KONSTRÜKSİYON TEKNİĞİ-1
DERS NOTU

2022

İçindekiler

1. Makine mühendisliği tasarımı 2
1.1. Kavramlar 2
1.2. Makine mühendisliği tasarımında kullanılan yöntemler 5
1.3. Konstrüktör ve konstrüksiyon departmanı 7
2. Yaratıcı fikirler geliştirme yöntemleri 10
2.1. Benzetim yöntemleri 1
2.1.1 Doğal sistemlerin analizi yöntemi 1
2.1.2 Mevcut teknik sistemlerin analizi yöntemi 2
2.1.3 Benzerlik (Analoji) yöntemi 3
2.2. Sezgisel yöntemler 3
2.2.1. Beyin fırtınası 3
2.2.2. 635 Yöntemi 5
2.2.3. Sinektik Yöntemi 6
2.2.4. Delfi yöntemi 7
2.2.5. Galeri Yöntemi 8
2.2.6. Yöntemlerin birleştirilmesi 9
2.3. Mantıksal yöntemler 9
2.3.1. Fiziksel ilişkilerin sistematik incelemesi 9
2.3.2. Tasarım katalogları kullanma 10
2.3.3. TRIZ yöntemi 1
3. Kavramsal tasarım 36
3.1. Ürün geliştirme 36
3.1.1. Bir ürünün yenilik derecesi 36
3.1.2. Ürün yaşam döngüsü 37
3.1.3. Firma hedefleri ve ürün geliştirmeye etkisi 38
3.1.4. Ürün planlama 38

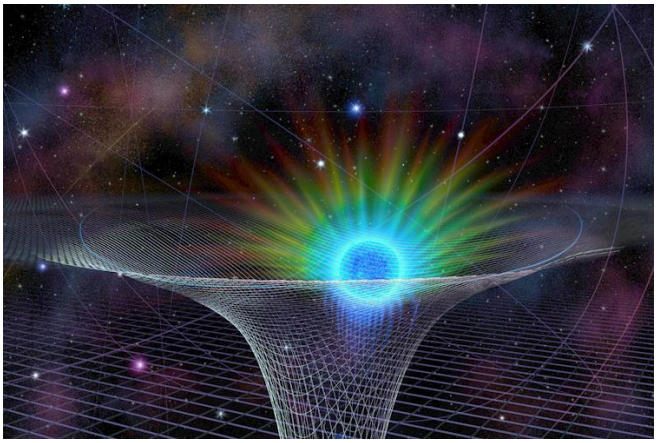
1. Makine mühendisliği tasarımı

1.1. Kavramlar

Bu bölümde tasarım sürecinde karşılaşılan genel kavramlar tartışılmaktadır, bunlar;

- Bilim	- Mühendislik	- Teknoloji	- İnovasyon
- Teknoloji	- İcat	- Ar-Ge	- Tasarım

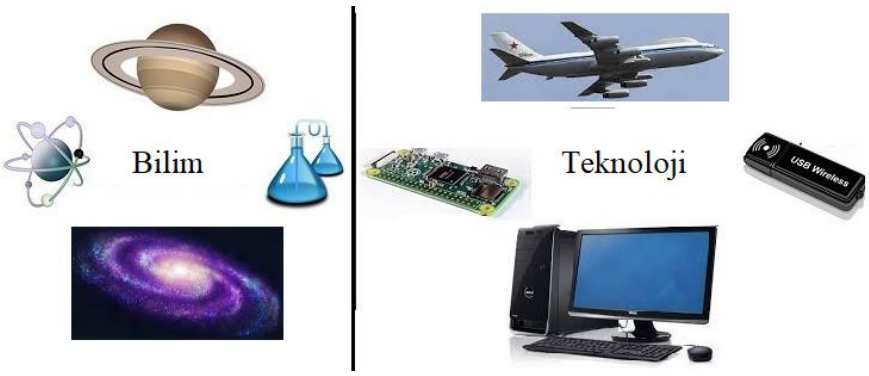
- Bilim, doğanın keşfedilmesi ve açıklanmasıdır. Bilim insanları bu amaçlarla doğada gözlenen bir olayı anlamak amacıyla çeşitli hipotezler geliştirir. Gözlem ve araştırma yoluyla bu hipotezin tutarlılığı sorgulanır. Hipotez tutarlılık söz konusu ise deney aşamasına geçilir. Bir bilimsel araştırmada farklı parametrelerle birçok deney gerçekleştirebilir. Deneylerin sonucunda gerçekliği ispatlanan hipotezlere kanun adı verilir.



Şekil 1.1. Einstein'ın Görelilik kuramının test edilmesi: S0-2 yıldızının (mavi ve yeşil nesne) Samanyolu'nun merkezindeki süper kütleli kara deliğe en yakın yaklaşımını yaparken gösteren kavramsal görüntü. Kara deliğin devasa yerçekimi alanı, uzay-zamandaki çarpık ızgara ile gösterilmektedir. (Nicolle R Fuller/Ulusal Bilim Vakfı)

Bilimin amacı toplumu olumsuz yönde etkileyen sorunlara rasyonel çözümler sunmaktır. Salgın bir hastalığı önlemek için aşı geliştirmek, günlük hayatı kolaylaştıran yeni cihazlar ve makineler icat etmek için genel prensipler ortaya koymak, bilimin temel amaçları arasında yer alır.

- Teknoloji, insanların gereksinimleri doğrultusunda doğayı yönlendirme bilgisidir. Bilim, yeni bilgiyi gözlem ve deney yoluyla metodik olarak araştırır. Teknoloji, bilimsel bilginin çeşitli amaçlar için uygulanmasıdır



Şekil 1.2. Bilim ve teknoloji.

Bilim ve teknoloji terimleri genellikle birlikte telaffuz edilir ve eşanlamlı olarak kullanılır.

Bilim, gökyüzünün neden mavi olduğu, yaprakların neden yeşil olduğu, yağışların neden oluştuğu, bitkilerin besinlerini nasıl ürettiği gibi faaliyetlerle uğraşır. Bu bilimsel bilgiler, insan ihtiyaçlarını veya problemlerini çözmek için uygulamaya konduğunda teknoloji olarak adlandırılır .

Kısacası, bilim teoriler, ilkeler ve yasalarla ilgilenirken, teknoloji tamamen ürünler, süreçler ve tasarımlarla ilgilidir.

- Mühendislik, matematik ve doğa bilimlerine ilişkin bir bilginin, insanlığın yararına ekonomik olarak kullanılmasının yollarını geliştiren meslek olarak tanımlanabilir. Mühendislik, yeni teknoloji yaratmak için bilgi ve kaynakları nasıl birleştirebileceğimizi açıklar.

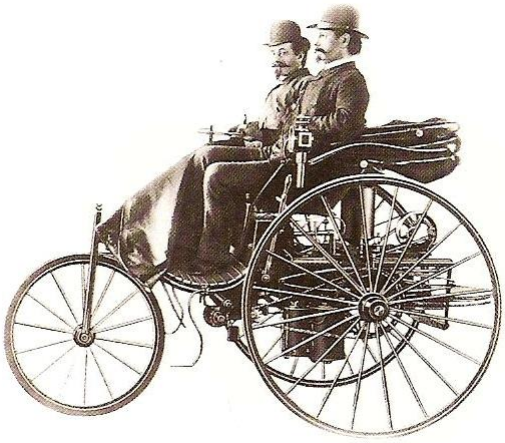
  Örneğin mühendislik bir cep telefonu gibi yeni bir ürün yapmak için harcanan çaba ise, teknoloji, bu çabanın sonucudur. Cep telefonu yeni bir teknolojidir.

- İcat, bir fikrin veya ürünün ilk defa ortaya çıkmasıdır.

  Türk Dil Kurumuna göre icat kelimesi "İlk defa yeni bir şey ortaya çıkarma" olarak tanımlanmaktadır.

  Genel olarak icat bilinen bilgilerden yararlanarak daha önce bilinmeyen yeni bir bulguya ulaşma veya yöntem geliştirme olarak tanımlamaktadır.

  - İcat, bir Ar-Ge faaliyeti değildir.
  - İcat, bir tasarım faaliyeti değildir.
  - İcat, bir inovasyon faaliyeti değildir.
  - Ancak bu faaliyetlerin içinde icat olabilir.



Şekil 1.3. Kendinden tahrikli ilk otomobilin genel görünüşü.

Otomobil ilk olarak soylu bir Fransız olan Nicholas Cugnot tarafından 1769 yılında icat edilmiştir (şekil 1.3). Bu otomobil üç tekerlekli idi, gücü çok büyük bir kazanından sağlanan buharla çalışan bir buhar makinesi tarafından sağlanmaktaydı. Hızı yaklaşık olarak 4,5 km/h idi ve her 20 kilometrede bir kazanın doldurulması gerekiyordu.

- Araştırma ve Geliştirme, Ar-Ge (R&D), bir şirketin veya kuruluşun bilim adamları ve mühendisler istihdam etmek suretiyle, şirketin çalışma alanı doğrultusunda yeni ürünler, prosesler ya da hizmetler geliştirmede bilim ve teknolojiyi kullanarak yaptığı çalışma ve faaliyetleri anlatmak için kullanılan yaygın bir terimdir.

Başka bir tanım ise, insan, kültür ve toplumun bilgisinden oluşan bilgi dağarcının arttırılması ve bu dağarcığın yeni uygulamalar tasarlamak üzere kullanılması için sistematik bir temelde yürütülen yaratıcı çalışmalardır.

Ar-Ge'nin başlıca amacı bilimsel ve teknolojik gelişmeleri kullanarak şirketlerin rekabet edebilirliğini sürekli olarak yenilemek ve artırmaktır.

- Ar-Ge faaliyetlerinin icat' tan farkı süreklilik içermesi ve sistematik faaliyetler olmasıdır.
- Ar-Ge faaliyetinin ticarileşmesi tasarım ve inovasyon faaliyetleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Ar-Ge türleri

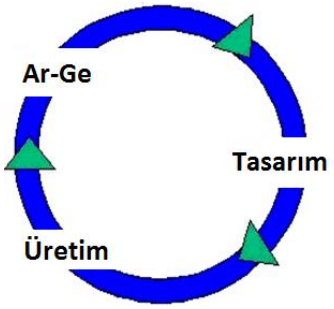
a. Temel araştırma, hipotez, teori veya yasaları formüle etmek ve test etmek amacıyla özellikleri, yapıları ve ilişkileri analiz eder.
   Örneğin, bilinen bir polimerleşme reaksiyonları sınıfının, ürünlerin veriminin, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin değişen koşullar altında incelenmesi, temel araştırmadır.
b. Uygulamalı araştırmalar, yeni bilgiler elde etme amacıyla yapılan özgün araştırmalardır. Bu araştırmalar, öncelikle belirli bir pratik amaç veya hedefe yöneliktir.
   Örneğin, belirli fiziksel veya mekanik özelliklere sahip (ve bu sayede özellikle çok yararlı hale gelen) polimerlerin üretimiyle ilgili olarak bu reaksiyonlardan birinin optimize edilmeye çalışılması, uygulamalı araştırmadır.
c. Deneysel geliştirmeler, pratikten veya deneysel çalışmalardan elde edilen mevcut bilgilerden yararlanarak yeni malzemeler, yeni ürünler ya da cihazlar üretmeye ya da halen üretilmiş veya kurulmuş olanları önemli ölçüde geliştirmeye yönelik sistemli çalışmadır.
   Örneğin, bu durumda deneysel geliştirme, laboratuvar düzeyinde optimize edilen işlemin "ölçeğini büyütme" ile polimerin olası üretim yöntemlerinin araştırılmasını değerlendirilmesini ve bir olasılık bu polimerden elde edilen ürünleri kapsar.

Tasarım, Ar-Ge ilişkisi

Sanayideki tasarım çalışmalarının büyük bir kısmı, üretim işlemi için kullanılmaktadır ve bu nedenle Ar-Ge olarak tanımlanamaz.

Ancak her tasarım çalışmasının Ar-Ge olarak kabul edilebilecek bazı unsurları vardır. Örneğin bir kaymalı yatağın konstrüksiyonunu yapmak bir tasarım çalışması örneğidir. Ancak aynı kaymalı yatağın güç kayıplarını en aza indirgeyecek çözümler geliştirmek Ar-Ge çalışmasıdır.

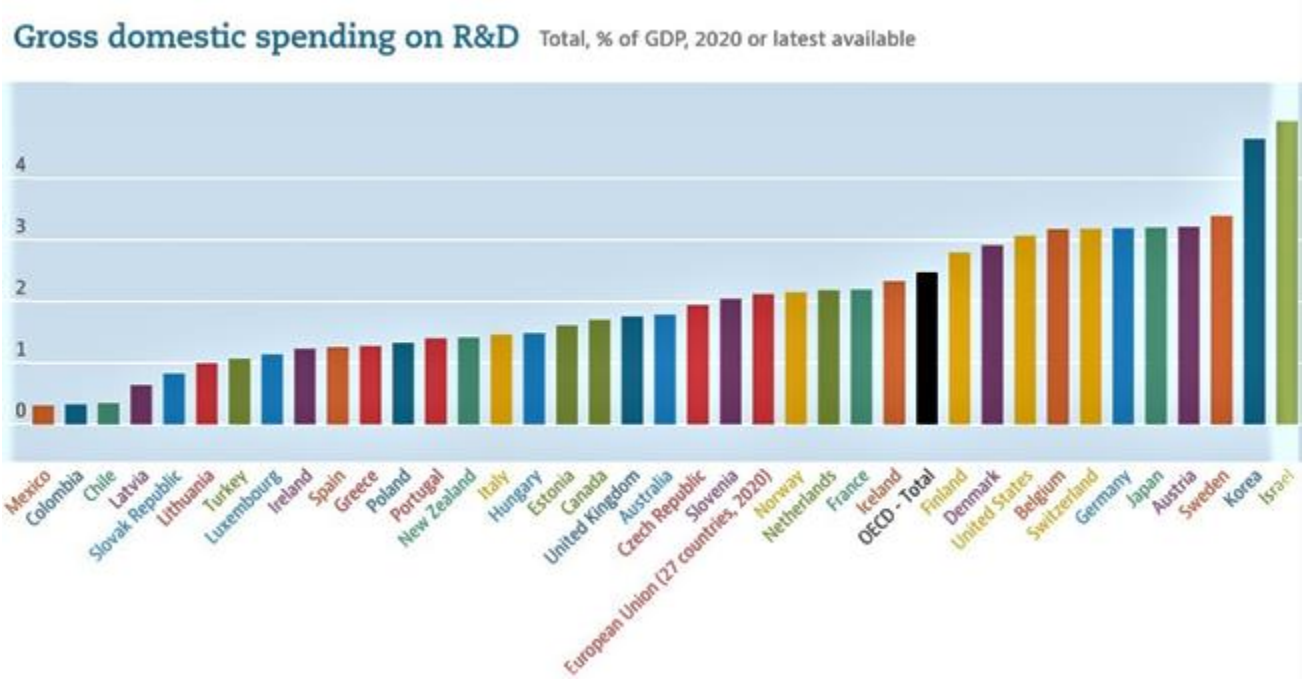
Bunlar yeni süreç ve ürünlerin tasarlanması, geliştirilmesi ve üretilmesi için gerekli, usulleri, teknik özellikleri ve işlem özelliklerini tanımlamayı hedefleyen planlar ve çizimleri kapsar.



Şekil 1.4. Ar-ge, tasarım ve üretim birbirleri ile ilişkili süreçlerdir.

Makine mühendisliği tasarımı sürecinde Ar-Ge faaliyetlerinin önemli bir yeri vardır. Genelde küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde (KOBİ) özel bir Ar-Ge departmanı bulunmamakta olup Ar-Ge ile ilgili sorunlarla genel "tasarım" başlığı altında ilgilenilmektedir. Eğer analizler, tasarımlar ve işletim talimatları, pilot tesisler ve prototiplerin oluşturulması ve işletilmesi için yapılmış ise, Ar-Ge'ye dâhil edilirler. Ürün standartlaştırmasının hazırlanması, gerçekleştirilmesi veya ürünlerin satışının artırılması için yapılan faaliyetler, Ar-Ge kapsamının dışında tutulmalıdırlar.

- İnovasyon, bir icadın pratikte uygulama bulması, ekonomik bir değere dönüştürülmesi veya kendi talebini oluşturmasıdır. Avusturyalı ekonomist Joseph von Schumpeter inovasyonu, kalkınmanın temel gücü olarak tanımlamıştır (1911, The Theory of Economic Development).
  Schumpeter, inovasyonun 4 farklı tipinden bahseder:
  - Yeni bir ürün/hizmet
  - Yeni bir üretim yöntemi/süreç
  - Yeni bir pazar/pazarlama yöntemi
  - Yeni bir örgütlenme biçimi



Şekil 1.5. OECD raporlarına göre 2020 yılında ülkelerin Ar-Ge harcamalarının, gayri safi milli harcama (GSMH) içinde yüzde olarak yeri.

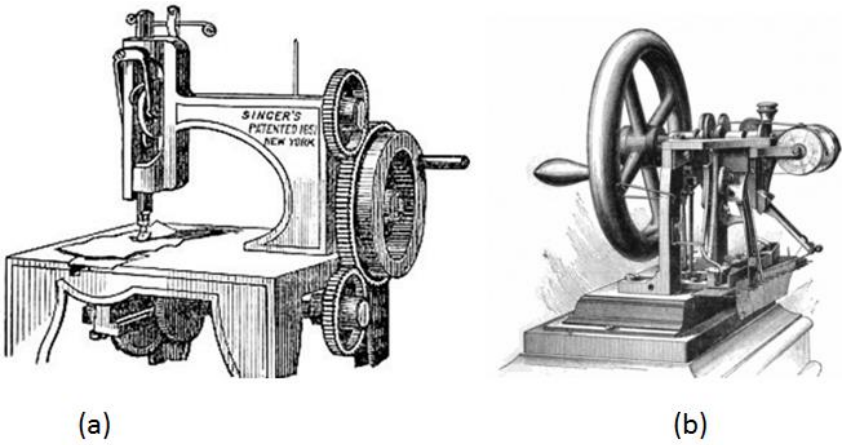
Oslo Kılavuzu/OECD, AB – 2005 tanımına göre inovasyon;

"Bir yenilik, işletme içi uygulamalarda, işyeri organizasyonunda veya dış ilişkilerde yeni veya önemli derecede iyileştirilmiş bir ürün (mal veya hizmet) veya süreç, yeni bir pazarlama yöntemi ya da yeni bir organizasyonal yöntemin gerçekleşmesidir."

- İnovasyon tek başına icat değildir.
- İnovasyon tek başına Ar-Ge değildir.
- İnovasyon sürekliliği olan bir faaliyettir.
- İnovasyon ile icat veya ar-ge arasındaki ilişki tasarımla kurulur.

Şekil 1.5 de verilmekte olan tabloda verilen değerler sadece harcama miktarlarını yansıtmakta olup, içerikleri, kaç adet patent üretilebildiği, ticarileşme miktarları oldukça önemlidir.

Dikiş makinalarını ilk olarak Isaac Singer değil, Boston'lu bir mucit olan Elias Howe icat etmiştir (şekil 1.6).



Şekil 1.6. İlk dikiş makineleri. Burada (a) Isaac Singer tarafından icat edilen makine, (b) Elias Howe tarafından icat edilen makinedir.

Ancak icadını inovasyona dönüştürmeyi başaramayan Howe, hem icat ettiği makineye isim verme hem de bundan milyarlarca dolar kazanma şansını kaybetmiştir.

Bu işi başaran Singer, dünyanın her tarafında, "dikiş makinesi" denince akla gelen isim olmuştur.

Singer bu inovasyonu, Howe' un dikiş makinesi için aldığı patentten yararlanarak yapmıştır.

- Tasarım, Türk Dil Kurumu sözlüğüne göre, bir sanat eserinin, yapının veya teknik ürünün ilk taslağı, tasar çizim, dizayn olarak verilmektedir.

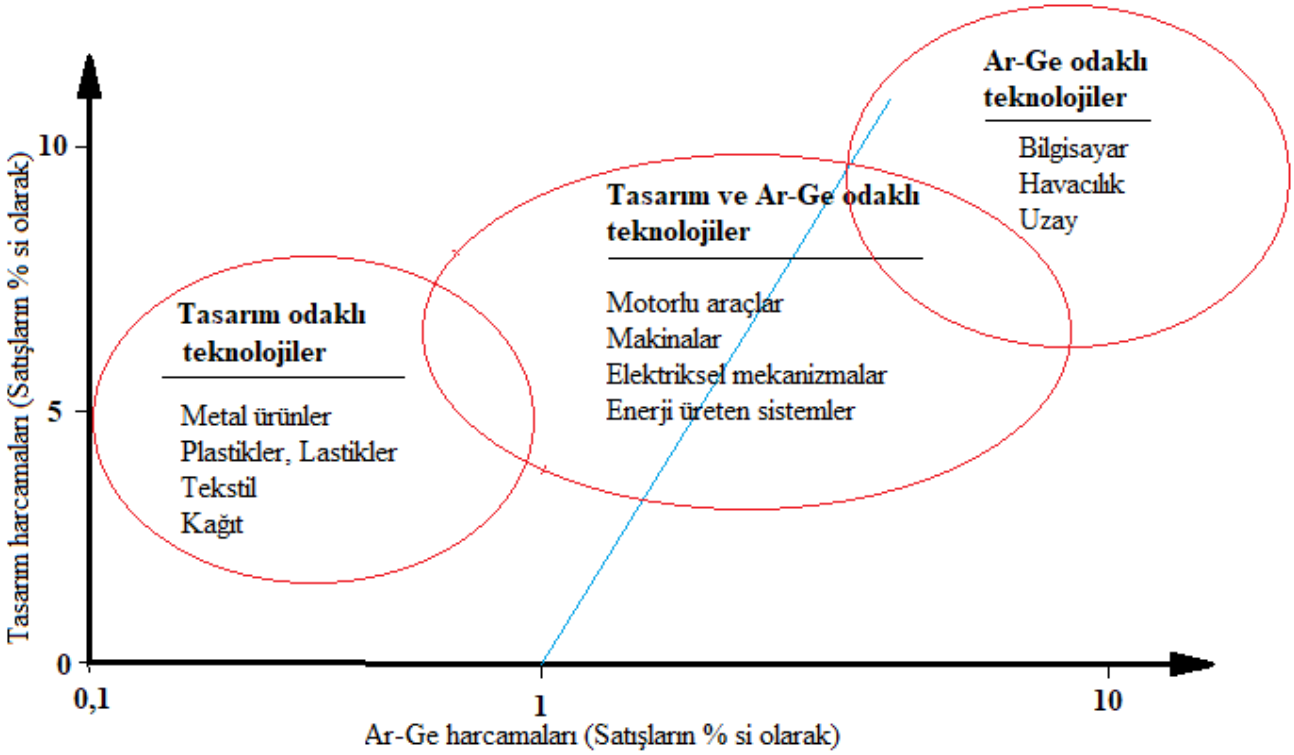
OECD, Technology and the Economy, The Key Relationships, 1992 tanımına göre, "Tasarım inovasyon sürecinin merkezidir, yani yeni bir ürünün zihinde canlandırıldığı, geliştirildiği ve prototip haline dönüştürüldüğü andır."

Şekil 1.7. Firmalar zaman zaman yeni teknolojilerini uygulamak ve piyasa beklentilerini algılamak için konsept tasarımlar oluşturup bunlara ait prototipleri üretirler. Ancak bu ürünler günlük kullanım için üretilmez.

Şekil 1.8. Tasarımlar güncel teknolojilere paralel olarak farklılıklar içermektedir.

Tasarım-teknoloji ilişkisi,

- Tasarım, bilim, teknoloji ve kullanıcı arasındaki bağlantıyı sağlar.
- Yeni teknolojilere dayalı ürün ve hizmetlerin kullanıcı tarafından kabul görmesini sağlar.
- Düşük teknolojili sektörlerde tasarım kendi başına etkili bir inovasyon tetikleyicisidir.



Şekil 1.9. Sektörlere göre Ar-Ge ve tasarım yatırımları (2005)

1.2. Makine mühendisliği tasarımında kullanılan yöntemler

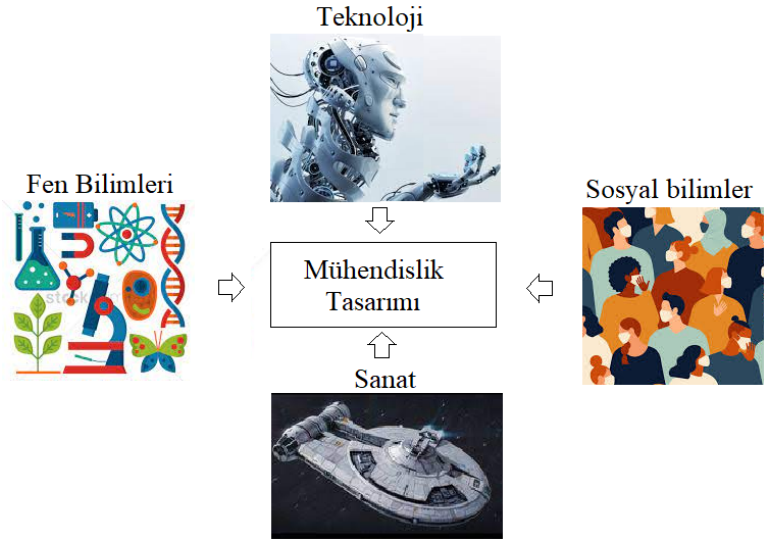
Makine mühendisliği tasarımı, "Alman Mühendisler Birliği (VDI)" ne göre esas itibarı ile yaratıcı olan, bilim ve deneyimlerden elde edilen bilgiler üzerine inşa edilen ve optimal bir çözümü amaçlayan bir uğraşıdır. Bu uğraşı, teknik sistemin fonksiyonel ve yapısal tasarımından, maddesel gerçekleştirilmesi için gerekli teknik dokümanların hazırlanmasına kadar giden bütün operasyonları içerir.

Makine mühendisliği tasarımının amacı toplumsal ve ekonomik ihtiyaçların ortaya çıkardığı çok değişik türde ürün ve teknik yapıtların meydana getirilmesidir.

Tasarımda dört temel kural vardır, bunlar;

a. Yaratıcılık; Önceden var olmayan ya da tasarımcının zihninde var olmayan bir şey oluşturma gerektirir
b. Karmaşıklık; Birçok değişken ve parametreler üzerine kararlar gerektirir
c. Seçim; Temel kavramlardan şeklin en küçük ayrıntısına kadar, her düzeyde birçok olası çözümler arasında seçim yapmak gerektirir
d. Uzlaşma; Birden fazla sayıda ve bazen birbirleri ile çelişen gereksinimleri dengeleme gerektirir.

Mühendislik tasarımı uğraşı sosyal, bilimsel, ekonomik ve sanatsal olmak üzere yaşamın bütün alanlarını etkiler ve bunlardan etkilenir.



Şekil 1.10. Konstrüksiyon farklı disiplinlerle etkileşimli yapıda bir faaliyettir.

