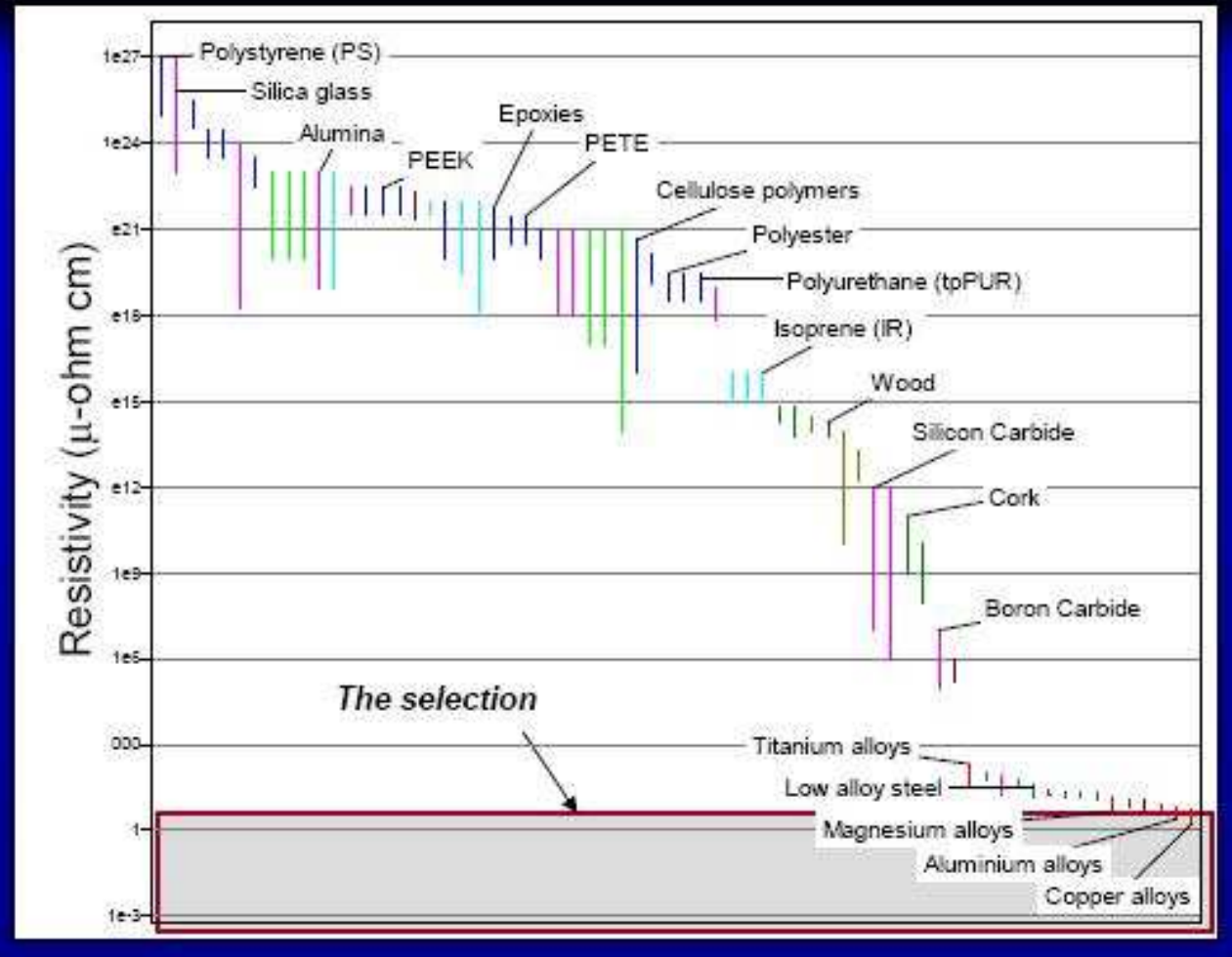
- Burada en düşük özdirencin **Cu ve Al** alaşımları olduğunu görürüz. Mukavemet karşılaştırması yaparız.

- Bakır pahalı olduğundan **Aluminyum** kabloları seçeriz.





Dirençle ilgili Malzeme çubuk kartları





Bu iki örnek, oldukça basite indirgenerek anlatılmıştır. Gerçekte ise bir çok sistemde malzeme seçimi yapılırken olayın daha kompleks olduğu görülecektir.

Bu iki örneği vermemizdeki amaç, Ashby'nin metodundaki 4 adımını **ANAHTAR** yapmaktır.

- * **FONKSİYON**
- * **SINIRLAMA**
- * **AMAÇ**
- * **SERBEST DEĞİŞKENLER**



[**AMAÇ**'LARLA **SINIRLAMA**)]'LAR BİRLİKTE OLDUĞU ZAMANKİ DURUMDA **MALZEME** **İNDİS'LERİ**

Tasarımda herhangi bir makine parçası, verilen **fonksiyona** göre yüklenir.

Şaft'lar tork'ları taşırlar,
Kirişler eğme momentlerini taşırlar,
Kolonlar, bası eksenel yükleri taşırlar,.

Çubuk, kiriş, şaft ve kolon **fonksiyonu** ima eder.



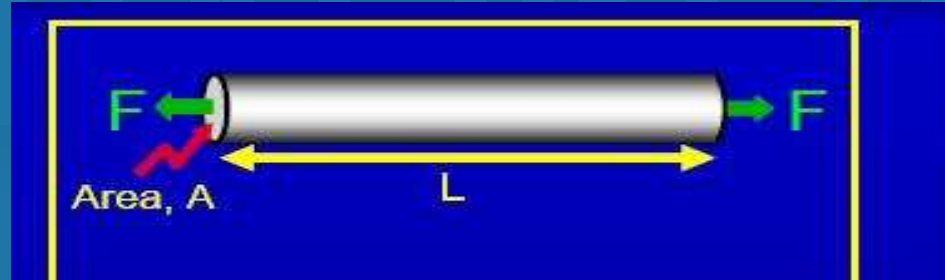


ÖRNEK :

HAFİF, GÜÇLÜ BİR BAĞLAMA ÇUBUĞU İÇİN “MALZEME İNDİSİ” BELİRLEME

Şekildeki gibi **L** uzunluğunda **F** çeki kuvvetini taşıyabilecek kütlesi minimum olmak kaydıyla silindirik bir çubuğa ihtiyacımız olsun.

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU



Doç. Dr. İRFAN AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU



Uzunluk **L** olarak belirlenmiş, fakat kesit **A** belirlenmemiştir. Bu çubuktan beklenen maximum performans demek, kütleyi minimum yapıp **F** yükü bu çubuk tarafından emniyetle taşınsın demektir. Tasarım şartları sonraki sayfada **Tablo**'da verilmiştir.

Biz önce min.ve max.değeri verecek olan bir **DENKLEM**'i arayacağız.Yani ;

Çubuğun kütlesi (**m**) dir.Bunun min.olması gerekiyordu.Bu ibarenin matematiksel karşılığı

$$m = A.L.\rho \text{ [mm}^2 \cdot \text{mm} \cdot \text{g/mm}^3 \text{] = g olur.}$$

Burada A = Kesit

ρ = yoğunluk

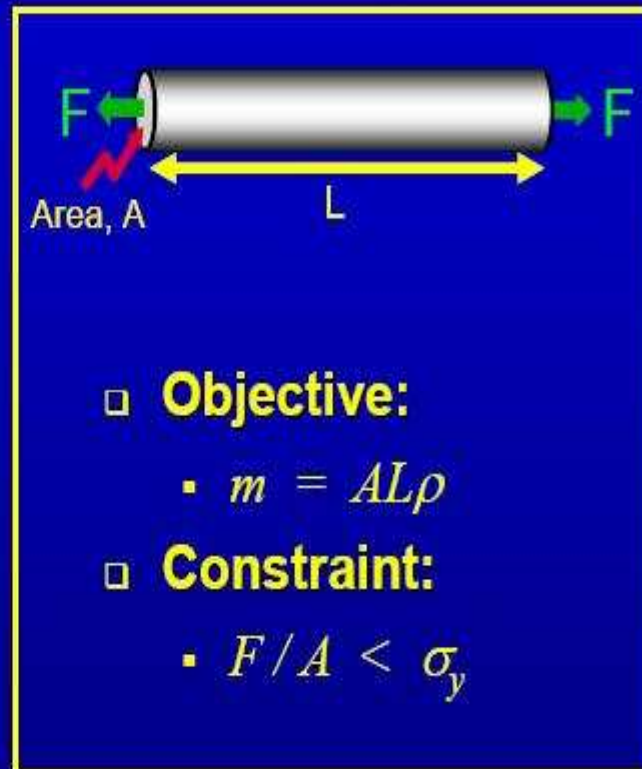
L = Uzunluk

olarak alınmıştır.



