



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 SEÇİMİ İÇİN ÖRNEKLER-I-

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



BALIKESİR



ÜNİVERSİTESİ

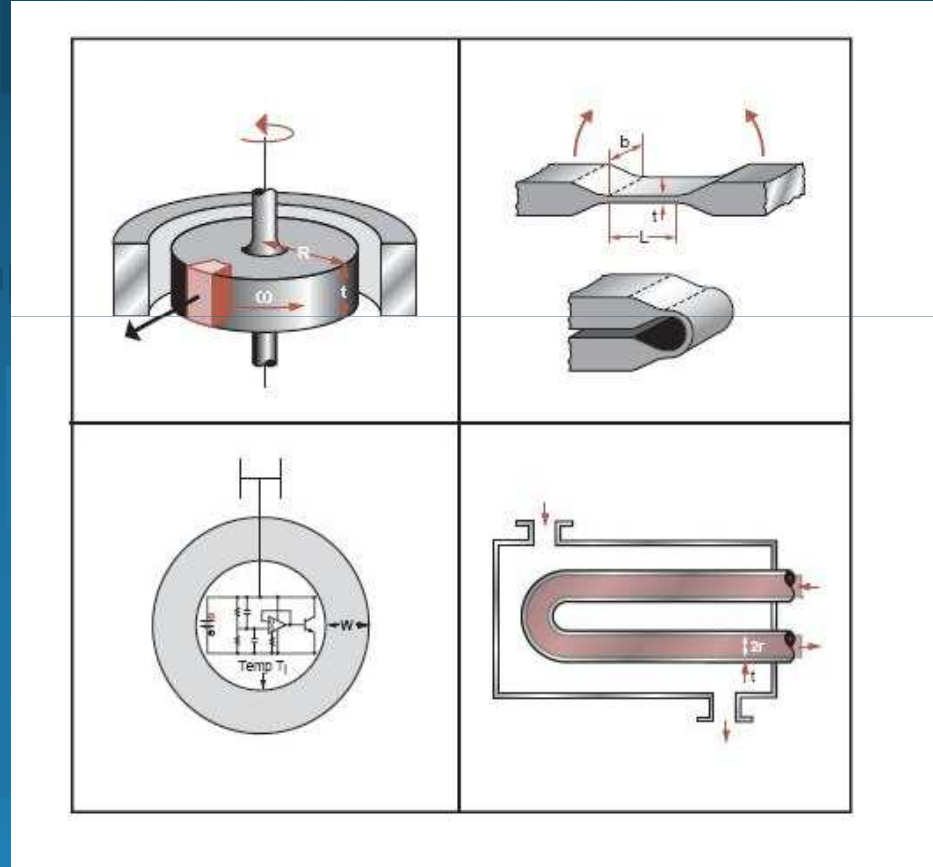


Doç. Dr. İRFAN AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU



MALZEME SEÇİM ÖRNEKLERİ

Örnekler detayda boğulmamak için basite indirgenerek anlatılacaktır.



Doç. D



DEMİRCİOĞLU



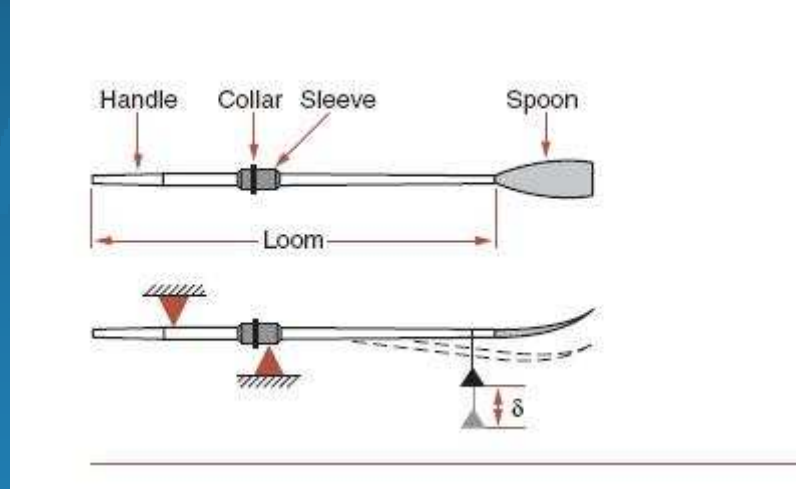


ÖRNEK - 1.



BOT KÜREK MALZEMESİ SEÇİMİ

Bot küreğini eğilmeye çalışan bir kiriş gibi düşünürüz. Bu kürekçi açısından mümkün olduğunca hafif olmalı, aynı zamanda da kürekçi küreğe asıldığında doğan eğilme momentine de dayanıklı (sert) olması gerekir.





- Kürekte Mukavemet kısıtlamasını karşılamak kolaydır.
- Kürek yük altında belirli bir elastik esnemeye uygun olmalıdır.
- Baştaki kürek resmine bakarsanız küreğin uç kısmı kaşık görünümündedir.
- Alt kısımda elastik esneme gösterilmiştir. Tasma dan **2,05 m** uzakta **10 kg** 'lık bir yük uygulandığında yumuşak bir kürekte bu esneme **50 mm**, sert olan kürekte **30 mm** ölçülür.





- Kürek siparişi verecek kişi elastik esneme payını vermek zorundadır.

- Kürek hafif olmak zorundadır, zira bot'un **kendi ağırlığı+küreklerin ağırlığı** su içindeki alanı artırır.

- Öyleyse 1. kürek hafif olmalı

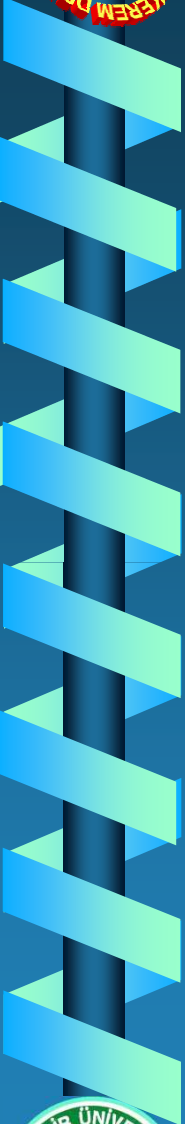
- 2. dayanıklı (sert) olmalı

- 3. kiriş görünümlü kabul edebiliriz.

- O zaman hafif ve sert kiriş te **MALZEME İNDİSİ**

- $M = E^{1/2} / \rho$ şeklindeydi.





Başka bir kısıtlama da, kürekler düşer, uçları çarpar bu nedenle tok malzeme olmalıdırlar.

Design requirements for the oar

Function	Oar — meaning light, stiff beam
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Length L specified• Bending stiffness S specified• Toughness $G_{IC} > 1 \text{ kJ/m}^2$
Objective	Minimize the mass
Free variables	<ul style="list-style-type: none">• Shaft diameter• Choice of material



Kürek için tasarım şartları

Fonksiyon : Kürek hafif fakat sert olmalı

Sınırlama : Uzunluğu belli ,
Eğilme muk. belli ,

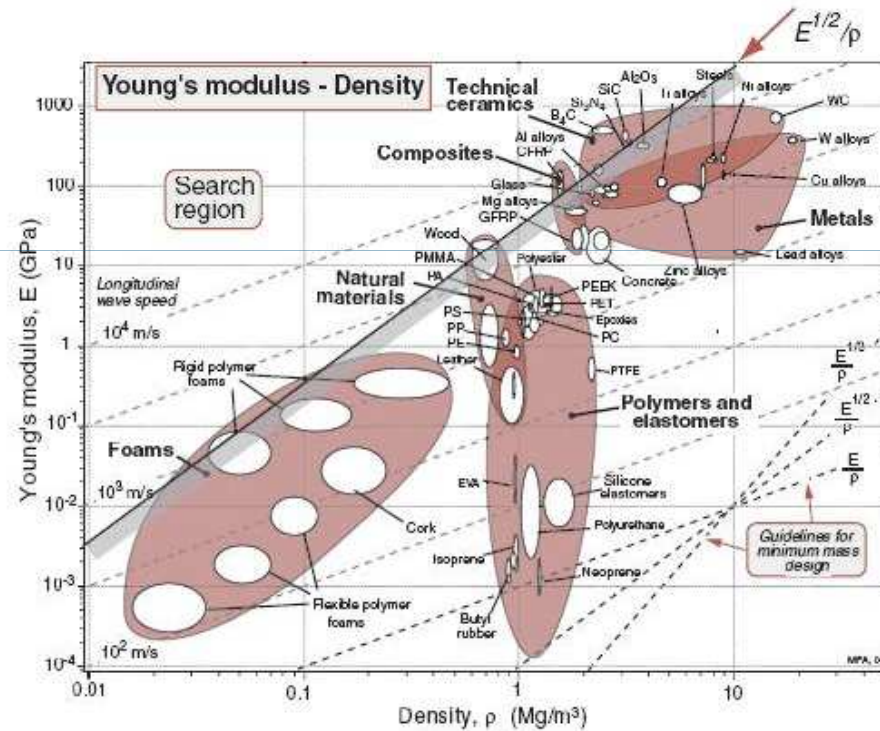
Doç.Dr. İrfan AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU
Tokluk $G_{1c} > 1 \text{ kJ/m}^2$

Amaç : Min.Kütle olacak

Serbest değişkenler : Kürek çapı
Malzeme seçimi



Şimdi $E-\rho$ diyagramına bakarsak , arama bölgesinin de çok az bir grup malzeme mevcuttur.





Material for oars

Material	Index M (GPa) ^{1/2} /(Mg/m ³)	Comment
Woods	3.4–6.3	Cheap, traditional, but with natural variability
CFRP	5.3–7.9	As good as wood, more control of properties
Ceramics	4–8.9	Good M but toughness low and cost high





Diyagramdan çok açık şekilde seramik,ağaç ve kompozit malzemeler seçim olarak gözükmetedirler.

Kürek malzeme seçimi

Malzeme	Malzeme index	Yorum
---------	---------------	-------

E / ρ

1. Ağaç (3,4 - 6,3)Ucuz ama, doğal de
değişkenliği fazla

2. CFRP (5,3 – 7,9)Ağaç kadar iyi ve kont
rol edilebilir

3.Seramik(4.0 – 8,9)..... Tokluk düşük maliyet
yüksek





Malzeme seçimi sonuçlarının yorumu

Bu sonuçlara göre kürekler ya **Ağaç**'tan ya da **CFRP** kompozitten yapılacaktır.

- **Ağaçlar** 100 yıl önceki gibi elle imal edilmekte, yapışkanla birleştirilmekte ve cilalanmaktadır. 2004 yılındaki fiyatları 250 dolar idi. Ağırlıkları da 4- 4,3 kg civarındadır.
- **CFRP** kompozit ise ağaca göre daha hafif, aynı sertlikte karbon ve cam fiberle epoksi reçinesi katılarak daha yüksek fiyata malolmaktadır. Ama 3,9 kg ağırlığındadır. Özellikle karbon fiber çok güçlüdür.



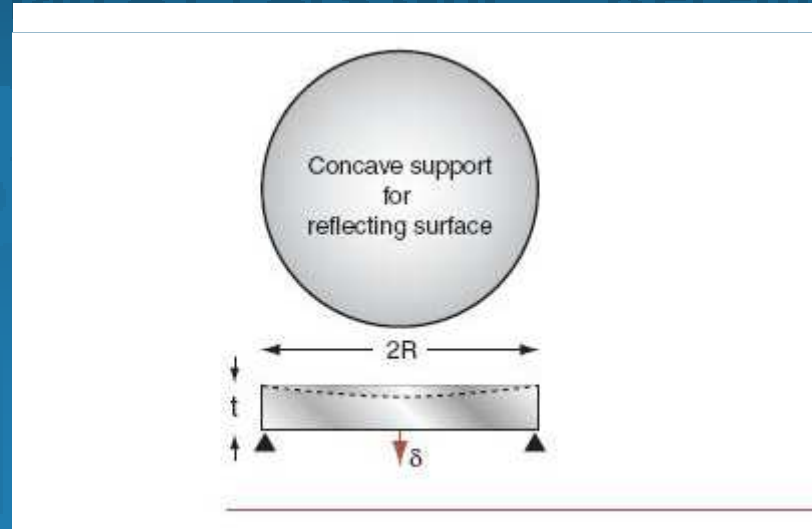


ÖRNEK – 2 -

GENİŞ TELESKOP AYNALARI MALZEMESİNİN SEÇİMİ

Dünyada çok geniş optik teleskoplar mevcuttur. Bunlardan bir tanesi de **Rusya**'dadır. 6 m çapında 1 m kalınlığında ve 70 ton ağırlığındadır.

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





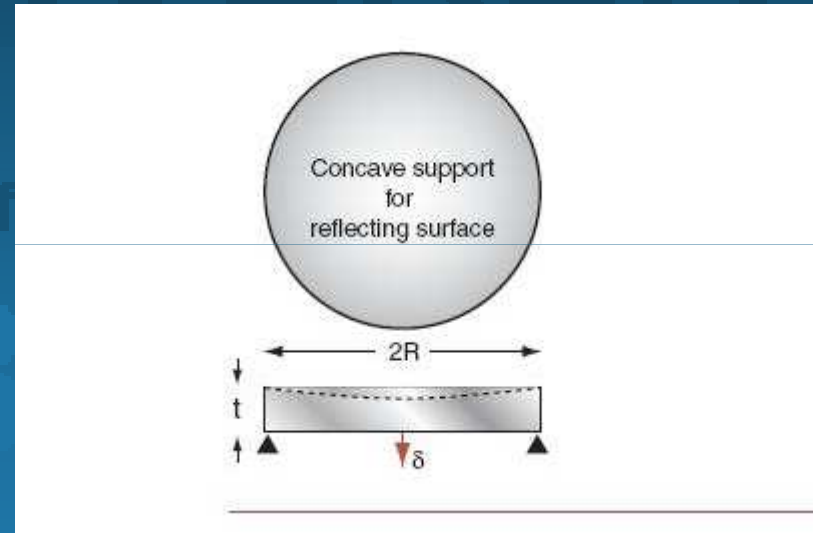
* Maliyeti toplam 250 \$ olup oldukça yüksektir. Fakat bu maliyetin içinde ayna maliyeti %5 kadardır. Gerisi mekanik sistem içindir.

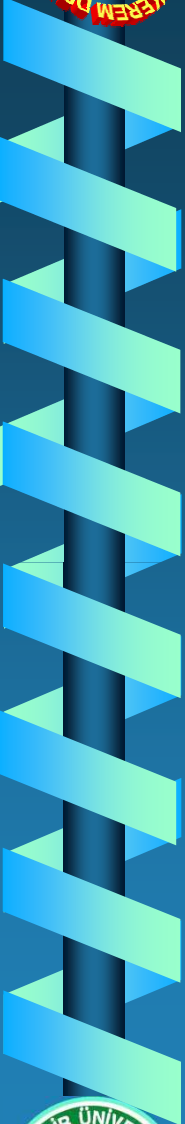
- 2000 li yılların başında ayna malzemesi “**speculum**” metalinden yapılmaktaydı. Yoğunluğu 8 Mg/m^3 . Ama o tarihten sonra **cam**’dan yapılmaya başlandı zira cam yoğunluğu $2,3 \text{ Mg/m}^3$ dır. Bu aynaların ön yüzeyi gümüş’ ten yapılmıştı. 70 ton’luk bir cam 30 gr’lık bir gümüşle desteklenmektedir.
- Acaba daha hafif malzeme kullanılarak ucuz teleskop yapmak mümkünmüdür?