Yaklaşık 50 yıllık bir zaman dilimi öncesine kadar makine mühendisliği tasarımı, mühendislik biliminden çok bir sanat dalı olarak kabul ediliyordu. Günümüzde ise metodik bir yapı olarak gelişmiş ve teknik bir süreç haline dönüşmüştür.

Makine mühendisliği tasarımında, bilim ve teknoloji seviyesine göre, imkanlara göre ve üründen beklentilere göre bazıları aşağıda açıklanmakta olan farklı tasarım yöntemleri kullanılmaktadır.

a. Sistematik konstrüksiyon yaklaşımı

Pahl ve Beitz, konstrüksiyon için sistematik bir yaklaşım önermiş ve öğrencileri Feldhusen ve Grote bu yaklaşımı daha da geliştirmişlerdir. Bu araştırıcılarında iştirak ettiği bir çalışma grubu tarafından da sistematik konstrüksiyon adımları "Alman Mühendisler Birliğince", (VDI) benimsenmiştir.
Sistematik konstrüksiyon prosesi, bilimsel temeller ve izlenmesi gereken kurallar ortaya koymaktadır.
VDI yönerge 2222' de teknik ürünlerin kavramsal tasarımı için bir yaklaşım ve ayrı ayrı yöntemler tanımlanır ve bu durum kullanışlı yeni ürünlerin geliştirilmesi için uygundur.
VDI yönerge 2221' de ise, mekanik, kontrol, yazılım ve proses mühendisliği alanlarında teknik sistem ve ürünlerin tasarımında uygulanabilir genel bir yaklaşım önerilmektedir. Burada önerilen tasarım süreçleri aşağıda verilmektedir.

- Kavramsal Tasarım Süreci; Bu süreçte ön tasarım yapılır, kavram geliştirilir,
- Şekillendirme tasarımı süreci; Bu süreçte seçilen kavram daha fazla somutlaştırılır ve detaylandırılır, malzemeler ve üretim prosesleri seçilir, yani konstrüksiyon yapısı oluşturulur

- Detay Tasarım Süreci; Parçaların düzen, biçim, boyut ve yüzey özellikleri optimize edilir, detaylı teknik resimler çizilir, üretim olanakları değerlendirilir, maliyetler tahmin edilir ve gerekli tüm dokümanlar hazırlanır.

Sistematik konstrüksiyon yaklaşımı, orijinal tasarımların geliştirilmesinde en uygun tasarım yöntemidir. Ancak bu yöntemde tasarım maliyetleri yüksek süreç daha uzundur.

b. Tersine mühendislik (Reverse engineering)

Tersine mühendislik günümüzün yoğun rekabetçi küresel pazarında, tüm müşteri beklentilerini karşılayan yeni ürünleri ekonomik olarak geliştirmek ve tedarik sürelerini kısaltmak için kullanılmaktadır. Tersine Mühendislik mevcut olan mamul parçadan yararlanılarak bir ürünün tasarlanarak imal edilmesine yönelik çalışmaların bütünüdür.

Tersine mühendislikte temel faaliyetler aşağıdaki gibidir,

- Veri toplama: Bir ürün üzerinden 3D koordinat ölçme cihazları vb yollarla veri toplama
- Veri Modelleme: Bu adımda tasarımcılar, nesnenin geometrik ve operasyonel koşullarının tüm ayrıntılarını temsil eden dijital modeller oluştururlar.
- İmalat: Oluşturulan model üzerinde imalat proseslerini ve imalat sıralamasını belirleyerek ürünü yeniden oluşturma.

Tersine mühendislik aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır,

- Yeni parça tasarımı: Fiziksel modelden tasarıma geçiş
- Bir parçanın kopyalanması: Çizimi yapılamayan parçalar
- Hasar tamiri: Yüzeyde gelişimler

c. Eşzamanlı Mühendislik (Concurrent engineering)

Eşzamanlı Mühendislik, farklı disiplinlerden bir çok kişinin bir araya gelip, ürün tasarımında ve süreç seçimlerinde birlikte karar vermesidir. Bu yaklaşım sorunsuz bir şekilde daha kısa bir zamanda kaliteli ürün tasarim ve üretimini mümkün kılar.

1.3. Konstrüktör ve konstrüksiyon departmanı

Makine mühendisliği tasarımı konstrüktör tarafından yapılmaktadır.

Şekil 1.11. Türkiye de, kendi alanında ilk olan ve 1986 yılında üretilen, çelik paletli, darbe emici hidrolik salıncak süspansiyonlu yürüyüş sistemi olan, çok amaçlı, zemin delme makinası (Tasarım: Dr. Boğoçlu, M.E.)

Konstrüktör (makine mühendisliği tasarımcısı), mühendislik bilimlerine hakim, entelektüel kişiliğe sahip, çevresine ilgi duyan, tasarım gücü ve yaratıcılığı olan ve bu bilgi ve yeteneklerini kullanarak makine mühendisliği tasarımı işlemini üstlenip gerçekleştiren kişidir.

Bilgi Düzeyi	**Yetenekler**	**Kişilik özellikleri**
Genel Bilgiler: Yabancı dil, tarih, coğrafya, iş hukuku, iş psikolojisi, teknik estetik, ergonomi, vb.	Zekâ, hafıza, lojik düşünme, analiz ve sentez, ekonomik düşünme, tasavvur etme, metodik çalışma, icat, gözlem, açık ve doğru anlatabilme ve yazabilme, ikna, vb.	Enerjiklik, dayanıklılık, sakin karakter, güçlü irade, dürüstlük, güvenilirlik, sorumluluk taşıyabilme, geniş ufukluluk, kendine güven, ekip çalışmasına yatkınlık, sürekli kendini yenileme isteği, yüksek sosyal bilinç, vb.
Temel Bilimler: Matematik, fizik, kimya, biyoloji, vb.		
Mühendislik Bilimleri: Mekanik, mukavemet, termodinamik, akışkanlar mekaniği, otomatik kontrol, malzeme bilgisi, imal usulleri, vb.		

Tablo 1.1. İdeal konstrüktörde bulunması gerekli özellikler (HUBKA).

Konstrüktörün tasarım sürecindeki faaliyetleri tablo 1.2' de verilmektedir.

a. Doğrudan tasarım faaliyetleri	**b. Dolaylı tasarım faaliyetleri**
Çözüm prensiplerinin araştırılması	Bilgi toplama ve işleme.
Tasarımı somutlaştırma	
Tasarımı detaylandırma	Toplantılar düzenleme, personeli koordine etme
Hesaplama, sunma ve bilgi toplama.	

Tablo 1.2. Konstrüktörün temel faaliyetleri

Konstrüktörün tasarım faaliyetleri için farklı kaynaklardan bilgiler toplaması gereklidir (tablo 1.3).

Ön araştırmaların sonuçları	Çevre ile ilgili standartlar
Deneylerin sonuçları	Teknik standartlar
Araştırma raporları	Tekrar tekrar kullanılan parçalar kataloğu
Sorular kataloğu veya talepler ve kriterler listesi	Patentler
Literatür	Pazarlama şart ve talepleri
Konstrüksiyon yönergeleri	Resmi dairelerin şartnameleri
Kalite ve güvence ile ilgili standartlar	Rakiplerin katalog ve benzer evrakları

Tablo 1.3. Konstrüktörün bilgi edinme kaynakları.

Makine mühendisliği tasarımı (konstrüksiyon) departmanı tarafından gerçekleştirilmektedir. Konstrüksiyon departmanı, günümüzün sürekli değişen bilim ve teknoloji ortamında, her şirketin teknolojisini geliştirip rekabetçi bir yapıda yoluna devam edebilmesi için çok büyük önem taşımaktadır.

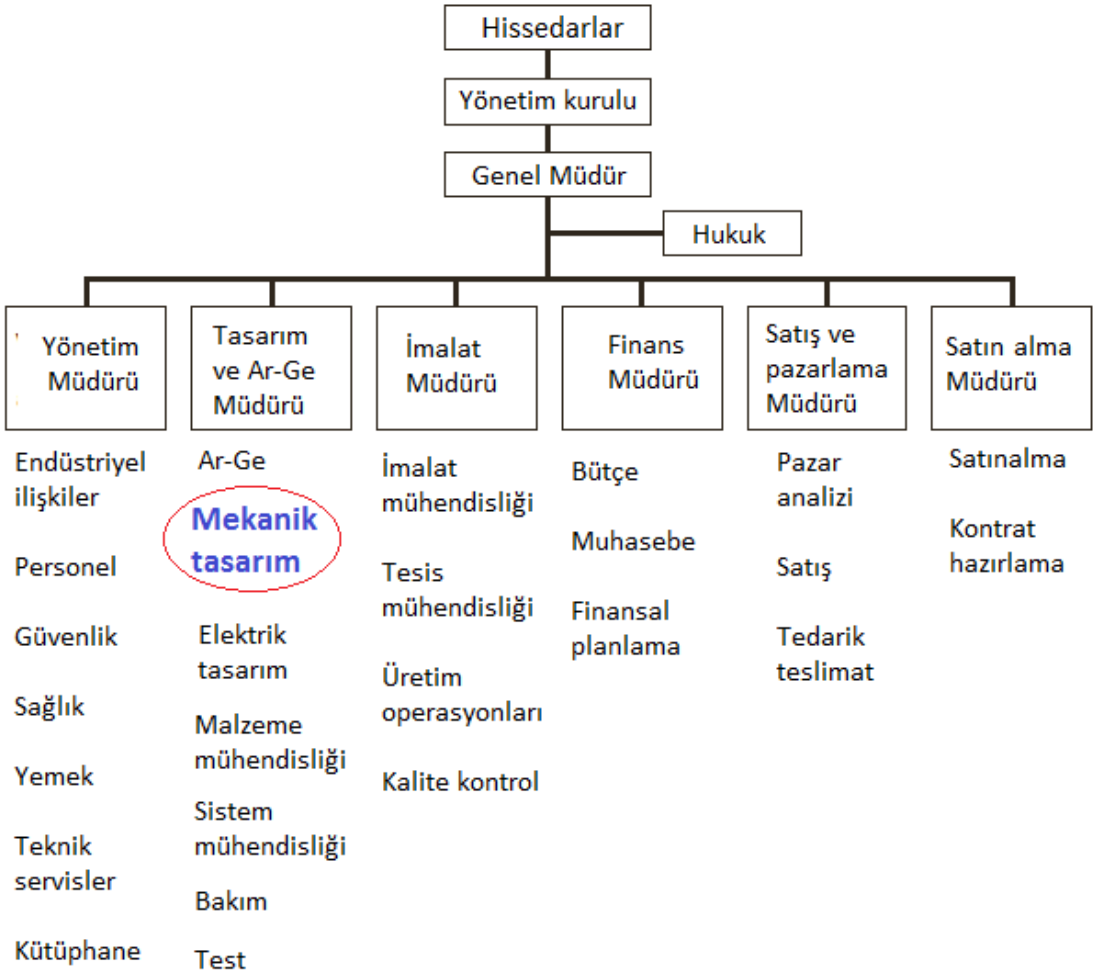
Ayrıca bir ülkede konstrüksiyon departmanı olan şirketlerin artması ülkenin gelişimi için kritik önemdedir. Global ekonomide birçok şirket kendi ülkelerinin sürekli geliştirilmesi için tasarım ve Ar-Ge faaliyetlerini üretimlerin gerçekleştirildiği ülkeler yerine kendi ülkelerinde yapmaktadır.

Dolayısı ile üretim alanları ile tasarım alanları farklı ülkelerde ve bölgelerde olabilmektedir.

Şirketlerde konstrüksiyon bölümünün yaptığı faaliyetlerin faydaları aşağıdaki gibi verilmektedir.

- Ürünlerin performansını artırır
- Maliyetleri azaltır
- Pazara arz süresini kısaltır
- Şirketin rekabet gücünü arttırır

Bir şirketin genel organizasyonu için örnek bir organizasyon şeması şekil 1.12' de verilmektedir. Bu şema içinde çoğunlukla tasarım ve Ar-Ge aynı departman olarak verilmektedir.



Şekil 1.12. Günümüzde bir şirketin genel organizasyon şeması

2. Yaratıcı fikirler geliştirme yöntemleri

İnsan beyninde orijinal fikirlerin gelişme mekanizmasını anlamak için iki olguyu tanımlamak gereklidir,

- Analitik düşünce (analizler)
- İç görü (insight)

Analitik düşünce

Evrensel anlamda, analitik ve yaratıcı düşünme, farklı beceri setlerine dayanan problem çözme yeteneklerini kullanır. Birçok insan farklı durumlarda ve hatta aynı anda hem analitik, hem de yaratıcıdır.

Analitik düşünme, bir araştırmayı, kullanılabilir iç görülere bölebilir ve böylece yaratıcı sürece rehberlik eder.

Örneğin hem yaratıcı hem de analitik olan bir kişi, yeni bir tasarım üzerinde çalışırken, son tasarımlarının sonuçlarını, neyin işe yarayıp neyin yaramadığını anlamak için analiz edebilir. Daha sonra bu bilgileri yeni tasarım fikirlerini beslemek için kullanabilir.

İç görü

Tüm tasarımlar, ilk temel olan iç görü ile başlar. Tasarım, doğası gereği empatik bir girişimdir, çünkü neredeyse her zaman başkası için yapılır.

Tasarımcılar, başkalarının ne düşündüğünü, hissettiğini anlamak ister. İç görü, insanları anlamanın anahtarıdır.

İç görüyü arttıran yaklaşımlar, (geliştirilebilir)

- Iraksak düşünme ; Örneğin bir ayakkabının, plastik bardağın kaç farklı kullanımı olabilir.
- Devamlı yeni şeyler deneme; Zihni belli kalıplardan çıkarıp yeni yollar, yeni tasarımlar vb. denemek. Bakış açısını sürekli değiştirmek.
- Beyin fırtınası vb. yöntemler
- Eleştiri: Fikirler eleştiri ve değerlendirme yapanların yetkinlikleri oranında gelişir.

İç görüyü azaltan yaklaşımlar,

- Analitik düşünce, analizler
- Aynı bakış açısını devam ettirmek.

Sonuç olarak iç görünün, gözlem ve bilginin bir birleşimi olduğu söylenebilir.

Bunu gördüm + Bunu biliyorum = İç görü

Yeni fikirler bulma yöntemleri,

Makine mühendisliği tasarımının her aşamasında yaratıcı fikirlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yaratıcı fikirlerin üretilmesinde aşağıdaki yöntemlerden birini veya bir kaçını kullanmak doğru olacaktır.

a. Benzetim yöntemleri

- Doğal sistemlerin analizi
- Mevcut teknik sistemlerin analizi
- Benzerlik (Analoji) yöntemi

b. Sezgisel yöntemler

- Beyin fırtınası
- 635 yöntemi
- Sinektik
- Delfi yöntemi
- Galeri yöntemi

c. Mantıksal yöntemler

- Fiziksel ilişkilerin sistematik incelenmesi
- TRIZ yöntemi
- Tasarım katalogları kullanma

Bu yöntemlerin hangilerinin kullanılacağına doğru karar verilmesi, kullanan insanların kültürel alt yapısı, firmanın özellikleri gibi bir çok parametreye bağlıdır.

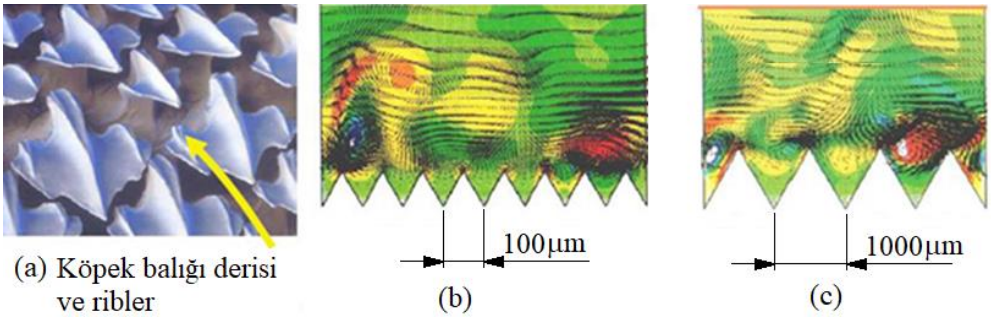
Başlarken en uygun çalışma metodunun kabul edilmesi uygulamada sonuç almayı kolaylaştırmaktadır.

2.1. Benzetim yöntemleri
2.1.1 Doğal sistemlerin analizi yöntemi

Doğadaki şekil, yapı, organizma ve işlemlerin incelenmesi ile yeni teknik çözümler bulunabilmektedir. Biyoloji ve teknoloji arasındaki bağlantılar, biyonik ve biyomekanik uzmanlar tarafından incelenir. Tabiat, bir tasarımcı için iyi bir esin kaynağıdır. Örneğin arıların bal peteklerinin geometrisi analiz edilerek hafif ve mukavemetli teknik tasarımlar geliştirilebilir, bu tip uygulamalar, mil ve aksların tasarımında, hava araçlarının ve gemilerin yapılarında karşımıza çıkmaktadır.

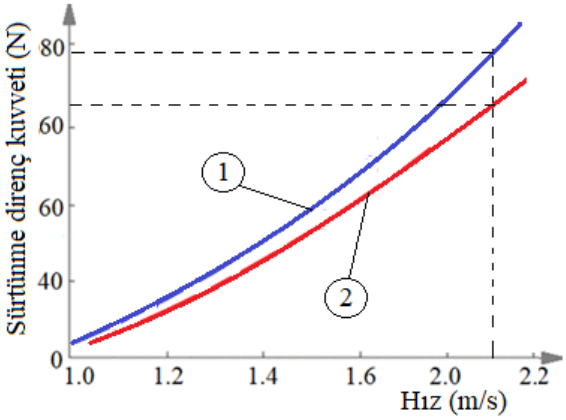
İkinci bir uygulamada köpekbalığı derisinin yapısından esinlenen ilk tasarım uygulamaları mayo sektöründe yapıldı Speedo firması bu yapıyı tasarım sonucu ticari bir başarıya dönüştürmeyi başardı. Speedo firmasının ilk geliştirdiği ürün olan Aquablade adlı kumaş ile imal edilmiş mayolar 1996 Atlanta Olimpiyatlarında yüzmede madalyaların %77‘ sini kazandı.

Devam eden Ar&Ge çalışmaları sonucunda, bu teknoloji daha da geliştirilmiştir. Buna göre 16 Mart 2000 tarihinde yine Speedo tarafından piyasaya sürülen ve köpekbalığı derisini taklit eden Fastskin adlı kumaştan üretilen mayolar yapıldı. Sydney Olimpiyatlarında (2000);14 dünya rekorundan 11'i bu mayoları giyen yüzücüler tarafından kırıldı ve 33 altın madalyadan 27'si de (%82) yine bu mayoları giyen yüzücüler tarafından kazanıldı.



Şekil 2.1. Köpekbalığı derisinin fiziksel yapısı ve akış direnci için CFD analiz çalışmaları.

Şekil 2.1 de verildiği gibi, köpekbalığı derisinden esinlenerek hazırlanan modellerle gerçekleştirilen CFD analizlerinde, rib tepe aralıklarının, köpekbalığı derisinde olduğu gibi, 100 µm olması sonucunda sürtünmenin sadece tepe noktalarda oluşmakta ve azalmakta olduğu görülmüştür. Halbuki 1000 µm tepe aralığı kullanılarak yapılan testlerde sürtünme artmıştır.



Şekil 2.2. San Diego Üniversitesinde yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre, CFD analizleri ile elde edilen sürtünme direnç kuvvetleri şekildeki gibi açıklanmaktadır. Burada, (1) Geleneksel mayo kumaşı, (2) Fastskin mayo kumaşı. Kaynak: San Diego State University, “Bodysuit yourself: But first think about it”, Ross Sanders, Brent Rushall, Huub Toussaint, Joel Stager, and Hideki Takagi.

Yüzmede 100 m dünya rekoru 47 s, hız 2,1 m/s olduğuna göre iki farklı mayo tipi için sürtünme direnç kuvvetlerini hesaplanırsa aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Geleneksel mayo kumaşı için, sürtünme direnç kuvveti - hız ilişkisi;

$$F = 23{,}32\ v^{2{,}29} = 23{,}32\ x\ 2{,}1^{2{,}29} = 127{,}5\ N$$

Fastskin mayo kumaşı için, sürtünme direnç kuvveti - hız ilişkisi;

$$F = 21{,}66\ v^{2{,}23} = 21{,}66\ x\ 2{,}1^{2{,}23} = 113{,}2\ N$$

Görüldüğü gibi iki kumaşın sürtünme dirençleri farkı 14,3 N olup kapasiteleri yakın olan sporcular için bu değer çok önemlidir.

2.1.2 Mevcut teknik sistemlerin analizi yöntemi

Mevcut teknik sistemlerin analizi, yeni veya adım adım ilerleyen bir biçimde gelişmiş çözüm seçenekleri oluşturma yollarından birisidir.

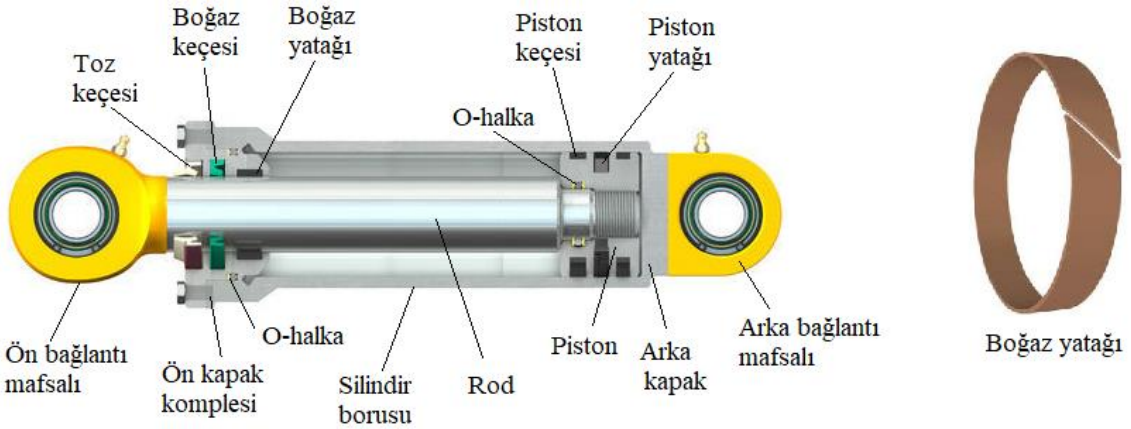
Analizde kullanılan mevcut sistemler şunları içerebilir:

- Rakip şirketlerin ürünleri veya üretim yöntemleri
- Kendi şirketine ait eski ürünler veya üretim yöntemleri
- Bazı kısmi çözümlerin benzer ürün / montajları

Burada bir hidrolik silindir boğaz yatağı örneğini vermek mümkündür (şekil 2.3). 1980 li yılların başlangıcına kadar hidrolik silindirlerin bağıl hareketler yapan rot-önkapak veya piston-silindir borusu gibi elemanlarında, sürtünme ve aşınmaları azaltmak için bronz yatak kullanılmakta idi. Ancak bronz yatakların bu uygulamada iki dezavantajı söz konusudur.

Bunlardan ilki bu yatakların tasarım ve imalat süre ve maliyetlerinin fazla olması, ikincisi ise eksik kalite kontroller sebebi ile metal talaşlarının yağın içine karışarak tesisattaki elemanlara zarar vermesi idi. Ancak o yıllarda plastik malzemeler ve alaşımları geliştirilerek, makine tasarımında kullanımları giderek yaygınlaşmıştı. Bu nedenle hidrolik silindir boğaz yatakları oldukça basit bir plastik şeritten tasarlanarak imal edilmeye başlanmış olup, bu elemanlarda bronz yatak uygulamasından vaz geçilmiştir.

Ancak giderek gelişen teknolojiler sonucunda bu elemanlarda kompozit uygulamaları da yaygınlaşmaktadır. Dolayısı ile mevcut sistemleri analiz ederek gelişen teknolojik koşullara uyarlayarak iyi tasarımlar yapmak mümkündür.



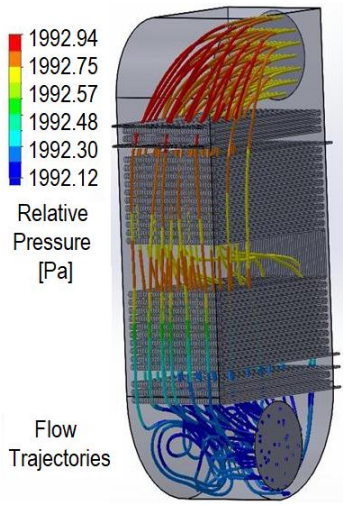
Şekil 2.3. Bir hidrolik silindirin yapısı ve elemanları.

2.1.3 Benzerlik (Analoji) yöntemi

Çözümler bulmak amacıyla, incelenmekte olan sistem yerine bir benzer model koymak genelde yararlı olur.

Benzerlik yönteminin faydaları,

- Simülasyon ve modelleme teknikleri aracılığı ile sistem geliştirme
- Sistem davranışını inceleme
- Yeni çözümler belirleme
- Erken optimizasyonlar uygulama.



Şekil 2.4. Bilgisayar ortamında yapılan benzetim çalışmaları çözüm bulmayı kolaylaştırmaktadır.

2.2. Sezgisel yöntemler

Sezgisel yöntemler rastgele gelişen fikirler temelinde geliştirilmektedir. Doğru zamanda doğru çözüm üretememe riski söz konusudur. İşyeri veya grup ortamında özgür davranışlara imkan tanımayı gerektirir.

Sezgisel yöntemler özellikle genel çözüm konusunda mantıksal yöntemleri tamamlarlar. Sezgisel yöntemlerin başlıcaları aşağıda verilmektedir.

2.2.1. Beyin fırtınası

Genelde beyin fırtınası toplantıları aşağıdaki durumlar için faydalı olmaktadır;

- Bir problem için henüz gerçekleşme imkanı olan bir çözüm bulunamamıştır.
- Bilinen çözüm yolları tıkanmıştır.
- Alışılagelmiş çözümlerin tamamen dışına çıkılması istenmiştir.

Şekil 2.5. Beyin fırtınası grubu 5 ile 15 kişiden oluşmaktadır.

Bu metodun esası;

- Bir grup oluşturan kişilerin birbirlerini uyarmaları ile bilgi birikimlerini belirli bir problemin çözümüne yönlendirmeleri teşkil eder.
- Bu metot sadece teknik problemlerin değil, birçok sosyal ve yönetimsel problemlerin çözümünde de uygulanır.