Example: Materials for a Light, Strong Tie

- **Function:**
 - Support a tension load
- **Objective:**
 - Minimize mass
- **Constraints:**
 - Length specified
 - Carry load F , w/o failure
- **Free variables:**
 - Cross-section area
 - Material





L ve **F** önceden belirlenen değerlerdir. Sabit kabul edilmektedir. Biz kesitle (**A**) oynayarak **KÜTLE**'yi azaltabiliriz. İşte bu sınırlamadır, kısıtlamadır.

A ve F çekme yükünü taşıyacak şekilde yeterli olmalıdır.

Yani ; $(F / A) < \sigma_f$ olmalıdır. F yükü sonucu doğan gerilme $\sigma < \sigma_f$ olmalıdır.

$F / A = \sigma_f$ den $A = F / \sigma_f$ yazılır.

$m = A.L.\rho$ denkleminde A'yı yazarsak

$m = (F/\sigma_f).L.\rho$ yazalım.

$m = F.L. (\rho/\sigma_f)$ şeklinde de yazılır.





Bu son denklemi bir yorumlayalım. **F** önceden belirlendi, **L** önceden belirlendi. Son parantez ise dikkatli incelersek **MALZEME ÖZELLİĞİ** taşıdığını görürüz.

1)-Yani son parantez $[\rho/\sigma_f]$ min. kütleli verecek olan ifadedir. Yani **m** bu değere eşit veya büyük olduğunda **min.kütleli çubuk malzeme** seçilmiş olacaktır.

2)- Biz buna **MALZEME İNDİSİ** diyoruz. Maximum performansı ise biz bu ifadeyi ters çevirdiğimizde elde edeceğiz. Yani son parantez $[\sigma_f / \rho]$ şekline geldiğinde de **maksimum mukavemete** sahip, aynı zamanda **min.kütleli** çubuk malzeme olacaktır.



Min kütleli bu çubuk F yükünü emniyetle taşıyacaktır.

Example: Materials for a Light, Strong Tie

□ **Objective:**

- $m = AL\rho$

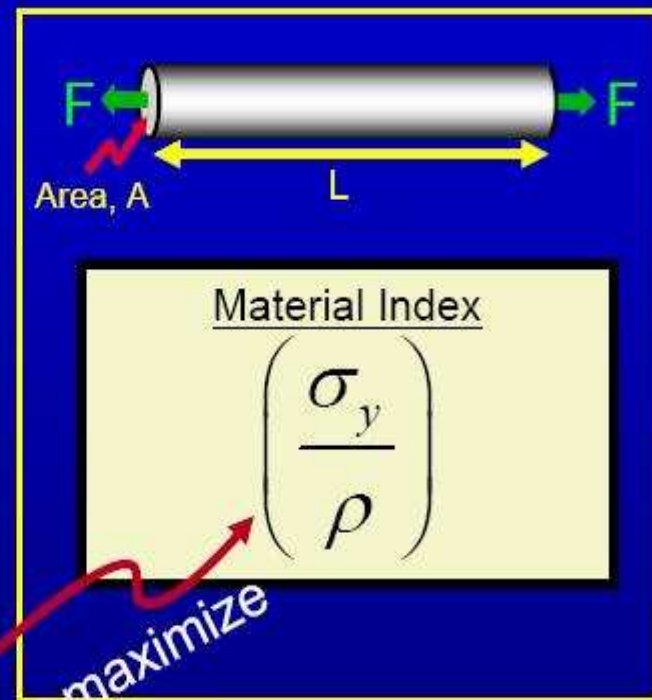
□ **Constraint:**

- $F/A < \sigma_y$

□ **Rearrange to eliminate free variable**

$$m \geq (F)(L) \left(\frac{\rho}{\sigma_y} \right)$$

□ **Minimize weight by minimizing** $\left(\frac{\rho}{\sigma_y} \right)$



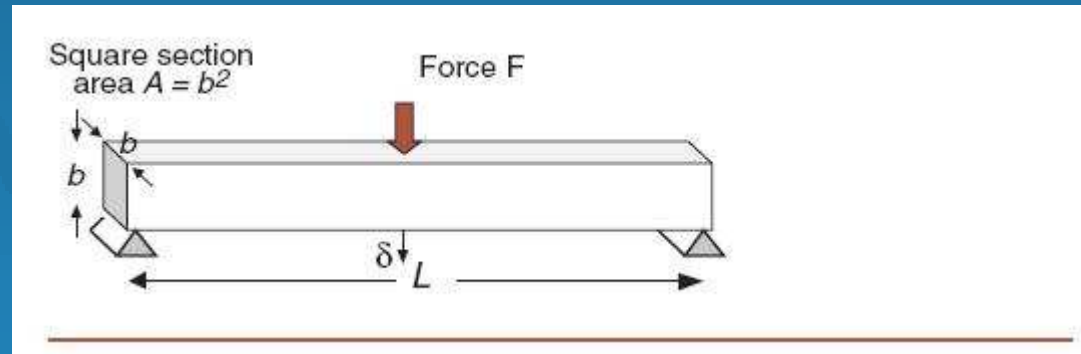


ÖRNEK 2.

HAFİF, RİJİT BİR KİRİŞ İÇİN “MALZEME İNDİSİ” BELİRLEME

Mühendislikte en genel yükleme şekli **çekme** değildir. **Eğme** de olabilir. Pratik hayatta döşeme kirişleri, golf sopaları, kanat direkleri bu tür yüklemeye maruz elemanlardır.

(**$b \times b$**) kare kesitli, **L** uzunluğunda, hafif ağırlıktaki bir kirişe yük uygulandığını düşünelim.





Kirişin rijitliği bir **sınırlama** ile karşılaşsın. Yani F yükü altında (δ) sehiminden fazla sehim yapmasın.

Design requirements for the light stiff beam	
Function	Beam
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Length L is specified• Beam must support a bending load F without deflecting too much, meaning that the bending stiffness S is specified
Objective	Minimize the mass of the beam
Free variables	<ul style="list-style-type: none">• Cross-section area, A• Choice of material

Yukarıdaki tablo'da tasarım şart'ları gösterilmiştir.

Fonksiyon : Kiriş görevi yapmak

Sınırlamalar : * Uzunluk (L) önceden belirli,
* Kiriş, F eğme yükü altında çok





çok fazla sehim olmadan dayanmalıdır.

Amaç : Kiriş kütlesi minimum olsun

Serbest değişkenler : * A kesit alanı
* Malzeme seçimi

Geçen bölümlerde elastik bir kirişin **(S) rijitliği için**

$S = F / \delta$ değeri olduğunu görmüştük. Bu değer, aşağıdaki değerden büyük olmalıdır. Yani ,

$$F / \delta \geq (C_1 . E . I) / L^3$$

Burada

E : Young modülü

C₁ : Sabit(yük dağılımına bağlı olan)





I : Kesitin atalet momenti

$$\text{Kare kirişler için } \mathbf{I} = (\mathbf{b^4 / 12}) = \mathbf{A^2 / 12}$$

Burada rijitlik (**S**) ve uzunluk (**L**) önceden belirlenmiştir. (**A**) ise serbest değişkendir. Biz A ile oynayarak kirişin kütleini azaltıp çoğaltabiliriz. Ancak bu örneğe kadar rijitlik sınırlaması ile karşılaşılması.

Yukarıdaki kütle denklemini tekrar yazarsak ,

$$\mathbf{m \geq A.L. \rho}$$

$$\mathbf{S = [(C_1.E.I) / (L^3)] = [(C_1.E.A^2) / (12.L^3)]}$$

$$\mathbf{A^2 = [(12.L^3.S) / (C_1.E)]}$$





$$A = [(12.L^3.S)]^{1/2} / (C_1.E)^{1/2}$$

$$m \geq [(12.L^3.S)]^{1/2} / (C_1.E)^{1/2} \cdot L \cdot \rho$$

$$m \geq [(12.S)]^{1/2} / (C_1.E)^{1/2} \cdot L^{5/2} \cdot \rho$$

$$m \geq [(12.S)^{1/2} / (C_1.L)^{1/2}] \times (L)^3 \times [\rho / (E)^{1/2}]$$

Parantez içindeki ifadede L^3 ün üst tarafta kök dışına çıkabilmesi, L nin paydaya inebilmesi için

$[(L)^{5/2} = [L^3 / (L)^{1/2}]$ şeklinde ayrılması kafidir.





$$m \geq [(12.S)^{1/2} / (C_1.L)^{1/2}] \times (L)^3 \times [\rho / (E)^{1/2}]$$

$$m \geq (\text{Fonksiyon şartı}) \times (\text{Geom. para}) \times (\text{Mlz. Şartı})$$

Buradan şu yorumu yapabiliriz.