* Bir modelleme yapacak olursak , ayna çapı $2R$ olan
(t) kalınlığında ve kenarından desteklenmiş olsun.



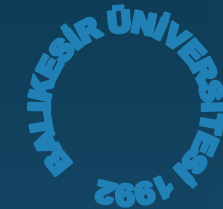


Büyük bir disk şeklindeki bu ayna kendi ağırlığının etkisi altında sarmaya (δ) uğrayacaktır. Bu sarma küçük olmalı ki performans etkilenmesin. Bu sarma ışığın dalga boyundan az olmalıdır. Bundan başka, yüksek sıcaklıkta **sürünme** olmayacak, **düşük termal genleşme** olacaktır.

- Aynanın kütlesi $m = \pi R^2 t \rho$

ρ yoğunluktur.

* Dikey diskin merkezindeki elastik şekil değiştirme δ poisson oranı **0,3** olan malzeme için kendi ağırlığına bağlıdır.



Sapma değeri (δ) aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\delta = \frac{3}{4\pi} \frac{mgR^2}{Et^3}$$

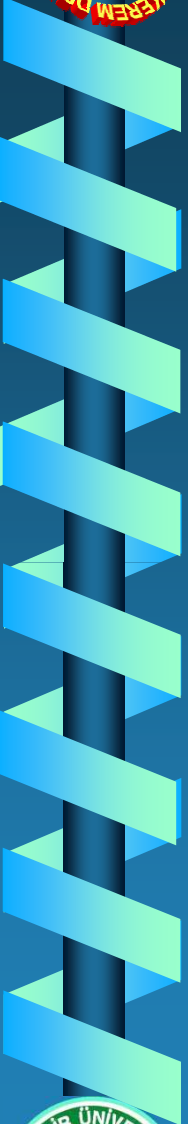
Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU

Design requirements for the telescope mirror

Function	Precision mirror
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Radius R specified• Must not distort more than δ under self-weight• High dimensional stability: no creep, low thermal expansion
Objective	Minimize the mass, m
Free variables	<ul style="list-style-type: none">• Thickness of mirror, t• Choice of material

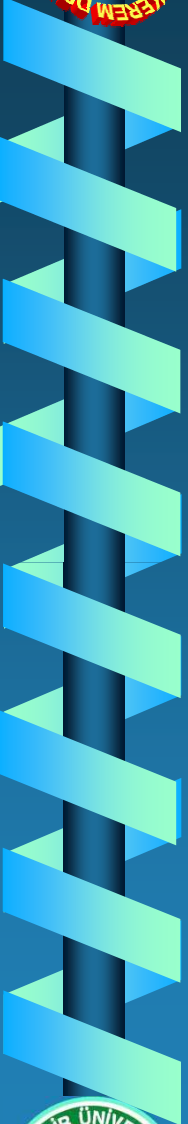


Doç. Dr. İRFAN AY / Arş. Gör. T.KEREM DEMİRCİOĞLU



Teleskop aynası için tasarım şartları

- Fonksiyon** : Hassas ayna
- Sınırlama** : Yarıçap belli, kendi ağırlığı altında δ dan fazla sapma yapmayacak. Yüksek boyutsal kararlılık, sürünme olmayacak, düşük termal genleşme olacak
- Amaç** : Kütle min olacak
- Serbest değişkenler** : Ayna kalınlığı t
Malzeme seçimi



- Bu denklemdeki **g** yerçekimi ivmesidir. **E** young modülüdür. Şekil değiştirme (defleksiyon) **δ** nin 10 μm'den az olmasına gereksinim duyarız. Çap (**2R**) tasarımında belirlenir, ancak kalınlık (**t**) bir serbest değişkendir. t'yi çözümleril ilk denklemde yerine koyarsak ;

$$m = \left(\frac{3g}{4\delta} \right)^{1/2} \pi R^4 \left[\frac{\rho}{E^{1/3}} \right]^{3/2}$$

Malzeme indisindeki en yüksek değerdeki en hafif ayna

$$M = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$



- Kalan sınırlamaları biz özellikler açısından limiti olan sabitler olarak değerlendiririz,
- Şöyle ki sürünmeyi önlemek için 500 dereceden yüksek ergime noktasına sahip olacak, hiç nem almaya cak ve termal genleşme katsayısı ($< 20 \cdot 10^{-6} / K$) olacaktır.

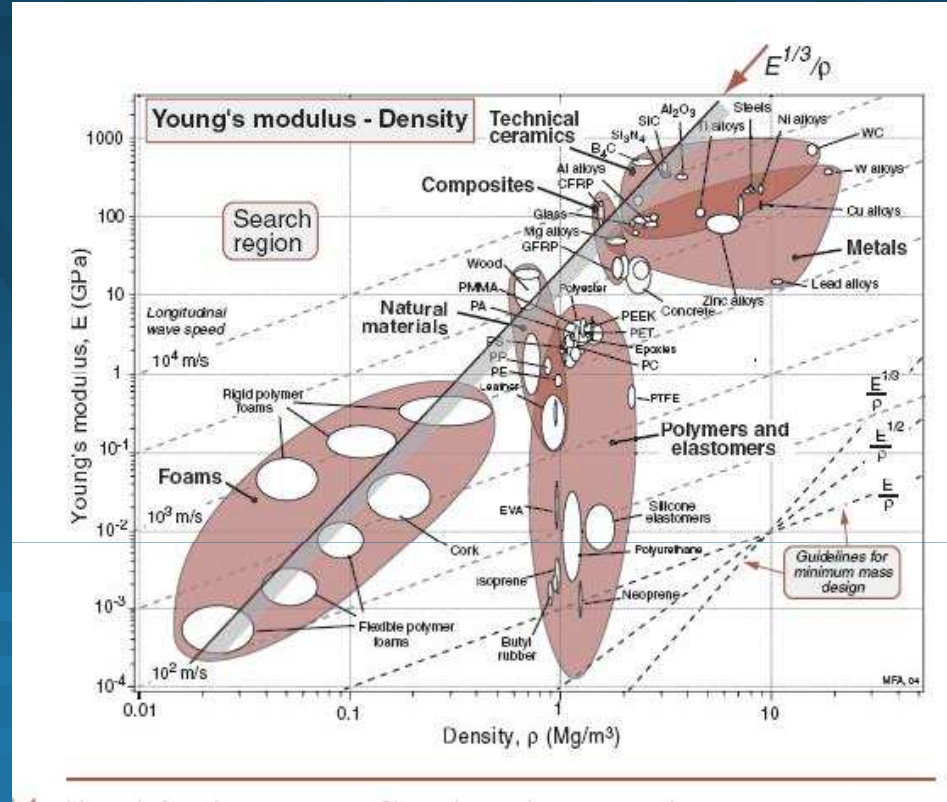
Malzeme seçimi :

E- ρ malzeme özellik kartlarına bakacak olursak ;

$$M = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

Malzeme indisi çizgisine baktığımızda M değeri yüksek olan malzemeler iyi, düşük olan malzemeler kötü yorumunu yapabiliriz.





. **Cam**, hem çelik hem de diğer metallerden daha iyidir



- **Ama cam** ;
 - Magnezyum, karbon fiber, bazı seramikler, cam fiber takviyeli epoksiler ve köpüklü polimerlerden iyi değildir.
 - Tabii ki seçim için diğer yönleri de incelememiz gerekiyor.
 - Örneğin aynanın ağırlığı , **CFRP**, cam'a göre yarı ağırlıktadır ve destekleyici yapı 4 kat daha ucuzdur. Ayrıca **köpük** kullanılarak yapılan imalat da çok müthiş görünmektedir. Ancak bu yapılabilir mi?

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





Mirror backing for 200-in. (5.1 m) telescope

Material	$M = E^{1/3} / \rho$ (GPa) ^{1/3} .m ³ /Mg	m (tonne) 2R = 5.1 m (from equation (6.4))	Comment
Steel (or Speculum)	0.74	73.6	Very heavy. The original choice
GFRP	1.5	25.5	Not dimensionally stable enough — use for radio telescope
Al-alloys	1.6	23.1	Heavier than glass, and with high thermal expansion
Glass	1.7	21.6	The present choice
Mg-alloys	1.9	17.9	Lighter than glass but high thermal expansion
CFRP	3.0	9	Very light, but not dimensionally stable; use for radio telescopes
Foamed polystyrene	4.5	5	Very light, but dimensionally unstable. Foamed glass?





5.1 m lik Teleskop ayna malzemesi seçimi

Malzeme	$M = E^{1/3} / \rho$	$2R=5,1m$	yorum
		(ton)	
Speculum	0,74	73.6	Çok ağır
GFRP	1,5	25,5	Boyutsal kararlılık yetersiz. Radyo teleskobu için iyi
Al alaşımı	1,6	23,1	Camdan daha ağır yüksek ısıl genleşmesi var





5.1 m lik Teleskop ayna malzemesi seçimi

Malzeme	$M = E I / 3 \rho$	$2R=5,1m$	yorum
		(ton)	
Cam	1,7	21,6	Mevcut seçim
Mg alaşımları	1,9	17,9	Camdan hafif, ama yüksek ısı genleşme sahip
CFRP	3,0	9	Çok hafif ama boyutsal kararlılığı yok





5.1 m lik **Teleskop ayna malzemesi seçimi**

Malzeme $M = E^{1/3} / \rho$ $2R=5,1m$ **yorum**

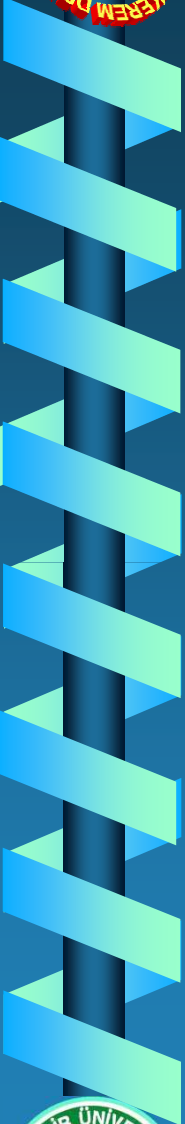
(ton)

Köpüklü 4,5 5.0 Çok hafif, boyut

polyester sal kararlılığı yok.

Polyester köpük ya da **CFRP** – ilk başta uygulanabilir görünmeyebilir, ancak potansiyel maliyet kazancı o kadar fazladır ki (**16 kat düşük**) incelenmeye değerler.





Daha sonradan gümüşlendirilebilecek optik düz yüzey üzerine epoksi veya silikondan **ince bir kaplama** yapılabilir. Ancak en büyük engel polimerlerin kararsızlıklarının çok yüksek olmasıdır, **zamanla nem, sıcaklık vb. etkenlerle** boyutları değişir.

Ama camın **kendisi karbon-fiberlerle** takviye edilebilir ve hem de katı camdan çok daha yoğun olan bir malzeme ile köpüklenebilir.

Hem köpüklenen hem de karbon takviyeli cam malzeme katı cam kadar kimyasal ve çevresel kararlılığa sahiptirler. Bunlar ucuz aynalar için bir yol açılmasını sağlayabilirler



Sonuç Ve yorumlar :

Tabii ki başka yapılabilecek şeyler de mevcuttur. Katı tasarım kriteri ($\delta \leq 10 \mu\text{m}.$) kısmen kullanılan malzeme referans gösterilmeden mühendislik tasarımı ile üstesinden gelinebilir. Hawaii Mauna Kea'daki 8,2 m.lik Japon teleskobu ve Şili'deki çok geniş teleskop aynanın yapısı ile değişkenlik gösterecek şekilde kontrol edilen arka yüzeyine yüklerin dağılmasını sağlayan hidrolik ya da piezo-elektrik jaklerle takviye edilmiş ince cam reflektörlere sahiptirler.





Muara Kea'daki Keck Teleskobu optik odaklanma vermek için her bölmesi bağımsız olarak yerleştirilmiş şekilde ayrılmıştır. Ancak böyle bir mekanik sistem yine de aynanın sert olması gerekliliğini ortadan kaldırmaz. Minimum ağırlıkta sertlik hala tasarım için bir gereklilik de olsa, malzeme seçim kriteri değişmez.

Radyo teleskobu, optik teleskoplar kadar hassaslık istemez. Çünkü radyo teleskopları radyasyonları daha uzun dalga boyu ile tararlar. Ama bunlar çok daha büyük olup (**60 m çap**), aynı distorsiyonel problemlere haizdirler.





Mikrodalgalar 0,25 mm.lik ayna yüzeyi üzerinde gerekli hassasiyete ihtiyaç duyduklarından mm. boyunda dalga boyuna sahiptirler. Son zamanlarda 45 m.lik radyo teleskopu (Tokyo Üniversitesi için yapılan) bunu sağlamaktadır. Burada CFRP kullanılmıştır. **Parabolik yüzeyi 6000 adet CFRP panelinden oluşmaktadır.** Her biri makro düzeyde distorsiyonu karşılamak için servo-kontrollüdür. Son zamanlardaki teleskoplar, genellikle bizim çıkardığımız sonuçlar sebebi ile CFRP'den yapılmaktadır.





ÖRNEK – 3 -

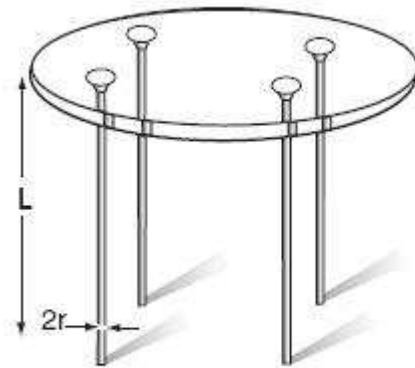
MASA AYAĞI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

Masa tasarımcısı olan **Luigi Tavaloni**; basitliğe dayanan hafif bir masa tasarlar ;

Şöyle ki ince, silindirik ayaklar üzerinde desteklenmiş bir cam parçası. Ayaklar mümkün olduğunca hafif (masayı rahat hareket ettirmek için) ve sağlam olmalıdır. Masanın üstünü desteklemeli ve üzerine ne konulursa konulsun burkulmadan taşıyabilmelidir.

Ne tür malzemeler tavsiye edersiniz?





A light-weight table with slender cylindrical legs. Lightness and slenderness are independent design goals, both constrained by the requirement that the legs must not buckle when the table is loaded. The best choice is a material with high values of both $E^{1/2}/\rho$ and E .

Design requirements for table legs

Function	Column (supporting compressive loads)
Constraints	<ul style="list-style-type: none"> • Length L specified • Must not buckle under design loads • Must not fracture if accidentally struck
Objective	<ul style="list-style-type: none"> • Minimize the mass, m • Maximize slenderness
Free variables	<ul style="list-style-type: none"> • Diameter of legs, $2r$ • Choice of material



Bu problemin iki hedefi var; **hafiflik** en az olacak ve uzunluk (**incelik**) maximum olacak. Tek bir kısıtlama var; burkulmaya karşı direnç. Öncelikle ağırlığın minimize edilmesini ele alalım. Ayak E young modüllü ve ρ yoğunluklu uzun bir kiriştir. Uzunluğu **L**, maximum kuvvet **F**'dir.