Beyin Fırtınası Grubu Yapısı;

- Grup en az 5 en çok 15 kişiden oluşmalıdır.
- Grupta tartışmalara müdahale etmeksizin, çok fazla dağılma eğilimlerini frenleyen bir idareci olmalıdır.
- Grubu oluşturanların değişik disiplinlerden olmaları daha uygun olacaktır. (Örneğin teknik bir konunun ele alındığı toplantıda bir matematikçinin veya bir sosyoloğun da bulunması yaralı olabilir.)
- Grupta, memur-amir ayrımı olmamalı, kişiler arasında hiyerarşik bir düzen bulunmamalıdır. (Bu şekilde sıkılganlık veya aşırı saygı gibi düşünce ve fikir kısıtlayıcı etkiler grup çalışmalarını etkilemeyecektir.)
- Beyin fırtınası toplantıları genellikle yarım saatten fazla devam etmemelidir. Deneyimler daha uzun süren toplantıların yeni bir şey ortaya koymadığını, aynı görüşlerin tekrarlanmaya başladığını göstermektedir.
- Toplantı süresince ortaya atılan fikir ve görüşleri alayla veya gülme ile karşılama, küçümseme vb. gibi fikir beyanında kısıtlayıcı etki yapan davranışlardan kesinlikle kaçınılmalıdır.
- Ortaya atılan fikir veya görüş, müspet ya da menfi yönde grup mensuplarında etkileşimler meydana getirecek, buna bağlı olarak yeni fikir veya görüşlerin ortaya atılmasına olanak sağlayacaktır.
- Ortaya atılan bütün fikir ve görüşlerin herhangi bir yol ile kaydedilmesi gereklidir. (Bu kayıt daha sonra uzmanlar tarafından bir incelemeye tabi tutulacak ve değerlendirilecektir.)
- Değerlendirme sonuçları yeni bir beyin fırtınası toplantısında tekrar tartışma konusu yapılacaktır. (Ancak bu seferki tartışmalar belirli bir veya birkaç hedefe yönelik olacağı için elde edilen sonuçlar daha belirgin ve daha problem çözümüne yakınsak olacaktır.)

Şekil 2.6. Beyin fırtınası toplantılarının uzun sürmesi dikkat dağınıklıklarına yol açacaktır.

Beyin Fırtınası Çalışma Şeklinin Oluşturulması

1970 li yıllarda tasarımda metoda bağlı bir çalışma şekli geliştirme fikri üzerine yapılan bir beyin fırtınası toplantısında aşağıdaki görüşler ortaya çıkmıştır.

a. Yeni bilgilerle sezgiyi geliştirmek

- Etrafı incelemek, teknik olan her şeyle ilgilenmek.

- Kendine sorular sormak, aksini iddia ederek doğruyu bulmak
- Tarihsel gelişmeyi incelemek
- Uyarmalar yolu ile düşünceleri belirli bir hedefe yöneltmek
- Dergi ve katalogları incelemek

b. Alışılagelmişten bilinçli olarak uzaklaşarak yeni fikirlere varmak:

- Örnekleri kritik bir analize tabi tutmak
- Sınır halleri, büyük kazaları, tehlike sınırlarını incelemek
- Yeni problemler kurmak ve bunları analiz etmek
- Optimizasyon kriterlerini tespit etmek
- Fonksiyon yapıları kurmak

c. Analojilerden yararlanmak:

- Diğer alanları incelemek ve benzerlikler aramak
- Değişik konulardaki uzmanlarla diyalog kurmak

d. Sistematik arama:

- Morfolojik tablolar (matrisler) hazırlamak
- Spesifikasyon listeleri, kataloglar, sistematikler hazırlamak
- Sayısal değerlendirmelerle (teknik değer, ekonomik değer) karar vermeye yardımcı şemalar, tablolar hazırlamak

e. Fiziksel etkilerden yararlanmak:

- Yararlanılabilecek fiziksel etkileri bir matris formunda toplamak
- Mevcut veya yeni bulunan fiziksel etkilere yeni uygulama alanları bulmak
- Fiziksel denklemlerin analizi, analiz sonuçlarını yeniden sentez.
- Enerji, madde veya sinyal akım tabloları kurmak
- Deneyler yapmak

f. Hedefe yönelik çözüm arama ve elemanlar arasında çeşitli kombinasyonlar için elektronik hesap makinalarından yararlanma:

- Veri bankalarından yararlanma
- Makina hafızasına kaydedilmiş çözümlerden, belirli kriterler yardımı ile optimal çözümleri çıkarmak

Sonuç olarak, beyin fırtınası toplantıları ile her zaman her probleme en uygun çözüm yollarını bulmak mümkün olmayabilir.

2.2.2. 635 Yöntemi

Bu metot beyin fırtınası metodundan türetilmiştir. Beyin fırtınasından en önemli farkı, bu metotta ödev çok iyi tariflenmekte ve bir ön incelemeden geçirildikten ve belirli hazırlıklar yapıldıktan sonra grup tartışmasına sunulmaktadır.

635 Yönteminde grup altı **(6)** kişiden oluşmaktadır. İlk turda her grup mensubuna ödeve ait üç **(3)** çözüm şeklini önlerinde bulunan protokol kağıdına yazmaları istenmektedir.

Beş (**5**) dakikalık bir süreden sonra her iştirakçi hazırladığı protokolü yanındakine vermektedir. Bu nedenle metoda "**6 3 5**" yöntemi denmiştir.

Her turda, iştirakçiler diğerlerinin çözüm önerilerini incelemekte, eleştirmekte gerekiyorsa bu inceleme sonucu kendilerinde uyarlanmış olan yeni çözümleri bu protokole geçirmektedirler. Beşinci tur sonunda çalışma bitmektedir.

Bu metodun avantajları:

- Fikirler sistematik olarak genişletilmekte ve daha mükemmel hale getirilmektedir.
- Fikir geliştirme olayı adım adım takip edildiği için bir patent hakkının doğması halinde sahibinin kim olabileceği tespit edilebilmektedir.
- Grup çalışmasında bir yöneticiye ihtiyaç bulunmamaktadır.

Bu metodun dezavantajları:

- Problem sınırlandığı için çok yeni ve değişik fikirlerin ortaya çıkması olasılığı azalmaktadır.

2.2.3. Sinektik Yöntemi

Grekçeden alınmış olan bu kelime, farklı ve görünüşte önemsiz sanılan kavramların birleştirilmesi anlamına gelir. Metot olarak, beyin fırtınasına benzer.

Beyin fırtınasından farkı teknik problemlere çözüm aranırken, teknik olmayan veya kısmen teknik kapsama giren problemleri ele alır ve bunlardan teknik problemlerin çözümünde yararlanır. Bir sinektik grubu en fazla 7 üyeden oluşmaktadır.

Sinektik tekniğin uygulama şeması:

- Problemin sunuşu
- Problemin analizi
- Grup üyeleri tarafından problemin anlaşıldığının incelenmesi, gereken açıklamalardan sonra belirsizlik ortadan kalkmışsa,
- Ele alınan konudan uzaklaşıp, tamamen başka bir alandaki, bir konuya geçmek; Burada yöneticinin yeni konuyu seçerken, iki konu arasında bir benzerlik bulunması gerektiğini unutmaması gerekir.
- İki konu arasındaki benzerliklerin grup üyelerince analizi
- Karşılaştırma
- Karşılaştırma sonucu, ikinci için tanımlanmış çözüm yollarının birinci hale uygulanması
- Ortaya çıkan çözüm fikrinin uygulanma olasılığı.

Sinektik yöntemini kullanarak yaratıcı fikirler oluşturma prosesine örnek olarak yeni tip bir çatı kaplama malzemesinin bulunması problemini inceleyelim.

Tasarım problemi iki temel istekten oluşmaktadır, bunlar;

a. Mevcut kiremitler pahalı bir işçilik gerektirmektedir, sıcak havalarda ve soğuk havalarda iyi bir yalıtkanlık sağlanamamaktadır, tam sızdırmazlık sağlanamamaktadır özellikle küçük eğimlerde yağmur geçirmektedir.
b. Ayrıca bu çatı malzemesinin değişen iklim koşullarına uyumlu özelliklere sahip olması da istenmektedir.

Şekil 2.7. Geleneksel kiremitlerle yapılan bir çatı.

Problemin tanımlanmasından sonra analizi yapılmıştır.

Mevcut sistemlerin hataları incelenmiş, bu inceleme sonunda grup üyelerince aşağıdaki noksanlar ve istenmeyen hususlar tespit edilmiştir.

Çözüm için ortaya bu problemle benzerlik taşıyan başka bir konu atılır.

Pisi balığının sırtını kaplayan pullar ve bunların şekil ve özelliklerinin incelenmesi.

Şekil 2.8. Pisi balığınınpul yapısı ortam koşullarına uyum sağlamaktadır.

İnceleme sonuçları,

- Pullar birbirini çok iyi örtmektedir,
- Ortam şartlarına göre renk değiştirmektedir,
- Deri ile iyi bir organik bağ kurmaktadır

Bu incelemeden esinlenerek konuyla ilgili aşağıdaki çözüm fikirleri ortaya atılmıştır,.

- Güneş ışınlarının veya ortam sıcaklığının büyüklüğüne bağlı olarak renk değiştiren bir kiremit malzemesi kullanılabilir. Böylece sıcak havalarda rengi açık olsun ve güneş ışınlarını yansıtsın, soğuk havalarda ise rengi siyahlaşsın ve ışınları bünyesine toplayarak evi ısıtır.
- Özel bir plastik maddeden balık pullarına benzer bir yapı ile bağlama ve örtme imkanı oluşturulabilir.
- Bu tip bir yapının ağırlığı az olur ve ekonomik olur.

Sonuç olarak bu inceleme sonunda yeni bir çatı kaplama malzemesi geliştirilmiş ve patenti alınmıştır.

2.2.4. Delfi yöntemi

Delfi yönteminde grup uzmanlardan oluşmakta ve bunların konu ile ilgili bilgilere sahip olmaları gerekmektedir. Grup üyelerine incelenen konu ile ilgili sorular yazılı olarak verilmekte ve onlardan bunları kısa sürede cevaplandırmaları istenmektedir. Delfi metodunda çok iyi bir ön planlama ve hazırlığa gerek vardır.

Bu metot, tasarım çözümlerinden çok, işletme ve yönetim sorunları ile ilgili problemlerin çözümlerinde başarı ile uygulanmaktadır.

Delfi metodunda çalışma adımları aşağıdaki gibidir:

1. Tur : Problemin çözülebilmesi için veriler eksiksizmidir? Tam ise şu anda aklınıza gelen çözümleri yazınız.
2. Tur : Size, bu problemle ilgili değişik çözümleri içeren bir liste verilmiştir. Listeyi inceleyin ve bu listeye eksik olan çözümleri yazın.
3. Tur : Size her iki turun sonuçlarını ele alan ve değerlendiren yeni bir liste verilmiştir. Bu listeyi inceleyin ve verilen çözümler içinde kanaatinizce en iyi olanları işaretleyin

2.2.5. Galeri Yöntemi

Hellfritz tarafından geliştirilmiş olan Galeri Yöntemi ,bireysel çalışma ile grup çalışmasını birleştirir.

Bu yöntem, özellikle çözüm önerileri kroki veya çizimler şeklinde ifade edilebilen her tasarım işlem aşamasına uygundur

Şekil 2.9. Galeri yönteminde çözüm şemaları, krokiler duvarlara asılır.

Galeri Yönteminin uygulama şeması;

- Giriş Adımı; Grup lideri problemi sunar ve problemin içeriğini açıklar.
- Fikir Üretme Adımı; Beş dakikalık sürede grup üyeleri, sezgisel olarak ve krokiler kullanarak (gerekli durumlarda metin ile destekleyerek) ön yargısız çözümler oluşturur.
- İş Birliği Adımı; Fikir üretme adım sonuçları, bir sanat galerisinde olduğu gibi duvara asılır, böylece tüm grup üyeleri bunları görebilir ve tartışabilir. Bu 15 dakikalık işbirliği adımının amacı; geçersizleştirme ve tekrar inceleme yoluyla yeni fikirler bulmak ve ya tamamlayıcı veya geliştirilmiş önerileri belirlemektir.
- Fikir Geliştirme Adımı; İşbirliği adımında geliştirilen fikir ve görüşler, her grup üyesi tarafından daha ileri düzeyde bireysel olarak tekrar geliştirilir.
- Seçim Adımı; Üretilen tüm fikirler gözden geçirilir, tasnif edilir ve gerekirse sonlandırılır. Bu işlemin ardından gelecek vadettiği düşünülen çözümler seçilir.

Galeri Yöntemi aşağıdaki avantajlara sahiptir;

- Sezgisel grup çalışması, gereksiz uzun tartışmalar olmadan yürür.
- Krokiler kullanmak suretiyle etkin bir şekilde fikirler değişimi sağlanabilir.
- Bireysel katkılar belirlenebilir.
- Geliştirilen fikirlere ait belgesel kayıtlar kolayca değerlendirilir ve depolanır.

2.2.6. Yöntemlerin birleştirilmesi

Bu yöntemlerin sadece bir tanesinden faydalanmak gerekli hedefe ulaşmada ve problemi çözmede yeterli olmayabilir.

Bir beyin fırtınası toplantısında grup lideri veya diğer bir katılımcı, fikirler akışı kesildiğinde, yeni bir akış seli başlatmak için sinektik işlemlere geçebilir.

Yeni bir fikir veya analoji, radikal olarak grup yaklaşımı veya fikirlerini değiştirebilir.

O ana kadar hem fikir olunan hususların bir özeti, yeni fikirler verilebilir.

Geçersizleştirme, yeniden inceleme ve ileri adımlar yöntemlerini tam kullanma fikir çeşitliliğini zenginleştirebilir ve genişletebilir.

2.3. Mantıksal yöntemler

2.3.1. Fiziksel ilişkilerin sistematik incelemesi

Teknik görevlere en etkin çözüm arama şekli, fiziki ilişkileri incelemektir. Eğer bir problem çözümü matematiksel denklemle temsil edilen bilinen bir fiziksel etkiyi içeriyorsa, değişkenlerin analizlerinden çeşitli çözümler elde edilebilir. Bu analizde; diğer tüm parametreler sabit tutulurken bir bağımlı ve bir bağımsız değişken arası ilişki elde edilmektedir.

Eğer problemi ifade eden, $y = f(u, v)$ şeklinde iki farklı değişkene bağlı bir denklem mevcutsa, iki farklı çözüm seçeneği geliştirilebilir.

$$y_1 = f(\underline{u}, v)$$

$$y_2 = f(u, \underline{v})$$

Bu çözüm seçeneklerinde altı çizili değişkenler sabit tutulmaktadır.

Bu yaklaşıma uygun olarak, sıvıların kayma direncinden yararlanarak dinamik viskozite ölçme cihazı geliştirme problemini aşağıdaki gibi çözmek mümkündür.

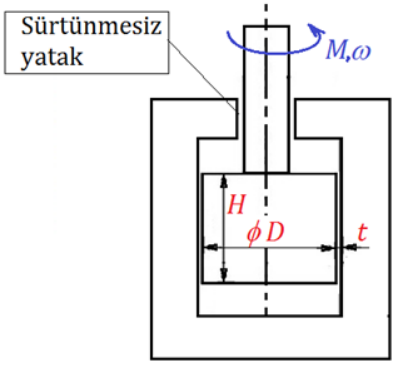
Dinamik viskozitenin temel kayma teorisinden çıkarılması,

Sıvı katmanları arasında kayma gerilmesi, (boyutlar için bkz. şekil 2.10)

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{v}{t} \qquad (Pa)$$

Kayma gerilmesine bağlı kayma direnci kuvveti,

$$F = \pi\, D\, L\, \tau = \frac{\pi\, D\, L\, \mu}{t}\, v \qquad (N)$$



Şekil 2.10. Dinamik viskozite ölçme cihaz

Şekil 2.10 dikkate alınarak kayma direnci kuvveti tork cinsinden ifade edilebilir,

$$M = F\,\frac{D}{2} \qquad (Nm)$$

Sıvı tabakaları arasındaki kayma hızı ile dönme hızı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$v = \omega\,\frac{D}{2} \qquad (m/s)$$

Bu denklemler birleştirilecek olursa dinamik viskozite aşağıdaki gibi elde edilmektedir,

$$\mu = \frac{4t}{\pi\,L\,D^3}\frac{M}{\omega} = c\,\frac{M}{\omega} \qquad (Pa.s)$$

Bu denklemdeki değişkenler, döndürme torku, M ve döndürme hızı, ω olduğuna göre tasarlanacak cihaz için iki fikir üretilebilir, bunlar;

Çözüm 1: Mildeki torku sabit tutarak dönme hızını ölçmek ve bir c sabiti kullanarak dinamik viskoziteye dönüştürmek,

Çözüm 2: Milin dönme hızını sabit tutarak torku ölçmek ve bir c sabiti kullanarak dinamik viskoziteye dönüştürmek.

2.3.2. Tasarım katalogları kullanma

Bir tasarım kataloğu, bazı teknik görev veya alt fonksiyonların bilinen veya doğruluğundan emin olunan çözümlerinin bir koleksiyonudur. Bu kataloglar aşağıdaki bilgileri kapsayabilir.

- Fiziksel etkiler
- Çalışma prensipleri
- Temel çözümler
- Makine elemanları
- Standart parçalar
- Malzemeler
- Hazır satın alınacak parçalar

Tasarım kataloglarından beklentiler,

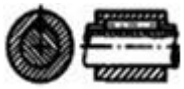
- Derlenmiş çözüm veya verilere daha çabuk, daha fazla problem-odaklı ulaşım
- Olası veya en azından daha sonra genişletilebilecek olan en önemli çözüm aralığını belirleme
- Olası en büyük disiplinler arası uygulamalar yelpazesi
- Bilgisayar destekli yöntemler kadar geleneksel tasarım işlemleri içinde veri sağlamalıdır.

Kavramsal tasarım aşamasında, çözümleri karşılanacak fonksiyonları tasnif ölçütleri olarak seçmek önerilebilir. Çünkü kavramsal tasarım, alt fonksiyonlar temeline dayanır.

Diğer tasnif ölçütleri; enerji (mekanik, elektrik, optik vb.), malzeme veya sinyaller, çalışma geometrileri, çalışma hareketleri ve temel malzeme özellik ve karakteristiklerini içerebilir.

Şekillendirme Tasarımı aşamasında tasarım katalogları hazırlanması durumunda faydalı tasnif ölçütleri; malzeme özellikleri ve özel makine eleman karakteristiklerini (kaplin türleri gibi) içerir.

Bir mil–göbek bağlantısı kataloğunun bir kısmı aşağıda görülmektedir.

Kuvvet aktarımı	Ad	Şekil	İletilebilir tork	Dengesiz kuvvet	Tavsiye edilen koşullar	İmalat zorluğu
Doğrudan	Freze dişli kama		Büyük	Hayır	Titreşimli veya değişken kuvvet durumu	Yüksek
	Evolvent dişli kama					
	Vida dişli kama					
	3 kenarlı poligon mil					Küçük ancak özel işleme gerekli
	4 kenarlı poligon mil					
Dolaylı	Enine pim		Küçük	Evvet	Genel uygulamalar	Orta
	Teğetsel pim					
	Boyuna pim					
	Kamalı bağlantı					

Şekil 2.12. Mil–göbek bağlantısı kataloğunun bir kısmı.

2.3.3. TRIZ yöntemi

1946 yılında Sovyetler Birliği Patent Ofisi'nde çalışmakta olan Genrich Saulovich Altshuller ve meslektaşları tarafından, dünya üzerinde var olan yaklaşık 2.000.000 patentin incelenmesi ve ortak özelliklerine göre sınıflandırılması ile geliştirilmiştir. Yapılan incelemelerde, mühendislik problemlerinde benzer çelişkiler olduğu ve bu çelişkilere benzer çözümler üretildiği anlaşılmış ve böylece TRIZ yöntemi doğmuştur.

TRIZ kelimesi Rusça "Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch" kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. TRIZ, gelişigüzel fikir toplanması üzerine kurulmuş beyin fırtınası gibi tekniklerin aksine, eski sistemlerin iyileştirilmesi ya da yeni sistemlerin tasarlanması için algoritmik yaklaşımları kullanır.

Problemler ve çözüm seviyeleri,

Patentleri inceleyen Altshuller' in bulguları başlıca şu şekildedir:

- Gerçekten yaratıcı patentlerde, çelişkileri ortadan kaldıran bir çözüm önerisi geliştirilmiştir.
- Karşılaşılan problemlerin % 90'ı çeşitli teknik alanlarda olup, tablo 2.3' de verilmekte olan 40 temel yaratıcı prensipten biri kullanılarak çözülebilmektedir.
- İncelenen 2.000.000'un üzerindeki patentte, yalnızca 40.000'i problemlere radikal ve yaratıcı bir çözüm getirmiştir; diğerleri sadece ürün veya sistem parametrelerinde yapılan küçük iyileştirmelerden ibarettir.

Tüm bu çıkarımlara göre Altshuller problem çözüm seviyelerini beş kategoriye ayırmıştır (tablo 2.1).

Seviye	Çözüm	Çözümlerin	İncelenmesi gereken	Bilgi Kaynağı
1	Bilinen Çözüm	% 32	10	Kişisel Bilgi
2	Küçük Yenilikler	% 45	100	Kurum İçi Bilgi
3	Büyük Yenilikler	% 18	1000	Sektör İçi Bilgi
4	Yeni Kavram (Kosept)	% 4	100.000	Sektör Dışı Bilgi
5	Buluş (icat)	% 1	1.000.000	Tüm Bilgi

Tablo 2.1. Problemlerin çözüm seviyeleri

TRIZ Metodolojisi

TRIZ yöntemi aşağıda verildiği gibi dört aşamalı bir süreç olarak tanımlanmaktadır.

a. Problemin tanımlanması
b. Problemin genel TRIZ parametreleri ile karşılaştırılması ve eşleştirilmesi
c. Problemde çelişki çiftine karşılık gelen genel TRIZ çözümünün bulunması
d. Probleme ilişkin ideal çözümün geliştirilmesi

TRIZ araçları iki temel bölüme ayrılmıştır, bunlar;

- 39 çelişki parametresi (tablo 2.2)
- 40 temel çözüm prensibi (tablo 2.3)

No	Mühendislik Parametreleri	No	Mühendislik Parametreleri
01	Hareketli Cismin Ağırlığı	21	Güç
02	Hareketsiz Cismin Ağırlığı	22	Enerji Kaybı
03	Hareketli Cismin Uzunluğu	23	Madde Kaybı
04	Hareketsiz Cismin Uzunluğu	24	Bilgi Kaybı
05	Hareketli Cismin Alanı	25	Zaman Kaybı
06	Hareketsiz Cismin Alanı	26	Madde Miktarı
07	Hareketli Cismin Hacmi	27	Güvenilirlik
08	Hareketsiz Cismin Hacmi	28	Ölçüm Güvenilirliği
09	Hız	29	İmalat Güvenilirliği
10	Kuvvet	30	Cisme Zarar Verici Faktörler
11	Gerilme / Basınç	31	Zarar Verici Yan Etkiler
12	Şekil	32	İmalat Kolaylığı
13	Cismin Değişmezliği	33	Kullanım Kolaylığı
14	Mukavemet	34	Onarım Kolaylığı
15	Hareketli Cismin Dayanımı	35	Adapte Edilebilirlik
16	Hareketsiz Cismin Dayanımı	36	Cihaz Karmaşıklığı
17	Isı	37	Kontrol Karmaşıklığı
18	Parlaklık	38	Otomasyon Düzeyi
19	Hareketli Cismin Harcadığı Enerji	39	Verimlilik
20	Hareketsiz Cismin Harcadığı Enerji		

Tablo 2.2. Mühendislik çelişki parametreleri

No	Yaratıcı Prensipler	No	Yaratıcı Prensipler
01	Dilimlemek, bölmek ve parçalamak	21	Acele etme
02	Çıkarma, ayırma	22	Zararı faydaya çevirme
03	Lokal kalite	23	Geri besleme
04	Asimetri	24	Aracı kullanmak
05	Kaynaştırma, birleştirme	25	Self servis
06	Evrensellik, genellik	26	Kopyalama
07	İç içe geçebilme	27	Ucuz ve kısa ömürlü cisimler kullanma
08	Ağırlığını azaltma, ağırlık dengeleme	28	Mekanik yerine alternatifleri kullanma
09	Başlangıçta hareketsizlik (eylemsizlik)	29	Pnömatik ve hidrolik yapılar kullanma
10	Başlangıçta eylemli	30	Esnek kabukların ve ince şeritlerin kullanılması
11	Önceden güvenilirliği sağlama	31	Gözenekli malzeme
12	Eşit potansiyel	32	Renk değiştirme
13	Diğer yoldan dolanma	33	Homojen olma
14	Küresellik - bükümlülük	34	Atma ve yeniden ele alma
15	Dinamiklik	35	Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği
16	Kısmi veya aşırı eylem	36	Faz dönüşümü
17	Diğer boyut, yeniden boyutlama	37	Termal genleşme
18	Mekanik titreşim	38	Kuvvetli oksitlendiriciler kullanma
19	Periyodik eylem	39	Eylemsiz atmosfer
20	Yararlı hareketin devamlılığı	40	Kompozit malzemeler

Tablo 2.3. Altshuller' in problem çözme konusunda öne sürdüğü 40 temel prensip

40 temel çözüm prensibinin açıklaması,

1. <u>Bir nesneyi veya sistemi dilimlemek, bölmek veya sökmeyi kolaylaştırmak.</u>

   A. Nesnenin birbirinden bağımsız parçalara ayrılması.

   - Bir buzdolabının içinde soğuk ve çok soğuk bölgeler oluşturma farklı ürünlerin muhafazasını mümkün kılar.
   - Bir hoparlörü aynı gövde içinde, çok boyutlu hoparlörlere bölmek, geniş bir ses yelpazesinin verimli bir şekilde yeniden üretilmesini sağlar.
   - Model T'nin imalatına Henry Ford, montaj hattında bir arabayı monte etme işini tekrarlanabilir görevlere bölmek ve arabayı bir iş istasyonundan diğerine taşıması birçok avantaj sağladı. Her bir görevin verimliliğini değerlendirmek ve çalışanların eğitimini, çalışanların kullanabileceği araçları optimize etmek ve her istasyona malzeme akışını düzenlemek daha kolay hale geldi.
   - Bölümlemenin başka bir örneği, benzer veya aynı öğeleri bir araya getirmektir. Otomobil motorları, sorunsuz bir şekilde daha fazla güç üretmek için tipik olarak 4, 6 veya 8 silindiri birleştirir. Tek silindirli bir araba işe yarayabilir, ancak çalışması rahatsız edici olur ve titreşimler nedeniyle daha ağır bir motor beşiği gerektirir. Bu, işi birden fazla silindir arasında sorunsuz bir şekilde böler.

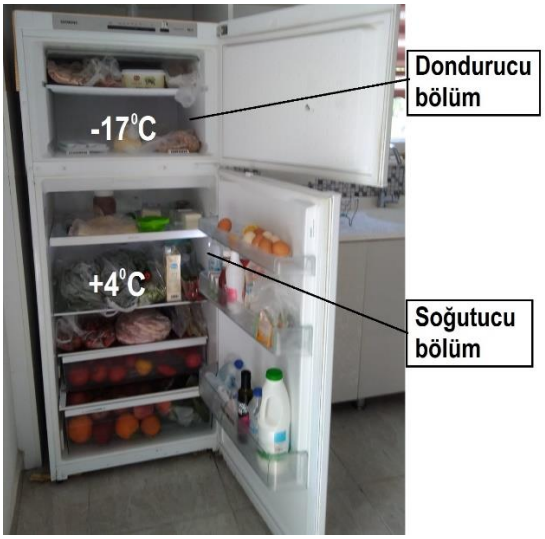
   B. Nesnenin kolayca sökülebilir hale getirilmesi.