Hafif rijit bir kiriş için en iyi malzeme kütlesi, m 'nin $(\rho / E^{1/2})$ den büyük olan malzemeler, kütlesi minimum da olan malzemelerdir. Önceden olduğu gibi bunu tersine çevirirsek ;

$(E^{1/2} / \rho)$ değeri ise, min kütleli ve performansı maximum yapacak olan malzeme demektir.





Benzer şekilde, Bir panel **w** genişliğinde, **L** boyunda düz bir plaka olsun. Yalnızca serbest değişken, **t** kalınlıktır. Böyle bir durumda **malzeme indisi**'i

$$M = (E^{1/3}) / \rho \quad \text{şeklinde olur.}$$

Lütfen bu ana kadar yapılan işleme dikkat ediniz !

- Çubuk veya kiriş uzunluğu **L** önceden belli,
- Ama kesiti (**A**) yı değiştirmede serbestiz.
- Amaç kütleği **min.** yapmak, bunun için denklemi yazıyorum.(malzeme indisi)
- Yine amacımız, parça fonksiyonu yerine getirsin.
- Ama bir sınırlama sözkonusu.





- Kirişe basma işlemi yapılırken, parçada akma meydana gelmeden parça (F)yükünü taşımalıdır.

- Bunun için serbest değişkeni elimine ediyoruz.

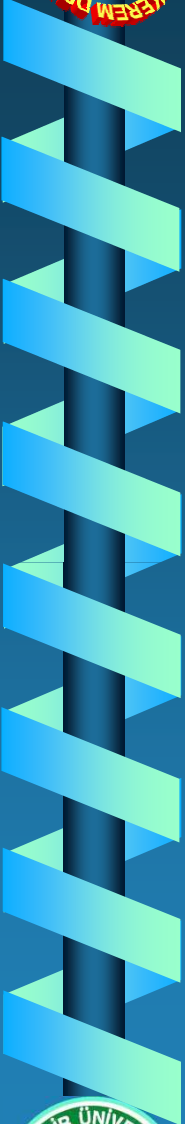
- Bütün bunlar **A** ve özelliklerin birleşimi olan malzeme indisini max. yapmak içindir.

SONUÇ OLARAK ;

PERFORMANS 'ı bir denklem ile ifade etmek gerekirse, **$P = f(F, G, M)$** şeklinde ifade edebiliriz.

$P = [$ Fonksiyonel şartlar **x Geometrik parametreler **x** Malzeme özellikleri $]$** demektir.

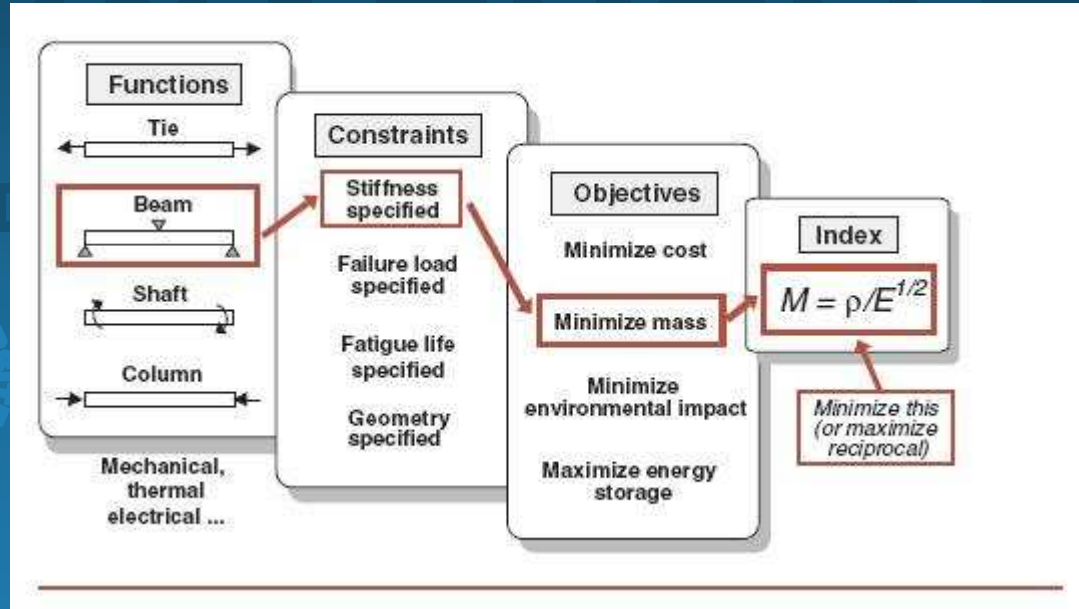




- **Fonksiyonel şartlar'dan**, yapı elemanlarının yük taşımaları,ısı transfer etmeleri,enerji depolamaları vs. iş yapmaları beklenir.Bu şartlar tasarımla belirlenir.
- Bir çubuk belirlenmiş bir çekme yükünü taşımalı, bir yay, kuvveti geri verebilmeli, Isı eşanjörü , belli bir ısı akışını taşımalı gibi.
- **En uygun tasarım**, Performansı minimize eden veya maximize eden **MALZEME SEÇİMİ** ve **geometrik parametre** seçimi ile olur..



Son olarak şunu söyleyelim. Fonksiyon, Sınırlamalar ve Amaç bizi **MALZEME İNDİS** 'ini belirlemeye götürür.





Prof.ASHBY SEÇME YÖNTEMİ ÖZETİ (PROSÜDÜRÜ)

Malzeme seçme prosüdüürünü 4 basamakta toplayabiliriz.

1. DÖNÜŞTÜRME

Basitçe söylemek gerekirse ;

- * Tasarımla sınırlandırılan malzeme özelliklerini belirtme,
- * Mükemmellik kriteri olarak kullanılan min.kütle, max.performansı nasıl kullanacağımıza karar verme,
- * Sınırlamalardan birini kullanarak serbest değişkenlerden birisinin yerini alma,





* Mükemmellik kriterini optimize eden malzeme özelliklerinin birleştirilmesini iyi okuyabilme, özetliyoruz. (**Arka Sayfadan tercüme okuyunuz**)

Translation

Step	Action
1	Define the design requirements: (a) Function: what does the component do? (b) Constraints: essential requirements that must be met: stiffness, strength, corrosion resistance, forming characteristics, ... (c) Objective: what is to be maximized or minimized? (d) Free variables: what are the unconstrained variables of the problem?
2	List the constraints (no yield; no fracture; no buckling, etc.) and develop an equation for them if necessary
3	Develop an equation for the objective in terms of the functional requirements, the geometry and the material properties (the objective function)
4	Identify the free (unspecified) variables
5	Substitute for the free variables from the constraint equations into the objective function
6	Group the variables into three groups: functional requirements, F , geometry, G , and material properties, M , thus Performance metric $P \leq f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$ or Performance metric $P \geq f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$
7	Read off the material index, expressed as a quantity M , that optimizes the performance metric P . M is the criterion of excellence.





Tablo'dan Dönüştürme'nin adımları :

1.Adım : Aşağıdaki tasarım şartlarını tanımlayın?

- a)-**Fonksiyon** –Bu parça ne iş yapar?
- b)-**Sınırlamalar** - Karşılanması gereken asıl gereksinimler : (rijitlik, mukavemet, korozyon direnci, şekillendirme özellikleri)
- c)-**Amaç**- Nasıl min.kütle max.performans elde edilecek?
- d)-**Serbest değişkenler** –Problemin serbest değişkenleri nelerdir?





2.Adım - Kısıtlamalar için liste yap (akma yok, kırılma yok, buruşma yok, vs.)ve eğer gerekiyorsa,bunlar için bir denklem geliştir.

3.Adım - Fonksiyon şartları, geometri şartları ve malzeme özellikleri ifadelerinde amacını gerçekleştirmek için bir denklem geliştir (Amaç fonksiyonu)

4.Adım - Serbest değişkenleri tanımlayınız?

5. Adım - Amaç fonksiyonu içinde sınırlayıcı denklemlerden serbest değişkenler yerini alsın.

6.Adım - Üç grup değişken ;

- F (Fonksiyonel şartlar)





- G (Geometri)

- M (Malzeme özellikleri)

Böylece performans ölçütü ya :

$$P \leq f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$$

veya performans ölçütü yada ;

$$P \geq f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot F_3 (M)$$

7.Adım - Malzeme indisini iyice oku! M miktar olarak açıklanmış, performans ölçütünü optimize eder. M mükemmellik kriteridir.