Tasarım için sabitlenecek şekilde belirlenmiştir. Ayağın yarıçapı **r** serbest bir değişkendir. Ayağın kütlesi **m**'yi aşağıdaki fonksiyonu kullanarak minimize etmek istiyoruz.





$$m = \pi r^2 L \rho$$

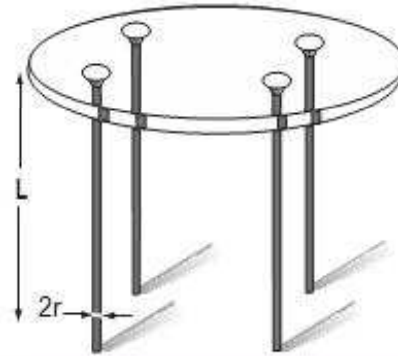
P yükünü burkulmadan taşıyabilir miyiz? Elastik burkulma kuvveti **F_{crit}**, uzunluk **L** ve yarıçap **r**, olsun

$$F_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^3 E r^4}{4L^2}$$

F, **F_{crit}** aşmamalıdır. **R**'yi serbest değişken olarak alıp, denklemde $m / (1/2)$ 'yi çekerek yerine koyarsak



$$m \geq \left(\frac{4F}{\pi}\right)^{1/2} (L)^2 \left[\frac{\rho}{E^{1/2}}\right]$$



Şekil 6.5 Uzun silindirik ayaklara sahip hafif ağırlıklı masa. Hafiflik ve uzunluk bağımsız tasarım amaçlarıdır, her ikisi de ayakların yük esnasında burkulmamaları için kısıtlanmıştır. Malzeme seçimi için en iyisi hem $E^{1/2}$ hem de E nin yüksek değerdedir.



Masa ayakları için tasarım ihtiyaçları

Fonksiyon Sınırlama

- : Kolon görevi yapmak
- : Uzunluk L belli,
Yük altında burkulmayacak
Kaza ile çarpmalarda
kırılmayacak.

Amaç

- : Kütlemin. yapmak,
Narin inceliği max. uzun
yapmak

Serbest değişkenler : Ayakların çapı $2r$,
Malzeme seçme





Malzeme index'inin en yüksek değeri ile her bir malzeme grubunun seçimi için ağırlık minimize edilmiştir.

$$M_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

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

Burkulmayacak en ince ayak için F_{crit} değerini denklemde yerine koyarsak ;

$$r \geq \left(\frac{4F}{\pi^3} \right)^{1/4} (L)^{1/2} \left[\frac{1}{E} \right]^{1/4}$$



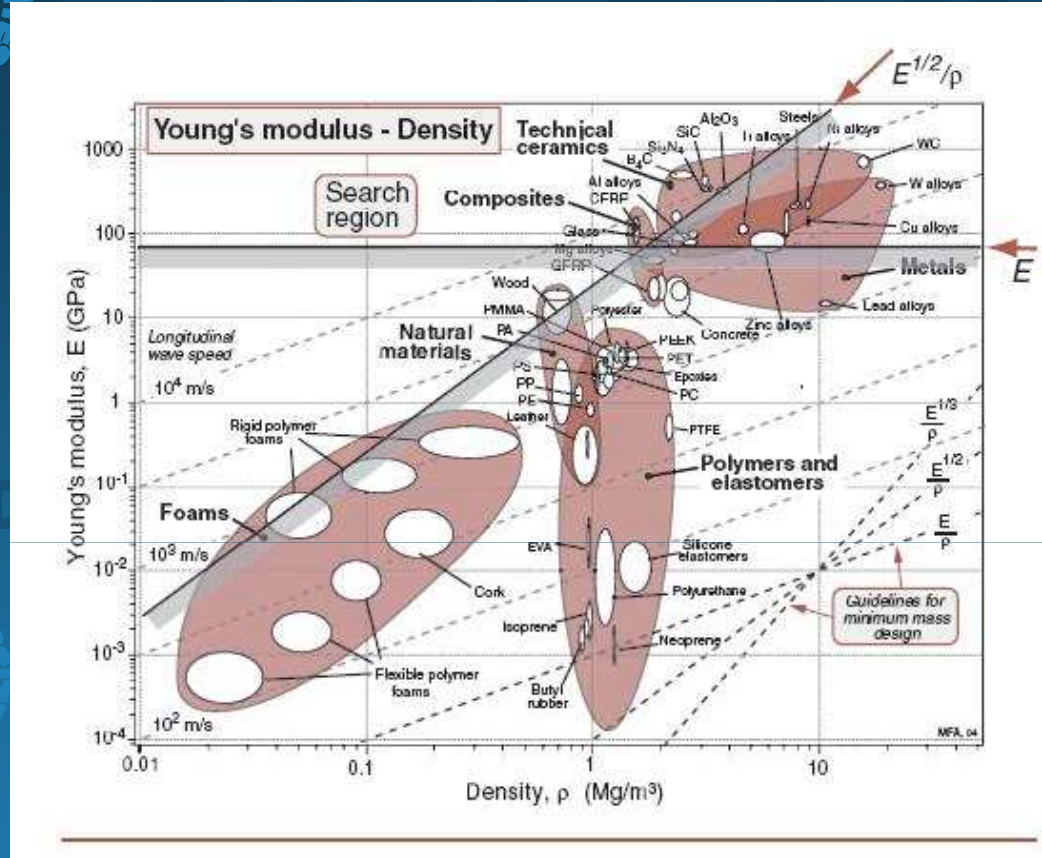


En ince ayak (malzeme indexinin en yüksek değeri için)

$$M_2 = E$$

Seçim. $E^{1/2} / \rho$ ve E değerlerinin en yüksek değerleri için malzeme arıyoruz. Tekrar $E - \rho$ kartına ihtiyacımız var.





Ağaç iyi bir seçim aynı zamanda **CFRP** de **Seramik** amaca uygun , ancak gevrek. **CFRP** ağaçtan daha yüksek **E**'ye sahip ve daha hafif.



Seçim CFRP 'dir. (Karbon Fiber Reinforced Epoksi)
Metaller yüksek mukavemete sahip olmalarına rağmen ağırlar. **Seramikler** çok gevrekler. Geriye **ağaç** ve **CFRP** kalıyor. **Polimerler** de yeterince dayanıklı olmadıkları için seçim dışıdır.

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

Ağaç ve **CFRP** mantıklı seçim olarak gözükmektedir.
Eğer maliyet birinci derecede önemli ise **ağaç**, değilse **CFRP** yi kullanırız.





Materials for table legs

Material	Typical M_1 (GPa ^{1/2} .m ³ /Mg)	Typical M_2 GPa	Comment
GFRP	2.5	20	Cheaper than CFRP, but lower M_1 and M_2
Woods	4.5	10	Outstanding M_1 ; poor M_2 Cheap, traditional, reliable
Ceramics	6.3	300	Outstanding M_1 and M_2 . Eliminated by brittleness
CFRP	6.6	100	Outstanding M_1 and M_2 , but expensive





Masa ayağı için malzeme

Malzeme	Tipik M1 (GPa ^{1/2} .m ³ / Mg)	Tipik M2 Gpa	Yorum
GFRP	2,5	20	CFRP den daha ucuz, ama düşük M₁ ve M₂
Ağaç	4,5	10	Çok iyi M ₁ , ama zayıf M ₂





Masa ayağı için malzeme

Malzeme	Tipik M1 (GPa ^{1/2} . m ³ / Mg)	Tipik M2 Gpa	Yorum
Seramik	6,3	300	Çok iyi M ₁ ve M ₂ ama gevrek.
GFRP	6,6	100	Çok iyi M ₁ ve M ₂ ama pahalı





ÖRNEK – 4 -

BİNALAR İÇİN YAPI MALZEMESİ SEÇİMİ

Çoğu insan için en pahalı şey, içerisinde yaşadıkları **evleri**'dir. Kabaca evin maliyetinin yarısını, evin yapıldığı malzemeler oluşturur, ve bunlar çok yüksek miktardadır (aile evi için 200 ton civarında, büyük apartman için 20.000 ton civarında) Malzemeler üç şekilde kullanılır :

- a)-Yapısal olarak **binayı taşımak** ; giyindirme gibi,
- b)- **iklimsel faktörleri** dışarıda tutmak ve
- c)- **Yapıyı ısı, ses** ve bunun gibi etkenlere karşı izole etmek.

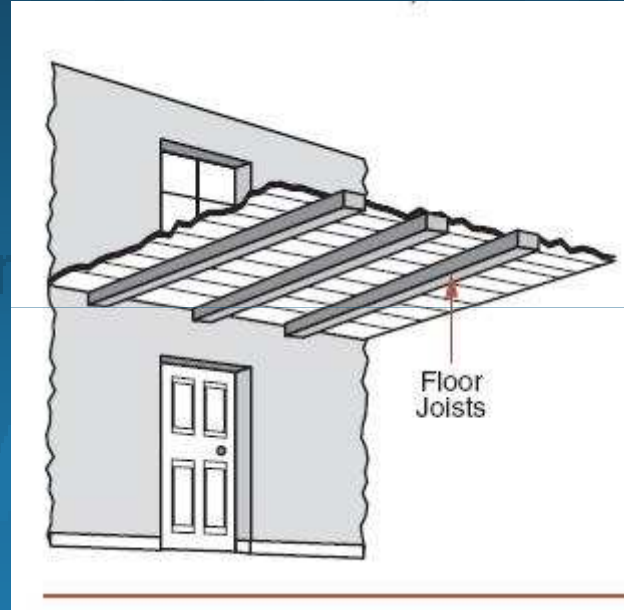




Yapılar için malzeme seçimini düşünelim. **Ucuz, güçlü** ve **sağlam** olmalıdırlar. Sağlam, çünkü bina iç ve dış yüklerin ve rüzgar yüklerinin etkisi altında çok fazla esnemesin, güçlü, çünkü yıkılma riski olmasın ve ucuz çünkü çok fazla malzeme kullanılacaktır. Binanın yapısal iskeleti çok nadir bir şekilde dış çevreye açıktır, bu yüzden burada **korozyona direnç kriteri** ve **görünüm** çok fazla önemli değildir.

Tasarım **amacı** basittir: Minimum maliyette sağlam ve mukavim bir yapı. Daha spesifik olursak: katlardaki kirişler için malzeme seçimini ele alalım.







Minimum ağırlıktaki sağlam kiriş için malzeme indexi daha önce oluşturulmuştu. Kirişin maliyeti **C** sadece ağırlığı **m** olup **Cm** ise kg. başına maliyettir.

$$C = mC_m = AL\rho C_m$$

Bu denklem, problem fonksiyonunun esas **amacı**'dır. Daha önceki bölümlerdeki gibi devam edersek sağlam bir kiriş için minimum maliyet index'ini çıkarırız.





$$M_1 = \frac{E^{1/2}}{pC_m}$$

Katılıktan daha önemli olacak şekilde mukavemet bir kısıt lama olup, burada indexi çıkarılmamıştır. Ama şimdi burada Esas fonksiyon hala 6.10. denklemdir.

Binadaki malzemeler üç ana rol üstlenirler. **Ana iskelet** mekanik destek sağlar; **giyindirme** dış yapı çevreye karşı korur ve **iç yapı**, ısı, ışık ve sese karşı kontrol sağlar. Seçim kriteri fonksiyona bağlıdır.





Design requirements for floor beams

Function	Floor beam
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Length L specified• Stiffness: must not deflect too much under design loads• Strength: must not fail under design loads
Objective	<ul style="list-style-type: none">• Minimize the cost, C
Free variables	<ul style="list-style-type: none">• Cross-section area of beam, A• Choice of material





Kat kirişleri için tasarım gereksinimleri

Fonksiyon

: Kat kirişi

Sınırlama

: Uzunluk **L** belli,

Sağlamlık: tasarım yükleri altında

çok esnememeli,

Mukavemet: taşıma yükleri altında çökmemeli

Amaç

: Maliyeti minimize etmek

Serbest değişkenler : Kiriş kesit alanı **A**

Malzeme seçimi





Ancak sınırlama şimdi **mukavemettir**: kiriş **F** yüküne kırılma dan dayanmalıdır. Bir kirişin **kopma yükü** ;

$$F_f = C_2 \frac{I \sigma_f}{y_m L}$$

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

C₂ bir sabittir, **σ_f** kiriş malzemesinin kırılma mukavemetidir ve **y_m** ise kirişin eksenine ile dış teli arasındaki uzaklıktır.(dikdörtgen bir kiriş için derinlik **d** ve genişlik **b** dir.). Kirişin boyutlarının sabit değişmez olduğunu farz ediyoruz, **d = α.b** denkleminde **α** yönsel oran olup bunu kullanırsak **I = bd³/12** denklemden **A** yı elesek **F_f** yükünü destekleyecek kirişin maliyetini elde ederiz.





$$C = \left(\frac{6\sqrt{\alpha} F_f}{C^2 L^2} \right)^{2/3} (L^3) \left[\frac{\rho C_m}{\sigma_f^{2/3}} \right]$$

Kütle indexin en geniş değerleri ile seçilen malzeme ile minimize edilir.

$$M_2 = \frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho C_m}$$

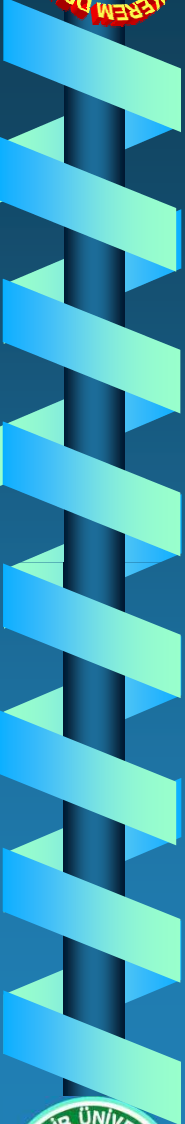




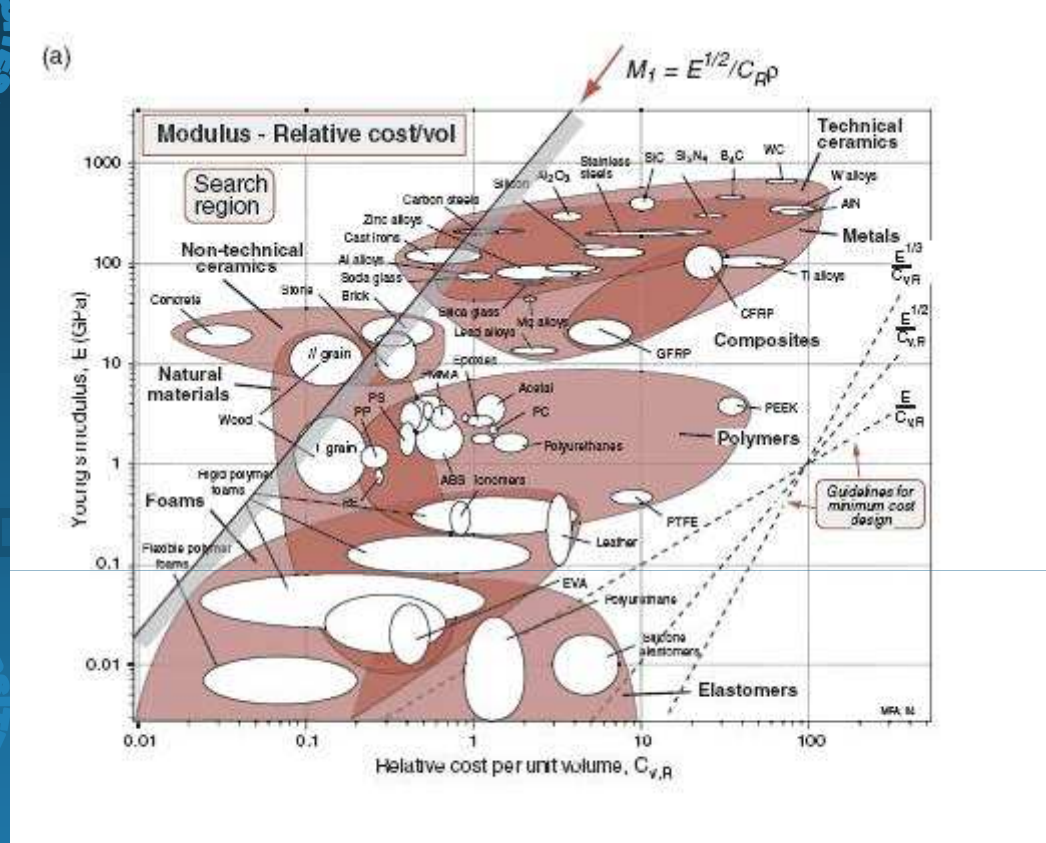
Seçim.