   - Elektronik cihazlarda kolayca açılan pil kapakları pilin kolay değişimini mümkün kılar.

- Modüler mobilyaların birbirinden ayrılması da onları daha kullanışlı yapar.
- Elektrik fişleri ve prizleri sayesinde bir elektrikçiye ihtiyaç duymadan elektrikli fan ve sayısız başka cihaza giden standart bir elektrik bağlantısı oluşturmak mümkündür.
- Buz küpü tepsisi kullanarak buz kıracağı kullanmadan, tek tek boyutlandırılmış buz küplerini kullanmak çok daha kolay olmaktadır.

C. Parça ya da bölüm sayısının artırılması.

- Aerodinamik yapılar üzerinde çoklu kontrol yüzeyleri oluşturarak bunları akışı veya kuvvetleri kontrol etmek mümkündür.
- 8 valfli içten yanmalı motorlara karşı 16 ve 24 valf yaparak verim arttırılabilir.



Şekil 2.11. Bir buzdolabının içinde farklı sıcaklıkta bölgeler oluşturma.

2. <u>Prensip, çıkarma, ayırma.</u>

A. Nesnedeki sorun çıkaran parçanın ayrılması.

- Gürültülü çalışan bir kompresör binanın dışına koyulabilir.
- Doğrudan güneş ışığı bitkilere zarar verebilir onun yerine, soğuk ışık veren kaynaklar kullanılabilir.

Şekil 2.12. Bir mikro alg yetiştirme tesisinde fotobiyoreaktörde bulunan ısıtıcı dalgaboyuna sahip UV-C ışını yaymayan aydınlatma sistemi ayrı bir ısı kontrol gerektirmez ve verimi arttırır.

B. Sadece iyi parçanın nesnede bırakılması.

- Hırsız alarmı olarak köpek olmadan havlayan köpeğin sesini kullanılabilir.

“Basit, karmaşıktan daha zor olabilir: Basitleştirmek için düşüncenizi netleştirmek için çok çalışmanız gerekir. Ama sonunda buna değer çünkü oraya vardığınızda dağları yerinden oynatabilirsiniz.” Steve Jobs

3. Prensip, lokal kalite

   A. Bir nesnenin yapısının tek tipten tek tip olmayana değişmesi

   - Dalgalar veya 'köpekbalığı derisi' çıkıntıları ekleyerek aerodinamik yüzeylerde sürtünmenin azaltılması mümkündür.
   - Bir arabanın metali paslanmaya karşı astarla, ardından estetik ve dış etkilere karşı bir veya daha fazla kat boya ve vernikle boyanacaktır.
   - Bir cetvel üzerinde birkaç farklı ölçüm skalasının tanıtılması. Nesnenin her parçasının kullanım şekillerine göre ayrı ayrı tasarlanması.
   - Silgili kalem, çivi sökücülü çekiç, çok işlevli tornavidalar

   B. Bir eylemi veya bir dış ortamı (veya dış etkiyi) tek tipten tek tip olmayana değiştirilmesi,

   - Isı transfer özelliklerini değiştirmek için bir nesnenin etrafında türbülanslı akış sağlanması,
   - Flaşlı aydınlatma
   - Dış mekan sistemlerini tasarlarken aşırı hava koşullarını dikkate alın

   C. Nesnenin her parçasını farklı ve yararlı kullanımlar için hazırlanması.

   - İsviçre çakısı
   - Kombine konserve ve şişe açacağı
   - Bir kalemin ucundaki silgi
   - Çivi çektirmeli çekiç

Şekil 2.13. Sap içine takılabilir farklı boyutta tornavidalar oldukça pratiktir.

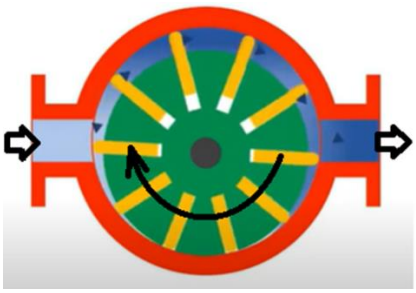
4. Prensip, asimetri

   A. Nesnenin şeklinin simetrik halden asimetrik duruma getirilmesi.

   - Bazı sportif otomobillerde, bacak mesafesini iyileştirmek için asimetrik direksiyon simidi bulunur.
   - Anahtarlar, uçak kanatları, eksantrik pompalar
   - Makasın tutma yerinin simetrik halden asimetrik hale getirilmesi

   B. Nesnenin asimetriklik derecesinin artırılması.

   - Bir uçak kanadının kaldırma özelliklerini değiştirmek için değişken kontrol yüzeylerinin kullanılması
   - Bir cetvel üzerinde birkaç farklı ölçüm skalasının tanıtılması



Şekil 2.13. Eksantrik paletli pompa yapısında rotor ve gövde merkezlerinin kaçıklığından oluşan asimetri hidroliğin bir depodan emilerek bir tesisata basılması için gereklidir.

5. <u>Prensip, kaynaştırma, birleştirme</u>

   A. Paralel işlerin yapılması için benzer nesne veya nesne parçalarının kaynaştırılması ya da birleştirilmesi.

   - Çok renkli yazıcı kartuşları, çok bıçaklı traş makinaları, katamaranlar

   B. Bitişik ya da paralel şekilde operasyonları düzenleme, işlemleri bir araya getirme.

   - Panjurlarda veya dikey jaluzilerde çıtaları birbirine bağlayın.
   - Aynı anda birden fazla kan parametresini analiz eden tıbbi teşhis aletleri

Şekil 2.14. Daha fazla bıçağa sahip olan tıraş makinelerinin tıraş sırasında kullanması gereken kuvvet miktarı azdır ve ilk geçişte daha fazla kıl kesebilir ancak daha fazla bıçak sürtünmesi ve tahriş oluşabilir.

6. <u>Prensip, evrensellik, genellik</u>

Şekil 2.15. Çok işlevli aletler bir çok ihtiyacı karşılar.

   A. Bir nesnenin birden çok işlevi gerçekleştirmesini sağlayın; diğer parçalara olan ihtiyacı ortadan kaldırın

   - Çocuğun araba koltuğu, bir pusete dönüştürülebilir

- İsviçre çakısı
- Mikrodalga fırında ızgara yapılması
- Akülü matkabın, tornavida, zımpara, parlatıcı vb. işler için kullanılması
- Diş macunu içeren diş fırçasının kullanılması

Şekil 2.16. Diş macunu ve diş fırçasının aynı yapıya yerleştirilmesi.

7. <u>Prensip, iç içe geçebilme</u>

A. Bir nesneyi diğerinin içine yerleştirin

- Gaz beton içindeki boşluklar
- Enjekte boşluk-duvar yalıtımı
- Bir ceketin içinde astar

B. Birden çok nesneyi diğerlerinin içine yerleştirin

- Teleskop
- Radyo antenleri veya sunum çubuğu
- Çok katmanlı erozyon/korozyon kaplamaları

C. Bir parçanın diğerindeki boşluktan (dinamik olarak) geçmesini sağlayın

- Teleskopik araba anteni
- Elektrikli süpürgede geri çekilebilir güç kablosu
- Emniyet kemeri geri çekme mekanizması
- Uçak gövdesine girebilen iniş takımları

Şekil 2.17. Radyo antenleri veya sunum çubuğu

8. <u>Prensip, ağırlığını azaltma, ağırlık dengeleme</u>

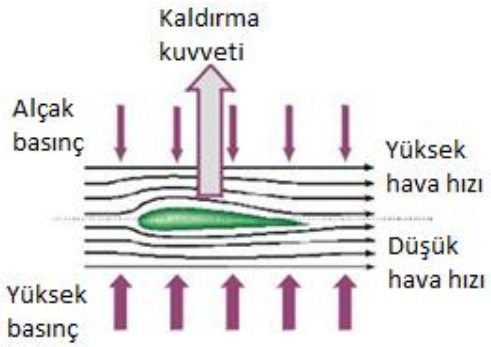
A. Bir cismin ağırlığını telafi etmek için, onu kaldırma sağlayan diğer cisimlerle birleştirin

- Gövdeye yerleştirilmiş köpüklerle batmaz metal gövdeli kayık yapılabilir
- Sıcak hava veya helyum doldurulan balon havada asılı kalır

B. Bir nesnenin ağırlığını telafi etmek için çevre ile etkileşime girmesini sağlayın (aerodinamik, hidrodinamik, kaldırma kuvveti ve diğer kuvvetleri kullanın)

- Sürtünmeyi azaltmak için hidrofoiller gemiyi sudan kaldırır
- Uçak kanatlarının üstündeki havanın yoğunluğunu artırarak ve kanat altındaki havanın yoğunluğunu azaltarak kalkışı kolaylaştırılması

Uçak kanatlarının üstündeki havanın yoğunluğunu arttırarak ve kanat altındaki havanın yoğunluğunu azaltarak kalkışı kolaylaştırılması (Aynı zamanda 4. maddedeki asimetri için de bir örnek)



Şekil 2.18. Uçak kanatlarının havada uçağın ağırlığını kaldırma kuvveti ile dengelenmesi.

9. <u>Prensip, başlangıçta hareketsizlik (eylemsizlik)</u>

A. Hem zararlı hem de yararlı etkileri olan bir eylemin gerçekleştirilmesi gerektiğinde, bu, zararlı etkileri kontrol etmek için karşı eylemlerle değiştirilmelidir.

- Zararlı etkilere maruz kalmadan önce nesneleri maskeleme. Örneğin X-ışınları için kurşun bir önlük kullanılabilir, zor kenarları boyarken maskeleme bandı kullanılabilir vb.
- Sinyal bozulmasının etkilerini tahmin edin ve iletmeden önce telafi edilir
- Aşırı pH oranından kaynaklanan zararı önlemek için bir solüsyon tamponlanır

B. Bir nesnede daha sonra oluşacak olan çalışma gerilmelerine karşı koyacak şekilde önceden gerilmeler veya krenlerde olduğu gibi ters sehimler yaratın

- Beton dökmeden önce inşaat demirine ön gerilme uygulanabilir
- Ön gerilimli cıvatalar yaparak sonradan oluşacak dinamik kuvvet etkilerinden korunabilir
- Dalgıçlarda vurgunu önlemek için dekompresyon odası kullanılmaktadır

10. Prensip, başlangıçta eylemli

A. Bir nesnenin gerekli değişikliğini önceden yapın

- Önceden yapıştırılmış duvar kağıdı
- Saclara önceden galvaniz işlemi yapma (pregalvaniz)
- Kendinden yapışkanlı pullar
- Sac parça oluşmadan önce açılan delikler

B. Nesneleri, teslim esnasında zaman kaybetmemek için, en uygun yerden harekete geçebilecek şekilde önceden düzenleyin.

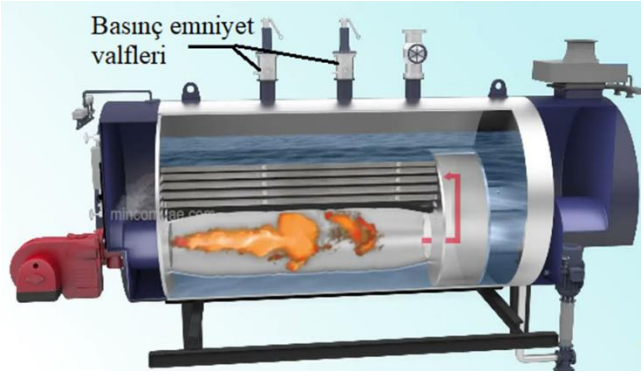
- Üretim akış hatları
- Kriko, bijon ve yedek lastik bir arada saklanır
- Başlamadan önce iş için tüm araç ve gereçleri toplayın

Şekil 2.20. Metal sac parçalara pazara sunulmadan önce delikler delinmesi işleri kolaylaştırabilir.

11. Prensip, önceden güvenilirliği sağlama.

A. Nispeten düşük güvenliği telafi etmek için acil durum elemanlarının önceden hazırlanması,

- Çok emniyetli uçak iniş kontrol sistemi
- Arabada hava yastığı / Stepne / Yedek akü
- Basınç emniyet valfi
- Acil aydınlatma devresi
- Otoyollarda çarpma bariyerleri

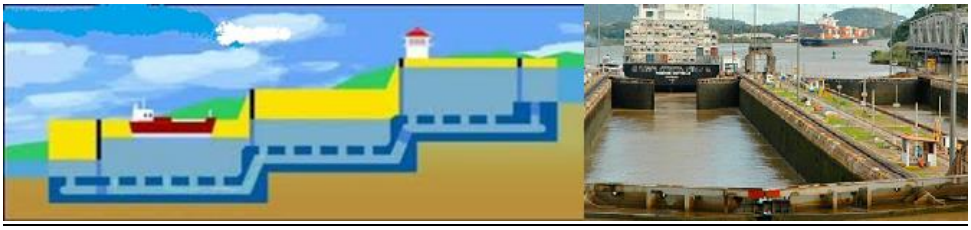


Şekil 2.21. Bir buhar kazanında basınç emniyet valfleri kullanılarak buhar basıncı emniyetle kontrol edilir.

12. Prensip, eşit potansiyellik.

A. Bir nesnenin yükseltilmesi veya alçaltılması gerekiyorsa, nesnenin ortamını yeniden tasarlayın, böylece kaldırma veya alçaltma ihtiyacı çevre tarafından ortadan kaldırılır veya gerçekleştirilir.

- Garajdaki tamirci çukuru sayesinde arabaları kaldırmadan tamir etmek mümkündür
- Buzun üzerine ağır bir cisim koyun ve alçaltmak için buzun erimesini sağlayın
- Yaylarda depolanan yerçekimi potansiyelindeki değişiklikler
- Azalan teleferikler, yükselenlerin ağırlığını dengeler



Şekil 2.22. Panama Kanalı'nda gemi geçişlerinin sağlanması için basamak sisteminin kullanılması

13. Prensip, diğer yoldan dolanma.

A. Sorunu çözmek için kullanılan eylemi ters çevirin

- Sıkışan kısımları gevşetmek için dış kısmı ısıtmak yerine iç kısmı soğutun.
- Vakum döküm
- Basınçlı hava ile doldurarak ve sıvıya daldırarak bir sıvı kabı üzerindeki sızdırmazlığı test edin; kabarcık izlerinin izlenmesi, yavaş sıvı sızıntılarından daha kolaydır

B. Hareketli kısımları (veya dış ortamı) sabit, sabit kısımları hareketli hale getirin

- Yürüyen merdiven
- Rüzgar tünelleri
- Ayakta duran insanlarla kaldırımı hareket ettirmek

C. Nesneyi (veya işlemi) 'ters çevirin'.

- Şişeleri ters çevirerek ve alttan su püskürterek temizleyin
- Bağlantı elemanlarını takmak için bir montajı ters çevirin

Şekil 2.23. Nesnenin ya da sürecin ters düz edilmesi ile ilgili koşu bandı örneği verilebilir..

14. <u>Prensip, küresellik, bükümlülük</u>

A. Düz yüzeyler yerine küresel olanlar veya küp şeklindeki parçalar yerine top şeklindekiler tercih edilir.

- Mimaride kemerler ve kubbeler kullanın yapıyı daha dayanıklı yapar.
- Farklı açılardaki yüzeyler eğrisel yüzeylerle birleştirildiğinde gerilme yığılmaları azalır
- Işık sapma özelliklerini değiştirmek için lens üzerindeki eğriliği değiştirin

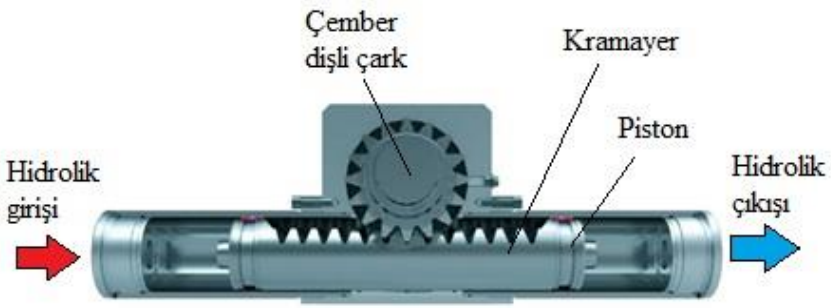
B. Silindir, küre, spiral geometriler kullanın

- Spiral geometrideki vidalar ağırlık kaldırma için uygundur. Kesintisiz hareket verirler.
- Düzgün mürekkep dağılımı için roller uçlu tükenmez kalemler
- Mobilyaları hareket ettirmek için silindirik tekerlekler yerine küresel tekerlekler kullanın
- Arşimet vidası hareket iletimine ve pompa, kompresör yapımına uygundur.

Şekil 2.24. Spiral geometrinin su pompasında kullanılması.

C. Doğrusal hareketten döner harekete geçin (veya tam tersi)

- Hidrolik sistemdeki döner aktüatörler
- Pistonlu pompadan döner pompaya geçiş
- Lineer motorlar
- Vida dişi döndürülerek monte edilir, lineer hareketle çakılan çiviye karşı daha fazla tutunma sağlar.



Şekil 2.25. Orta ve küçük kapasiteli mobil krenlerin kramayerli hidrolik dönüş mekanizması ile pistonda hidrolik etkisi ile oluşan doğrusal hareket çember dişli çark üzerinde kreni döndüren harekete dönüştürülür.

D. Merkezkaç kuvvetleri kullanmak avantajlı olabilir

- Giysilerdeki suyun bir kelepçe yerine bir sıkma kurutucu ile çıkarılması
- Santrifüj kullanarak farklı yoğunluk özelliklerine sahip kimyasalların ayrılması mümkündür
- Eşit et kalınlığındaki yapılar için santrifüj döküm yapılması uygundur

15. Prensip, dinamiklik.

A. Operasyonun her aşamasında optimum performans için nesneyi (veya dış ortamı) değiştirin

- Koltuğun içindeki jel dolgular kullanıcıya uyum sağlar
- Ayarlanabilir direksiyon simidi (veya koltuk veya sırt desteği veya ayna konumu...)
- Şekil hafızalı alaşımlar/polimerler
- Farklı parkurlar ve sürüş için ayarlanabilir yarış arabası süspansiyonu

B. Bir nesneyi birbirine göre hareket edebilen parçalara ayırın

- Bisiklet selesi
- Belden kırma kamyonların manevra yetenekleri daha fazladır.
- Katlanır sandalye/cep telefonu/dizüstü bilgisayar/vb
- Katlanabilir yapılar

Şekil 2.26. Ayarlanabilir direksiyon farklı fiziksel yapıdaki kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır.

C. Hareketsizden mobile geçiş

- Bükülebilir pipet
- Esnek eklem
- Katlanabilir hortum kullanımda esnektir ve saklamayı kolaylaştırır

D. Serbest hareket derecesini artırın

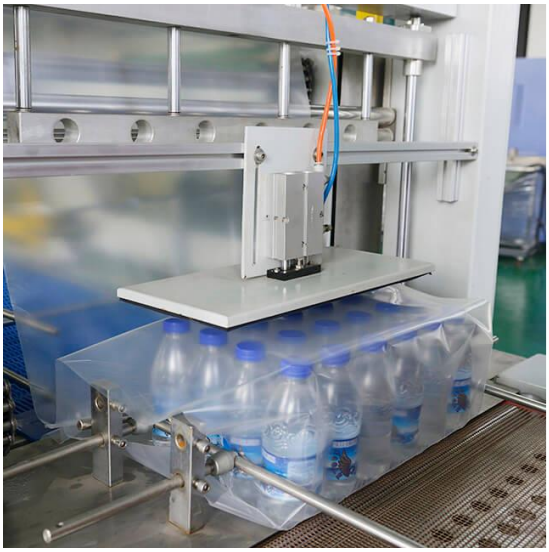
- Diş fırçasında farklı sertlikte liflerin kullanılması – diş eti hasarını önlemek için kenarlarda kolayca bükülür, ortada sert olacak şekilde
- Kamyon lastiğinin içindeki kum, hızlandıkça lastiğe kendi kendini dengeleme özelliği kazandırır.
- Hareket olanaklarını artırmak için robot koluna eklemler ekleyin

Şekil 2.27. Polietilen hortumların katlanabilmesi esnek tesisat montajlarına izin verir.

16. <u>Prensip, kısmi veya aşırı eylem</u>

A. İstediğiniz efektin yüzde 100'ünü elde edemiyorsanız - o zaman az ya da çok gidin

- Boyama sırasında fazla püskürtün, ardından fazlalığı alın
- Şirink (shrink) sarma işlemi, vakum basıncındaki değişiklikleri karşılamak için ambalajın plastik deformasyonunu kullanır
- Delikleri sıva ile aşırı doldurun ve ardından pürüzsüz hale getirmek için tekrar ovalayın



Şekil 2.28. Pet şişelerin şirink işlemi ile plastik folyo tarafından sıkılarak ambalajlanması.

17. <u>Prensip, diğer boyut</u>

A. Ek bir boyuta geçin - birden ikiye - ikiden üçe vb.

- Sarmal telefon kablosu
- Bir fırça üzerinde kavisli kıllar
- Nervürlü (düz yerine) tabanlı pizza kutusu
- Spiral merdiven daha az zemin alanı kullanır

B. Tek kattan veya katmandan çok kat veya çok katmana geçin

- Birçok CD'li oynatıcı
- Çok katlı depolar, binalar
- Çok katlı ofis blokları veya otoparklar

Şekil 2.29. Otomatik otopark sistemleri ile araçları düşey park ederek alan tasarrufu yapılır.

C. Bir nesneyi eğin, yan yatırın

- Karayolu taşımacılığındaki arabalar yerden tasarruf etmek için eğimli yerleştirilebilir

D. Diğer tarafı kullanın

- Elektronik bileşenleri devre kartının her iki tarafına monte edin
- Bir madalyonun kenarına metin yazdırın
- Ataş, kağıdın her iki tarafını birbirine bastırarak çalışır

Şekil 2.30. Tır kasasındaki araçların eğimleri sayesinde aynı yerde daha fazla araç taşımak mümkündür.

18. <u>Prensip, mekanik titreşim.</u>

A. Bir nesnenin salınmasına veya titreşmesine neden olun

- Boyayı uygulamadan önce karıştırmak için çalkalayın/karıştırın
- Darbeli matkap
- Titreşim uyarıcısı dökülen betondaki boşlukları giderir
- Verimliliği artırmak için eleme işlemleri sırasında titreşim

B. Frekansını artırın (hatta ultrasonik seviyeye kadar)

- Köpek düdüğü (insan menzili dışında ses iletir)
- Ultrasonik temizleme
- Ultrason kullanarak tahribatsız çatlak tespiti

Şekil 2.31. Titreşimli ileticiler montaj hatlarının beslenmesinde çok popülerdir.

C. Bir nesnenin rezonans frekansını kullanın

- Ultrasonik rezonans kullanarak safra taşlarını veya böbrek taşlarını yok edin

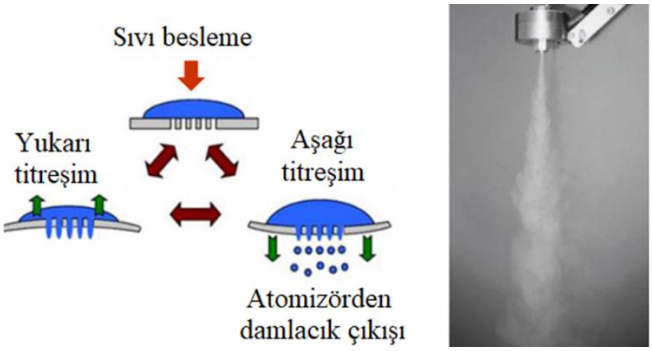
- Şişelerin rezonans frekansında darbeli su jeti ile şişe temizleme
- Müzik aletleri için ayar çatalı
- Rezonans frekansında titreştirerek bir katalizörün etkisini artırın

D. Mekanik vibratörler yerine piezoelektrik vibratörler kullanın

- Kuvars kristal salınımları, yüksek doğrulukta saatler çalıştırır
- Piezoelektrik vibratörler, püskürtme memesinden sıvı atomizasyonunu iyileştirir

E. Kombine ultrasonik ve elektromanyetik alan salınımları kullanın

- Alaşımların bir indüksiyon ocağında karıştırılması
- Filmlerin ultrasonik kurutulması

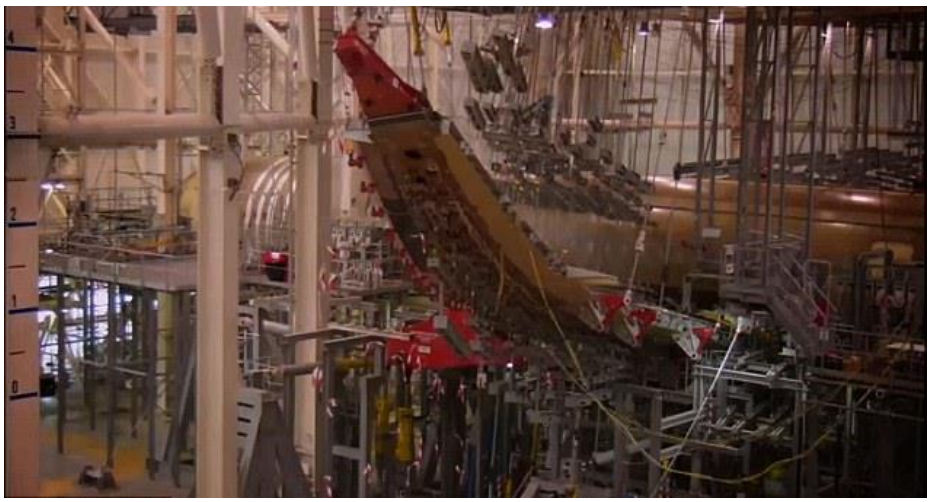


Şekil 2.32. Piezoelektrik aktuatörler kullanılarak sıvının damlacıklarının ayarlanarak püskürtülmesi.