Çeşitli durumlar için belirlenmiş **MALZEME İNDİS**leri aşağıdaki tablo'da verilmiştir.



Examples of material-indices

Function, objective, and constraints	Index
Tie, minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E}{\rho}$
Beam, minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Beam, minimum weight, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{\rho}$
Beam, minimum cost, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Beam, minimum cost, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{C_m \rho}$
Column, minimum cost, buckling load prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Spring, minimum weight for given energy storage	$\frac{\sigma_y^2}{E \rho}$
Thermal Insulation, minimum cost, heat flux prescribed	$\frac{1}{\lambda C_p \rho}$
Electromagnet, maximum field, temperature rise prescribed	$\frac{C_p \rho}{\rho_e}$

ρ = density; E = Young's modulus; σ_y = elastic limit; C_m = cost/kg λ = thermal conductivity; ρ_e = electrical resistivity; C_p = specific heat.





Tablo . Malzeme Indis Örnekleri FONKSİYON, AMAÇ VE SINIRLAMALAR

- Bağlama,min ağır.öngörülen rijitlik (E/ρ)
- Kiriş, min ağır.öngörülen rijitlik $(E^{1/2}/\rho)$
- Kiriş, min ağır.öngörülen mukavemet $(\sigma_{ak}^{2/3}/\rho)$
- Kiriş, min fiyat.öngörülen rijitlik $(E^{1/2}/C_m\rho)$
- Kiriş, min fiyat.öngörülen muk. $(\sigma_{ak}^{2/3}/C_m\rho)$
- Kolon, min.fiyat, öng.buckling yük $(E^{1/2}/C_m\rho)$
- Yay ,verilen energ. depolayan min.ağır $(\sigma_{ak}^2 / E\rho)$
- Isı yalıtımı,min.fiyat,öngörülen sıs akışı $(1/\lambda C_p\rho)$
- Elk.many.,max.alan,öng.sıcak.artışı $[(C_p \cdot \rho) / \rho_e]$

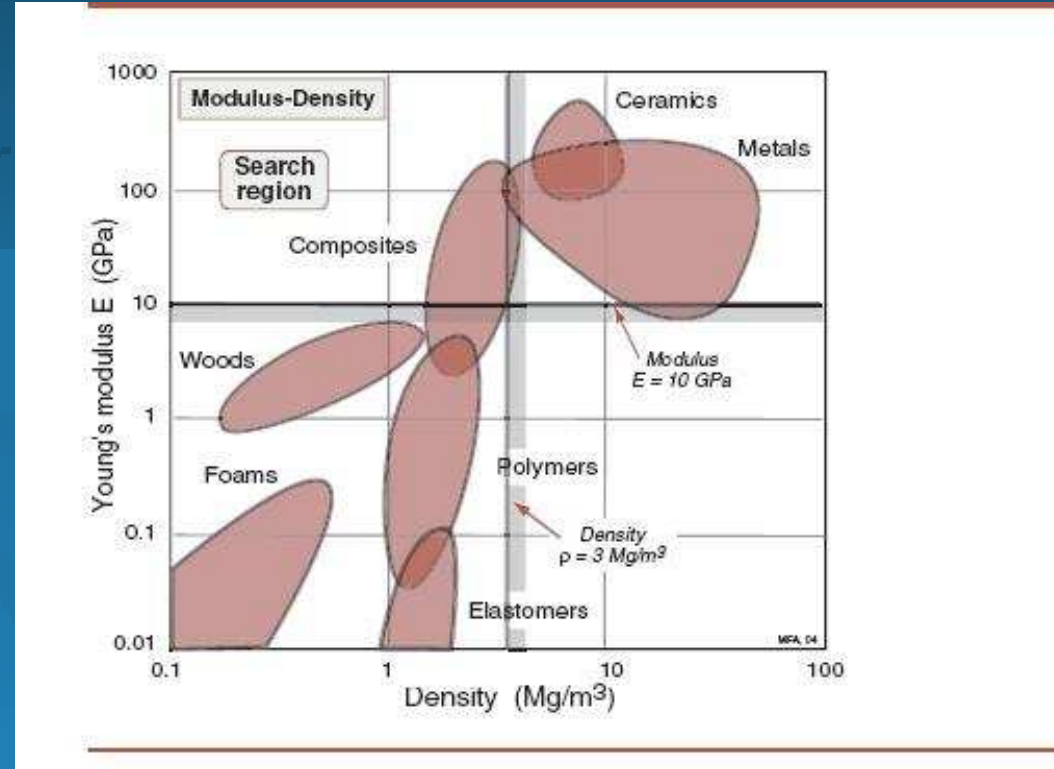




2. ELEME

Aşağıdaki E- ρ kartına bakınız !.

Farzedelim ki, gösterilen şekil üzerinde bir tasarımda $E > 10$ GPa ve $\rho < 3$ Mg/cm³ olsun.





Bu iki değeri kesiştirdiğimizde (**search region**) bakacağımız alan belli olur.

Korozyon direnci, aşınma direnci, şekillendirilebilme gibi az ölçülebilir özelliklerin hepsi, birincil sınırlar olarak görülebilir.

$$A > A^*$$

VEYA

$$A < A^*$$
 şeklinde alınacaktır.

Burada A örnek olarak alalım, **işletme sıcaklığı** bir özelliktir. A^* İSE, BU ÖZELLİĞİN **KRİTİK BİR DEĞERİ**'DİR. Tasarımla ayarlanır. Ve aşılması gereklidir. Veya korozyon hızı örneğinde olduğu gibi aşılması gerekmez.





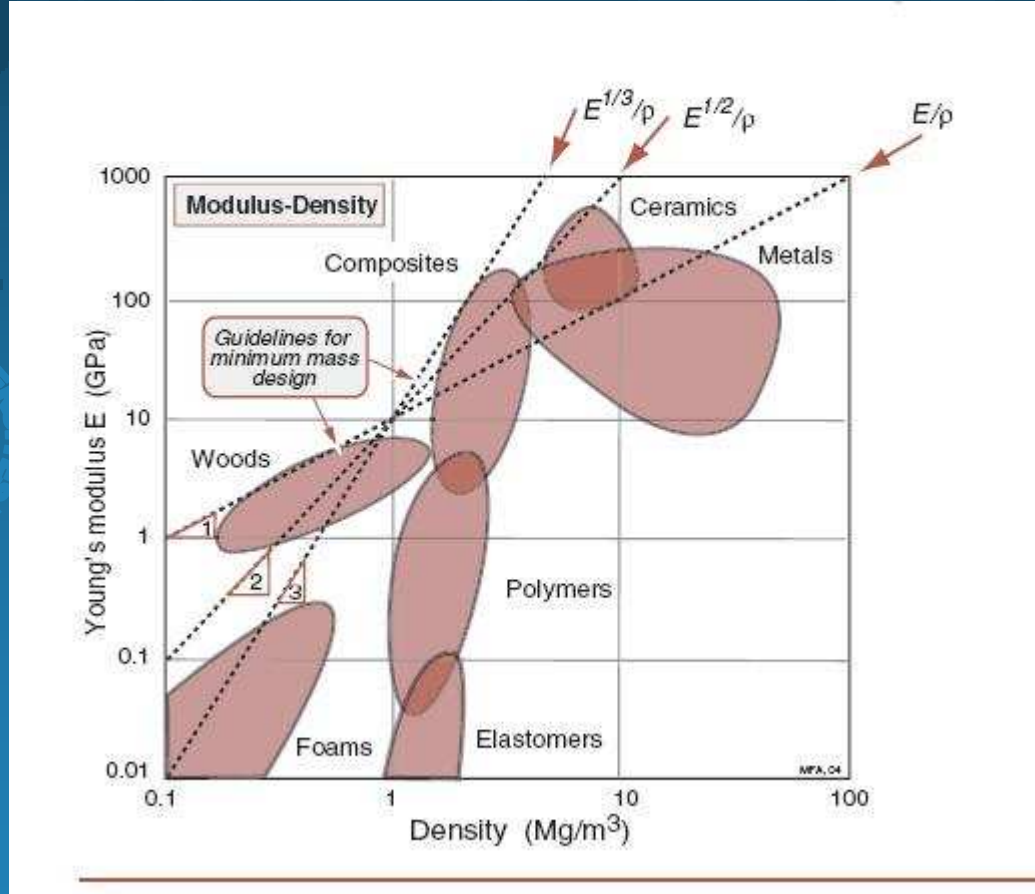
* Malzeme özellik limitlerini uygulamada acele etmemek gerekir. Onların etrafında mühendise bir yön verme olabilir. Çok ısınan bir parça, soğutmalı olabilir. Korozyona uğrayan, bişey koruyucu bir film ile kaplanabilir, gibi.