Önce sağlamlık, sertlik. Şekil (a) uygun kartı göstermektedir modül **E** ye karşı birim kütleye göre maliyet **C_m** (kart **C_m**'nin yerine 4'üncü bölümde anlatılan görece bir maliyet **C_r** kullanmaktadır ama bunun seçime bir etkisi yoktur). Gölgeleştirilmiş bant **M₁** için uygun bir eğim vermektedir ; ve karbonlu çelikler, ağaç, tuğla, taş, ve betonu izole eder. Şekil (b) maliyete karşı mukavemeti göstermektedir. Gölgeleştirilmiş bant — bu defa **M₂** — hemen hemen aynı sonucu verir. Bunlar değerleri ile beraber tablo da listelenmiştir. Bunlar tam anlamıyla binaların yapılmakta olduğu ve yapıldığı malzemelerdir.





Sonuç. Beton, taş ve tuğla sadece basmaya mukavimdirler; Binanın şekline göre bunlar kolon ve kiriş şeklinde kullanılmalıdır. Ağaç, çelik ve takviyeli betonarme basmaya hem de çekmeye mukavimdir, ve çeliğe, ilaveten, kullanılabilir ve verimli şekiller verilmektedir. (I-kesit, kutu kesit, borular ileriki bölümlerde anlatıldı) Bunlarla yapılan yapıların şekil verme özgürlüğü daha fazladır.



Bina iskelet yapıları için ucuz (a) ve sağlam malzeme seçimi



Structural materials for buildings

Material	M_1 ($\text{GPa}^{1/2}/(\text{kg}/\text{m}^3)$)	M_2 ($\text{MPa}^{2/3}(\text{kg}/\text{m}^3)$)	Comment
Concrete	160	14	
Brick	12	12	Use in compression only
Stone	9.3	12	
Woods	21	90	Tension and compression, with freedom of section shape
Cast Iron	17	90	
Steel	14	45	





Binalar için yapı malzemeleri

Malzeme	M1 (GPa ^{1/2} (kg/m ³))	M2 (MPa ^{2/3} (kg/m ³))	Yorum
Beton	160	14	
Tuğla	12	12	yalnızca basmada
Taş	9,3	12	
Ağaç	21	90	Hem basma, hem çekme, hemde şekil seçme özgürlüğü var.





Binalar için yapı malzemeleri

Malzeme	M1 (GPa ^{1/2} /(kg/m ³))	M2 (MPa ^{2/3} (kg/m ³))	Yorum
Dökme demir	17	90	
Çelik	14	45	

20 inci yüzyıl sonlarında mimarlara bazen binalarda fiberglas (**GFRP**), **aliminyum alaşımları** ve **paslanmaz çelik** kullanmaları önerilmiştir. Çoğu zaman da bunu uygulamışlardır, ama son iki şekil bunun yaptırımı ile ilgili bir fikir verir.





Aynı sağlamlığı ve mukavemeti sağlamak 5 veya 20 kat daha fazla maliyetli olmaktadır. İnşaat yapıları (**bina, köprü, yol ve benzeri**) malzeme hassasiyetlidirler.

Malzemenin maliyeti üretim maliyetini bastırmaktadır ve kullanılan miktar da çok fazladır. Bu yüzden sadece en ucuz malzemelerden yararlanarak tasarımı bunları kullanarak yapmalıyız.



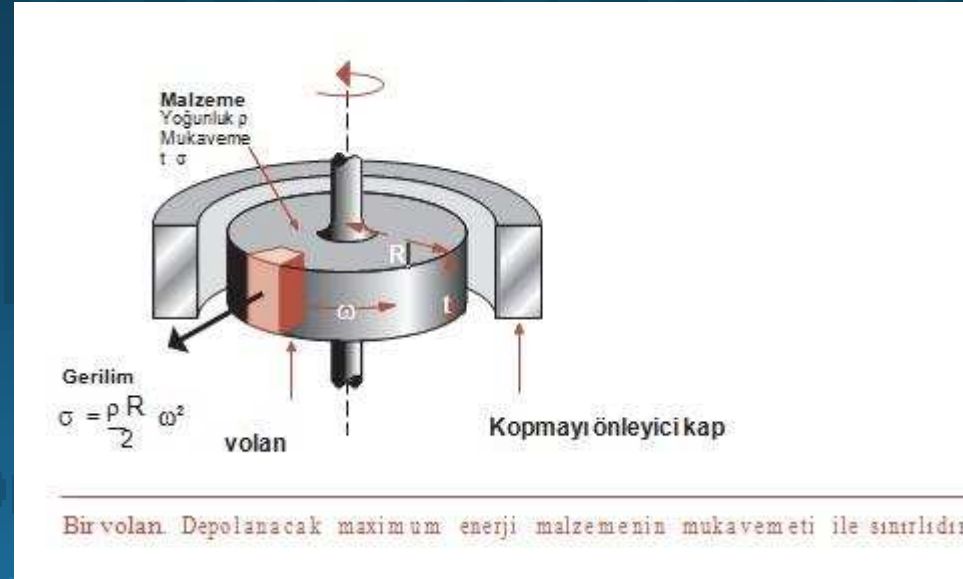


ÖRNEK – 5 -

VOLAN MALZEMESİ SEÇİMİ

Volanlar enerjiyi depolar. Küçük olanları — çocuk oyun caklarında bulunur — **kurşun**'dan yapılır. Eski buhar makinelerinin **dökme demir**'den yapılmış volanları vardı. Arabalarda da güç iletimini daha yumuşak hale getirmek için mevcuttur (siz göremesiniz de). Son zamanlarda volanlar araçların fren sistemlerini daha iyi hale getirmek ve güç depolamak için de kullanılmaya başlanmıştır;





Bu volanların birkaç tanesi yüksek **mukavemetli çelikten** , bazıları da **kompozitlerden** yapılmıştır. **Kurşun, dökme demir, çelik, kompozitler** — burada çok garip bir çeşitlilik mevcuttur. Volan için en iyi malzeme seçimi hangisidir?



Verimli bir volan ağırlığı başına mümkün olduğunca en fazla enerjiyi depolar. Volan dönmeye başladıkça, açısal hızı artar, daha fazla enerji depolar. Kırılma ile bitecek olan depolama limiti, merkezkaç kuvvetinin büyüklüğüne bağlıdır : **eğer merkezkaç kuvveti çekme dayanımını geçerse , volan koparak ayrılır.** Bunun olmaması tabi ki bir sınırlamadır.

Bir çocuk oyuncağındaki volan bu açıdan verimli değildir. Çocuk itme gücü tarafından hız kısıtlanmıştır ve asla kopma hızına yaklaşmaz.

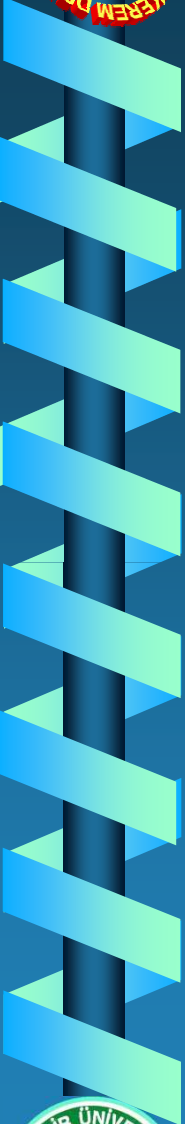




Bu durumda, ve otomobil motorunun volanı için — **amaçımız sabit ve belirli bir açısal hızda birim hacim başına depolanan enerjiyi maximize etmektir.** Ayrıca volanın dış çapı R de kısıtlayıcı bir etken olup, sınırlanmış kesite uymalıdır.

Bu yüzden cevap kullanım alanına bağlıdır. Verimli enerji depolama sistemleri için uygulanacak strateji çocuk oyuncaklarının sisteminden çok farklılık gösterir. İki alternatif set **tablo** .da listelenmiştir.





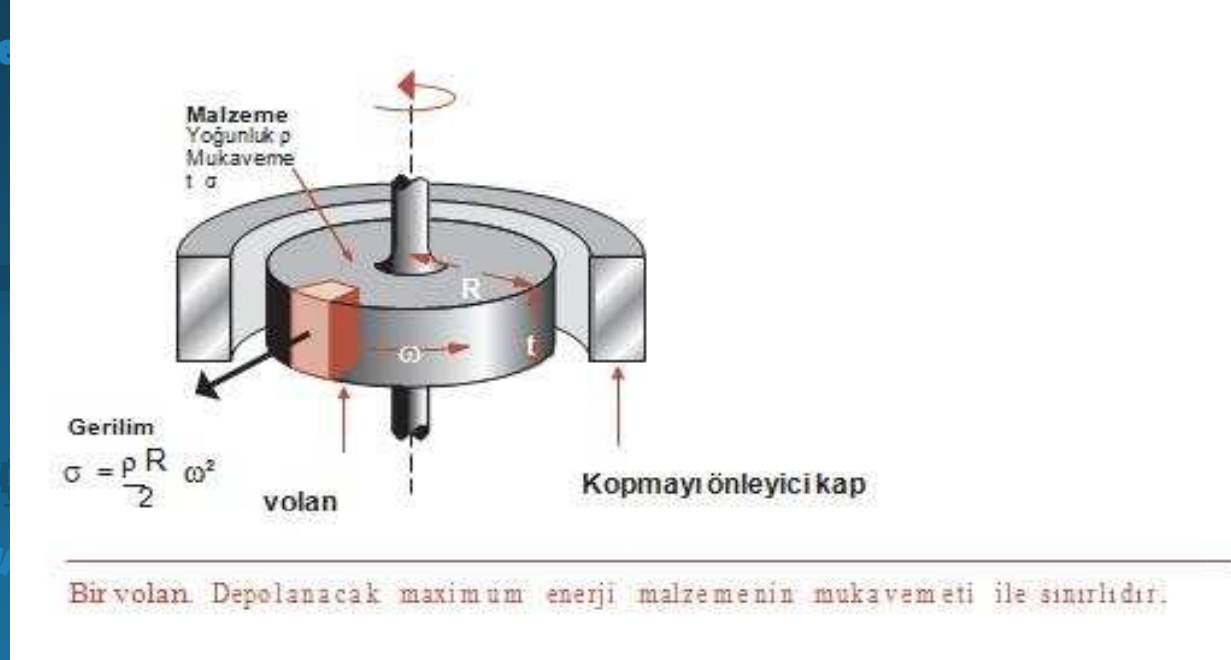
Birinci çeşit bir volan kırılmadan ya da kopmadan birim ağırlık başına mümkün olan en yüksek enerjiyi depolama lıdır. Açısal hızla ω dönen kalınlığı t ve yarıçapı r olan bir katı olarak düşünün (Bak Şekil). Volanda depolanan enerji;

$$U = \frac{1}{2} J \omega^2$$

Burada **J değeri**

$$J = (\pi/2) \rho R^4 t$$

şeklindedir. Ve **diskin polar atalet momenti'dir**



Denklemdede yerine konduğunda , aşağıdaki denklemi verir.

$$U = \frac{\pi}{4} \rho R^4 t \omega^2$$



Design requirements for maximum-energy flywheel and fixed velocity

(a) For maximum-energy flywheel

Function	Flywheel for energy storage
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Outer radius, R, fixed• Must not burst• Adequate toughness to give crack-tolerance
Objective	Maximize kinetic energy per unit mass
Free variables	Choice of material

(b) For fixed velocity

Function	Flywheel for child's toy
Constraints	Outer radius, R , fixed
Objective	Maximize kinetic energy per unit volume at fixed angular velocity
Free variables	Choice of material





Sabit hızda maksimum enerji depolayan volan için tasarım gereksinimleri

(a) Maksimum enerjili volan için

Fonksiyon : Enerji depolamak için volan

Sınırlamalar : Dış yarıçap R sabit, kopma

Doç. Dr. İrfan AY / Arş. Gör. T. Kerem DEMİRCİOĞLU
1, kırık hassasiyeti için yeterli tokluk

Amaç : Birim kütle başına kinetik enerji max. olmalı.

Serbest değişkenler : Malzeme seçimi





Sabit hızda maksimum enerji depolayan volan için tasarım gereksinimleri

(b) Sabit hız için

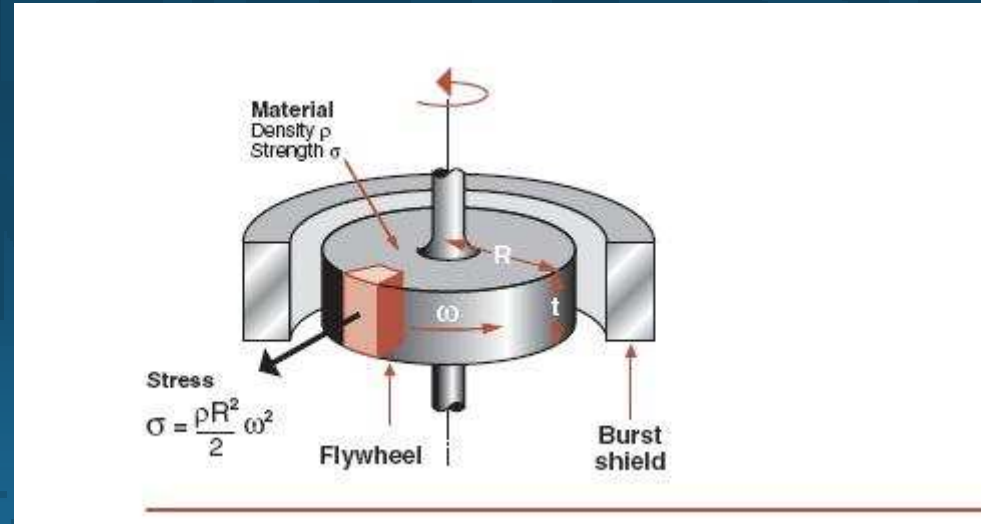
Fonksiyon : Çocuk oyuncağı için volan

Sınırlamalar : Dış yarıçap R sabit,

Amaç : Birim hacimde sabit hızda max.kinetik enerji olmalı

Serbest değişkenler : Malzeme seçimi





Diskin kütlesi,

$$m = \pi R^4 t \rho$$

Birim hacim başına maximize edilecek miktar kinetik enerji olup, son iki denklemde orantılıarsak ;



$$\frac{U}{m} = \frac{1}{4} R^2 \omega^2$$

Volan döndükçe, depoladığı enerji artar, ama merkezkaç kuvveti de artar. Üniform kalınlıkta dönen diskin maximum **asal gerilmes'ini** hesaplırsak

$$\sigma_{\max} = \left(\frac{3 + \nu}{8} \right) \rho R^2 \omega^2 \approx \frac{1}{2} \rho R^2 \omega^2$$

Burada poisson oranı $\nu = 1/3$ tür.