19. <u>Prensip, periyodik eylem.</u>

A. Sürekli eylem yerine periyodik veya titreşimli eylemler kullanın

- Bir şeye defalarca çekiçle vurmak
- Kazık çakma makineleri ve darbeli matkaplar, belirli bir ağırlık için çok daha fazla güç uygular
- Sürekli bir sireni darbeli bir sesle değiştirin
- Darbeli elektrikli süpürge emiş, toplama performansını iyileştirir
- ABS araç fren sistemleri



Şekil 2.33. Uçak kanatlarının yorulma testleri periyodik esnetmelerle yapılabilir

B. Bir eylem zaten periyodik ise, periyodik büyüklüğü veya frekansı değiştirin

- Değişen genlik ve frekans ile darbeli bir siren geliştirin
- Metallerin titreşimle tavlanmasında farklı frekanslar kullanın

C. Farklı bir eylem gerçekleştirmek için eylemler arasında duraklamalar kullanın

- Filtreleri, kullanılmadıklarında geri yıkayarak temizleyin
- Mürekkep püskürtmeli yazıcı, geçişler arasında kafaları temizler

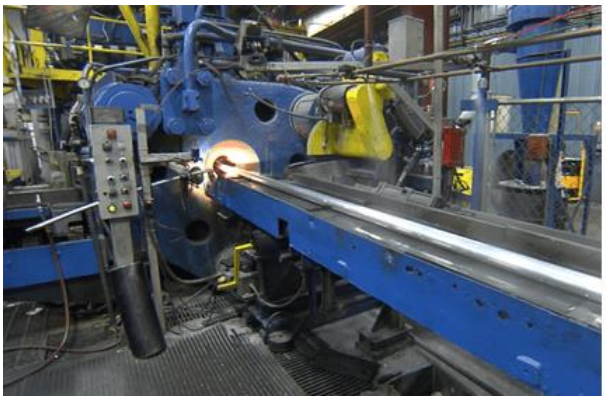
20. <u>Prensip, yararlı eylemin devamlılığı</u>

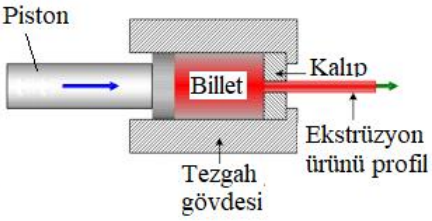
A. Ara vermeden çalışmaya devam edin çünkü sürekli çalışan bir nesnenin tüm parçaları tam kapasitede olur

- Volan, araç durduğunda enerji depolar, böylece motor optimum güçte çalışmaya devam eder
- Hibrit otomobilde yardımcı güç üniteleri (APU), açıldığında her zaman en yüksek verim
- Kendinden ayarlı motor - maksimum verimliliği sağlamak için sürekli kendini ayarlar
- Malzemeyi sürekli çevirerek kompostlama sürecini iyileştirin
- Sürekli cam veya alüminyum üretimi

B. Tüm boşta veya aralıklı hareketi ortadan kaldırın

- Kendi kendini temizleyen / kendi kendini boşaltan filtre, arıza süresini ortadan kaldırır
- Kayık veya kanolarda, çift uçlu kürek kullanır





Şekil 2.34. Alüminyum ekstrüzyon prosesi sürekli bir sistemdir, böylece enerji kayıpları engellenir ve sistem yüksek verimle çalışır.

21. <u>Prensip, acele etme</u>

A. Bir işlemi veya belirli aşamalarını (örn. yok edilebilir, zararlı veya tehlikeli işlemler) yüksek hızda yürütmek

- Plastiği, ısının malzemede yayılabileceğinden daha hızlı kesin, önlemek için şekli deforme etmek
- Dokuların ısınmasını önlemek amacıyla yüksek hızlı dişçi matkapları kullanılması
- Sıcaklığın insan dokusuna zarar vermesini önlemek için elinizi temas sonrası hızla çekin

Şekil 2.35. Diş matkapları 200.000 devir/dakika hızlarda dönebilir.

22. Prensip, zararı faydaya çevirme

A. Olumlu bir etki elde etmek için zararlı faktörleri kullanın

- Elektrik enerjisi üretmek için atık ısıyı kullanın
- Hurda malzemeyi bir başkası için hammadde olarak geri dönüştürün
- Sızdırmazlık performansına yardımcı olması için basınç farklılıklarını kullanın

B. Sorunu, başka bir zararlı eyleme ekleyerek birincil zararlı eylemi ortadan kaldırın

- Aşındırıcı bir çözeltiye bir tamponlama malzemesi ekleyin (örneğin, bir bazik malzemeye asit ekleme veya tam tersini yapma)
- Havadan gelebilecek azot narkozunu ve hem de oksijen zehirlenmesini ortadan kaldırmak için dalış için bir helyum-oksijen karışımı kullanın

C. Zararlı bir faktörü, artık zararlı olmayacak şekilde büyütmek

- Petrol kuyusu yangınını söndürmek için patlayıcılar kullanın
- Lazer bıçağı deriyi/kan damarlarını keserken dağlar
- Orman yangınlarının engellenmesi için yangının ilerlediği yöndeki ağaçları kesin

Şekil 2.36. Dalgıç tüplerinde helyum-oksijen karışımının kullanılarak nitrojen ve oksijen zehirlenmesi engellenmektedir.

23. Prensip, geri besleme

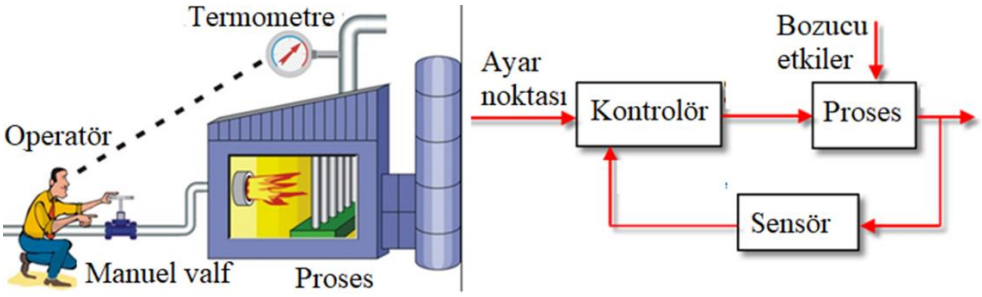
A. Bir süreci veya eylemi iyileştirmek için geri besleme kullanın

- Ses devrelerinde otomatik ses kontrolü
- Egzoz gazı seviyelerine göre motor yönetim sistemi karbüratörden ayarlamaktan daha verimlidir
- Termostat sıcaklığı doğru bir şekilde kontrol eder

B. Geri besleme zaten kullanılıyorsa, çalışma koşullarına göre büyüklüğünü veya etkisini değiştirin

- Bir havaalanının 5 mil yakınındayken otomatik pilotun hassasiyetini değiştirin

- Soğutma sırasında enerjiyi daha az verimli kullandığından, soğutma işlemine geçildiğinde bir termostatın hassasiyetini değiştirin
- Orantılı, integral ve/veya diferansiyel kontrol algoritması kullanın kombinasyonlar



Şekil 2.37. Kapalı çevrim olarak kontrol edilen sistemlerde sinyal geri beslemesi kullanılmaktadır.

24. <u>Prensip, aracı kullanmak</u>

A. Bir aracı nesne veya süreç kullanın

- Bir mızrap ile gitar çalmak
- Kaya kırma/oyma sürecini kontrol etmek için bir keski kullanın

B. Bir nesnenin, geçici olarak ve kolayca ayrılabilecek şekilde bir diğeri ile birleştirilmesi

- Fırından sıcak yemek almak için eldiven kullanımı
- Kağıtları bir ataşla birleştirme

Şekil 2.38. Kapalı Aşındırıcı parçacıklar ile su jetinde kesme yapılabilir

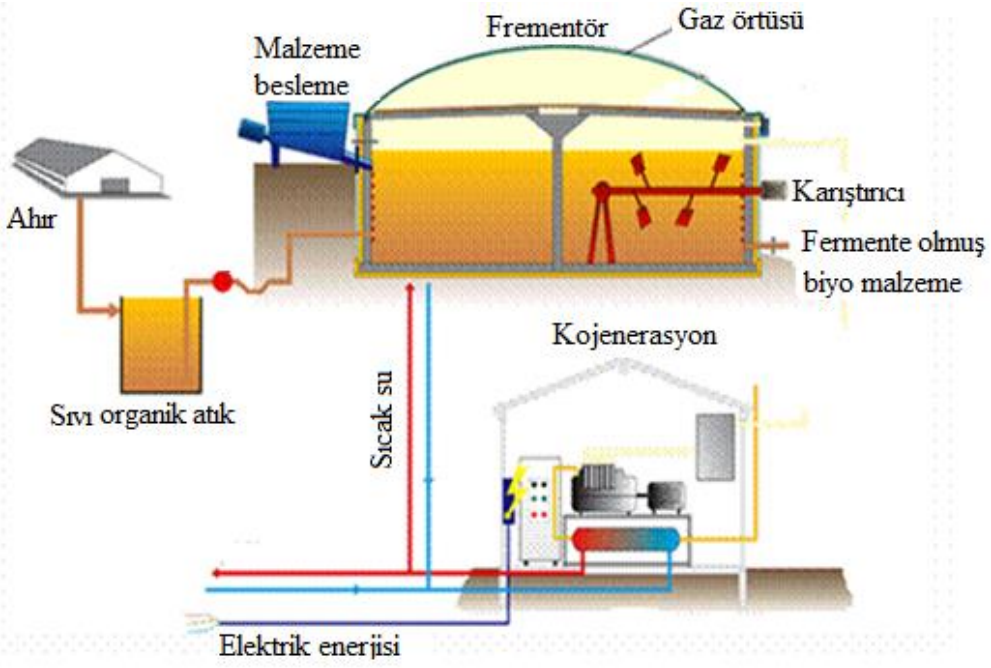
25. <u>Prensip, self servis</u>

A. Bir nesne, yardımcı yardımcı işlevler gerçekleştirerek kendi kendine hizmet vermelidir

- Halojen lambalar filamanı yeniler - buharlaşan malzeme yeniden biriktirilir
- Mil ve deliklerin montajında uç kısımlardaki pahlar kendinden merkezleme sağlar
- Kendi kendini temizleyen fırın / cam / malzeme

B. Atık kaynakları, enerjiyi veya maddeleri kullanın

- Elektrik üretmek için bir prosesten gelen ısıyı kullanın, kojenerasyon yapın
- Hayvan atıklarını gübre olarak kullanın
- Conta sızdırmazlığını arttırmak için için basınç farkını kullanın.



Şekil 2.39. Hayvansal atıkların gazlaştırılması prosesinden, enerji ve gübre elde edilmektedir.

26. <u>Prensip, kopyalama.</u>

A. Zor bulunan, pahalı, kırılgan cisimlerin kendileri yerine kopyalarının kullanılması.

- Taklit mücevher
- Halı Saha
- Çarpışma testi mankeni

Şekil 2.40. Çarpşma testlerinde insan benzeri mankenler kullanımı emniyet açısından önemlidir.

B. Bir cisim ya da süreci görsel örneği ile değiştirmek.

- Bir fotoğraftan ölçümleri ölçekleyerek bir nesneyi ölçün
- Sanal gerçeklik / Sanal maketler / elektronik ön montaj modellemesi

C. Görsel kopyaların incelenmesi için, kızılötesi ve ultraviyole kopyaların kullanılması.

- Mahsullerdeki hastalıklar veya bir güvenlik sistemindeki davetsiz misafirler gibi ısı kaynaklarını tespit etmek için kızılötesinde görüntüler oluşturun
- UV‘ yi tahribatsız bir çatlak algılama yöntemi olarak kullanın
- Uçan böcekleri tuzağa çekmek için kullanılan UV ışığı

27. <u>Prensip, ucuz kısa ömürlü cisimler kullanma.</u>

A. Pahalı bir nesneyi, hizmet ömrü gibi belirli niteliklerden ödün vererek birden fazla ucuz nesneyle değiştirin

- Tek kullanımlık bebek bezleri / kağıt bardaklar / tabaklar / kameralar / meşaleler vb.
- Atılabilir çakmaklar
- Kurban kaplamalar / bileşenler

Şekil 2.41. Kağıttan yapılan tek kullanımlık malzemeler.

28. <u>Prensip, mekanik yerine alternatifleri kullanma</u>

A. Mekanik bir sistemi duyusal olanla değiştirin

✓ Fiziksel bir bariyeri akustik olanla değiştirin (hayvanlar tarafından duyulabilir)

✓ Kullanıcıları sızıntılara karşı uyarmak için doğal gaza kötü bir koku ekleyin

✓ Anahtar yerine parmak izi/retina/vb tarama

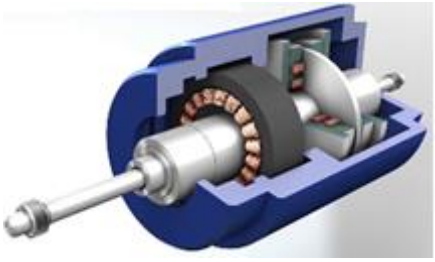
✓ Sesle etkinleştirilen telefon araması

B. Nesne ile etkileşime geçmek için elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar kullanın

✓ İki tozu karıştırmak için elektrostatik olarak bir pozitif ve diğer negatif şarj edin

✓ Boya damlacıklarını ve boyanacak nesneyi zıt yönde şarj ederek boya püskürtme verimliliğini artırın

✓ Manyetik yataklar kullanmak.



Şekil 2.42. Manyetik yatakların temassız oluşu, mekanik yataklara göre sürtünme, korozyon, sızdırmazlık gibi bir çok avantajı sağlamaktadır.

29. <u>Prensip, Pnömatik ve hidrolik yapılar kullanma</u>

A. Katı parçalar yerine bir nesnenin gaz ve sıvı kısımlarını kullanın (ör. şişirilebilir, sıvılarla dolu, hava yastığı, hidrostatik, hidro-reaktif)

- Mekanikten hidrolik veya pnömatik tahrike geçiş
- Şişme mobilya / yatak vb.
- Jel dolgulu sele kullanıcıya uyum sağlar-
- Hovercraft
- Helmholtz rezonatörleri içeren akustik paneller

Şekil 2.43. Bir Hovercraft hava yastığı üzerinde her türlü zemin koşulunda ilerleyebilir.

30. <u>Prensip, Esnek kabukların ve ince şeritlerin kullanılması</u>

A. Üç boyutlu yapılar yerine esnek kabuklar ve ince filmler kullanın

- Şişirilebilir (ince film) yapılar kullanın
- Garaj yerine branda araba örtüsü
- Enerjiyi esneyebilir torbalarda depolayın - hidrolik sistemdeki akümülatörler

B. Nesneyi esnek zarlar kullanarak dış ortamından izole edin.

- Kabarcık sarma
- Bandajlar/sıvalar
- Çay poşeti
- Shrink ambalaj

Şekil 2.44. Organik atıkları gazlaştıran bir fermenterin gövdesinde düşük basınçta oluşan Metan gazının muhafaza edilmesi için esnek bir çatı membran yapısı ekonumik olarak kullanılmaktadır.

31. Prensip, Gözenekli malzeme

A. Bir nesneyi gözenekli yapın veya gözenekli elemanlar kullanın

- Ağırlığı azaltmak için bir yapıda delikler açın
- Boşluklu duvar yalıtımı
- Köpük metaller
- Sıvı emme ortamı olarak sünger benzeri yapılar kullanın

B. Bir nesne zaten gözenekliyse, bu gözeneklerin bir işe yaramasını sağlayın

- Fazla lehimi bir bağlantıdan uzaklaştırmak için gözenekli bir metal ağ kullanın
- Hidrojeni bir paladyum süngerinin gözeneklerinde saklayın. (Hidrojen gazını bir basınçlı tankta depolamaktan çok daha güvenli)

Şekil 2.45.Gözenekli malzemeler şok ve titreşimleri kolayca sönümleyebilir ayrıca hafiflik vb. birçok avantajları da mevcuttur..

32. Prensip, Renk değiştirme

A. Bir nesnenin veya dış ortamının rengini değiştirin

- Termokromik mürekkep veya boya, ısıya maruz kaldığında geçici olarak renk değiştirir
- Sıcakken renk değiştiren plastik kaşık
- Bebek maması için- İstenilen servis sıcaklığına ulaşıldığını belirtmek için gıda ürün etiketlerinde kullanılan sıcaklığa duyarlı boyalar
- Işıkla renk değiştiren gözlükler
- Rengi değiştirmek için yüzey yapılarında girişim saçakları kullanın

B. Bir nesnenin veya dış ortamının şeffaflığını değiştirin

- Yarı iletken işleme için şeffaf malzemeyi katı bir maskeye dönüştürmek için fotolitografiyi kullanın
- Işığa duyarlı cam

Şekil 2.46. Isıya duyarlı renk değiştiren kaşıklar küçük çocuklar için koruyucu olabilir.

C. Görülmesi zor olan şeylerin görünebilirliğini arttırmak için renkli katkı maddeleri veya ışıldayan elementler kullanın

- UV spektroskopisi sırasında kullanılan floresan katkı maddeleri
- Çalınan malları tespit etmeye yardımcı olmak için kullanılan UV işaretleme kalemleri
- Görünürlüğü artırmak için karşıt renkleri kullanın - ör. kasaplar etin içindeki kırmızıyı daha kırmızı göstermek için yeşil dekorasyon kullanır

D. Radyant ısıtmaya maruz kalan bir nesnenin emisyon özelliklerini değiştirin

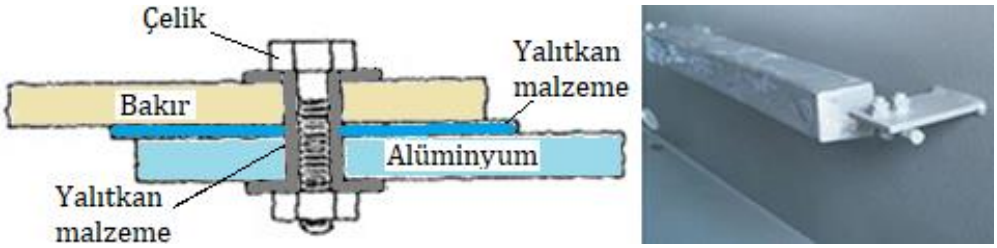
- Uzay araçlarında termal yönetime yardımcı olmak için siyah beyaz renkli panellerin kullanılması
- Enerji tutulumunu artırmak için güneş panellerinde parabolik reflektörlerin kullanılması

Şekil 2.47.Parabolik aynalar güneş enerjisini daha yoğun toplayabilirler.

33. <u>Prensip, Homojen olma</u>

A. Ana nesne ile etkileşime giren nesneler aynı malzemeden (veya aynı özelliklere sahip malzemeden) olmalıdır.

- İçeriği ile aynı malzemeden yapılmış kap, kimyasal reaksiyonları azaltır
- Sürtünme kaynağı, ikisi arasında herhangi bir ara malzeme gerektirmeden yüzeyleri birleştirir
- Gübreye dönüşebilir malzemeden yapılmış geçici saksılar
- İnsan kan nakli için, biyo-uyumlu materyallerin kullanımı
- Soğutmayı amaçladıkları içecekle aynı sıvıdan buz küpleri yapın
- Ahşap dübel bağlantıları kullanarak ahşap bileşenleri birleştirin
- Aynı metallerin teması elektrokimyasal korozyon riskini azaltmaktadır



Şekil 2.48. Elektro-kimyasal korozyon riski söz konusu ise bunu önlemek için galvanik potansiyelleri farklı metallerin temasını önlemek gereklidir.

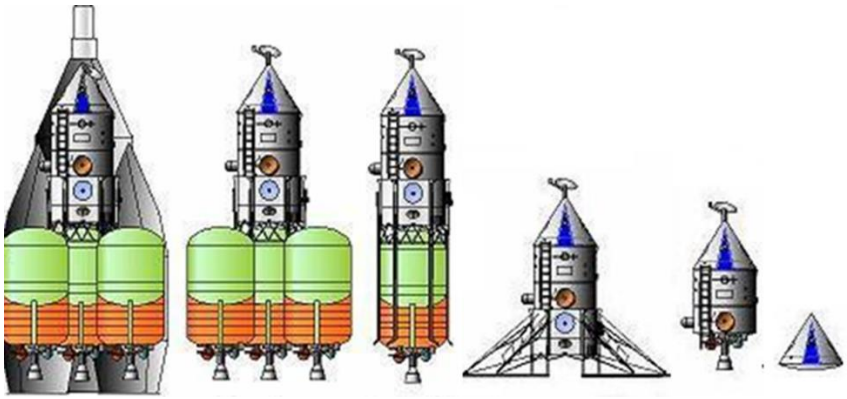
34. Prensip, Atma ve yeniden ele alma.

A. İşlevlerini tamamladıktan (veya işe yaramaz hale geldikten) sonra nesneleri reddedin, uzaklaştırın (çözerek, buharlaştırarak vb. atın) veya işlem sırasında değiştirin

- Biyolojik olarak parçalanabilen kaplar, torbalar vb.
- Döküm işlemleri – kum vb.
- Uzay gemilerinin yakıt taşıyan birkaç bölümden oluşması. Yakıtı biten bölme uzay gemisinden ayrılır ve mekiğe daha fazla ağırlık yapmaz.

B. Çalışma sırasında bir nesnenin tüketilebilir / kullanılmış kısımlarını geri yükleyin

- Kendiliğinden bilenen bıçaklar
- Kendinden ayarlı otomobil motorları
- Otomatik tüfek



Şekil 2.49. Uzay araçları dünyanın çekim etkisinden kurtulmak için çok miktarda yakıta ihtiyaç duyarlar. Ay da ise çekim gücü daha azdır ve daha küçük yakıt tankı yeterlidir. Son olarak dünyaya dönüşte ağırlık etkisi ile iniş yapabilirler. Tüm seyahat süresince kullanılıp işi biten yakıt depoları atılarak tasarruf sağlanır.

35. Prensip, fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği.

A. Fiziksel durumu değiştirin (örneğin gaz, sıvı veya katı olarak)

- Hacmi azaltmak için oksijen veya nitrojeni gaz yerine sıvı olarak taşıyın
- İmalat kolaylığı için katı formu sıvıya dönüştürüp döküm yapın

B. Konsantrasyonu veya yoğunluğu değiştirin

- Sıvı sabun

C. Esneklik derecesini değiştirin

- Esnekliğini ve dayanıklılığını değiştirmek için kauçuğu vulkanize edin
- Labirent veya diğer sabit geometri yerine uyumlu contalar

D. Basıncı değiştirin

- Düdüklü tencere lezzetini kaybetmeden daha çabuk pişer
- Bozulabilir malların vakumlu ambalajlanması

E. Diğer parametreleri değiştir

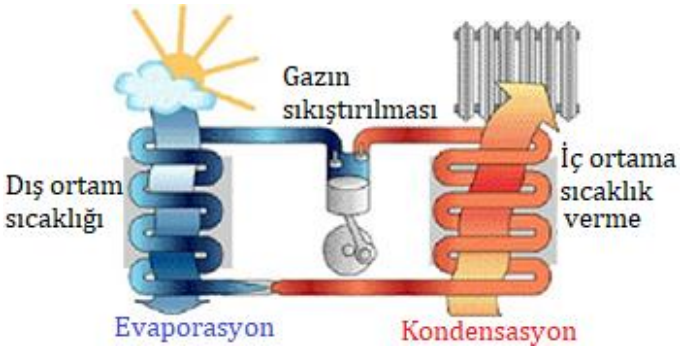
- Şekil hafızalı alaşımlar/polimerler
- Manyetik özellikleri değiştirmek için Curie noktasını kullanın.
- Karbon fiber gibi iletkenliği yüksek malzemeler kullanın

Şekil 2.50. Döküm işlemi esnasında metalin fiziksel durumu önemli ölçüde değişmektedir. Ancak kolay şekillendirme için bu gereklidir.

36. <u>Prensip, faz dönüşümü</u>

A. Hal değişimlerinde oluşan değişikliklerin kullanılması (hacim değişimi, ısı alışverişleri)

- Erime/kaynamada gizli ısı etkileri
- Kayaları suya batırın, ardından donma suyun genişlemesine neden olur - böylece kayada çatlaklar açarak kırılmayı kolaylaştırır
- Isı pompaları hem buharlaşmanın hem de yoğunlaşmanın bulunduğu kapalı termodinamik sistemleri kullanarak faydalı işler yaparlar.
- Sudan buhara geçiş sırasında hacim genişlemesi



Şekil 2.51.Bir ısı pompasının şematik çalışma prensibi.

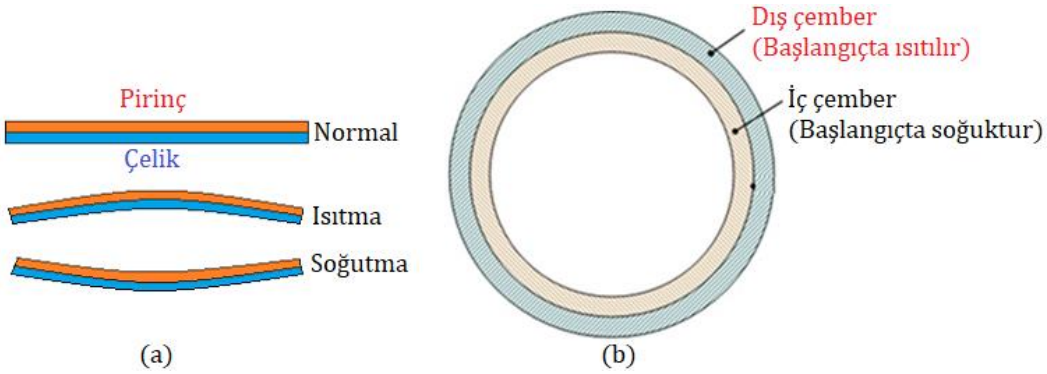
37. <u>Prensip, termal genleşme</u>

A. Malzemelerin termal genleşmesini veya büzülmesini kullanın

- Parçalar ısıtılıp soğutulduklarında iç içe geçebilir.
- Şekil hafızalı alaşımlar/polimerler
- Shrink - sarma

B. Farklı termal genleşme katsayılarına sahip birden fazla malzeme kullanın

- Termostatlar vb. için kullanılan bimetalik şeritler
- İki yönlü şekil hafızalı alaşımlar
- Genleşme özelliklerine sahip alaşımlar elde etmek için pozitif ve negatif termal genleşmeli malzemeleri birleştirin.



Şekil 2.52. Genleşme katsayısı farklı olan maddelerin bir arada kullanılması. (a) Metal çiftlerinin kullanıldığı termostat sistemlerinde metal çiftleri, ısınınca bir tarafa, soğuyunca diğer tarafa bükülür. (b) Sıkı geçme bağlantılarını ısıtarak oluşturmak için sıcaklıkta genleşme etkisinden yararlanılabilir.

38. <u>Prensip, kuvvetli oksitlendiriciler kullanma.</u>

A. Ortak havayı oksijenle zenginleştirilmiş havayla değiştirin

- Uzun süre Nitrox veya diğer hava dışı karışımlarla tüplü dalışta dayanıklılık artar
- Astımlı hastaları oksijen çadırına yerleştirin
- Yüksek performansta güç artışı sağlamak için motorlara azot oksit enjeksiyonu

B. Zenginleştirilmiş havayı saf oksijenle değiştirin

- Bir oksi-asetilen torcu kullanarak daha yüksek bir sıcaklıkta kesin
- Anaerobik bakterileri öldürmek ve iyileşmeye yardımcı olmak için yaraları yüksek basınçlı oksijen ortamında tedavi edin

C. Havayı veya oksijeni iyonlaştırıcı radyasyona maruz bırakmak

- Raf ömrünü uzatmak için gıdaların ışınlanması
- Bakterileri yok etmek ve yiyecekleri sterilize etmek için iyonize hava kullanın

D. Ozonlanmış (veya iyonize) oksijeni ozonla değiştirin

- Mısırdaki mikroorganizmaları ve toksinleri yok etmek için ozon kullanın
- Suda çözünen ozon, gemi gövdelerinden organik kirleticileri uzaklaştırır

Işınlanmış gıda işareti

Şekil 2.53. Gıda maddeleri UV ile sterilize edierek zararlı bakteriler öldürülür, gıdanın raf ömrü uzatılabilir.