* Pek çok tasarımcı kırılma tokluğu (K_{IC}) için özellik sınırlarını uygular. Sünekliliği (ϵ_f) olan malzemeler üzerinde ısrarcı olur. Başparmak kuralı gibi, gerilim konsantrasyonuna tek toleransı garanti etmek için $K_{IC} > 15$ MPa.m^{1/2} ve $\epsilon_f > \%2$ gibi uygulanır. Bunu yapmakla, malzeme elimine edilir ki, tasarımcı bunu iyi amaçla kullanabilsin. (Tasarımın başlangıcında dikkatsiz bir adım da, tüm seramik ve plastikleri elemek için sınırlar sadece ϵ_f ve K_{IC} için dikkate alınır). Bu durumda bir çok seçenek mümkün olduğunca açık tutulur.



Aşağıdaki diyagrama bakınız !

E ye karşı ρ çizilmiştir. Log skalası olarak da malzeme indisleri (E/ρ) , $(E^{1/2}/\rho)$ ve $(E^{1/3}/\rho)$ şeklinde çizilmiştir.





Şart şudur.

$E / \rho = C$ sabittir. Her iki tarafın log'u alınır;

$\text{Log } E = \text{Log } \rho + \text{Log } C$ Buradaki sabit C değerine tekabül eden her çizgi Log ρ ya karşı Log E **eğrisinin eğimi 1** olan düz paralel çizgilerden bir ailedir.

Şart şöyle ise ;

$E^{1/2} / \rho = C$ sabittir. Yine her iki tarafın log'unu alırsak ;

$$\text{Log } E = 2 \text{Log } \rho + 2 \text{Log } C$$

Bu kez **eğim 2** demektir.





Şart şayet ;

$E^{1/3} / \rho = C$ olursa, Her iki tarafın Log.

Alırsak o zaman öncekilerde olduğu gibi **eğim 3** olur.

Biz seçme kuralları olarak bu çizgilere bakacağız, başvuru
racağız.

Doç. Dr. İrfan AY / Arş. Gör. T. Kerem DEMİRCİOĞLU



BALIKESİR





3. SIRAYA KOYMA : KARTLARDAKİ İNDİSLER

Bundan sonraki adım, **aramaktır**. Malzemelerin alt kümesinden, özellik sınırları bulmak, parçanın performansını maximum kılan özellikleri bulmaktır.

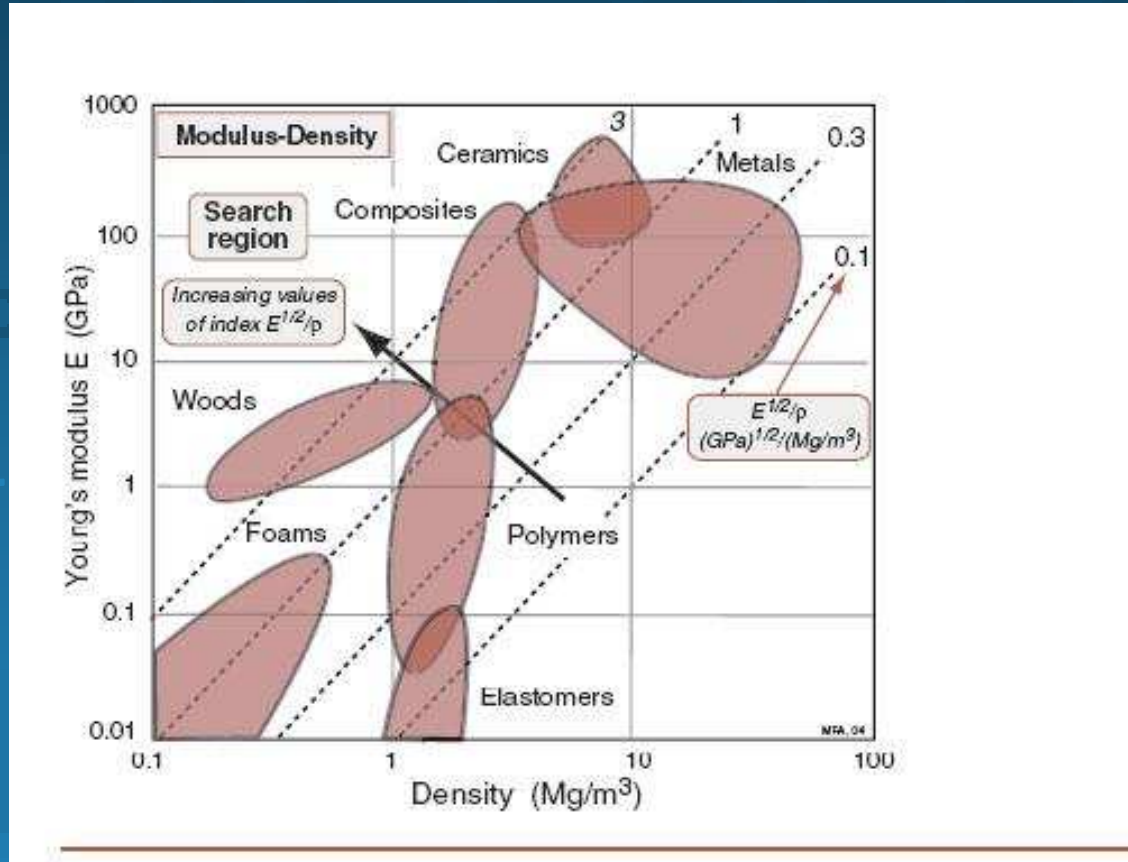
Biz, misal olarak parçanın hafif olanını, rijit olanını kullanacağız. Benzer şekilde başka “**malzeme indis**”lerini de kullanırız.

Malzeme indisleri bize o indise ait paralel çizgiler ailesinin eğimi'ni verirler. Bundan önceki bölümdeki kartalar bize bu şekilde rehber olacaklardır.



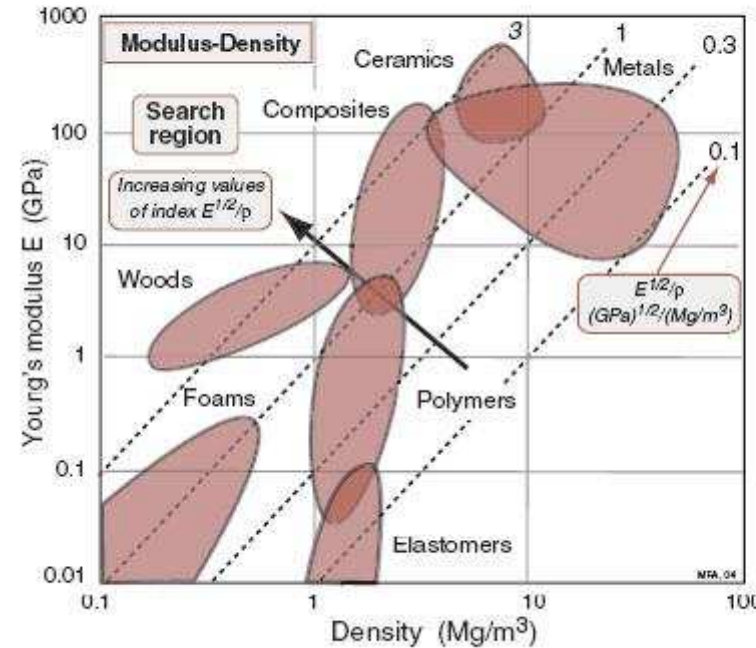


Şimdi max. performansı verecek malzeme alt gruplarını iyice okumak artık kolay olacaktır.





Sabit $(E^{1/2})/\rho$ çizgisi üzerinde olan tüm malzemeler eşit şekilde rijit ve hafif kiriş olabilecek şekilde rol oynayacaklardır. Bu çizginin üzerindeki daha iyi, altındaki ise uygun olmayan malzemeler olacaktır.