Gerilme değeri kopma mukavemetini aşmamalıdır. (uygun bir emniyet faktörü, burada ihmal edilmiştir). En üst bir açısız hıza ulaştığında **w**, ve disk yarıçapı **R** (serbest değişken). Verilen iki denklemde **R** yi atarsak ;

$$\frac{U}{m} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_f}{\rho} \right)$$

Yüksek performanslı volan için en iyi malzeme, **malzeme indisi**'nin yüksek değerdekileridir.

$$M = \frac{\sigma_f}{\rho}$$

Birimi **kJ / kg.** dır.





Şimdi de çocuk oyuncağında kullanılan volana bakalım. Burada sabit açısal hızda, birim hacimde maximum enerjiyi arıyoruz. Birim hacimde sabit açısal hızda depolanan enerji

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{4} \rho R^2 \omega^2$$

Hem **R** hem de **ω** tasarımda sabit alınır, böylece en yüksek değerdeki en iyi malzeme

$$M_2 = \rho$$





Seçim. Arka sayfadaki diyagram . **Mukavemet yoğunluk** kartını gösterir. M1 değerleri eğim 1 çizgisini karşılar. Bir tanesi de **$M_1 = 200$** kJ/kg. değerinde diagonal çizilmiştir. M1 in yüksek değerindeki aday malzemeler üst soldaki bölgede bulunur. **En iyi seçimler** beklenmeyecek şekilde **kompozit**'lerdir, özellikle **CFRP**, yüksek mukavemetli **titanyum alaşımları** ve **bazı seramikler** de vardır, ama bunlar düşük toklukları nedeniyle seçim dışı bırakılmışlardır.

Ama peki çocuk oyuncaklarındaki **kurşuna** ne demeli?





Zorlayarak sadece iki çeşit malzeme olmaktadır, **CFRP** ve **kurşun**: birisi güçlü ve hafif, diğeri yumuşak ve ağırdır. Neden kurşun? Çünkü çocuk oyuncağında sınırlama farklıdır.

Çocuk oyuncağı son hızına kadar döndürmese de, açısal hız w sürtünme mekanizması tarafından kısıtlanmıştır. (itme-yayı, sürtünme). Bu yüzden en iyi malzeme en yüksek yoğunluğa sahip malzemedir.

Diyagramdaki ikinci seçim 10 Mg/m^3 değerinde **M_2** **indis**'ini göstermektedir. Bu çizginin sağında ikinci arama alanında malzeme ararsak, **kurşun** iyidir, daha iyisi dersek başka nedenlerden dolayı uygun olmaz.





Özet.

Bir **CFRP** rotoru 400 kJ/kg. enerji depolayabilir. Bir **kurşun** volan, aksine, parçalanmadan önce sadece 1 kJ/kg enerji depolayabilmektedir; bir **dökme demir** ise 30 kat daha fazla depolayabilir.. **Gaz** ile kıyaslandığında bunlar çok küçük rakamlardır: kabaca **20,000** kJ/kg. Buna rağmen diskteki enerji yoğunluğu üzerinde düşünülmelidir; aniden kırılması ve kopması çok kötü olur.

Disk bir kap ile korunmalıdır, ve dengesiz kuvvetleri önlemek için üretim esnasında hassas kalite kontrolü yapılmalıdır.





Bu kamyon ve otobüslerde kullanımı amaçlanan enerji depolayan birkaç sayıdaki **kompozit volanlar**'da başarılı olmuştur ve ayrıca rüzgar enerjisi dönüştüren santrallerde de bir enerji depolama aracı olarak kullanılarak başarılı olmuştur.

Şimdi konudan ayrılalım: elektrikle çalışan aracı inceleyelim. Hibrid araçlar trafikte dolaşmakta ve ileri teknoloji ürünü kurşun-asit bataryalarda enerji depolanması yapılmaktadır. Ancak bataryaların da kendi problemleri mevcuttur: depoladıkları enerji yoğunluğu azdır.(Bundan sonraki tablo'ya bakınız).





Ağırlıkları hem miktarı hem de aracın performansını kısıtlar. Pratikte en iyi bataryalara eşit enerji yoğunluğundaki volanların imali faydalıdır. **Şu sıralar elektrikli araçlarda volan konusuna özel bir önem verilmektedir.** Bir grup saat yönünde dönen **CFRP diskleri** bir muhafaza tarafından korunarak yerleştirilmiştir. Aracı süren elektrik motoruna güç üreten ve akım sağlayan mıknatıslar muhafaza içerisindeki bobinlerin yanına monte edilmişlerdir.





Energy density of power sources

Source	Energy density (kJ/kg)	Comment
Gasoline	20,000	Oxidation of hydrocarbon — mass of oxygen not included
Rocket fuel	5000	Less than hydrocarbons because oxidizing agent forms part of fuel
Flywheels	Up to 400	Attractive, but not yet proven
Lithium-ion battery	Up to 350	Attractive but expensive, and with limited life
Nickel-cadmium battery	170–200	
Lead-acid battery	50–80	Large weight for acceptable range
Springs rubber bands	Up to 5	Much less efficient method of energy storage than flywheel





Güç kaynaklarının enerji yoğunlukları

Kaynak

Enerji yoğunluğu

Yorum

(kJ / kg)

Gasoline

20 000

Hidrokarbonun oksidasyonu, Oksijen kütlesi dahil değil.

Roket yakıtı

5 000

Hidrokarbonlardan daha az, çünkü oksitlenme, yakıtın bir parçası.





Güç kaynaklarının enerji yoğunlukları

Kaynak

Enerji yoğunluğu

Yorum

(kJ / kg)

Volan

4 00 e kadar cazip fakat henüz

kanıtlanmış değil.

Lithium-ion batarya

350 'ye kadar cazip ama ömrü az

**Nickel-cadmium
batarya**

170-200

Lead-asid batarya

50-80 kabul edilebilir oran

Yay lastik bant

5 ' e kadar verimi az enerji için büyük ağırlıkta





ÖRNEK – 6 -

VİBRASYON TABLALARI İÇİN KATI, YÜKSEK SÖNÜMLÜ MALZEMELER

Şekil de sağlam ağaçtan yapılmış bir sarsıcının vibrasyon testi görülmektedir. Bu ikinci tür yüklenmiş **sarsıcı test aygıtı** 1000 Hz frekansın üzerinde çalışan, tablaya hareket veren elektromagnetik hareketlendiriciden oluşmaktadır.

Sarsıcı ; **f** frekans ve **A** genliği değerinde test nesnesine vibrasyon spektrumu uygulamaktadır.

Test neticesinde cevaplar incelenmiştir.





Yüksek frekansta çalışan **büyük bir tabla** gücü çok iyi bir düzeyde dağıtmaktadır. İlk amaç, bunu minimize etmektir. Fakat nesne için kısıtlar Tablo da ayrıntılı olarak verilmiştir.

İyi bir sarsıcı için **hangi malzeme seçilmelidir?**



Sarsıcı tablalar için tasarım şartları

Fonksiyon	Vibrasyon testi için tabla ("sarsıcı tabla")
Kısıtlar	Yarıçap, R , belirlenmiş Yüklenen kuvvetler tarafından dağılan titreşime yeteri kadar katı olmak zorundadır. Vibrasyonları minimize edecek yüksek sönüm. Kötü kullanım ve şoka karşı yeteri tokluğa sahip olma
Amaç	Güç dağılımını minimize etmek
Serbest Değişkenler	Malzeme seçimi Tabla kalınlığı, t





Sinüzoidal girişli dağıtıcı vibrasyon sistem tarafından **(p) gücü** tüketilmektedir. Burada **(m) tabla kütlesi**, **(A) vibrasyon genliği**, **(w) frekans** ve **(C₁)** ise sabittir.

$$p = C_1 m A^2 \omega^3$$

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

Sağlanan çalışma **frekansı (w)** tablanın rezonans frekansından oldukça küçük olmalıdır. Daha sonra C₁ yaklaşık olarak 1 dir. **Genlik (A)** ve frekans **(w)** tavsiye edilir. Sallanan tabla içindeki güç kaybını minimize etmek için, **(m)** kütlesini minimize etmek zorundayız. Verilen **R** yarıçaplı diski ve **kalınlığı (t)** olan serbest değişkenler ile tablayı idealize ederiz. Tabla kütlesi ;





$$m = \pi R^2 t \rho$$

iken (ρ) üretilen malzeme yoğunluğu, (t) kalınlığı tablanın eğilme rijitliğine etkimektedir ve bu çok fazla yüklenen yükler altında tablanın esnemesinin önlenmesinde önemlidir ve çünkü o en düşük doğal titreşim frekansını tanımlar.

Eğilme rijitliği S ise;

$$S = \frac{C_2 EI}{R^3}$$





iken, C_2 sabit I ikincil atalet momenti, t_3 , R ile orantılıdır. Böylece, verilen δ katılığı ve R yarıçapı için;

$$t = C_3 \left(\frac{SR^2}{E} \right)^{1/3}$$

iken C_3 değeri sabittir. Bu eşitlik içerisinde değişim ile

$$m = C_3 \pi R^{8/3} S^{1/3} \left(\frac{\rho}{E^{1/3}} \right)$$

sağlarız. Tablanın kütlesi; verilen katılık ve minimum vib rasyon frekansı için ;



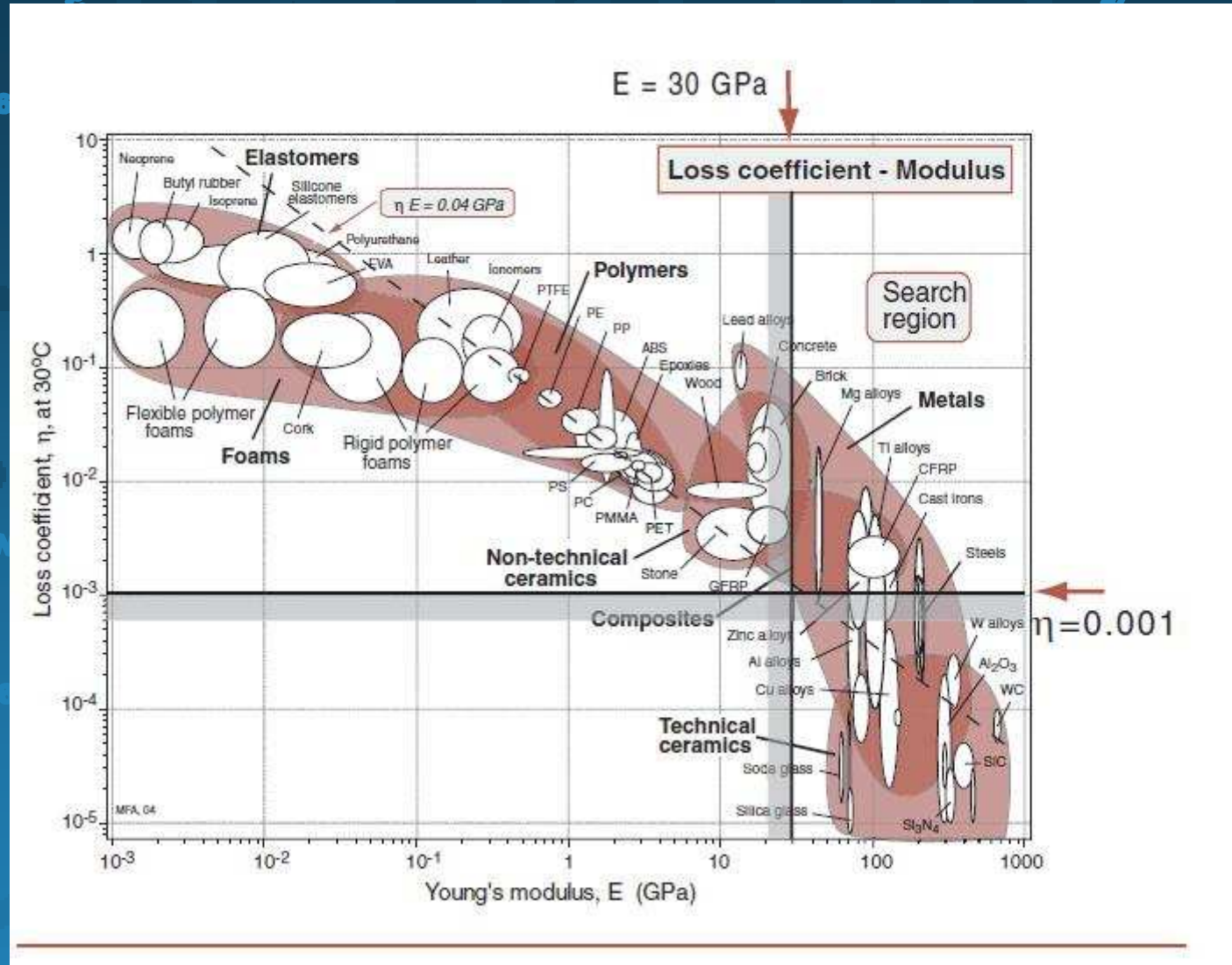


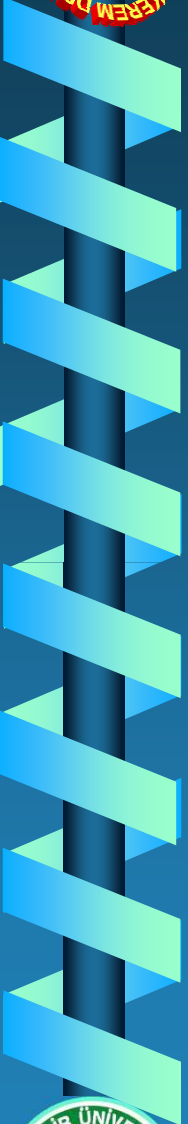
seçilen malzemeler ile M_1 nin yüksek değerleri ile minimize edilir.

$$M_1 = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

Burada **üç** şeye ihtiyaç var. **İlk olanı** η kayıp katsayısı tarafından ölçülendirilen yüksek mekanik sönümlemesidir. **İkincisi** ise yüklenen kuvvetler ve kötü kullanmaya yeteri kadar dayanacak olan **Kıc** tabla kırılma tokluğudur. **Ve üçüncüsü** ise çok fazla maliyetli olmayacak malzemedir.







Seçim. Şekil de (η) kayıp katsayısına karşı işaretlenen **E** modülü kartı görülmektedir. Düşey doğru **E=>30 Gpa** olduğu kısıtı, yatay doğru ise (η)=>**0.001** olduğu kısıtlamayı gösteriyor. Araştırma bölgesi **CFRP** ve **magnezyum, titanyum, dökme demir ve çeliklerden** oluşan metal grubunu içermektedir. Adayların tümünün de kullanılması mümkündür. Tablo de özellikleri mukayese ediliyor.