39. <u>Prensip, eylemsiz atmosfer</u>

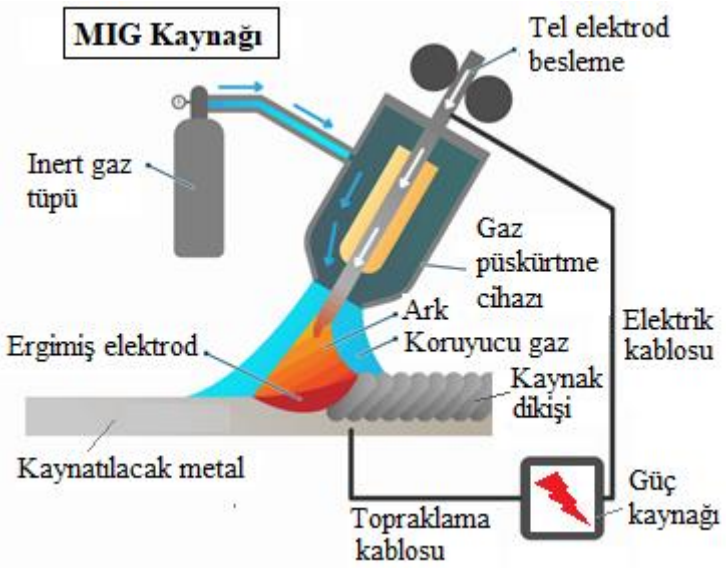
A. Normal bir ortamı inert bir ortamla değiştirin.

- Argon kullanarak sıcak metal filamentin bozulmasını önleyin
- MIG/TIG kaynağı
- Vakumda gerçekleştirilen elektron ışını kaynağı

- Vakumlu paketleme

B. Bir nesneye nötr parçalar veya inert katkı maddeleri ekleyin.

- Havacılık yakıtı, parlama noktasını değiştirmek için katkı maddeleri içerir
- Ses titreşimlerini emmek için köpük ekleyin



Şekil 2.54. MIG kaynak yönteminde kullanılan inert gaz kaynak dikişindeki korozyonu önlemektedir.

40. <u>Prensip, kompozit malzemeler</u>

Tek çeşit malzeme yerine birleşik malzemelerin kullanımı.

Birçok yerde demir yerine çeşitli çelik alaşımlarının kullanılması (paslanmaz çelikten tencereler)

A. Tek tipten kompozit (çoklu) malzemelere geçiş

- Düşük ağırlık ve yüksek dayanım gerekli olan uçak gövde yapıları
- Kompozit golf sopaları
- Beton agregası
- Camla güçlendirilmiş plastik
- Fiber takviyeli seramikler
- Erozyon özelliklerini iyileştirmek için sert / yumuşak / sert çok katmanlı kaplamalar

(a) (b)

Şekil 2.55. (a) Cam elyafından yapılmış sörf tahtaları daha kolay kontrol edilebilir, daha kolay şekillendirilebilir ve daha hafiftir. (b) Karbon fiber golf sopaları oldukça hafif ama dayanıklıdır.

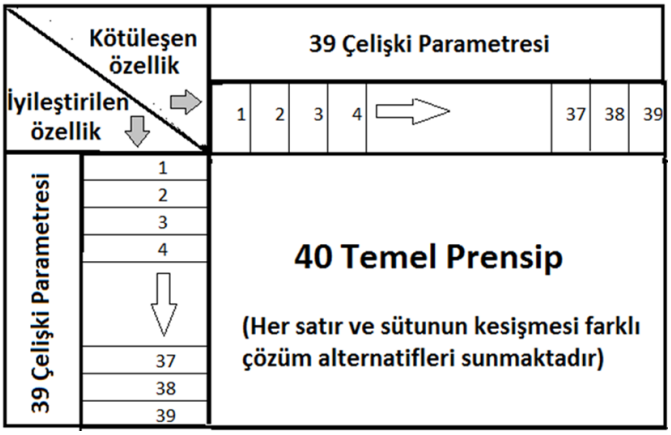
TRIZ yöntemi ile çözüm

Altshuller' in yönteminde 40 yaratıcı prensip, her bir hücrede en fazla dört prensip olmak üzere, çelişkiler matrisinin hücrelerine, yerleştirilmektedir.

Sonuç olarak 39x39 boyutundaki çelişkiler matrisinde yaklaşık 1.600 hücre ve yaklaşık 6.400 ideal TRIZ çözümü yer almaktadır (Tablo 2.4).

Şekil 2.56. Triz yöntemi ile tasarım problemlerine çözüm bulmak için genel yaklaşım.

Matriste, çelişki parametrelerinden değeri arttıkça tasarımı iyileştirenler sütunda, kötüleştirenler ise satırda aranmalıdır.



Şekil 2.57. Triz matrisinin genel yapısı.

Çelişkiler matrisinin köşegeni üzerinde yer alan hücrelerde çözümler yer almamaktadır. Bunun nedeni, bu hücrelere ilişkin satır ve sütunlarda yer alan sorunların aynı sorunlar olmasıdır.

Çelişkiler Matrisi incelendiğinde köşegen üzerinde yer almayan bazı hücrelerde de ideal TRIZ çözümünün bulunmadığı görülebilir. Bunun nedeni ise TRIZ yönteminde veya mühendislik bilimindeki genel mantık içinde, bu sorunların eşleştirilemeyen sorunlar olmasıdır.

Örneğin hareketli bir makine yapısının daha hafif olması istendiğinde tablo 2.2 den çelişki parametresi 1 seçilir. Makinanın hafif olması genel olarak tasarımı iyileştiren bir özellik olduğu için tablo 2.4 de sütundan bakılacaktır. Gövdenin dayanımının azalması ise tablo 2.2 de çelişki parametresi 15 e karşılık gelmektedir. Makinanın dayanımının azalması ise tasarımı kötüleştiren bir özellik olduğu için tablo 2.4 de sütundan bakılacaktır. Dolayısı ile hafiflik ve dayanım burada çözüme kavuşturulması gereken çelişki parametreleridir. TRIZ yöntemine göre tablo 2.3 de verilmekte olan 40 temel çözüm prensibinden, tablo 2.4 e göre 1. satır ve 15.

sütunda önerilmekte olan 5, 34, 31 ve 35 no lu çözümlerden en uygun olanının kullanılması ile bu mühendislik problemine çözüm bulmak mümkündür.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	--	15,8,29,34	--	29,17,38,3	--	29,2,40,28	--
2	-	----	--	10,1,29,35	--	35,30,13,2	--	5,35,14,2
3	8,15,29,34	--	----	--	15,17,4	--	7,17,4,35	--
4	--	35,28,40,2	--	----	--	17,7,10,40	--	35,8,2,14
5	2,17,29,4	--	14,15,18,4	--	----	--	7,14,17,4	--
6	--	30,2,14,18	--	26,7,9,39	--	----	--	--
7	2,26,29,40	--	1,7,4,35	--	1,7,4,17	--	----	--
8	--	35,10,19,1	19,14	35,8,2,14	--	--	--	----
9	2,28,13,38	--	13,14,8	--	29,30,34	--	7,29,34	--
1	8,1,37,18	18,13,1,28	17,19,9,38	28,10	19,10,15	1,18,38,37	15,9,12,37	2,38,18,37
1	10,36,37,4	13,29,10,1	35,10,36	35,1,14,16	10,15,36,2	10,15,38,3	6,35,10	35,24
1	8,10,29,40	15,10,26,3	29,34,5,4	13,14,10,7	5,34,4,10	--	14,4,15,22	7,2,35
1	21,35,2,39	26,39,1,40	13,15,1,28	37	2,11,13	39	28,10,19,3	34,28,35,4
1	1,8,40,15	40,26,27,1	1,15,8,35	15,14,28,2	3,34,40,29	9,40,28	10,15,14,7	9,14,17,15
1	19,5,34,31	--	2,19,9	--	3,17,19	--	10,2,19,30	--
1	--	6,27,19,16	--	1,40,35	--	--	--	35,34,38
1	36,22,6,38	22,35,32	15,19,9	15,19,9	3,35,39,18	35,38	34,39,40,1	35,6,4
1	19,1,32	2,35,32	19,32,16	--	19,32,26	--	2,13,10	--
1	12,18,28,3	--	12,28	--	15,19,25	--	35,13,18	--
2	--	19,9,6,27	--	--	--	--	--	--
2	8,36,38,31	19,26,17,2	1,10,35,37	--	19,38	17,32,13,3	35,6,38	30,6,25
2	15,6,19,28	19,5,18,9	7,2,6,13	6,38,7	15,26,17,3	17,7,30,18	7,18,23	7
2	35,6,23,40	35,6,22,32	14,29,10,3	10,328,24	35,2,10,31	10,18,39,3	1,29,30,36	3,39,18,31
2	10,24,35	10,35,5	1,26	26	10,26	30,16	--	2,22
2	10,20,37,3	10,20,26,5	15,2,29	30,24,14,5	26,4,5,16	10,35,17,4	2,5,34,10	35,16,32,1
2	35,6,18,31	27,26,18,3	29,14,35,1	--	15,14,29	2,18,40,4	15,20,29	--
2	3,8,10,40	3,10,8,28	15,9,14,4	15,29,28,1	17,10,14,1	32,35,40,4	3,10,14,24	2,35,24
2	32,35,26,2	28,35,25,2	28,26,5,16	32,28,3,16	26,28,32,3	26,28,32,3	32,13,6	--
2	28,32,13,1	28,35,27,9	10,28,29,3	2,32,10	28,33,29,3	2,29,18,36	32,23,2	25,10,35
3	22,21,27,3	2,22,13,24	17,1,39,4	1,18	22,1,33,28	27,2,39,35	22,23,37,3	34,39,19,2
3	19,22,15,3	35,22,1,39	17,15,16,2	--	17,2,18,39	22,1,40	17,2,40	30,18,35,4
3	28,29,15,1	1,27,36,13	1,29,13,17	15,17,27	13,1,26,12	16,40	13,29,1,40	35
3	25,2,13,15	6,13,1,25	1,17,13,12	--	1,17,13,16	18,16,15,3	1,16,35,15	4,18,39,31
3	2,27,35,11	2,27,35,11	1,28,10,25	3,18,31	15,13,32	16,25	25,2,35,11	1
3	1,6,15,8	19,15,29,1	35,1,29,2	1,35,16	35,30,29,7	15,16	15,35,29	--
3	26,30,34,3	2,26,35,39	1,19,26,34	26	14,1,13,16	6,36	34,26,6	1,16
3	27,26,28,1	6,13,28,1	16,17,26,2	26	2,13,18,17	2,39,30,16	29,1,4,16	2,18,26,31
3	28,26,18,3	28,26,35,1	14,13,17,2	23	17,14,13	--	35,13,16	--
3	35,26,24,3	28,27,15,3	18,4,28,38	30,7,14,26	10,26,34,3	10,35,17,7	2,6,34,10	35,37,10,2

Tablo 2.4. TRIZ çözüm matrisi

	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2,8,15,38	8,10,18,37	10,36,37,4	10,14,35,4	1,35,19,39	28,27,18,4	5,34,31,35	--
2	--	8,10,19,35	13,29,10,1	13,10,29,1	26,39,1,40	28,2,10,27	--	2,27,19,6
3	13,4,8	17,10,4	1,8,35	1,8,10,29	1,8,15,34	8,35,29,34	19	--
4	--	28,10	1,14,35	13,14,15,7	39,37,35	15,14,28,2	--	1,10,35
5	29,30,4,34	19,30,35,2	10,15,36,2	5,34,29,4	11,2,13,39	3,15,40,14	6,3	--
6	--	1,18,35,36	10,15,36,3	--	2,38	40	--	2,10,19,30
7	29,4,38,34	15,35,36,3	6,35,36,37	1,15,29,4	28,10,1,39	9,14,15,7	6,35,4	--
8	--	2,18,37	24,35	7,2,35	34,28,35,4	9,14,17,15	--	35,34,38
9	----	13,28,15,1	6,18,38,40	35,15,18,3	28,33,1,18	8,3,26,14	3,19,35,5	--
1	13,28,15,1	----	18,21,11	10,35,40,3	35,10,21	35,10,14,2	19,2	--
1	6,35,36	36,35,21	----	35,4,15,10	35,33,2,40	9,18,3,40	19,3,27	--
1	35,15,34,1	35,10,37,4	34,15,10,1	----	33,1,18,4	30,14,10,4	14,26,9,25	--
1	33,15,28,1	10,35,21,1	2,35,40	22,1,18,4	----	17,9,15	13,27,10,3	39,3,35,23
1	8,13,26,14	10,18,3,14	10,3,18,40	10,30,35,4	13,17,35	----	27,3,26	--
1	3,35,5	19,2,16	19,3,27	14,26,28,2	13,3,35	27,3,10	----	--
1	--	--	--	--	39,3,35,23	--	--	----
1	2,28,38,30	35,10,3,21	35,39,19,2	14,22,19,3	1,35,32	10,30,22,4	19,13,39	19,18,36,4
1	10,13,19	26,19,6	--	32,30	32,3,27	35,19	2,19,6	--
1	8,35,36	16,26,21,2	23,14,25	12,2,29	19,13,17,2	5,19,9,35	28,35,6,18	--
2	--	36,37	--	--	27,4,29,18	35	--	--
2	15,35,2	26,2,36,35	22,10,35	29,14,2,40	35,32,15,3	26,10,28	19,35,10,3	16
2	16,35,38	36,38	--	--	14,2,39,6	26	--	--
2	10,13,28,3	14,15,18,4	3,36,37,10	29,35,3,5	2,14,30,40	35,28,31,4	28,27,3,18	27,16,18,3
2	26,32	--	--	--	--	--	10	10
2	--	10,37,36,5	37,36,4	4,10,34,17	35,3,22,5	29,3,28,18	20,10,28,1	28,20,10,1
2	35,29,34,2	35,14,3	10,36,14,3	35,14	15,2,17,40	14,35,34,1	3,35,10,40	3,35,31
2	21,35,11,2	8,28,10,3	10,24,35,1	35,1,16,11	--	11,28	2,35,3,25	34,27,6,40
2	28,13,32,2	32,2	8,28,32	6,28,32	32,35,13	28,6,32	28,6,32	10,26,24
2	10,28,32	28,19,34,3	3,35	32,30,40	30,18	3,27	3,27,40	--
3	21,22,35,2	13,15,39,1	22,2,37	22,1,3,35	35,24,30,1	18,35,37,1	22,15,33,2	17,1,40,33
3	35,28,3,23	35,28,1,40	2,33,27,18	35,1	35,40,27,3	15,35,22,2	15,22,33,3	21,39,16,2
3	35,13,8,1	35,12	35,19,1,37	1,28,13,27	11,13,1	1,3,10,32	27,1,4	35,16
3	18,13,34	28,13,35	2,32,12	15,34,29,2	32,35,40	32,40,3,28	29,3,8,25	1,16,25
3	34,9	1,11,10	13	1,13,2,4	2,35	11,1,2,9	11,29,28,2	1
3	35,10,14	15,17,20	35,16	15,37,1,8	35,30,14	35,3,32,6	13,1,35	2,16
3	34,10,28	26,16	19,1,35	29,13,28,1	2,22,17,19	2,13,28	10,4,28,15	--
3	3,4,16,35	30,28,40,1	35,36,37,3	27,13,1,39	11,22,39,3	27,3,15,28	19,29,39,2	25,34,6,35
3	28,10	2,35	13,35	15,32,1,13	18,1	25,13	6,9	--
3	--	28,15,10,3	10,37,14	14,10,34,4	35,3,22,39	29,28,10,1	35,10,2,18	20,10,16,3

Tablo 2.4. TRIZ çözüm matrisi (devam)

	17	18	19	20	21	22	23	24
1	6,29,4,38	19,1,32	35,12,34,31	--	12,36,18,31	6,2,34,19	5,35,3,31	10,24,35
2	28,19,32,22	19,32,35	--	18,19,28,1	15,9,18,22	18,19,28,15	5,8,13,30	10,15,35
3	10,15,19	32	8,35,24	--	1,35	7,2,35,39	4,29,23,10	1,24
4	3,35,38,18	3,25	--	--	12,8	6,28	10,28,24,35	24,26
5	2,15,16	15,32,19,13	19,32	--	19,10,32,18	15,17,30,26	10,35,2,39	30,26
6	35,39,38	--	--	--	17,32	17,7,30	10,14,18,39	30,16
7	34,39,10,18	2,13,10	35	--	35,6,13,18	7,15,13,16	38,39,34,10	2,22
8	35,6,4	--	--	--	30,6	--	10,39,35,34	--
9	28,30,36,2	10,13,19	8,15,35,38	--	19,35,38,2	14,20,19,35	10,13,28,38	13,26
10	35,10,21	--	19,17,10	1,16,36,37	19,35,18,37	14,15	8,35,40,5	--
11	35,39,19,2	--	14,24,10,37	--	10,35,14	2,36,25	10,36,3,37	--
12	22,14,19,32	13,15,32	2,6,34,14	--	4,6,2	14	35,29,3,5	--
13	35,1,32	32,3,27,16	13,19	27,4,29,18	32,35,27,31	14,2,39,6	2,14,30,40	--
14	30,10,40	35,19	19,35,10	35	10,26,35,28	35	35,28,31,40	--
15	19,35,39	2,19,4,35	28,8,35,18	--	19,10,35,38	--	28,27,3,18	10
16	19,18,36,40	--	--	--	16	--	27,16,18,38	10
17	----	32,30,21,16	19,15,3,17	--	2,14,17,25	21,17,35,38	21,36,29,31	--
18	32,35,19	----	32,1,19	32,35,1,15	32	13,16,1,6	13,1	1,6
19	19,24,3,14	2,15,19	----	--	6,19,37,18	12,22,15,24	35,24,18,5	--
20	--	19,2,35,32	--	----	--	--	28,27,18,31	--
21	2,14,17,25	16,6,19	16,6,19,37	--	----	10,35,38	28,27,18,38	10,19
22	19,38,7	1,13,32,15	--	--	3,38	----	35,27,2,37	19,10
23	21,36,39,31	1,6,13	35,18,24,5	28,27,12,31	28,27,18,38	35,27,2,31	----	--
24	--	19	--	--	10,19	19,10	--	----
25	35,29,21,18	1,19,26,17	35,38,19,18	1	35,20,10,6	10,5,18,32	35,18,10,39	24,26,28,32
26	3,17,39	--	34,29,16,18	3,35,31	35	7,18,25	6,3,10,24	24,28,35
27	3,35,10	11,32,13	21,11,27,19	36,23	21,11,26,31	10,11,35	10,35,29,39	10,28
28	6,19,28,24	6,1,32	3,6,32	--	3,6,32	26,32,27	10,16,31,28	--
29	19,26	3,32	32,2	--	32,2	13,32,2	35,31,10,24	--
30	22,33,35,2	1,19,32,13	1,24,6,27	10,2,22,37	19,22,31,2	21,22,35,2	33,22,19,40	22,10,2
31	22,35,2,24	19,24,39,32	2,35,6	19,22,10	2,35,18	21,35,2,22	10,1,34	10,21,29
32	27,26,18	28,24,27,1	28,26,27,1	1,4	27,1,12,24	19,35	15,34,33	32,24,18,16
33	26,27,13	13,17,1,24	1,13,24	--	35,34,2,10	2,19,13	28,32,2,24	4,10,27,22
34	4,10	15,1,13	15,1,28,16	--	15,10,32,2	15,1,32,19	2,35,34,27	--
35	27,2,3,35	6,22,26,1	19,35,29,13	--	19,1,29	18,15,1	15,10,2,13	--
36	2,17,13	24,17,13	27,2,29,28	--	20,19,30,34	10,35,13,2	35,10,28,29	--
37	3,27,35,16	2,24,26	35,38	19,35,16	18,1,16,10	35,3,15,19	1,18,10,24	35,33,27,22
38	26,2,19	8,32,19	2,32,13	--	28,2,27	23,28	35,10,18,5	35,33
39	36,21,28,10	26,17,19,1	36,10,38,19	1	35,20,10	28,10,29,35	28,10,35,23	13,15,23

Tablo 2.4. TRIZ çözüm matrisi (devam)

	25	26	27	28	29	30	31	32
1	10,35,20,28	3,26,18,31	1,3,11,27	28,27,35,26	28,35,26,18	22,21,18,27	22,35,31,39	27,28,1,36
2	10,20,35,26	19,6,18,26	10,28,8,3	18,26,28	10,1,35,17	2,19,22,37	35,22,1,39	28,1,9
3	15,2,29	29,35	10,14,29,40	28,32,4	10,28,29,37	1,15,17,24	17,15	1,29,17
4	30,29,14	--	15,29,28	32,28,3	2,32,10	1,18	--	15,17,27
5	26,4	29,30,6,13	29,9	26,28,32,3	2,32	22,33,28,1	17,2,18,39	13,1,26,24
6	10,35,4,18	2,18,40,4	32,35,40,4	26,28,32,3	2,29,18,36	27,2,39,35	22,1,40	40,16
7	2,6,34,10	29,30,7	14,1,40,11	25,26,28	25,28,2,16	22,21,27,35	17,2,40,1	29,1,40
8	35,16,32,18	35,3	2,35,16	--	35,10,25	34,39,19,27	30,18,35,4	35
9	--	10,19,29,38	11,35,27,28	28,32,1,24	10,28,32,25	1,28,35,23	2,24,35,21	35,13,8,1
10	10,37,36	14,29,18,36	3,35,13,21	35,10,23,24	28,29,37,36	1,35,40,18	13,3,36,24	15,37,18,1
11	37,36,4	10,14,36	10,13,19,35	6,28,25	3,35	22,2,37	2,33,27,18	1,35,16
12	14,10,34,17	36,22	10,40,16	28,32,1	32,30,40	22,1,2,35	35,1	1,32,17,28
13	35,27	15,32,35	--	13	18	35,24,30,18	35,40,27,39	35,19
14	29,3,28,10	29,10,27	11,3	3,27,16	3,27	18,35,37,1	15,35,22,2	11,3,10,32
15	20,10,28,18	3,35,10,40	11,2,13	3	3,27,16,40	22,15,33,28	21,39,16,22	27,1,4
16	28,20,10,16	3,35,31	34,27,6,40	10,26,24	--	17,1,40,33	22	35,10
17	35,28,21,18	3,17,30,39	19,35,3,10	32,19,24	24	22,33,35,2	22,35,2,24	26,27
18	19,1,26,17	1,19	--	11,15,32	3,32	15,19	35,19,32,39	19,35,28,26
19	35,38,19,18	34,23,16,18	19,21,11,27	3,1,32	--	1,35,6,27	2,35,6	28,26,30
20	--	3,35,31	10,36,23	--	--	10,2,22,37	19,22,18	1,4
21	35,20,10,6	4,34,19	19,24,26,31	32,15,,2	32,2	19,22,32,2	2,35,18	26,10,34
22	10,18,32,7	7,18,25	11,10,35	32	--	21,22,35,2	21,35,2,22	--
23	15,18,35,10	6,3,10,24	10,29,39,35	16,34,31,28	35,10,24,31	33,22,30,40	10,1,34,29	15,34,33
24	24,26,28,32	24,28,35	10,28,23	--	--	22,10,1	10,21,22	32
25	----	35,38,18,16	10,30,4	24,34,28,32	24,26,28,18	35,18,34	35,22,18,39	35,28,34,4
26	35,38,18,16	----	18,3,28,40	13,2,28	33,30	35,33,29,31	3,35,40,39	29,1,35,27
27	10,30,4	21,28,40,3	----	32,3,11,23	11,32,1	27,35,2,40	35,2,40,26	--
28	24,34,28,32	2,6,32	5,11,1,23	----	--	28,24,22,26	3,33,39,10	6,35,25,18
29	32,26,28,18	32,30	11,32,1	--	----	26,28,10,36	4,17,34,26	--
30	35,18,34	35,33,29,31	27,24,2,40	28,33,23,26	26,28,10,18	----	--	24,35,2
31	1,22	3,24,39,1	24,2,40,39	3,33,26	4,17,34,26	--	----	--
32	35,28,34,4	35,23,1,24	--	1,35,12,18	--	24,2	--	----
33	4,28,10,34	12,35	17,27,8,40	25,13,2,34	1,32,35,23	2,25,28,39	--	2,5,12
34	32,1,10,25	2,28,10,25	11,10,1,16	10,2,13	25,10	35,10,2,16	--	1,35,11,10
35	35,28	3,35,15	35,13,8,24	35,5,1,10	--	35,11,32,31	--	1,13,31
36	6,29	13,3,27,10	13,35,1	2,26,10,34	26,24,32	22,19,29,40	19,1	27,26,1,13
37	18,28,32,9	3,27,29,18	27,40,28,8	26,24,32,28	--	22,19,29,28	2,21	5,28,11,29
38	24,28,35,30	35,13	11,27,32	28,26,10,34	28,26,18,23	2,33	2	1,26,13
39	--	35,38	1,35,10,38	1,10,34,28	18,10,32,1	22,35,13,24	35,22,18,39	35,28,2,24

Tablo 2.4. TRIZ çözüm matrisi (devam)

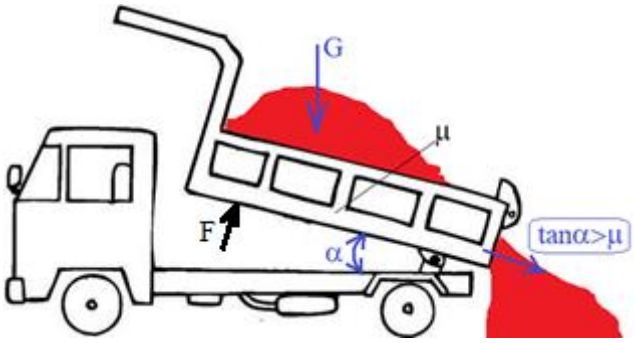
	33	34	35	36	37	38	39
1	35,3,2,24	2,27,28,11	29,5,15,8	26,30,36,34	28,29,26,32	26,35,18,19	35,3,24,37
2	6,13,1,32	2,27,28,11	19,15,29	1,10,26,39	25,28,17,15	2,26,35	1,28,15,35
3	15,29,35,4	1,28,10	14,15,1,16	1,19,26,24	35,1,26,24	17,24,26,16	14,4,28,29
4	2,25	3	1,35	1,26	26	--	30,14,7,26
5	15,17,13,16	15,13,10,1	15,30	14,1,13	2,36,26,18	14,30,28,23	10,26,34,2
6	16,4	16	15,16	1,18,38	2,35,30,18	23	10,15,17,7
7	15,13,30,12	10	15,29	26,1	29,26,4	35,34,16,24	10,6,2,34
8	--	1	--	1,31	2,17,26	--	35,37,10,2
9	32,28,13,12	34,2,28,27	15,10,26	10,28,4,34	3,34,27,16	10,18	--
10	1,28,3,25	15,1,11	15,17,18,20	26,35,10,18	36,37,10,19	2,35	3,28,35,37
11	11	2	35	19,1,35	2,36,37	35,24	10,14,35,37
12	32,15,26	2,13,1	1,15,29	16,29,1,28	15,13,39	15,1,32	17,26,34,10
13	32,35,30	2,35,10,16	35,30,34,2	2,35,22,26	35,22,39,23	1,8,35	23,35,40,3
14	32,40,25,2	27,11,3	15,3,32	2,13,25,28	27,3,15,40	15	29,35,10,14
15	12,27	29,10,27	1,35,13	10,4,29,15	19,29,39,35	6,10	35,17,14,19
16	1	1	2	--	25,34,6,35	1	20,10,16,38
17	26,27	4,10,16	2,18,27	2,17,16	3,27,35,31	26,2,19,16	15,28,35
18	28,26,19	15,17,13,16	15,1,19	6,32,13	32,15	2,26,10	2,25,16
19	19,35	1,15,17,28	15,17,13,16	2,29,27,28	35,38	32,2	12,28,35
20	--	--	--	--	19,35,16,25	--	1,6
21	26,35,10	35,2,10,34	19,17,34	20,19,30,34	19,35,16	28,2,17	28,35,34
22	35,32,1	2,19	--	7,23	35,3,15,23	2	28,10,29,35
23	32,28,2,24	2,35,34,27	15,10,2	35,10,28,24	35,10,18,13	35,10,18	28,35,10,23
24	27,22	--	--	--	35,33	35	13,23,15
25	4,28,10,34	32,1,10	35,28	6,29	18,28,32,10	24,28,35,30	--
26	35,29,25,10	2,32,10,25	15,3,29	3,13,27,10	3,27,29,18	8,35	13,29,3,27
27	27,17,40	1,11	13,35,8,24	13,35,1	27,40,28	11,13,27	1,35,29,38
28	1,13,17,34	1,32,13,11	13,35,2	27,35,10,34	26,24,32,28	28,2,10,34	10,34,28,32
29	1,32,35,23	25,10	--	26,2,18	--	26,28,18,23	10,18,32,39
30	2,25,28,39	35,10,2	35,11,22,31	22,19,29,40	22,19,29,40	33,3,34	22,35,13,24
31	--	--	--	19,1,31	2,21,27,1	2	22,35,18,39
32	2,5,13,16	35,1,11,9	2,13,15	27,26,1	6,28,11,1	8,28,1	35,1,10,28
33	----	12,26,1,32	15,34,1,16	32,26,12,17	--	1,34,12,3	15,1,28
34	1,12,26,15	-----	7,1,4,16	35,1,13,11	--	34,35,7,13	1,32,10
35	15,34,1,16	1,16,7,4	----	15,29,37,28	1	27,34,35	35,28,6,37
36	27,9,26,24	1,13	29,15,28,37	----	15,10,37,28	15,1,24	12,17,28
37	2,5	12,26	1,15	15,10,37,28	----	34,21	35,18
38	1,12,34,3	1,35,13	27,4,1,35	15,24,10	34,27,25	----	5,12,35,26
39	1,28,7,10	1,32,10,25	1,35,28,37	12,17,28,24	35,18,27,2	5,12,35,26	----

Tablo 2.4. TRIZ çözüm matrisi (devam)

Örnek 2.1. Bir kamyonun damperli kasasını kaldırmak amacı ile bir mekanizma tasarımı yapılması gerekmektedir.