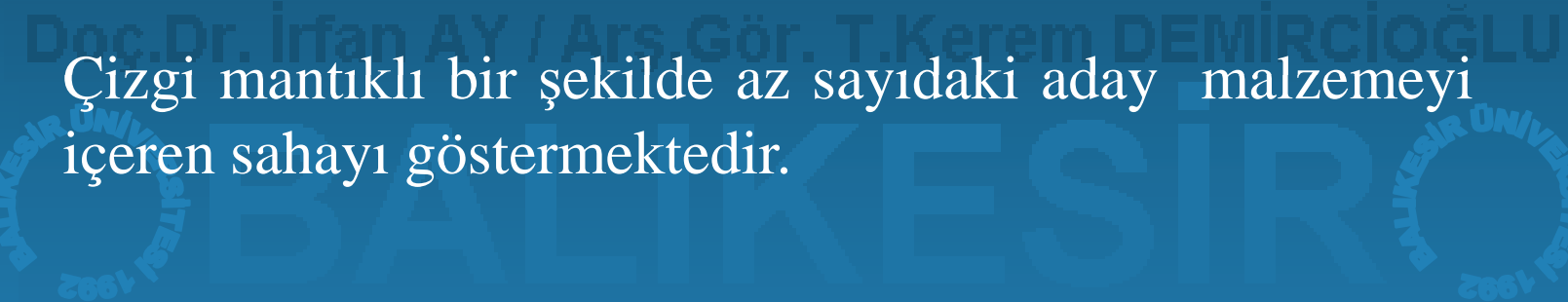




Modül-Yoğunluk tablosuna baktığımızda $(E^{1/2}) / \rho$ değerlerinin **0,1** den **3** e kadar paralel çizgiler halinde gittiğini görüyoruz.

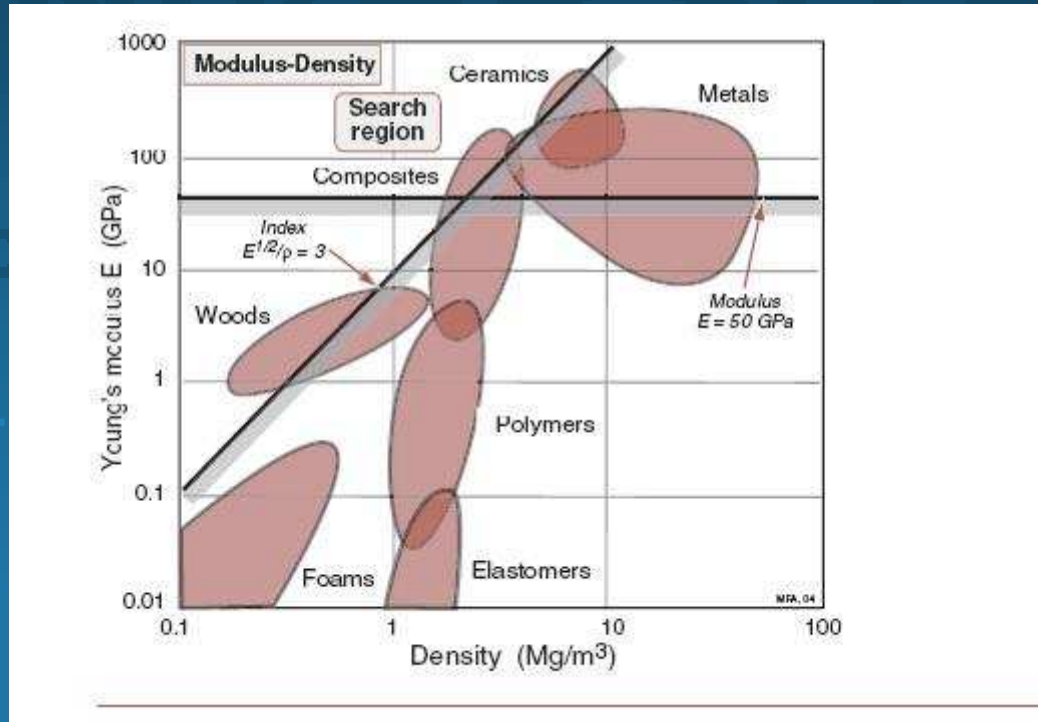
M = 1 olan bir malzeme bize bu birimlerde tek tek bu kırışın **M = 0,1** olan onda bir demetini sunmaktadır. Yani aynı indisin alt kümesi olarak düşünülmelidir.

Çizgi mantıklı bir şekilde az sayıdaki aday malzemeyi içeren sahayı göstermektedir.



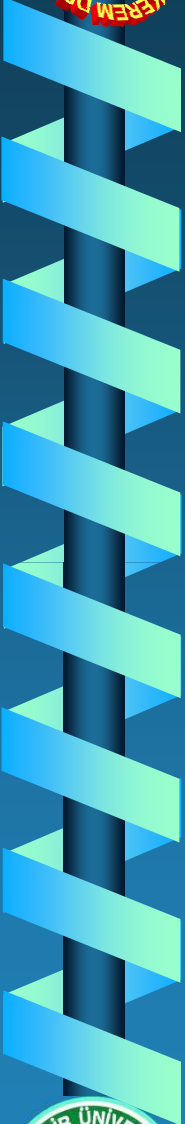


Bu durum şematik olarak aşağıdaki Modül-yoğunluk malzeme özellik kartında Çapraz kesleştirilmiş vaziyette görülmektedir. Özellik sınırları ilave yapılabilir.



Doç. Dr. İrfan Ay

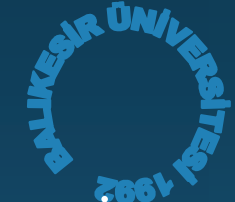




Dar bir araştırma çerçevesi yatay ekseninde $E > 50$ GPa

Aday malzemelerin kısa listesi indis çizgisinin hareket ettirilmesi ile genişletilir veya daraltılır.

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU



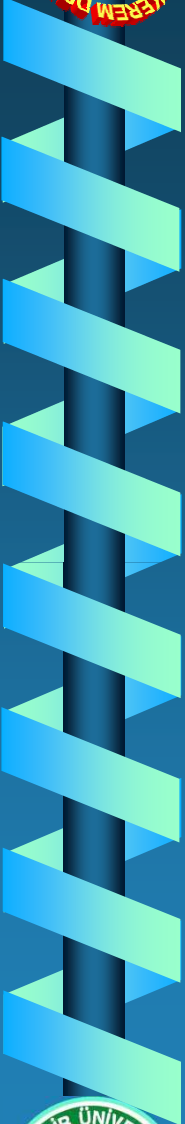
4. DESTEKLEYİCİ BİLGİ

Şimdi artık elimizde aday malzemelerin listesi mevcuttur.Çünkü bir önceki adımda araştırma bölgesinde aday malzemeler tesbit edildi.

Son adım, malzemelerin derindeki karakterlerini açığa çıkartmaktır.

Bunlar, çevre-malzeme davranışları, veya başka malzemelerle temasta olduğu zaman malzemenin şekli,birleşmesi,yüzey işlemleri ile alakalı olabilir.Bu bilgiler handbook ve internette olabilir.





Son malzeme seçimine tüm bu destekleyici bilgi de alınp,malzemelerin güçlü,zayıf yanları iyice araştırıldıktan ve örnek çalışmalar,hasar analizleri tarandıktan sonra artık malzeme güvenle seçilir.

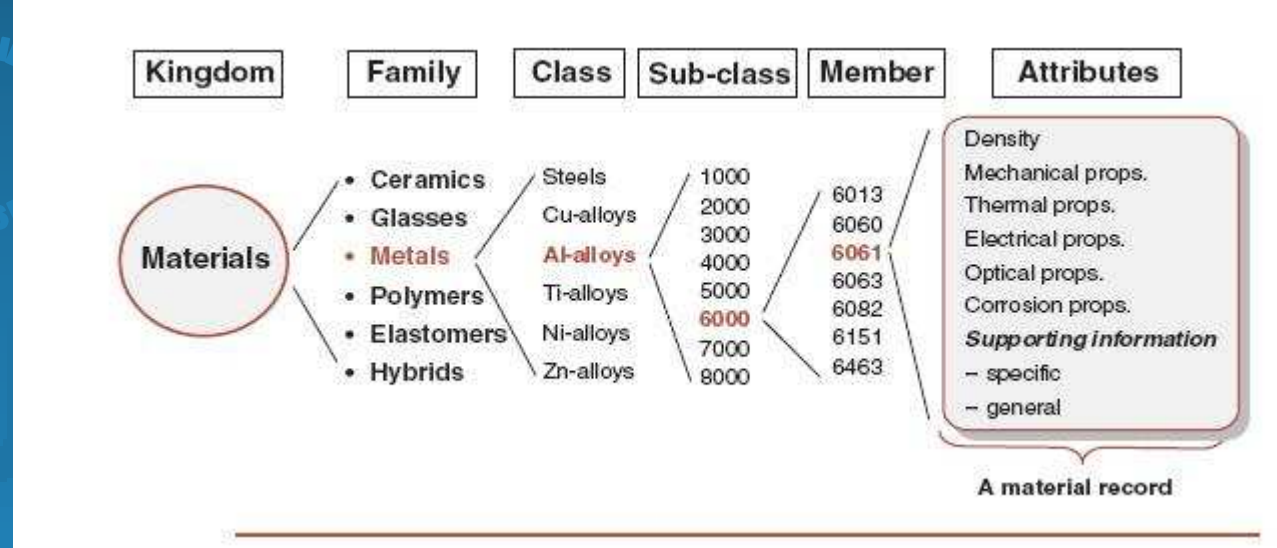
Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU



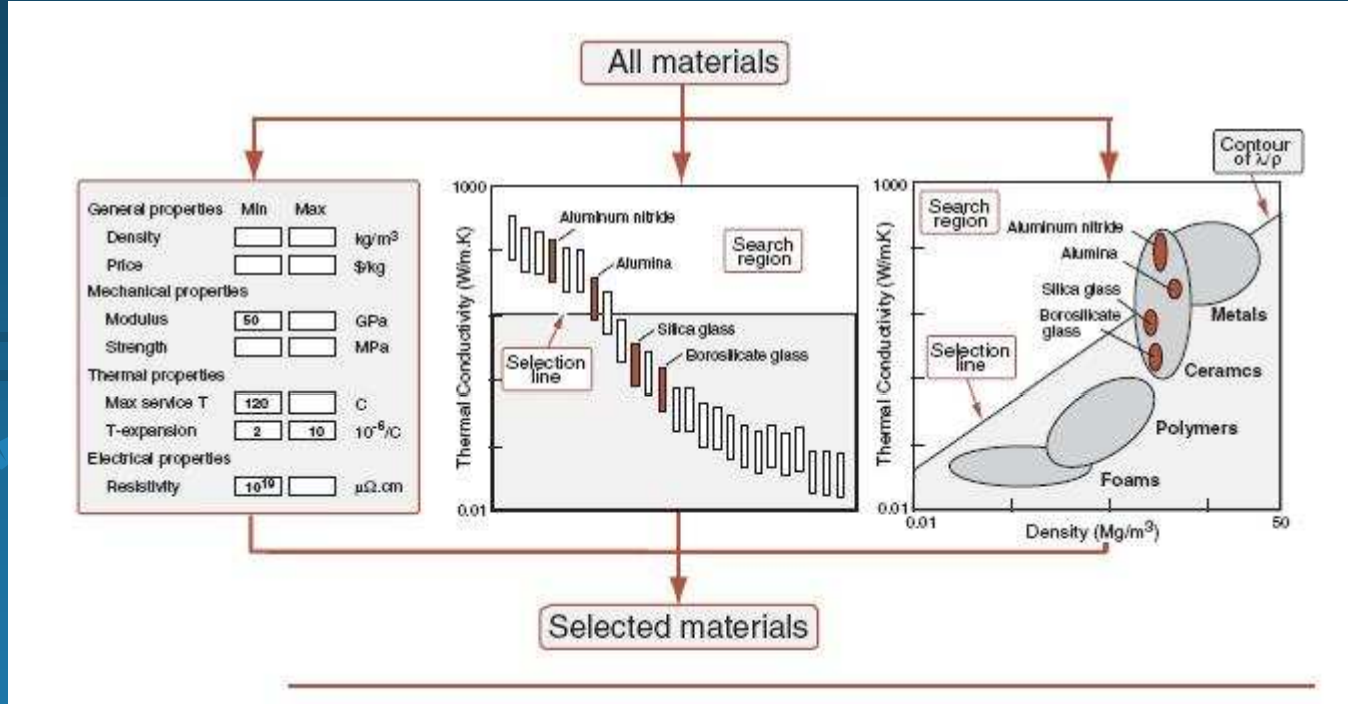
BİLGİSAYAR YAZILIMI İLE MALZEME SEÇME

Malzeme seçimi **CES** adı verilen bir örnek yazılımla yapılmaktadır. Aşağıda görüldüğü gibi hiyerarşik bir düzende veri deposu içerir.

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU

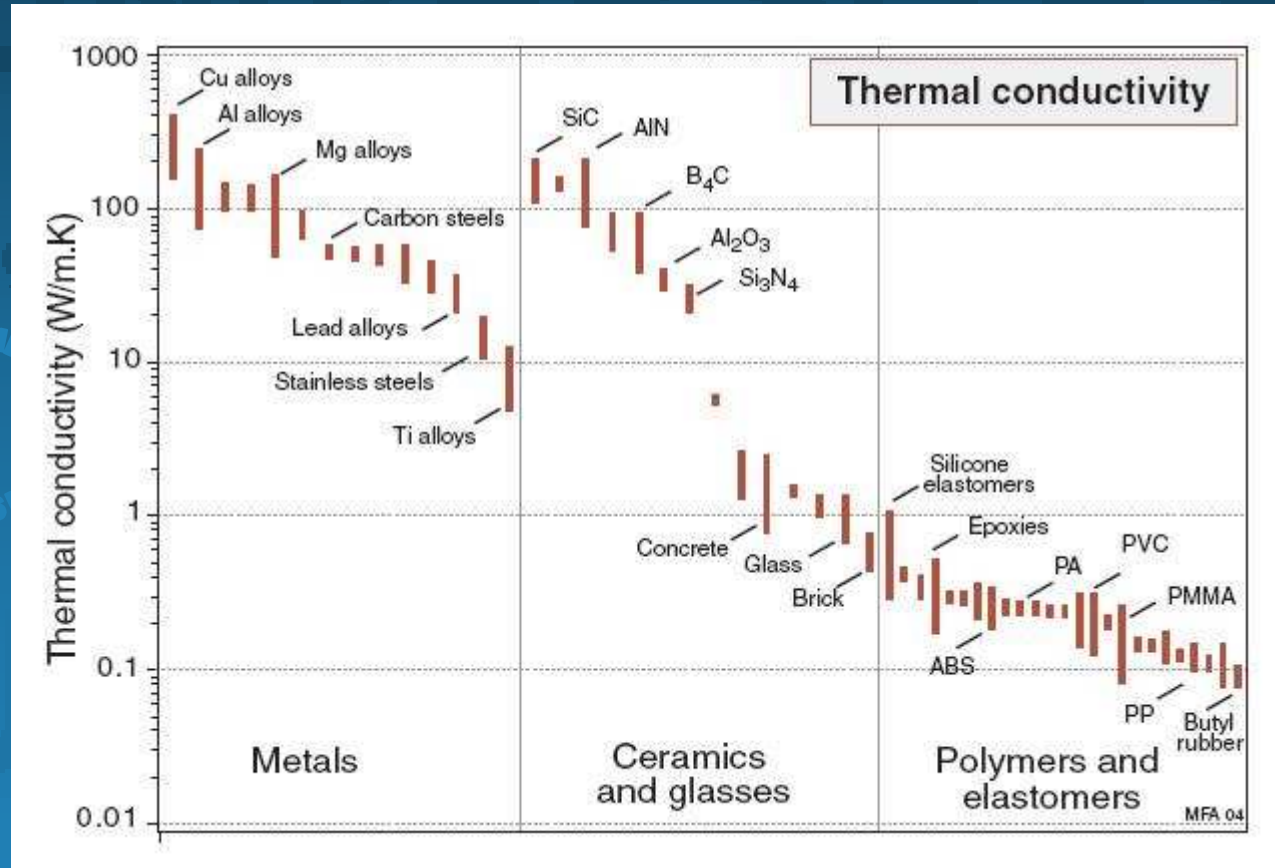


Aşağıda görüldüğü şekilde malzemelerin sorgulandığı bir **ARAMA MOTORU** kullanılır.