Dipnot. Rijitlik, yüksek doğal frekans ve sönümleme mühendislik tasarımında sık sık önemli nitelik olarak görülür. Sarsıcı tablanın bulunduğu çözüm (bu durum şartlarında en iyi gerçek ömür) **magnezyum alaşımı içerisinde seçilir.**



Material	Loss coeff, η	$M_1 = E^{1/3}/\rho$ GPa ^{1/3} /(Mg/m ³)	ρ Mg/(m ³)	Comment
Mg-alloys	Up to 2×10^{-2}	1.9	1.75	The best combination of properties
Titanium alloys	Up to 5×10^{-3}	1.0	4.6	Good damping but expensive
CFRP	Up to 4×10^{-3}	3.0	1.8	Less damping than Mg-alloys, but possible
Cast irons	Up to 4×10^{-3}	0.7	7.8	Good damping but heavy
Zinc alloys	Up to 7×10^{-3}	0.7	5.5	Less damping than Mg-alloys, but possible for a small table





BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

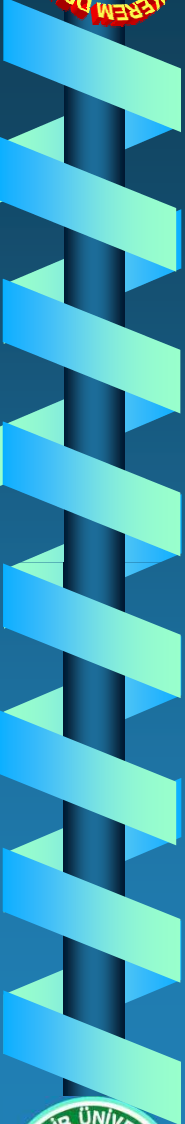
BALIKESİR

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

Sarsıcı tabla için malzeme seçimi

Malzeme	Kayıp katsıısı	$M_1 \frac{1}{4} E^{1/3} /$ $GPa^{1/3} / (Mg/m^3)$	$Mg/(m^3)$	Yorum
Mg-alaşım	Up to $2 \cdot 10^{-2}$	1.9	1.75	Özelliklerin en iyi kombinasyonu
Titanyum alaşım	Up to $5 \cdot 10^{-3}$	1.0	4.6	İyi sönümleyici fakat pahalı
CFRP	Up to $4 \cdot 10^{-3}$	3.0	1.8	Mg alaşıma göre düşük sönümleyici fakat mümkün
Dökme demir	Up to $4 \cdot 10^{-3}$	0.7	7.8	İyi sönümleyici fakat ağır
Çinko alaşım	Up to $7 \cdot 10^{-3}$	0.7	5.5	Mg alaşıma göre düşük sönümleyici fakat küçük tabla için mümkün





Bazı zamanlar **sandwich** malzemelerle de çözüm mümkün dür. **Kayıp katsayısı kartı** polimer ve elastomerlerin yük sek sönümlemeye sahip olduğunu gösteriyor. Düşük sönümlü vibrasyon eğilimi gösteren ince çelik paneller polimerle bir yüzü kaplanarak otomobil, teypyazıcı ve makine araçları içerisinde başarılı bir şekilde sönümleyici olarak kullanılır.

Alüminyum yapılar, karbon fiber yapıştırılarak sağlamlaştırılabilir. Bir yaklaşım uçak tasarımında kullanılabilir. Böylelikle (doğal frekansı yükseltilecek) örnek için **Al** takım bağlantılı parçalar aynı katılıkta-(rijitlik) **eğilme** ve **burulma** yükü altında daha hafif üretilebilmektedir.



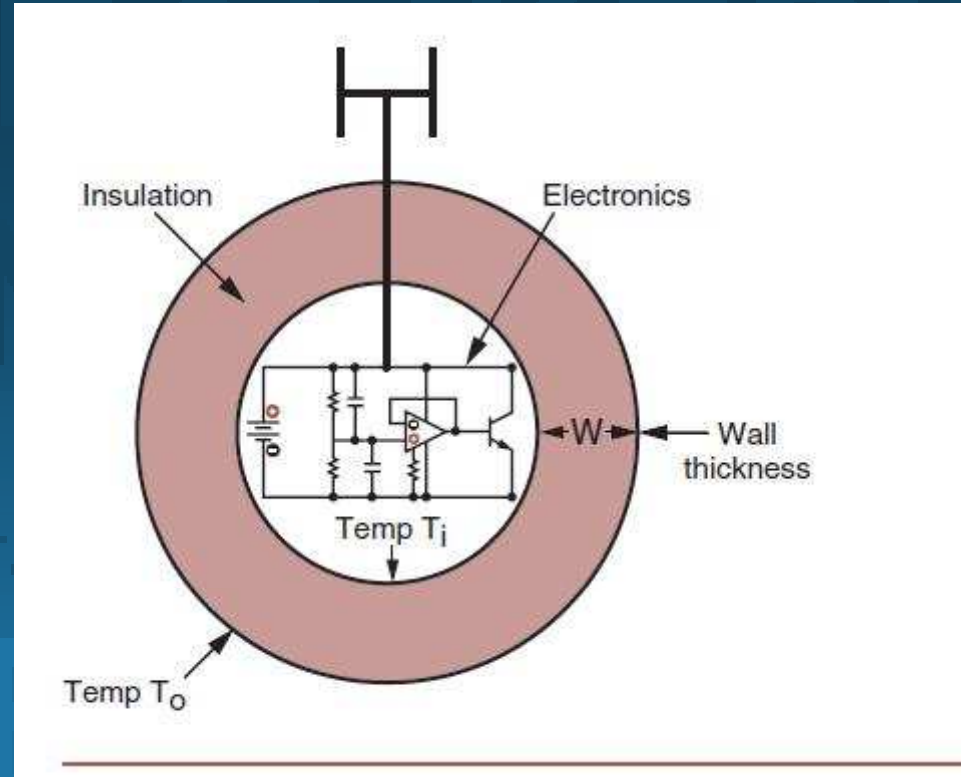
ÖRNEK – 7 -

KISA SÜRELİ İZOTERMAL SAKLAYICILAR İÇİN YALITIM MALZEME SEÇİMİ

Askeri makine taşıyıcılarının her bir üyesi **acil vaka** için daima bir radyo aygıtı bulundurur. Koşulların zorlaştığı fark edildiğinde; ekip üyesi kendisini koşulları bulmaya zorlar. Bu yüzden radyo aygıtları kurtarma hizmetleriyle temasa geçerek kayıp zamanı minimize eder.

Fakat mikromekanik mekanizmalar (**insan yapısı** gibi) düşük sıcaklıklarda çabucak bozular. Bu durum karşısında ; aygıtın frekans geçirgenliği bozulmaya başlar.





İzotermal bir saklayıcı. Dış ortam sıcaklığı aniden değiştiğinde iç ortam sıcaklığı da değişecek şekilde zaman makimize edilecek bir tasarım yapılmalıdır.



BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

Design requirements for short-term insulation

Function	Short term thermal insulation
Constraints	Wall thickness must not exceed w
Objective	Maximize time t before internal temperature changes when external temperature suddenly drops
Free variables	Choice of material

Kısa süreli termal izolasyon için tasarım ihtiyaçları

Fonksiyon	Kısa süreli termal izolasyon
Kısıtlar	Duvar kalınlığı w y aşmamalı
Amaç	Dış sıcaklık ani değiştiğinde iç sıcaklık değişim süresini maximize etmeliyiz.
Serbest değişkenler	Malzeme seçimi





Dış ortam sıcaklığı 30 C olarak değiştiğinde iç yüzey sıcaklığının da bu sıcaklığa bir saatte ulaştığı farzedilerek elektronik aygıtı muhafaza edecek olan yuvarlak biçimli ambalajın tasarım özellikleri belirlenmelidir. Aygıtı küçük hacimde muhafaza etmek için, **duvar kalınlığı (w)** 20 mm kalınlıkta sınırlanmıştır.

Bazı **köpük tipi** düşünülebilir fakat buradaki durum bizi yanıltmaya sürükleyebilir. Bu yüzden tasarım ihtiyaçlarını formüle etmeye ve işi tam anlamıyla yapmaya ihtiyacımız var.





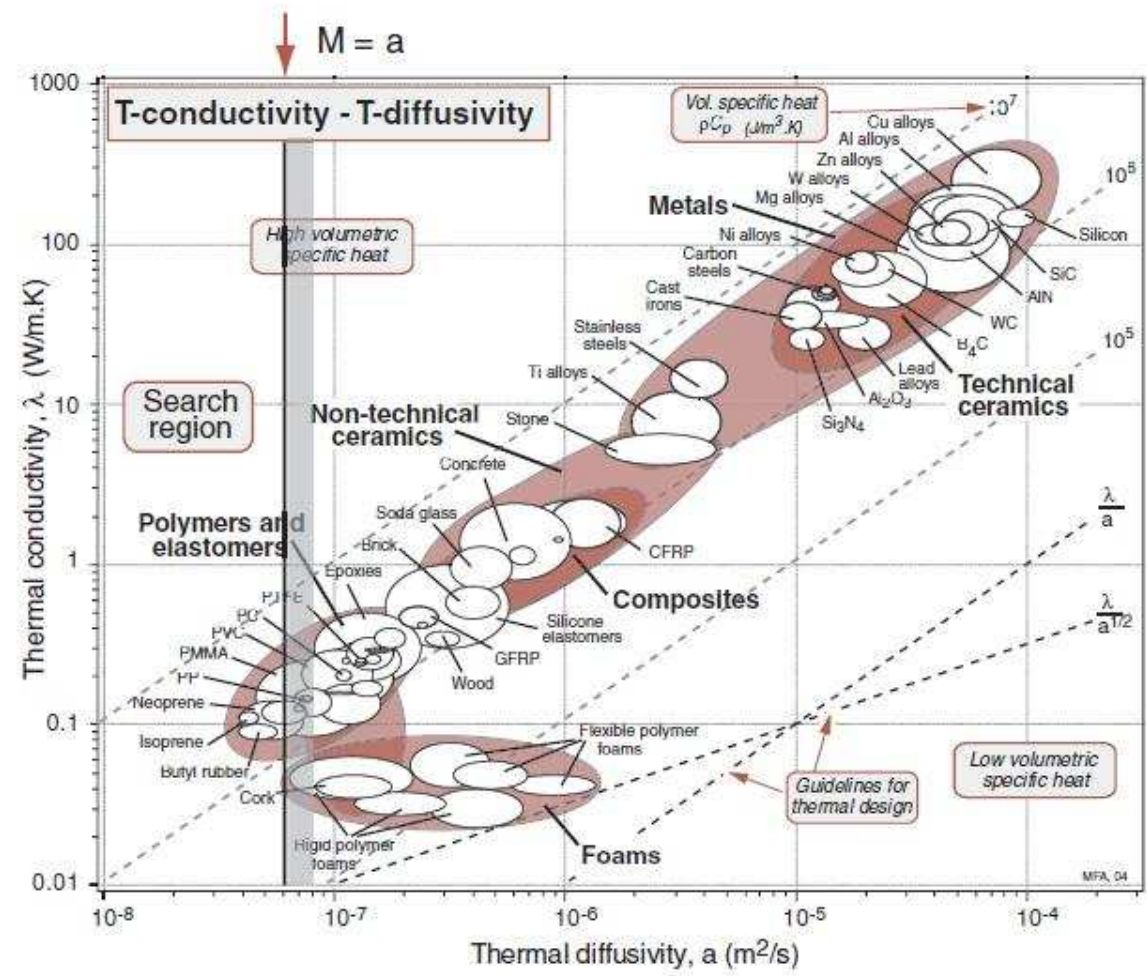
Model. (w) duvar kalınlığında ve λ termal iletkenliğinde muhafaza ve modelize edeceğiz. q duvar boyunca ısı akışı, öncelikle Fick in ilk kanunuyla verilen sağlam kısım denklemi kurulmalıdır.

Fick's first law:

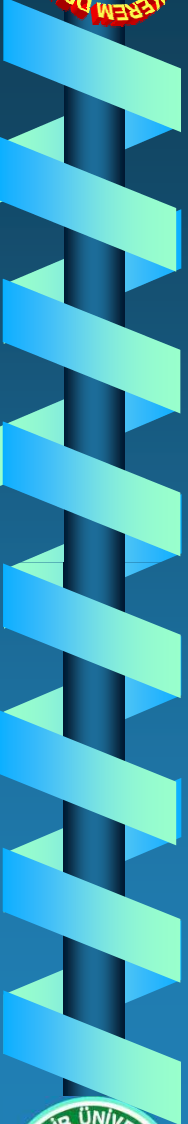
$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} = \lambda \frac{(T_i - T_o)}{w}$$

Burada ; T_o dış yüzey sıcaklığı iken; T_i iç yüzey sıcaklığı ve dT / dx Sıcaklık gradyanıdır. Burada serbest değişken sadece λ **termal iletkenliktir**. Mümkün olan en küçük λ değerleri duvar malzemesinin seçimi ile ısı akışı minimize edilecektir.





Materials for short-term isothermal containers. Elastomers are good; foams are not.



Şekil te λ -a kartı bunun gerçekten **bir köpük** olduğu görülüyor. Fakat cevabın daha önceden de yanlış olduğunu söylemiştik. İç duvar sıcaklığı fark edilir düzeyde değişmeden önce, duvar boyunca ısı akışını minimize edecek tasarım zamanından söz edemeyiz. Ancak bir cismin yüzey sıcaklığı aniden düştüğünde içeriye doğru bir (**a**) sıcaklık dalgasından söz edebiliriz. x mesafe ise; yaklaşık $x = (2at)^{1/2}$ lik zaman içerisinde nüfuz edecektir. Burada (**a**) **termal yayılım**;

$$a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$$

olarak tanımlanır. ρ yoğunluk ve C_p ısıl katsayıdır.



w duvar kalınlığı ve **a** cinsinden

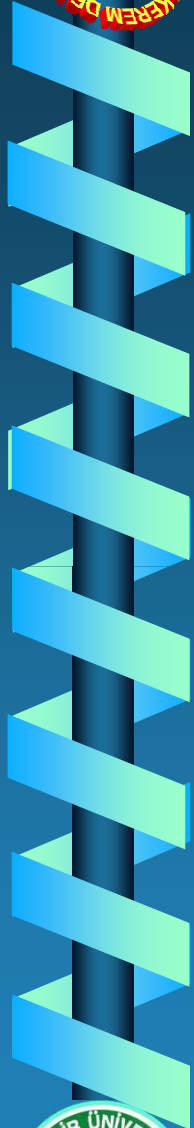
$$t \approx \frac{w^2}{2a}$$

denklemini verir. Buradan λ iletkenliği değilde (**a**) termal yayılımının en küçük değeri seçilerek; zaman maximize edilir.





BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

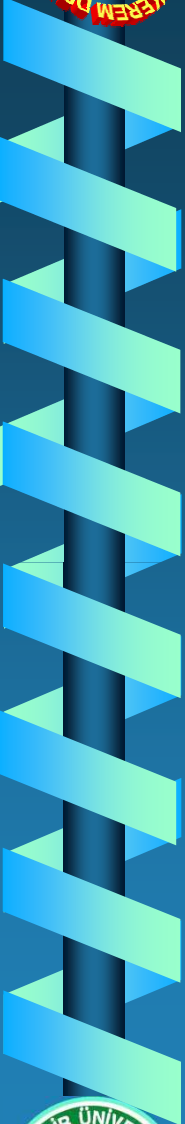


Materials for short-term thermal insulation

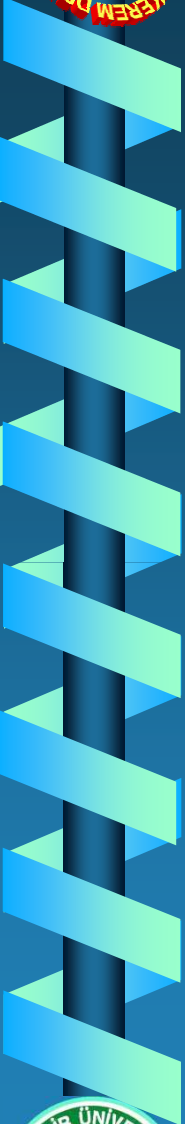
Material	Comment
Elastomers: Butyl rubber, neoprene and isoprene are examples	Best choice for short-term insulation
Commodity polymers: polyethylenes and polypropylenes	Cheaper than elastomers, but somewhat less good for short-term insulation
Polymer foams	Much less good than elastomers for short-term insulation; best choice for long-term insulation at steady state

Kısa Süreli termal izolasyon için Malzemeler

Malzeme	Yorum
Elastomerler: Butil kauçuk, neopren ve isopren örnekleri	Kısa süreli izolasyon için en iyi çözüm
polimerler: polietilenler ve polipropilenler	Elastomerlerden daha ucuz fakat kısa zamanlı izolasyon için daha az iyi
Polimer köpükler	Kısa zamanlı izolasyon için elastomerlerden daha az iyi fakat uzun zamanlı izolasyon için en iyi çözüm



Seçim. Şekil de **köpüklerin** termal yayınımlı genellikle düşük olmadığı görülüyor. Çünkü hafif kütleye sahip olduklarından **ısıl kapasiteleri** de düşüktür. Katı polimer ve elastomerlerin ısı yayınımlının düşük olması oldukça büyük ısı katsayısına (**spesifik ısı**) sahip olmalarındandır. Paketleme olarak aynı kalınlıkta imal edilmiş **katı kauçuk, neopren** yada **izopren** ; polistren köpüğüne göre 10 kat daha fazla cihaz ömrü sağlamaktadır. Ayrıca polistren daha ağırdır. Tablo da sonuçlar özetlenmiştir. Okuyucu denklem i kullanarak 22 mm lik katı elastomerin şekil ten **$a = 5.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$** okunduğunu doğrulayarak, dış sıcaklık değişiminin 1 saatten fazla bir zaman aralığında iç sıcaklık değişimlerine müsaade edeceğini görecektir.



Dipnot. Bu uygulamanın daha iyisi yapılabilir. Marifet, **ısı absorpsiyonu** diğer yollardan sağlayabilmektir. Düşük sıcaklıkta ergiyen bir **balmumu**, örneğin **Ti** vericinin minimum arzulanan çalışma sıcaklığına eşdeğer bir sıcaklıkta katılaşması bulunmuş olabilir. **Gizli-ısı** kaybı olarak kullanılabilir. Paketleme içindeki kanallar sıvıyla doldurulur. Sadece iç sıcaklık arzu edilen çalışma sıcaklığının altına düştüğünde tüm sıvılar katılaşmış olmalıdır. Katılaşma gizli ısısı bu şekilde desteklenmek zorundadır. Büyük bir ısı katsayı ile verilen paketlemeyle kabul edilebilir. (Ti sıcaklığındaki) düşük ısı yayılımı elde edilir. Benzer fikrin tersi dondurucu paketlerde kullanılmaktadır.



ÖRNEK – 8 -

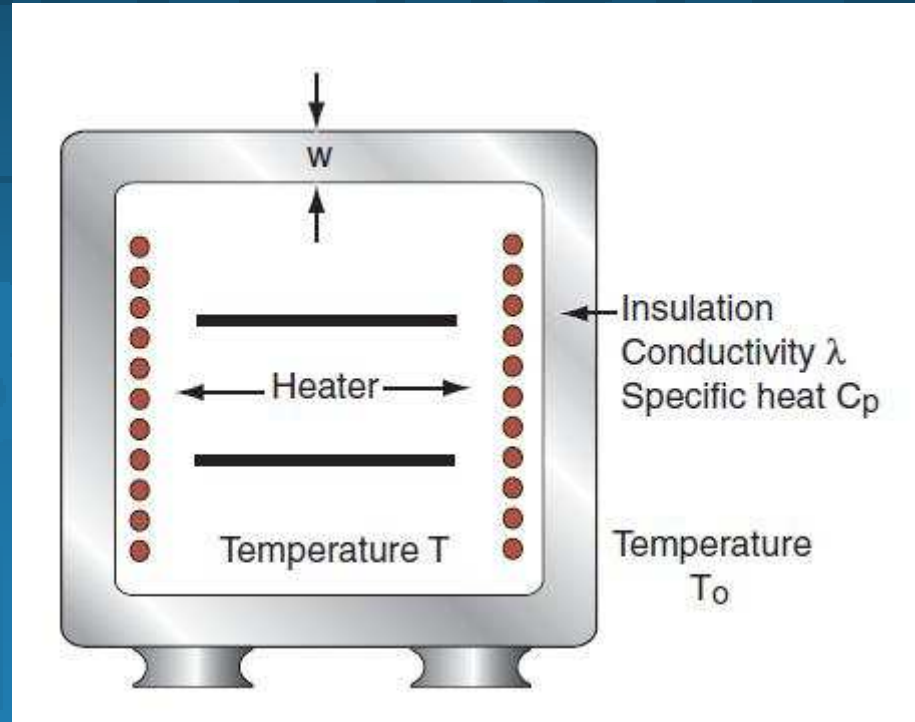
ENERJİ TASARRUFLU FIRIN DUVAR MALZEMESİ SEÇİMİ

Büyük bir çömlek fırınının ateş döngüsünün enerji maliyeti oldukça önemlidir. Enerji maliyetinin bir bölümü fırın duvarlarından iletim yoluyla kaybolur; bu durum düşük iletkenlikli duvar malzemesi seçilerek ve duvar kalın yapılarak önlenir. Geriye kalan enerji maliyeti fırını çalışma sıcaklığına yükseltmek için kullanılır; düşük sıcaklık kapasiteli duvar malzemesi seçilerek ve duvar ince yapılarak bu durum önenebilir.





Görünüşte çelişkili tasarım hedeflerini yakalayan bir **malzeme indeksi** var mı? Ve eğer varsa fırın duvarları için en iyi malzeme seçimi nedir? Seçim tablo gereksinimlerine dayalıdır.





Model : Fırın yandığında ,iç sıcaklığı T_0 , ortamdan daha hızlı yükselir , çalışma sıcaklığına , T_i , ateşleme için geçen süre t 'dir. Dediğimiz gibi ateşleme zamanında tüketilen enerjinin iki katkısı vardır.

Fırın duvarları için tasarım gereksinimleri

Fonksiyon

Fırın için ısı yalıtımı (çevrim ısıtma ve soğutma)

Sınırlamalar

Maksimum çalışma sıcaklığı 1000 °C
Alan sebepleri için mümkün olan fırın duvar kalınlığı sınırı

Amaç

Ateş çevriminde minimum enerji tüketimi

Serbest değişkenler

Fırın duvarı kalınlığı, w
Malzeme seçimi





İlk olarak **oluşan ısı** dışarı verilir; kararlı durumda ısı akış kanununun 1. kuralına göre iletim yoluyla birim alanda kaybolan ısı, **Q_1** , t zamanı için düzenlenirse;

$$Q_1 = -\lambda \frac{dT}{dx} t = \lambda \frac{(T_i - T_o)}{w} t \quad (6.53)$$

Burada **λ ısı iletkenlik**, **dT/dx sıcaklık gradyanı** ve **w** duvar yalıtım kalınlığıdır. İkinci katkı, sıcaklık fırın duvarları tarafından emilir **T_i** artar ve önemli olabilir. Birim alanda bu ısı ;





BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

$$Q_2 = C_p \rho w \left(\frac{T_i - T_o}{2} \right) \quad (6.54)$$

C_p duvar malzemesinin özgül ısı ve ρ yoğunluktur. Birim alanda tüketilen toplam enerji bu iki ısının toplamıdır.

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

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{\lambda(T_i + T_o)t}{w} + \frac{C_p \rho w (T_i - T_o)}{2} \quad (6.55)$$





Çok ince duvar iletim yoluyla daha çok enerji kaybeder ama, duvar kendisini ısıtmak için daha az enerji çeker. **Kalın duvarlarda ise** bunun tam tersidir.

Burada bir optimum kalınlık vardır. Denklem (6.54) ün duvar kalınlığı w 'ye göre türevini alıp ve çıkan denklemi sıfıra eşitlediğimizde bize optimum duvar kalınlığını verir.

$$w = \left(\frac{2\lambda t}{C_p \rho} \right)^{1/2} = (2at)^{1/2} \quad (6.56)$$





$A = \lambda/\rho C_p$ ısı yayılım katsayısıdır. $(2\alpha t)^{1/2}$ denklemini uzunluk ölçülerine ve ölçü mesafesinde ısı t zamanda yayılabilir. Denklem (6.56) der ki çoğu enerji tasarruflu fırın duvarı ateş döngüsünü tamamlama yaklaşımıyla gerçekten çok sıcak olmaya başlar. (w) ' yi yok etmek için geriye dönüp denklemi (6.55) ' te yerine koymak bize ;

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

$$Q = (T_i - T_o) (2t)^{1/2} (\lambda C_p \rho)^{1/2}$$

Q minimize edilebilir $(\lambda/\rho C_p)$ ifadesi küçük bir değere sahip malzeme seçilerek, böylece bu denklem maksimize olur ;





BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

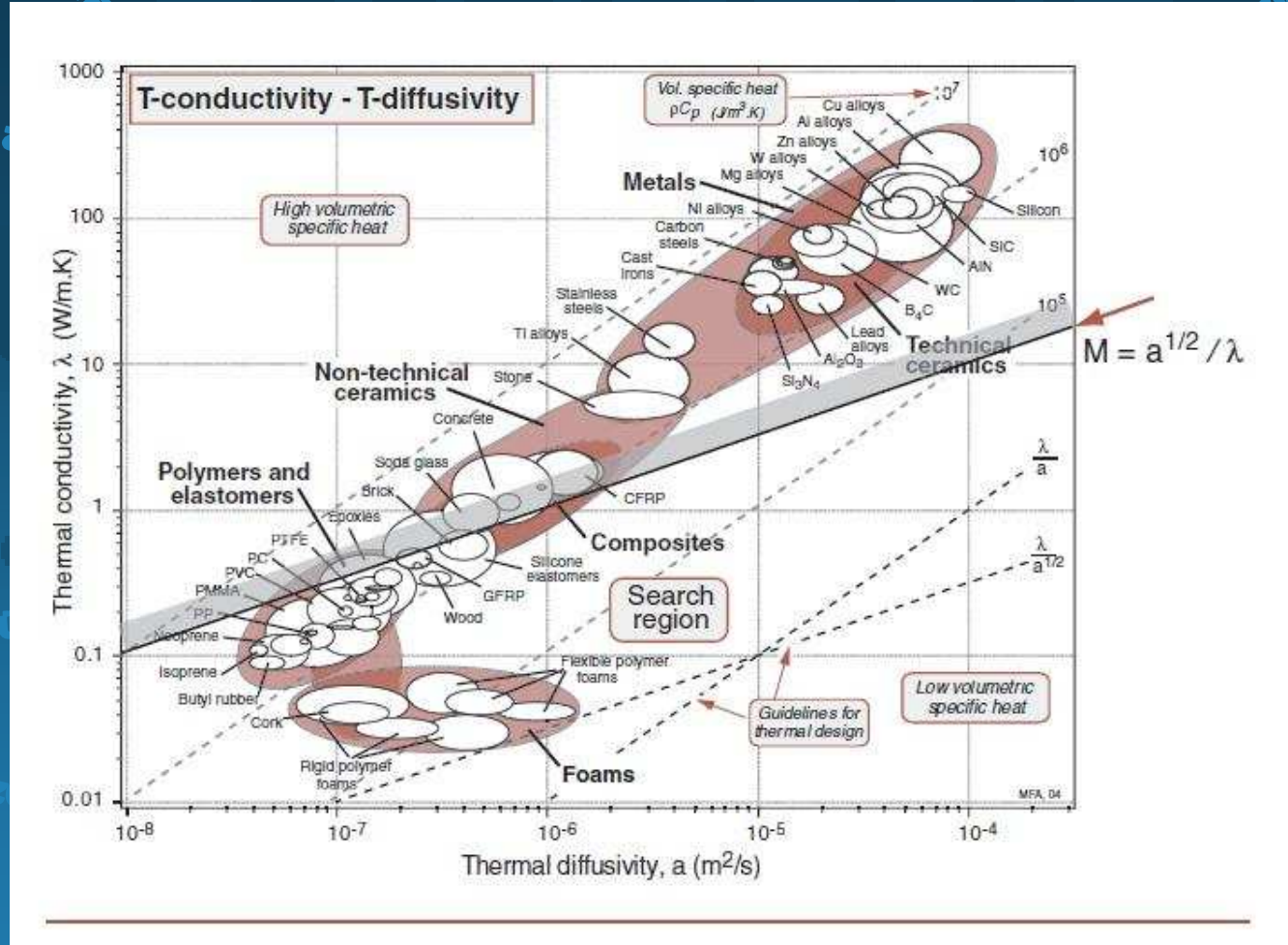
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

$$M = (\lambda C_p \rho)^{-1/2} = \frac{a^{1/2}}{\lambda} \quad (6.57)$$

Duvar kalınlığı **w'** yi yok ederek onun izini kaybedebiliriz, bu bazı maddeler için son derece geniş olabilir. Aday malzemeyi kabul etmeden önce (6.56) denklemini değerlendirerek duvarın ne kadar kalın yapılmış olabileceğini mutlaka kontrol etmeliyiz.

Seçim: Şekil ' da λ - α grafiği üzerine çizilen $M = \alpha^{1/2}/\lambda$ çizgisi bize gösterir ki **polimer köpükler**, **mantar** ve **kati polimerler** iyi, ama sadece iç sıcaklıkları 150°C den küçük olanlar için iyidir.





Fırın duvarları için malzemeler. Düşük yoğunluklu gözenekli ya da köpük gibi **seramikler** en iyi seçimdir.

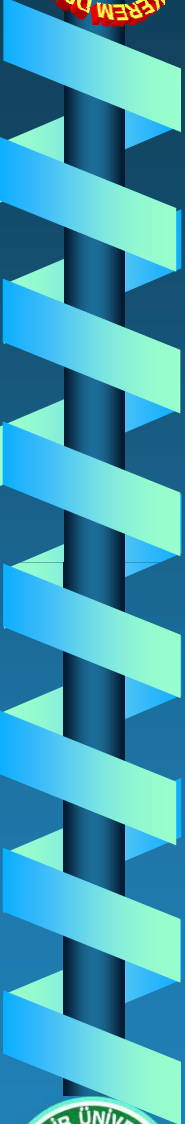


Gerçek fırınlar 1000°C gerektiren malzemelerle birlikte maksimum hizmet sıcaklığının üzerindeki değerde çalışır.

Materials for energy-efficient kilns

Material	$M = a^{1/2}/\lambda$ ($m^2K/W.s^{1/2}$)	Thickness w (mm)	Comment
Brick	10^{-3}	90	The obvious choice: the lower the density, the better the performance. Special refractory bricks have values of M as high as 3×10^{-3}
Concrete	5×10^{-4}	110	High-temperature concrete can withstand temperatures up to 1000°C
Woods	2×10^{-3}	60	The boiler of Stevenson's "Rocket" steam engine was insulated with wood
Solid elastomers and solid polymers	$2 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-3}$ 2×10^{-3}	50	Good values of material index. Useful if the wall must be very thin. Limited to temperatures below 150°C
Polymer foam, cork	$3 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-2}$	50-100	The highest value of M —hence their use in house insulation. Limited to temperatures below 150°C





Grafik bize **tuğlayı** önerir ama burada kalıcı kopya diyagramlarının sınırlaması ortaya çıkar, ateşe dayanıklı **tuğla** ve **beton** gibi özelleştirilmiş malzemeleri göstermeye yeterli oda yoktur. Sadece 68 yerine 3000 den fazla malzeme aramaya izin vererek.