Kamyonun kasasından yükün kolayca boşalması için yük ile kasa arasındaki sürtünme ve/veya yapışma direnç kuvvetleri, ağırlık kuvvetlerinin kasa tabanı doğrultusundaki bileşeninden küçük olmalıdır. Bu amaçla kasanın, arka mafsal etrafında mümkün olduğunca büyük bir açı ile dönmesi istenmektedir.

Ancak trafikte seyahat durumunda, kasanın tekrar yatay pozisyona dönmesi gereklidir.



Çözüm,

Kasanın arka mafsal etrafında dönebilmesi için kasanın mafsaldan uzak bir noktaya uygulanacak bir F kuvveti ile döndürülmesi bu kuvvetin şiddetini azaltmakta dolayısı ile kuvvet basma nuktasında ve mekanizmada daha az zorlamaya sebep olmaktadır.

Buradaki kuvvetler yine de yeterince büyük olduğu için en aktuator olarak uygun çözümün, hidrolik silindir kullanmak olduğu anlaşılmaktadır.

Mafsaldan uzak bir hidrolik silindirin kasayı istenen açı değerine kadar döndürmesi için stroku büyük olmalıdır.

Aynı zamanda bu silindir kasa kapandığında olabildiğince küçük bir hacme sığmalıdır.

Bu durumda TRIZ tablosuna göre çelişki parametreleri (tablo 2.2),

(3) – Hareketli Nesnenin Uzunluğu olarak seçilir (iyileştiren özellik).

(7) – Hareketli Nesnenin Hacmi olarak seçilir (kötüleştiren özellik).

Çelişkiler	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	-	8, 15, 29,34	-	17,29, 34,38	-	2,28, 29,40	-
2	-	-	-	1,10, 29,35	-	2, 13, 30,35	-	2,5, 14, 35
3	8,15, 29,34	-	-	-	15,17,4	-	4,7, 17, 35	-
4	-	28, 29, 35, 40,	-	-	-	7, 10, 17,40	-	2,8, 14, 35

Hatırlanacağı üzere bu temel yaratıcı prensipler aşağıdaki gibi verilmektedir.

4 – Asimetri: Nesnenin asimetrik hale dönüştürülmesi ile çözüm arayışı

7 – Birbiri içine saklanmış sistemler: Silindirin teleskobik yapılması çözüm olabilir

17 – Diğer boyut: Silindiri iki veya üç boyutlu uzayda taşıma. Tek katlı düzenleme yerine çok katlı nesne düzenlemesi kullanın ve silindiri şasi altına saklayın. Silindiri yatırın veya yeniden yönlendirin, yan yatırın.

35 – Nesnenin fiziksel ya da kimyasal durumunda değişiklik: Sıvı gaz değişimleri ile uzama kısalma sorunu çözülebilir.

Önerilen dört temel yaratıcı prensipten 7 ve 17 numaralı prensipler problemin çözümüne en uygun olanları olarak görülmektedir.

Çözüm 1:

7 numaralı prensibe göre ise hidrolik silindirin tasarımını teleskobik şekilde yapmak en uygun çözüm olacaktır.

Bu durumda silindiri ayrı bir hacme taşımak gerekmez, ancak artan strok ihtiyacı karşılanabilir.

Çözüm 2:

17 numaralı prensibe göre hidrolik silindirin tasarımını artan kuvvete cevap verecek şekilde, daha büyük çaplı ve ancak daha kısa stroklu yapmak mümkündür.

Bu durumda hidrolik silindir kapalı pozisyonda iken şasi içinde alt kata (birinci hacim) taşınır.

Hidrolik silindir açık pozisyonda iken kamyon kasasının bulunduğu bölüme (ikinci hacim) taşınır.

3. Kavramsal tasarım

Kavramsal tasarım prosesi aşamasında yapılan faaliyetler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

a. Ürün geliştirme

b. Kavramsal tasarım alternatiflerini geliştirme

c. Karar verme ve en iyi kavramsal tasarımın seçimi

3.1. Ürün geliştirme

Makine mühendisliği tasarımı alanında ürün, hammaddelerin çeşitli işlemlerden geçirilerek bir araya getirilmesiyle oluşturulan somut bir nesnedir. Oluşturulan ürün, bir bütün olarak, ya da içindeki bileşenlerden biri ile bir ihtiyacı karşılamak amacı ile kullanılabilir.

Bir ihtiyacın karşılanması veya günlük yaşamda karşılaşılan bir problemin çözümü amacıyla, bir ürünün geliştirilmesi veya yeni bir ürün fikrinin oluşturulması çabaları bir tasarım ödevine yol açmaktadır.

Firmaların rekabet şanslarını arttırmak için, yeni ürün fikirleri oluşturma ve bu ürünlerin pazara sunulması çok önemlidir.

Bu aşamada geliştirilen yeni ürünün şirket amaçlarına uygunluğundan itibaren, imha işlemlerine kadar yaşam süreci dikkatle analiz edilmelidir.

3.1.1. Bir ürünün yenilik derecesi

Makine mühendisliği alanında kullanılmakta olan ürünler, üç temel grupta değerlendirilebilmektedir.

- Orijinal tasarım ürünler: Pazara sunulan ürünlerin sadece %10 luk kısmı bu gruba girmektedir. Doğaldır ki bu tip ürünlerin satışı riskli ve pahalıdır. Bundan dolayı çoğu firmaların yeni ürün geliştirme çabaları tamamen yeni ürün geliştirmeye değil, mevcut ürünlerin iyileştirilmesi ve geliştirilmesine yöneliktir. Örneğin Sony firmasında Ar-Ge çalışmalarının neredeyse %80'lik kısmı mevcut ürünlerin geliştirilmesine yöneliktir (Kotler, 1994).

Şekil 2.1. Güneş enerjisi ile çalışan araç ilk kez yapıldığında bir orijinal tasarım örneğidir.

- Adaptif (uyarlama) tasarım ürünler: Ürünün tasarımında eski çözüm prensibi değişmeden kalır, sadece somut, yeni gereksinimler ve kısıtlamalar uyarlanmıştır. Yani mevcut ürünler yeni ihtiyaçlara göre düzenlenmiştir. Burada vurgu boyutlar, dayanım, üretim ve malzeme sorunları üzerinedir. Adaptif tasarım örneği olarak bir hurda presi aşağıda verilmektedir.

Şekil 2.2. Hurda presi genelde hidrolik silindirlerin itme kuvvetinden yararlanarak metal parçaları sıkıştırmaktadır.

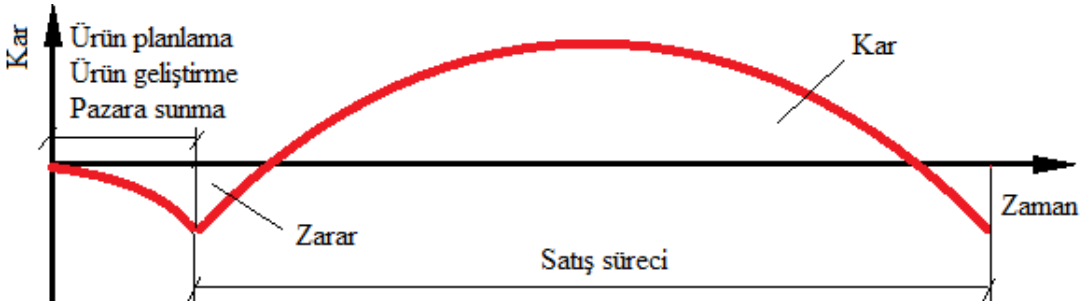
- Varyant (değişken) tasarım ürünler: Bir ürünün yerini alabilecek yeni tasarım geliştirme. Burada ürünün ve montajlarının boyutları ve yapısı önceden belirlenmiş kabul edilebilir sınırlar dâhilinde değişebilir.

  Örneğin haddeden çekilen 1500 mm yüksekliğinde I profilin bulunmaması halinde yerine aynı profil daha farklı boyutlarda soğuk çekme veya kaynaklı olarak yapılabilir.

Şekil 2.3. Kaynakla birleştirme yöntemi ile çelik profil ürünlerin bir çok türünü (varyasyonlarını) üretebilen bir makine

3.1.2. Ürün yaşam döngüsü

Ürünün yaşam döngüsü, onun üretimi, satışı ve satış potansiyelinin ölçülmesi bakımından önemlidir. Bu yaşam döngüsü ürünün ekonomikliğine ve endüstri dalına bağlı olarak saptanmaktadır.



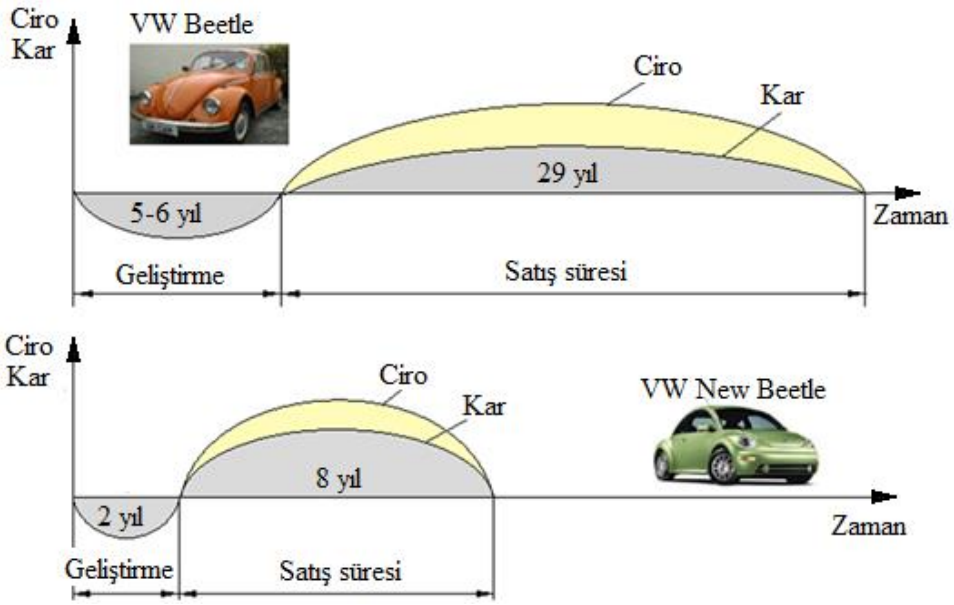
Şekil 2.4. Bir ürünün yaşam döngüsü birçok faktöre bağlı olarak oluşmaktadır.

Ürünün yaşam döngüsünde belli başlı altı dönem vardır. Bunlar; ürünün geliştirilmesi, ürünün pazara sunulması, satışların büyümesi, satışların maksimum olduğu olgunluk aşaması, ürünün satışlarının düşme aşaması, ürünün satış olanaklarını kaybetmesi ve ölüm aşaması şeklinde sıralanabilir.

Ürün geliştirme dönemi ürünün oluşturulması, pazar potansiyelinin saptanması ve pazarlama planlarının düzenlenmesini kapsar. Yeni ürünlerin pazarda satış olanakları bulamama olasılığı vardır.

Bu yüzden yeni ürün geliştirme işleminin maliyeti yüksek olur. Gelişmiş ülkelerde, yeni bir malın piyasalardaki başarı oranı 1/40'tır. Doyum aşamasına ulaşıldığı zaman pazarı yeniden canlandıracak veya yeni mamuller üretecek önlemler almak gerekir. Örnek bir ürün ömrü aşağıdaki şekilde verilmektedir.

Gelişen teknolojik koşullarda ürünlerin kullanım ömrü giderek kısalmaktadır. Örneğin, VW Beetle' in ilk tasarım ve geliştirilme süreci 5-6 yıl iken, güncel modeli olan VW New Beetle' in geliştirme süreci iki yıl sürmüştür.



Şekil 2.5. Volkswagen firmasının eski beetle modeli otomobilinin yeni versiyonu olan new beetle modeli ile karşılaştırmalı yaşam döngüleri.

3.1.3. Firma hedefleri ve ürün geliştirmeye etkisi

Pazarla ilgili inceleme alanları:

- Sosyal ve politik istekler, çevre sorunları, ilgili yasa ve yönetmelikler, yeni emniyet ve güvenilirlik eğilimleri ve istekleri
- Pazardaki büyüme ve genişleme eğilimleri ve sınırları, bazı alanlardaki teşvik tedbirleri
- Pazarın dinamik yapısındaki değişmeler, termin şartlarındaki değişmeler
- Aynı pazar alanına giren firmalarla rekabet durumu, bu firmalardaki pazar eğilimlerinin incelenmesi
- Teknolojideki değişmeler, yeni araştırma sonuçları ve bunların uygulama olanakları

Böyle bir pazar analizinde aşağıdaki zorluklarla karşılaşılması doğaldır:

- Pazarın kararsızlığı ve pazar dinamiğinin değişim eğilimlerinin ürün geliştirme süreci içinde ne olabileceğinin tahmininde belirsizlik
- Ürünlerin pazar ömürlerinin kısalması ve bu kısalma eğiliminin tespiti
- Genellikle geleceğe ait tahminlerde olası hata olasılıkları

İşletmenin iç durumu analiz edilirken, sadece işletmeye doğrudan bağlı üretim merkezleri ele alınmaz. İşletmenin iştirakleri, bağlantılar kurduğu diğer işletmeler, kısaca işletmenin tüm potansiyel alanları inceleme ve değerlendirmeye tabi tutulur.

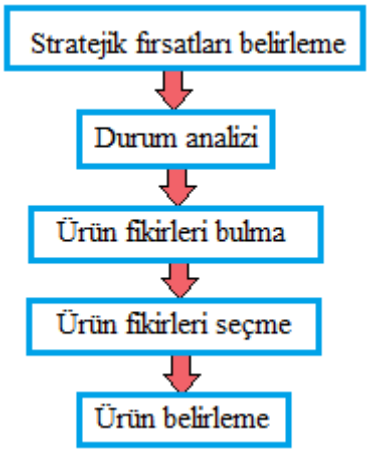
İşletme hedeflerini aşağıdaki önemli hususlar belirleyebilir:

- Pazarda satış yüzde payının arttırılması ve artış eğilimin korunması
- Pazardaki talep eğilimine uygun bir esnekliğe ağırlık verilmesi
- Anapara-ciro-kâr oranlarındaki hedeflere ulaşma vb.

3.1.4. Ürün planlama

Seri halde ve büyük miktarlarda üretim yapan firmalar, yeni tipleri ve yeni modelleri pazar talebine uygun olarak geliştirmek zorundadırlar. Bu nedenle, pazarda isim yapmış olan büyük firmalar bünyelerinde güçlü bir "ürün planlama bölümü" oluşturmuşlardır. Bu bölüm, konstrüksiyon, imalat ve pazarlama bölümleri ile sıkı ilişkiler içindedir.

Büyük şirketlerde, ürün planlama bölümleri tarafından doğru ürün fikirleri geliştirilir. Ürün planlama bölümünde çalışanlar arasında pazarlama personeli ve ürün yöneticileri de bulunur.



Şekil 2.6. Ürün planlama işleminin akış şeması

1. Adım; Stratejik fırsatları belirleme

Bu aşamada ilk olarak stratejik fırsatlar belirlenmektedir. Örneğin pazardaki bazı boşlukları belirlemek mümkündür. Burada işletmenin araştırma bölümü mevcut ise buradan gelen yeni bilgiler ve işletme dışı araştırmalardan gelen bulgular sürekli olarak değerlendirilir.

Piyasadan gelen uyarılar,

- Piyasadaki şirket ürünlerinin teknik ve ekonomik yeri
- Özellikle ciroda bir azalma veya Pazar payında bir düşüş olduğunda ürünlerin teknik ve ekonomik değerlendirilmesi yapılmalıdır.
- Piyasa ihtiyaçlarındaki değişimler,
- Müşteriden gelen öneri ve şikâyetler
- Rakip ürünlerin teknik ve ekonomik üstünlüğü

Çevresel uyarılar:

- Ekonomik ve politik değişimler, örneğin; petrol fiyatlarındaki artışlar, kaynak azalması, ulaşım kısıtlamaları.
- Yeni teknolojiler ve araştırma sonuçları, örneğin; mekanik çözümlerin yerini mikroelektroniğin alması veya oksijenle kesme yerini lazerle kesmenin alması
- Çevre ve geri dönüşüm sorunları. Ürünlerin yaşam döngüsünü tamamladıktan sonra güvenli olarak çevreye zarar vermeden imha edilmesi veya geri dönüşüme tabi tutulması gerekmektedir.

Şirket içi uyarılar:

- Tasarım ve geliştirme veya üretim esnasında şirket personeli tarafından yapılan araştırmalardan gelen yeni fikir ve bulgular
- Pazarı genişletmek veya tatmin etmek için eklenen yeni fonksiyonlar
- Yeni üretim yöntemleri kullanma
- Ürün çeşitliliğini artırma

Stratejik fırsatları belirleme işleminde ikinci aşama müşteri ihtiyaçları ve pazar ve eğilimlerinin belirlenmesi ve bu yolla bazı fırsatlar oluşturmaktır.

Araştırma stratejilerini formüle etme işleminde üçüncü aşamada şirket hedefleri, şirketin kuvvetli yönleri ve pazar hesaba katılarak yatırım yapmak amacıyla umut verici bir boşluk bulunmaktadır.

2. Adım; Durum analizi

Bu aşamada ilk olarak ürün yaşam döngüsü belirlenmektedir. Yaşam döngüsü analizi, aynı zamanda, çeşitlendirme, ihtiyacı belirleme amaçları için kullanılabilir.

Durum analizinde ikinci aşama rakip şirketlerin ürünlerinin mevcut durumunu ayırt etmek, açıkça belirlemek ve her bir ürünün kuvvetli ve zayıf yönlerini ortaya çıkartmak amacıyla bir Ürün-Pazar matrisi hazırlanmalıdır. Durum analizinde üçüncü aşama şirketin kendi yetkinliğini değerlendirmesidir. Şirketin kendi yetkinliğini değerlendirme analizi ile bir şirket kendi teknik zayıflıklarını değerlendirebilir ve rakip şirketlerle bir karşılaştırma yapmak suretiyle mevcut piyasa durumu hakkında bilgi sahibi olabilir.

Durum analizinde dördüncü aşama mevcut teknoloji durumunu belirlemektir. Bu işlem rakip ürünlerin yanı sıra şirket ürünleri, ilişkili teknolojiler, kaynak ve patentlerdeki kavram ve ürünleri incelemeyi de içerir. Ayrıca en son standartlar, kılavuzlar ve yönetmelikler de önemlidir.

Durum analizinde beşinci aşama gelecekteki gelişmeleri tahmin etmektir. Gelecekteki proje bilgileri, beklenen müşteri davranışları, teknolojik eğilimler, çevresel ihtiyaçlar ve araştırma sonuçlarından, gelecekteki gelişmeleri tahmin etmeye yönelik yol gösterici bilgi elde edilebilir.

3. Adım; Ürün Fikirleri Bulma

Ürünle ilgili yeni fikirler firma içi ve dışı pek çok kaynaktan çıkabilir. Ürün fikirleri bulmak için temel olarak iki kaynak vardır, tüketici ihtiyaçları ve teknolojik gelişmeler.

Üreticiler daima tüketicilerin ihtiyaç ve taleplerini karşılayacak ürünleri geliştirmeye çalışırlar. Buna örnek olarak ekonomik cep telefonlarını gösterebiliriz.

4. Adım; Ürün fikirlerini seçme

Bir önceki safhada geliştirilen yeni ürün fikirleri, bir seçim işlemine tabi tutularak uygun olanlarının seçilmesi gerekmektedir. Bu seçimde, yüksek ciro, piyasa paylaşımı da dikkate alınmalıdır. Geleceğe yönelik umut verici ürün fikirlerini belirlemek için sadece ikili değerler ile (evet/hayır) çalışmak, verimli bir şekilde seçimi yapılabilir.

HIZ DEĞİŞTİRME MEKANİZMASI SEÇİM KARTI						
Çözüm seçenekleri	**Firmanın üretim alanı ile uyum**	**Maliyetin uygunluğu**	**Firmanın tezgah donanımı imkanları**	**Pazar durumu**	**Notlar**	**Karar**
1	+	-	-	+	Varyatör maliyeti arttırıyor	-
2	-	+	-	-	Şanzuman imali için tezgah alınması gerekli	-
3	+	+	+	+	Zincir mekanizması gürültülü çalışıyor	+
4	+	+	-	+	Redüktör imali için tezgah alınması gerekli	?
5	+	+	+	+	Kayış kasnak mekanizmasında ömür problemi var	+

Şekil 2.7. Seçim kartları ile ürün fikirlerinin arasından uygun olanlar seçilebilmektedir.

Ürün fikirlerinin aşağıdaki gibi seçim kartları kullanılarak seçilmesi yöntemi çoğunlukla yeterlidir (şekil 2.7).

5. Adım; Ürünleri belirleme

Bu basamakta umut verici ürün fikirleri, daha somut ve daha ayrıntılı hale getirilir.

En geç bu basamakta satışlardan, pazarlamadan, araştırma, geliştirme ve tasarımdan sorumlu personelin ortaklaşa çalışması gerekmektedir.

Ürün fikirleri, ürün planlama karar ölçütleri tablolarında listelenen tüm ölçütler bilindikleri ölçüde kullanılarak bir değerlendirmeye tabi tutulurlar.

Ürün geliştirme bölümü, daha sonra önerilen sistematik bir yaklaşımı kullanarak gerçek ürünü geliştirir.

Değerlendirme işleminin adımları aşağıdaki gibidir,

- Temel ilkeleri belirleme
- Değerlendirme ölçütleri belirleme
- Değerlendirme ölçüt önemlerini belirleme
- Parametreler derleme
- Değerlere kıymet takdir etme
- Tüm değeri belirleme
- Kavram seçeneklerini karşılaştırma
- Çözüm seçeneklerinin kaba karşılaştırılması
- Değerlendirme belirsizliklerini tahmin etme
- Zayıf noktaları araştırma

3.2. Tasarım görevinin netleştirilmesi ve tasarım şartnamesi oluşturma

Tasarım ödevinin netleştirilmesi aşamasında ilk olarak ödevi, ödevin giriş ve çıkış büyüklüklerini tam olarak anlamak gereklidir. Bu aşamada ürün planlamadan gelen ödevin analizi aşağıdaki adımlarla yapılarak tasarım şartnamesine ulaşılır.