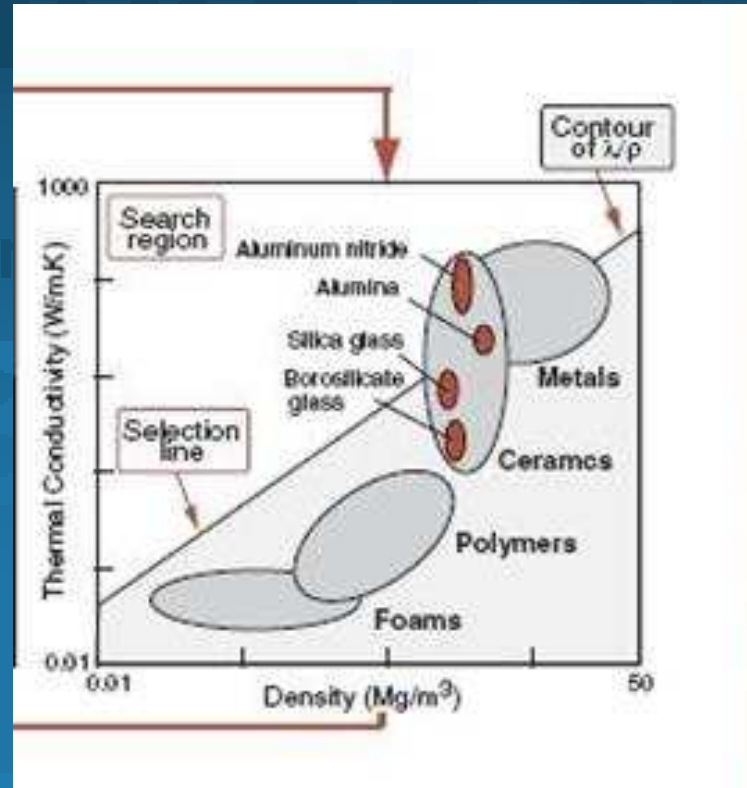
Sol kısım'da özelliklerin girildiği **max.** ve **min** değerler vardır. Limit dışında kalan malzemeler reddedilir.

Merkez'de sorgulama için 2.ci bir yol gösterilmiştir. Önceden gösterildiği gibi bir **çubuk kart grafiği** görülmektedir.





Sağda ise, **baloncuk** şeklinde gösterilen **malzeme özellik kartı**'nda hem sınırlamalar hem de malzeme lerin ayrılması gösterilmiştir.





Sıralama amacıyla kullanılan kartta **gölgeli alanlar** daki malzemeler elenmiştir. **Bakınız !**

Kalan malzemeler arasından seçim yapılacaktır.

Seçilen malzemeler de sol taraftadır. Bunlar üst sıra seçilen malzeme adaylarıdır.

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU



BALIKESİR





Daha önce **chip** için ısı giderici bir malzeme seçim örneği verilmişti. Aşağıdaki tablo'ya bakınız.

Function, expanded constraints, objective, and free variable for the heat sink

Function	Heat sink
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Material must be "good insulator", or $\rho_e > 10^{19} \mu\Omega \cdot \text{cm}$• Modulus $E > 50 \text{ GPa}$• Maximum service temperature $T_{\text{max}} > 120^\circ\text{C}$• Expansion coefficient $2 \times 10^{-6} < \alpha < 10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$• All dimensions are specified
Objective	Maximize thermal conductivity, λ or conductivity per unit mass λ/ρ
Free variables	Choice of material

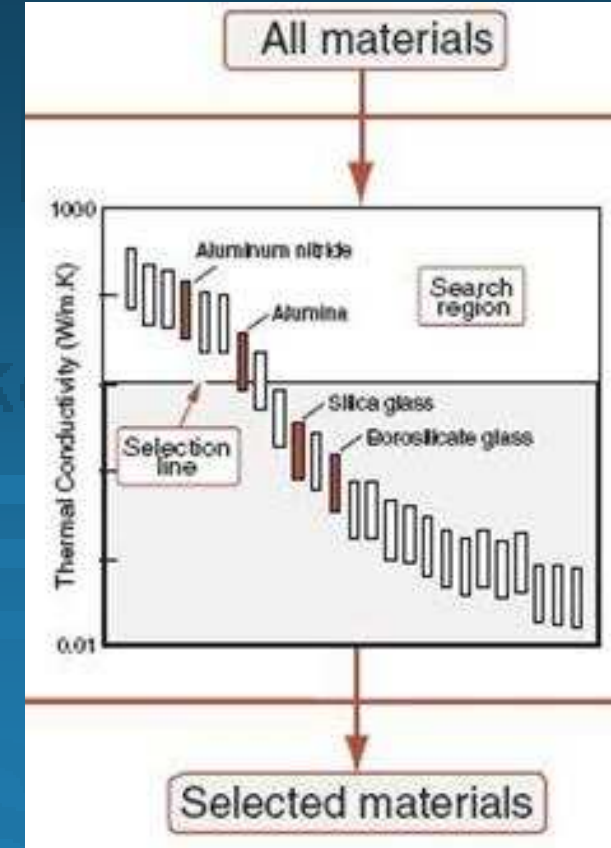
Şimdi buradaki tabloya bakarak CES yazılımı ile malzeme seçmeye çalışsaydık. Önce **$E > 50 \text{ GPa}$**





Modül şartı , öz direnç $\rho_e > 10^{19}$ $\mu\Omega\text{cm}$, α genleşme katsayısı = $(2-10) \cdot 10^{-6} / \text{C}^0$, ve Maximum işletme sıcaklığı 120^0C nin üzerinde olması sol pencerede özellik sınırları olarak girilir. Bu değerlerle malzemeler taranır.

Termal iletkenlik (λ) ile ilgili taramalar aşağıdaki gibi **orta** kısım da gösterilmiştir. Üst taraftaki malzemeler seçilecek olanlardır. Elenenler aşağıda kalanlardır.





Aşağıda üst sırada yer alan ve seçilebilecek aday malzemeler sırasıyla görülmektedir.

The selection

Material
Diamond
Beryllia (Grade 99)
Beryllia (Grade B995)
Beryllia (Grade BZ)
Aluminum nitride (fully dense)
Aluminum nitride (97 percent dense)

Bu **CES** yazılımı 1 tane değil 2 tane veri tabanı içermektedir. 1.ci veri tabanında az malzeme vardır. (**takriben 100**)
2.ci veri tabanında daha fazla sayıda (**takriben 3000**) malzeme bulunmaktadır.



2.ci veri tabanında detaylı arama sonucu ;

1. Elmas,
2. Berillia (3 değişik tipi olan)
3. Aluminyum nitrat (2 tipi olan)

Elmas olağanüstü bir malzeme ancak **çok pahalıdır**.

Berliyum oksit zehirlidir.

Geriye **Aluminyum nitrat** kalıyor.

Aluminyum nitrat'ın tek cinsinin özellikleri yazılmıştır.

Destek bilgi alınabilir.





Aluminyum Nitrat ile ilgili “Destek bilgi” notu aşağıdaki gibi elde edilir. Kısaca özetlersek ;

Part of a record for aluminum nitride, showing structured and unstructured data, references and the web-search facility

Aluminum Nitride

General properties

Density 3.26–3.33 Mg/m³
Price *70–95 \$/kg

Mechanical properties

Young's M modulus 302–348 GPa
Hardness—Vickers 990–1260 HV
Compressive strength 1970–2700 MPa
Fracture toughness 2.5–3.4 MPa.m^{1/2}

Thermal properties

Thermal conductivity 80–200 W/m.K
Thermal expansion 4.9–6.2 μ strain/K
Max. service temperature *1027–1727 °C

Electrical properties

Resistivity 1e18–1e21 $\mu\Omega$.cm
Dielectric constant 8.3–9.3

Supporting information

Design guidelines. Aluminum nitride (AlN) has an unusual combination of properties: it is an electrical insulator, but an excellent conductor of heat. This is just what is wanted for substrates for high-powered electronics; the substrate must insulate yet conduct the heat out of the microchips. This, and its high strength, chemical stability, and low expansion give it a special role as a heat sinks for power electronics. Aluminum nitride starts as a powder, is pressed (with a polymer binder) to the desired shape, then fired at a high temperature, burning off the binder and causing the powder to sinter.

Technical notes. Aluminum nitride is particularly unusual for its high thermal conductivity combined with a high electrical resistance, low dielectric constant, good corrosion, and thermal shock resistance.

Typical uses. Substrates for microcircuits, chip carriers, heat sinks, electronic components; windows, heaters, chucks, clamp rings, gas distribution plates.





AlN,

- * Elektriğe karşı yalıtıcıdır
- * Mükemmel ısı iletkenliği vardır
- * Chip altındaki parça ısıyı dışarı göndermesi için yalıtılmadır. Onun yüksek mukavemeti ve kimyasal kararlılığı ve düşük genleşme güç elektronikleri için ısı giderme olarak AlN 'nin özel bir rolü vardır.
- * AlN bir toz metallurjisi ürünüdür.

Teknik not : AlN , özellikle yüksek termal iletkenliği, yüksek elektrik direnci birleşir ve düşük elektrik sabitinin olması, iyi korozyon direncinin olmasına ve iyi termal şok direncinin olmasına sebep olur.





Başlıca kullanım yerleri ;

- * Mikrochipler için chip taşıyıcıları,
 - * Isı giderici olarak,
 - * Kelepçe contası olarak,
 - * Gaz dağıtım plakaları olarak,
- sayılabilir.