Önceki Bölüm de ele alınan bilgisayar destekli yöntemlerle bu sınırlamanın üstesinden gelinebilir. Seçilen bir malzeme kabul edilebilir duvar kalınlığı denklem 6.55 ten hesaplanır.

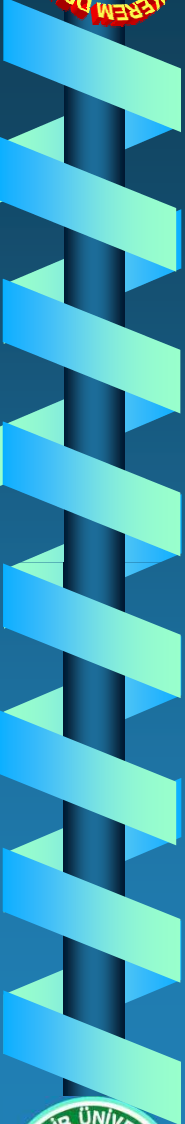
Tablo da 3 saatlik ateşleme zamanı için (yaklaşık 10^4 dakika) listelenir.



Dipnot: Verimli-tasarlanmış bir tuğla duvarında enerjinin çoğu duvarın kendini ısıtması için ısı iletim yoluyla çevreye kaybolur, bu genellikle istenmeyen bir durumdur.

Duvar kalınlığını fazla yapmak hatadır; küçük bir kısmı düşük iletim kaybı ile korunur, fakat çoğu fırının yüksek ısı kapasitesi ile kaybedilir. Köpükler iyidir bunun sebebi de düşük ısıl iletkenliğe ve düşük ısı kapasitesine sahip olmalarıdır.





Merkezi ısıtmalı evlerde ısının gece kapatılmış olması fırın duvarlarında olduğu gibi zararlı bir döngüdür. Burada (çünkü T_i düşük) en iyi seçim **polimerik sabunlar, mantar** veya **cam elyafı**'dır. (Bunların termal özellikleri sabunlar gibidir) Fakat bu konumdaki çalışma gösterir ki ısıyı gece kapatmak sizin düşündüğünüz kadar enerji korunumu sağlamaz, çünkü gündüz duvarın ısı kapasitesini karşılamak zorundayız.

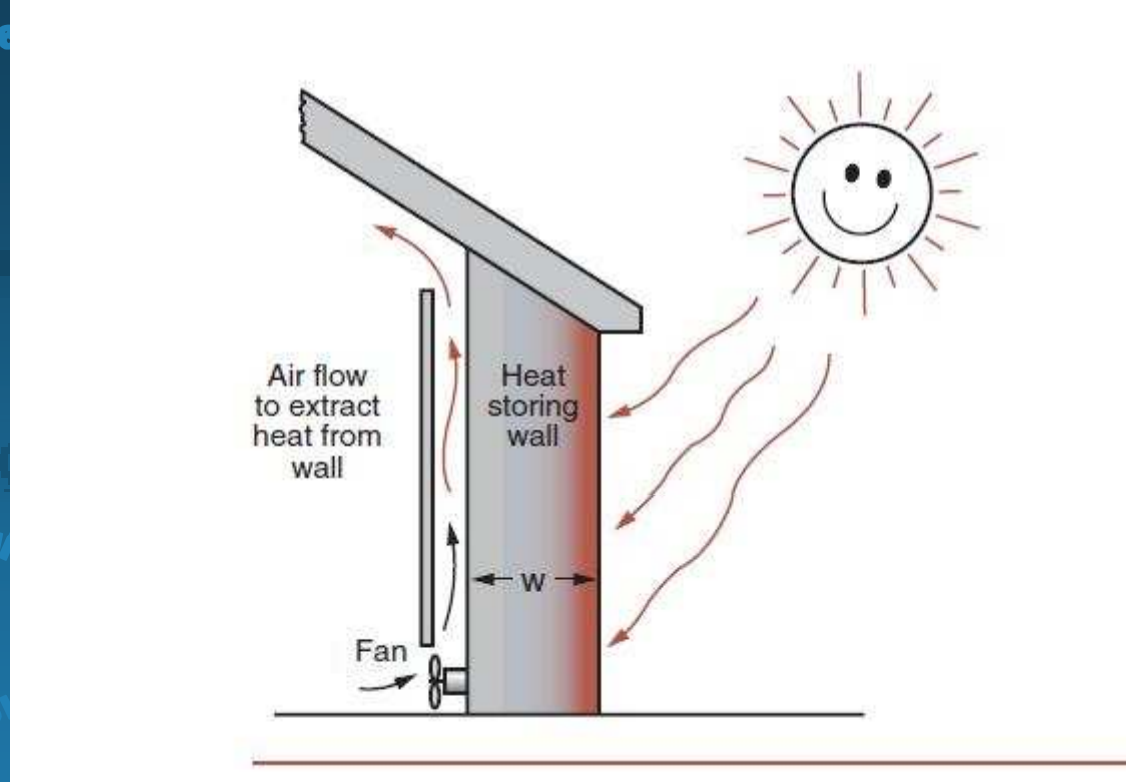


ÖRNEK – 9 -

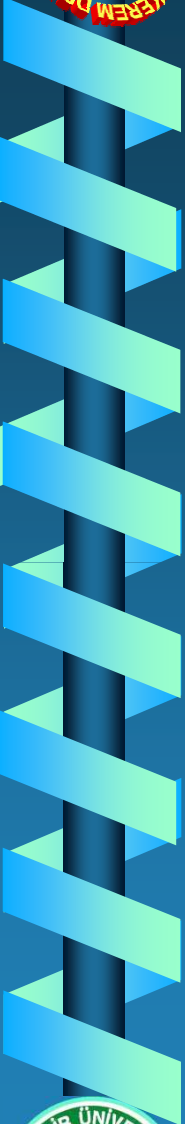
PASİF GÜNEŞ ENERJİSİ İÇİN MALZEME SEÇİMİ

Burada ev ısınmasında güneş enerjisini tutmak için bir dizi şemalar vardır; güneş pilleri, sıvı dolu ısı eşanjörleri ve katı ısı depolarıdır. Bunlardan en basiti ısı depolama duvarlarıdır; kalın duvarda gün boyunca direkt güneş alarak ısınan dış yüzey ve gece iç yüzey üzerine hava üflenerek ısı elde edilir. (**Bak şekil**) Bu şemanın zorunluluğu duvara ısı akışının zaman sabitinin yaklaşık 12 saat olmasıdır.





Isı depolama duvarı. Gün boyunca dışarıda güneş ışığındadır. Gece ısı içeriye verilir. Duvarın ısı difüzyon zamanı yaklaşık 12 saat olmalıdır.



İlk önce 12 saat boyunca iç yüzey ısınır, sonra güneş önce dış yüzeyi ısıtır, gündüz boyunca aldığı ısıyı gece dışarı verir. Duvarın $\frac{1}{2}=0,5$ m' den \geq olmamasını mimari sebeplerden dolayı sağlamak zorundayız. Hangi malzeme 12 saate kadar duvarda ısı difüzyonu korunumu yaparken ısı enerjisi tutumunu maksimize eder. Tablo gereksinimleri özetlemektedir.



BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

Design requirements for passive solar heating

Function	Heat storing medium
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Heat diffusion time through wall $t \approx 12$ h• Wall thickness ≤ 0.5 m• Adequate working temperature $T_{\max} > 100^{\circ}\text{C}$
Objective	Maximize thermal energy stored per unit material cost
Free variables	<ul style="list-style-type: none">• Wall thickness, w• Choice of material

Pasif güneş enerjisi için tasarım gereksinimleri

Amaç	Düşük maliyetli depolama
Sınırlamalar	<ul style="list-style-type: none">- Isı difüzyon zamanı $t \approx 12$ saat- Duvar kalınlığı $\leq 0,5$ m- Uygun çalışma sıcaklığı $T_{\max} > 100^{\circ}\text{C}$
Amaç	Tutulmuş termal enerjiyi maksimize etme maliyeti
Serbest değişkenler	<ul style="list-style-type: none">- Duvar kalınlığı w- Malzeme seçimi





Model: Duvarın birim alanda ısı kapasitesi , Q , ΔT sıcaklığı aralığında ısıtıldığında amaç fonksiyonu;

$$Q = w\rho C_p \Delta T \quad (6.58)$$

(w) duvar kalınlığı , ve ρC_p hacimsel özgül ısı (ρ yoğunluk, C_p özgül ısı) 12 saat zaman sabiti bir sınırlama dır.

$$w = \sqrt{2\alpha t} \quad (6.59)$$

α ısı yayılım katsayısıdır. Serbest değişken (w) elimine edilerek,





$$Q = \sqrt{2t} \Delta T a^{1/2} \rho C_p \quad (6.60)$$

Veya $\alpha = \lambda / \rho C_p$ gerçeğini kullanarak λ ısı iletkenliktir.

$$Q = \sqrt{2t} \Delta T \left(\frac{\lambda}{a^{1/2}} \right)$$

M değeri yüksek bir malzeme seçilerek duvarın ısı kapasitesi maksimize edilebilir.

$$M = \frac{\lambda}{a^{1/2}} \quad (6.61)$$

Bu ifade bir önceki çalışmadaki indeksin yerine geçebilir, karşılıklıdır.





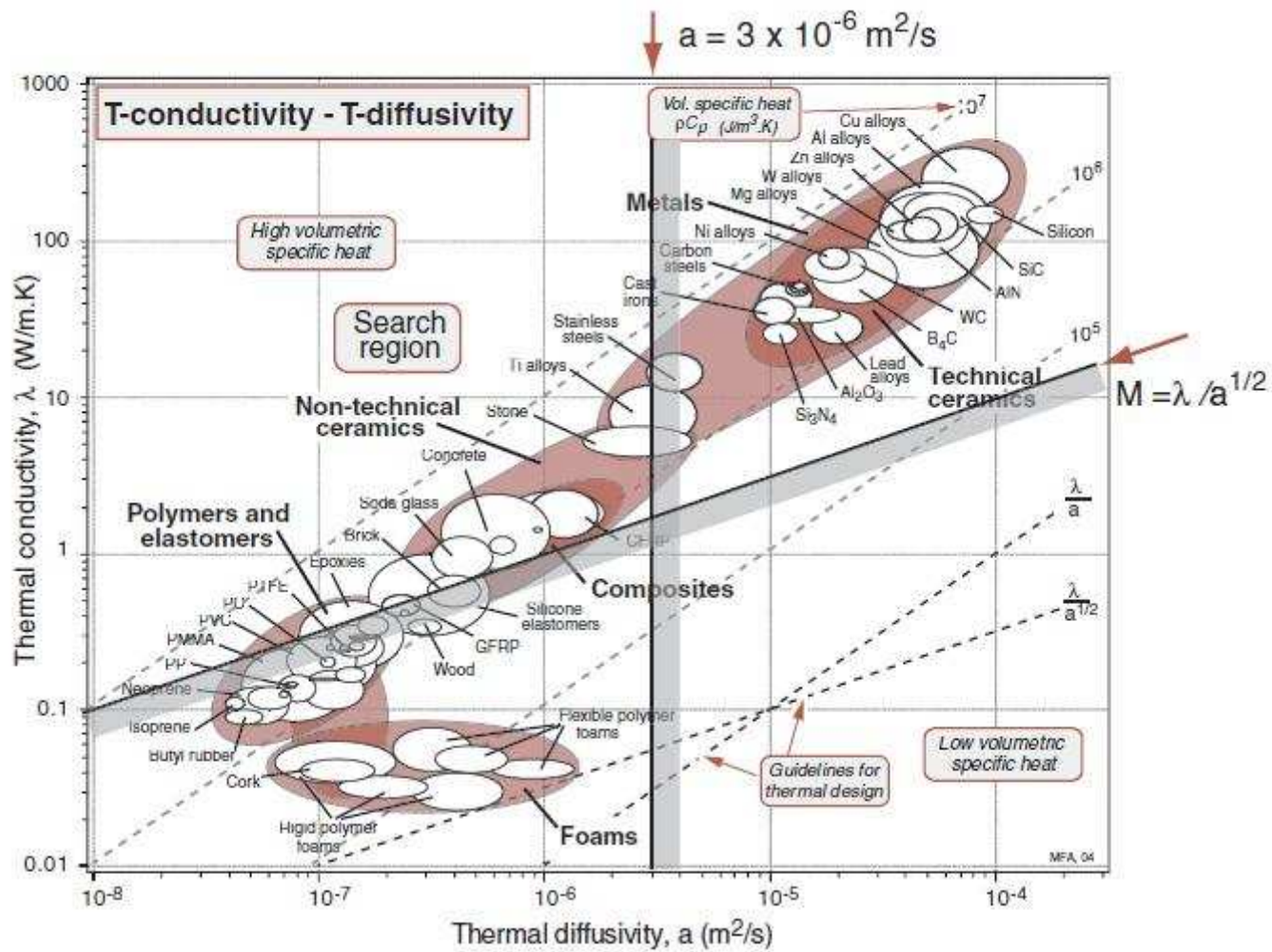
(**w**) kalınlığı üzerinde bir sınırlama gerektirir.

$$a \leq \frac{w^2}{2t}$$

$w \leq 0.5$ m ve $t = 12$ saat ($4 \cdot 10^4$ dak) ile biz bir sınırlandırmaya dayandırırız.

$$a \leq 3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (6.62)$$







Seçim : Grafik üzerinde λ ısıl iletkenliğine karşı α ve M çizgileri çizilir. Bu tablo da listelenen malzeme grubunu tanımlar.

Materials for passive solar heat-storage

Material	$M_1 = \lambda/a^{1/2}$ ($W.s^{1/2}/m^2.K$)	Approx. cost \$/m ³	Comment
Concrete	2.2×10^3	200	The best choice — good performance at minimum cost
Stone	3.5×10^3	1400	Better performance than concrete because specific heat is greater, but more expensive
Brick	10^3	1400	Less good than concrete
Glass	1.6×10^3	10,000	Useful — part of the wall could be glass
Titanium	4.6×10^3	200,000	An unexpected, but valid, selection. Expensive



...Pasif güneş ısı depolama için malzemeler

Malzeme	$M_t = \lambda / \alpha^{0.5}$ ($W.s^{0.5}/m^2.K$)	Yaklaşık maliyet \$/m ²	Yorum
Beton	$2,2 \cdot 10^4$	200	En iyi seçim. Minimum maliyette iyi performans.
Taş	$3,5 \cdot 10^4$	1400	Betondan iyi performans çünkü özgül ısı daha büyük, ama daha pahalı.
Tuğla	10^4	1400	Betondan daha hafif
Cam	$1,6 \cdot 10^4$	10.000	Kullanış-duvarın bir bölümü cam olabilir
Titanyum	$4,6 \cdot 10^4$	200.000	Uzunmadık ama geçerli seçim. Pahalı.

Tablo'dan görüldüğü gibi, **kati**'lar iyidir. Ama **içi süngerimsi** ve **köpüklü** olanlar iyi değildir.



BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

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



ÜNİVERSİTESİ



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