Tasarım şartnamesi oluşturmak için yapılacak faaliyetler

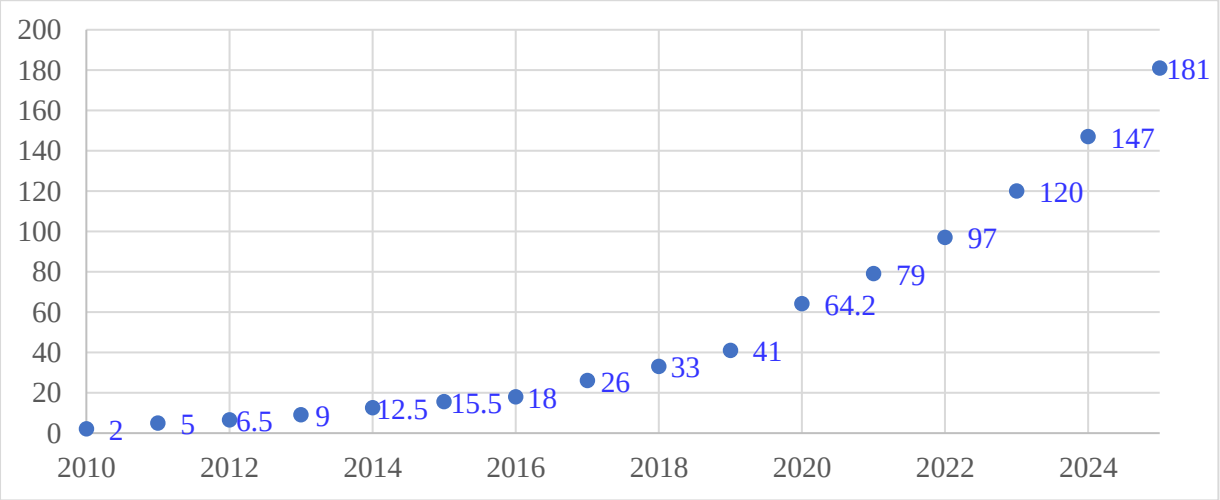
- Literatür araştırması yapma
- Sorular kataloğunun hazırlanması
- Tasarım şartnamesi oluşturma

3.2.1. Literatür araştırması yapma

Bilgi toplama aşamasında kullanılabilecek kaynaklar, internet, patentler, standartlar, makaleler olabilmektedir.

İnternet,

Günümüzde en büyük bilgi deposu internettir. Dünya genelinde 2022 yılında insanlığın dijital olarak depoladığı veri miktarı 97 zetabytes değerini aşmış durumdadır.



Şekil 2.15. Dünya üzerinde depolanmış olan toplam veri miktarının yıllara göre değişimi.

Global ölçekte artan nüfus, ilerleyen teknoloji, gittikçe büyüyen ve karmaşıklaşan ekonomi, sayısı gittikçe artan projeler, sürekli yeni gelişmeler insanlığın sahip olduğu toplam veri miktarını kontrol edilemeyen bir şekilde arttırmaktadır.

Bu veriler oldukça faydalı bilgiler içerdiği gibi aynı zamanda çoğunlukla eksik veya yanlış içeriklerle karşılaşılmaktadır. Bu durumda doğru bilgiye ulaşmak için sistematik arama yaklaşımları gerektirmektedir.

Teknik ve ticari yayınlar,

Her profesyonelin, ilgi alanında yeni konseptler geliştirebilmesi ve teknolojik bilgilerinin sürdürülebilirliğini sağlaması için yeterli miktarda dergi, teknik ve ticari yayınları okuması faydalıdır.

Yayınların aşağıdaki kategorilerde ve aylık olarak okunması gereklidir.

- Genel bilimsel, teknik ve ekonomik haberler. Burada aylık dergilerin takibi uygun olacaktır.
- İlgi alanınıza yönelik ticari dergiler
- İlgi alanınızdaki araştırma odaklı dergiler.

Standartlar,

Tarih öncesinde bazı araç ve gereçlerin boyut ve yapısının belli standartlara uygun olduğu görülmektedir. Çok eski çağlardan beri parmak ve ayak gibi vücut ölçüleri standart ölçüler olarak kullanılmıştır. Mezopotamya bölgesinde yaşayan insanlar, standardize edilmiş boyutlarda kalıplar kullanarak kerpiçleri seri olarak dökmüşlerdir. Hindistan'da M.Ö. 2000 yıllarında standardize edilmiş boyutlarda tuğlalar kullanılmıştır.

Şekil 2.16. Antik Roma da su tesisatlarında kullanılan vanalar.

İşletme düzeyinde ilk standartlaştırma örneğini ise 1797 yılında ordu için 10.000 adet tüfek yapan, pamuk çırçır makinesinin mucidi Eli Whitney (1765-1825) yapmıştır (şekil 2.17). Eli Whitney bu yüksek miktardaki ürünleri belirli bir kalitede yapabilmek için standardizasyona giderek ayrı ayrı bölümlerde üretilen tüfek parçalarını başarı ile birleştirmiştir.

(a) (b)

Şekil 2.17. Eli Whitney in tüfeği. (a) Tüfeğin standardize edilmiş parçaları, (b) Standart parçaların montajı ile oluşturulmuş tüfek.

Standartları kapsamlarını da dikkate alarak en geniş kapsamlı olanlardan başlayarak aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür,

- Kalite, güvence standartları (ISO 9000)
- Çevre ile ilgili standartlar (ISO 14000)
- Teknik standartlar (ANSI, Eurocode, TS)

Tasarımda doğru standart seçimi ekonomik veya kompakt tasarım için bir yöntem olarak kullanılabilir.

3.2.2. Sorular kataloğunun hazırlanması

Tasarım ödevini tam ve açık olarak tanımlamak için aşağıdaki tablodaki konuları dikkate alarak bir sorular kataloğu hazırlamak ve bundan yararlanmak mümkündür.

Enerji	Mekanik, hidrolik, pnömatik enerjiler, ısı enerjisi vb.
Kuvvet	Kuvvetin yönü, kuvvetin büyüklüğü, kuvvetin tekrar sayısı, ağırlıklar, kütle kuvvetleri, deformasyon, rijitlik, yaylanma özelliği.
Malzeme	Malzeme cinsi, malzeme özellikleri vb.
Sinyal	Giriş ve çıkışların değeri, cinsi, parazit mesafesi, toleranslar, işletme ve kontrol aletleri, kontrol parçaları.
Geometri	Büyüklük, yükseklik, genişlik, uzunluk, çap, yer ihtiyacı, adedi, tahrik veya diğer aletlere bağlantı şekilleri, eklemeler.
Kinematik	Hareket şekli, hareket yönü, hız, ivme.
Ergonomi	Kullanma, kullanma şekli, görüş alanı, konfor, aydınlatma, iş emniyeti, çevre korunması.
Standartlar ve talimatlar	Firma veya iş kolu ile ilgili standart ve talimatlar. Örneğin TSE, ISO, DIN, vb.
İmalat ve kontrol	İmalat şekli, imkan dahilindeki kalite ve toleranslar, ıskarta yüzdesi, kontrol imkanları, ayarlama imkanları.
Depolama, satış	Tip grup ve sıraları, öncelikli tipler, varyantlar, alternatifler, depo ortamı, bakım ve işletme talimatları.
Montaj ve nakliye	Montaj talimatları, montaj şekli, nakliye, yol ve demiryolu tünel kesitleri, kaldırma araçları, ambalaj durumları.
İşletme ve bakım	Kullanma şekli, çevre durumu ve şartları (ısı, atmosfer, kirlilik, rutubet), dayanma süresi, bakım şekli ve periyotları.
Masraflar	İmalat masrafları, takım masrafları, karlılık, lisanslar.
Termin	Araştırma ve geliştirme zamanı, ara terminler, gönderme zamanı.

Tablo 2.5. Kavramsal tasarım için sorular kataloğu.

3.2.3. Tasarım şartnamesi hazırlama

Müşteri gereksinimlerinin hangi ölçüde karşılanacağının belirlenmesi için bir tasarım şartnamesi hazırlanmaktadır. Tecrübelere göre tasarım şartnamesinin doğru ve açık yapılması maliyetleri önemli ölçüde etkilemektedir.

Bir tasarımda genelde iki tip beklenti vardır, bunlar;

- Kati istekler; Kesinlikle yerine getirilmesi gereken isteklerdir. Bu istekler listenin istek cinsi kolonunda " K " harfiyle gösterilir. Örneğin, makinanın elektrik motor gücü 10 kW olacak kesin istek belirtmektedir.
- Dilekler; Yerine getirilmesi şart olmayan isteklerdir, fakat avantajdırlar. Bu istekler listenin istek cinsi kolonunda " D " harfiyle gösterilir. Örneğin, makina elektrik motoru ile tahrik edilecek ancak ilerde gerekli görülürse dizel motor da kullanılabilsin şeklindeki talep arzu olarak açıklanabilir. Bu arzunun gerçekleşme olasılığı tasarıma bağlıdır.

Tasarım şartnamesi sürekli değişebilir. Düzeltmeleri ve devamlı kontrolü yapacak bir sorumlu belirlenmeli ve bu kişi sonraları listeyi aşağıdaki tabloda verilmekte olan sorular doğrultusunda kontrol etmelidir.

Sayısal değer olarak belirtilmiş midir?	**Anlaşılır şekilde yazılmış mıdır?**	**Kolayca kontrol imkânları var mıdır?**
Yaklaşık olarak 100 mm ölçüsü yerine 100+0,5 mm	Hidrolik aktuatör yerine, tek etkili, dalma pistonlu hidrolik silindir.	Basınç yüksek olmasın yerine, basınç max. 10 bar olsun.

Tablo 2.6. Tasarım şartnamesinin hazırlanmasında kullanılabilecek bazı soru örnekleri.

Tasarım şartnamesinin hazırlama aşamasında mevcut durumun kontrolü amacı ile aşağıdaki bilgiler kullanılabilir.

a. Tasarım ödevinde bilinenler
   - Geometri
   - Malzeme
   - Ömür vb.

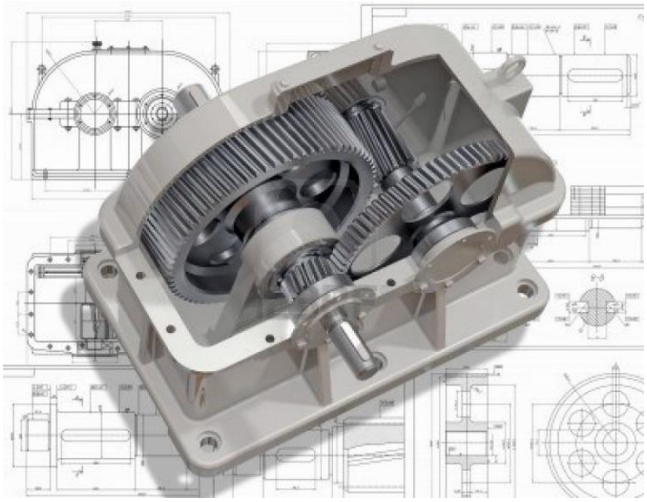
b. Fonksiyon için istekler
   - İletilen moment, kuvvet, güç
   - En büyük hız ve bu hızın yönü
   - Dayanım ve deformasyon sınırları,
   - En fazla radyal ve eksenel kaçıklık, yüzey kalitesi, ölçü toleransları vb.
   - Verim

c. Konstrüksiyon için istekler
   - Birleştirme şekilleri,
   - Değiştirilebilme özelliği

d. Servis için istekler
   - Bakım periyodu ve bakım kitabı
   - Montaj ve bakım prosedürleri
   - Transport imkanları

e. Ekonomik yönden istekler
   - İmalat şekli ve imkânları
   - Bakım ve servis adetleri, maliyetleri

Örnek 2.113. Bir helisel dişlili redüktör için istekler listesini hazırlayınız.



DOYGUN A.Ş.	**REDÜKTÖR İstekler listesi**		**Tarih 07.08.2007**
Revizyonlar	**K-D**	**Açıklamalar**	**Yürütücü**
		Geometri	Mak. Müh. Ali Can
	D	Uzunluk max. 600 mm	
	K	En= max. 450 mm	

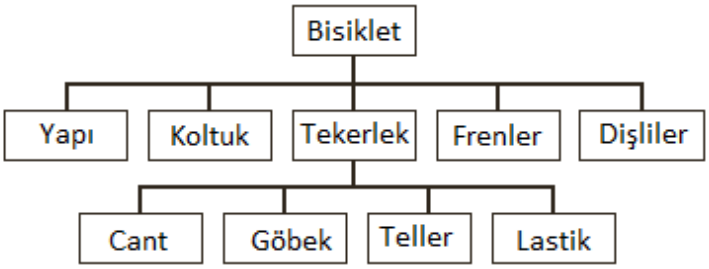
20.08.2007	K	Yükseklik max. 500 mm	
		Dişli geometrisi	Dr. Müh. Aslı Durmaz
	K	Pinyonlar (küçük dişliler) mil ile bütünleşik helisel dişli formunda olacaktır.	
	K	Büyük dişli çarklar döküm veya tek parça kütükten işlenmiş olacak, kaynak istenmemektedir.	
		Fonksiyonel istekler	Mak. Müh. Can Mert
	K	Güç =55 kW	
	K	Giriş hızı=1500 d/d, Çıkış hızı=200 d/dak	
	D	Minimum verim $\geq$ %95	
		Montaj, bakım	Mak. Müh. Can Mert
	D	Kutu montajı ve bakımının kolay olması istenmektedir.	

3.3. Fonksiyon yapısı geliştirme

Ödevin özüne, fonksiyonel ilişkilerin analizi ve aynı zamanda bunların adım adım soyutlanması ile erişilebilir. Sonuçta ürünün yerleşeceği mekan, tasarımı oluşturan temel eleman ve yardımcı elemanlar saptanır. Fonksiyon yapısı geliştirme prosesinde ödevin fiziksel ve fonksiyon detayları oluşturulmaktadır. Fiziksel detaylandırma tasarımcının alternatif parçalar düşünmesine ve tasarım bölgesine daha kolay yoğunlaşmasına yol açacaktır.

Örnek 2.114. Bir bisikletin fiziksel ayrışması ile oluşan detaylarını oluşturunuz.

Detayların iki farklı seviyede oluşturulmuş hali aşağıdaki şekilde görülmektedir.

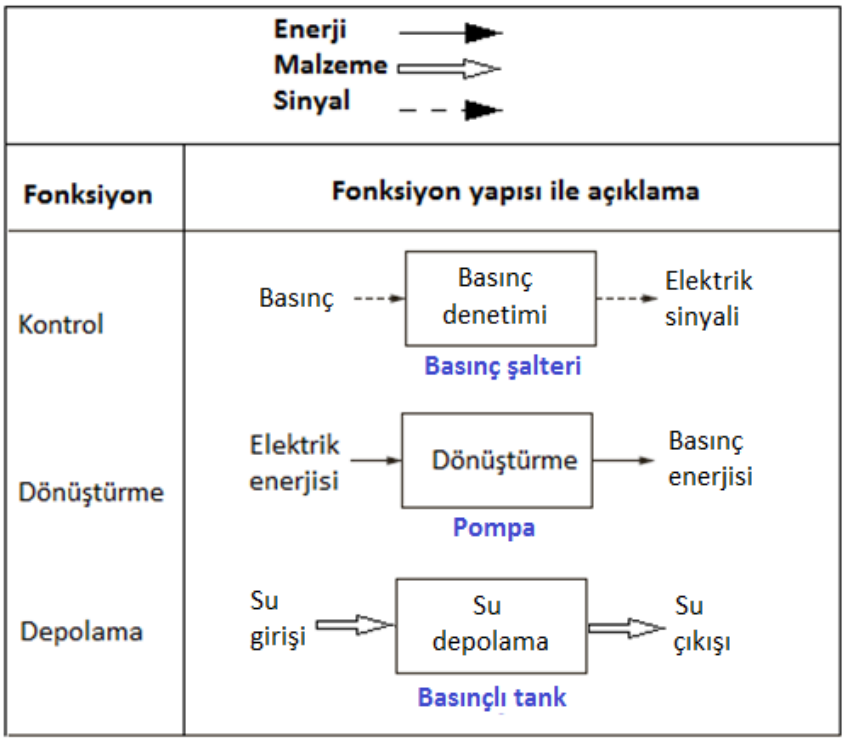


Fonksiyon yapısı oluşturma ise çeşitli tasarım çözümlerinin geliştirilmesi için daha uygundur. Fonksiyon yapısı hazırlama işleminde tasarlanan sistemde genel olarak üç tip olgunun akışından söz edilmektedir. Bunlar malzeme, enerji ve sinyal akışlarıdır.

Ana akış	Açıklama	Tasarlanan nesnenin adı
Malzeme	Gaz, sıvı, katı, toz vb.	Aparat
Enerji	Mekanik, termal, elektrik, kimyasal, nükleer vb.	Makine
Sinyal	Akustik, temas, görsel, tat, koku vb.	Cihaz

Tablo 2.7. Fonksiyon yapısında malzeme, enerji ve sinyal akışı.

Bu akışlar ucunda ok olan farklı çizgi stilleri ile ifade edilmekte ve fonksiyon blokları şeklinde gösterilmektedirler.



Şekil 2.16. Fonksiyon blokları ve fiziksel anlamı. Verilmekte olan örnek bir hidrofora aittir.

Teknik anlamda fonksiyon, bir sistemin (fabrika, makine veya montaj) girdi ve çıktıları arasındaki ilişkidir.

- Genel fonksiyon; Sistemin genel işlevi,
- Alt fonksiyonlar; Sistemin alt işlevleri

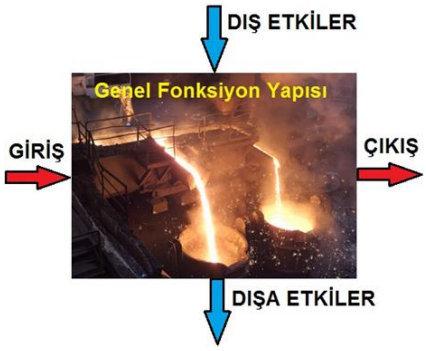
Genel fonksiyon, sistemin iç yapısını, ayrıntısını göstermez ve sadece genel durumunu yansıtır.

Şekil 2.17. Bir petrokimya tesisi için genel fonksiyon yapısı

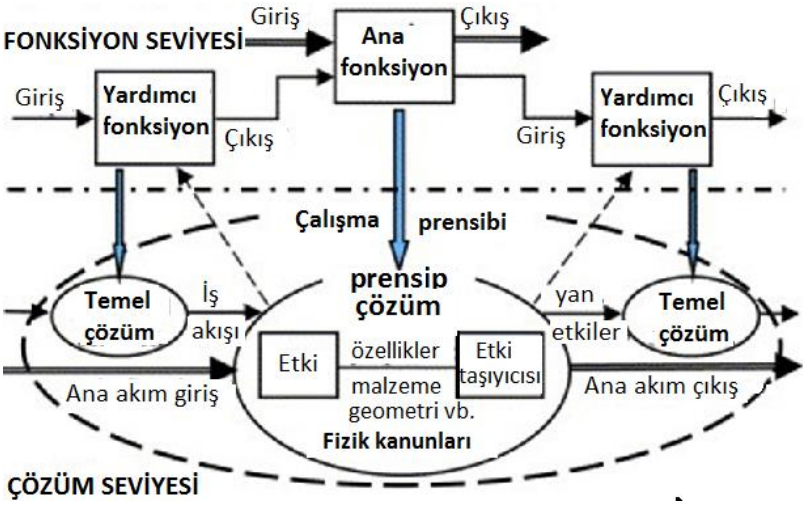
Fonksiyon yapısı oluşturma işlemi aşağıdaki gibi yapılabilir,

- İlk olarak çalışmaların sınırı belirlenir, "giriş ve çıkış ürünleri" saptanır.
- Genel fonksiyon belirlenip tam olarak tanımlanır.
- Objeye dışardan etkiler ve objenin dışa etkileri belirlenir.

Örnek 2.115. Bir tasarım ürünü dökümhanede çalışacaktır. Ürüne dışardan etkiler; Toz, sıcaklık, vb. Objenin dışa etkileri; Gürültü, titreşim, vb. istek veya şartları kontrol edip gerekenler eklenerek fonksiyon yapısını belirleyiniz.



Bir sistemin fonksiyon yapısı ana fonksiyon ve alt fonksiyonlardan oluşur.

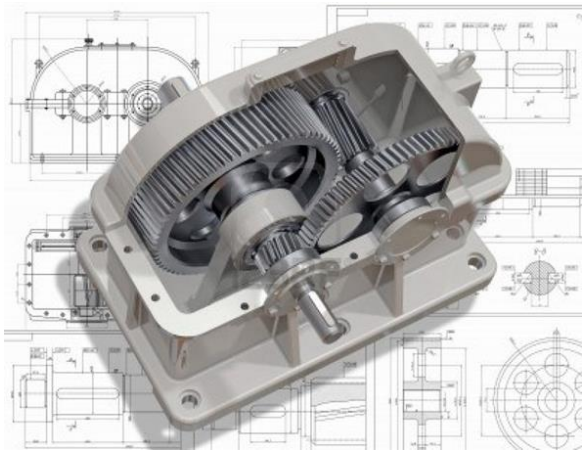


Şekil 2.18. Bir tasarım ödevi için fonksiyon yapısı detayları.

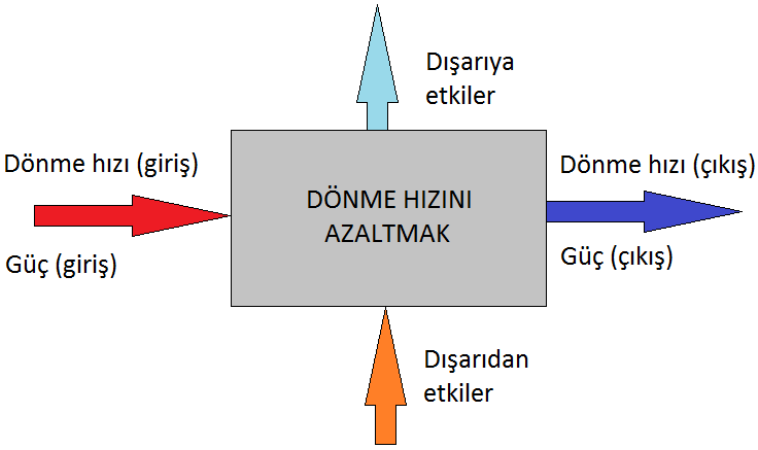
Ana fonksiyon pek çok zaman, kompleks bir çözümü kapsar. Dolayısıyla temel fonksiyonu daha küçük, çözümden bağımsız ve anlaşılabilir alt fonksiyonlara ayırmak yararlı olabilir.

Alt fonksiyonlar analiz işlemine kademe kademe devam etmek ve artık daha basite ayrılmasında pratik bir yarar olmayan en basit çözümleri ifade etmek için kullanılmaktadır. Genel olarak bir tasarım ödevinin fonksiyon yapısı aşağıdaki şemada da verildiği gibi çözüm seviyesi ile ilişkilidir.

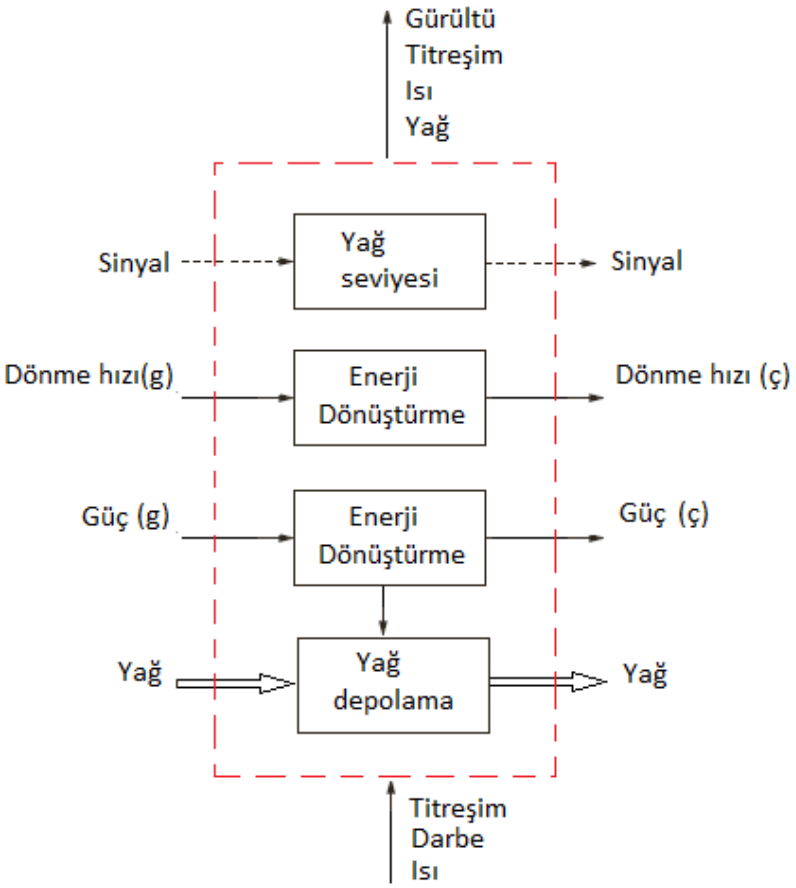
Örnek 2.116. Bir helisel dişlili redüktör için fonksiyon yapısını oluşturunuz.



Redüktörler hız dönüştürme mekanizmaları olup, helisel dişlili bir redüktörün ana fonksiyon yapısı aşağıdaki gibi verilmektedir.



Redüktörün ana fonksiyon yapısı aşağıdaki gibi detaylandırılabilir. Bu örnekte giriş gücünün bir kısmı ısıya dönüşmektedir. Bu ısı gücü ise yağı ısıtmaktadır. Sinyal girişi yağ seviye ölçümü için gereklidir. Yağ ısınması sonucu buharlaşma kayıpları ve keçelerden olan kaçaklar, yağ miktarında azalmalara yol açmaktadır.

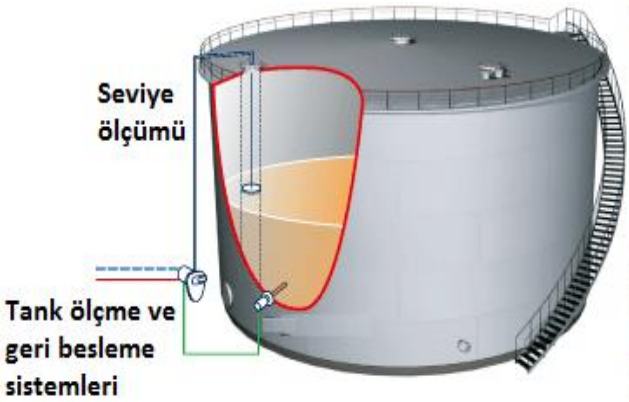


Ayrıca redüktör çalıştığı ortama bağlı olarak titreşim, darbe, yüksek veya alçak sıcaklık etkileri ile karşılaşabilmektedir. Redüktörün tasarımı ile ilişkili olarak ortama etkileri ise yüksek gürültü seviyesi, dengelenmemiş kütlelerden kaynaklanan titreşimler, güç kaybı nedeni ile oluşan ısı ve yağ kaçakları olabilmektedir.

Fonksiyonların özeti:

Fonksiyonlar	**Fonksiyon tanımı**	**Açıklama**
Ana fonksiyon	Dönme hızının azaltılması	Hız değiştirme mekanizması (Redüktör, şanzıman, varyatör)
Alt fonksiyonlar	Yağ seviyesini ölç ve göster	Seviye göstergesi (Şeffaf boru, yağ çubuğu vb.)
	Dönme enerjisinin değiştirilmesi	Dişli çark, kayış kasnak, zincir mekanizması vb.
	Güç iletimi	Mekanizmanın tamamı (Dişli çark, mil, yatak vb.)
	Yağ depolama	Redüktör gövdesi (Burada sızdırmazlık elemanları yağın dışarı kaçmamasını sağlar, ısı yağın buharlaşarak eksilmesine yol açar)

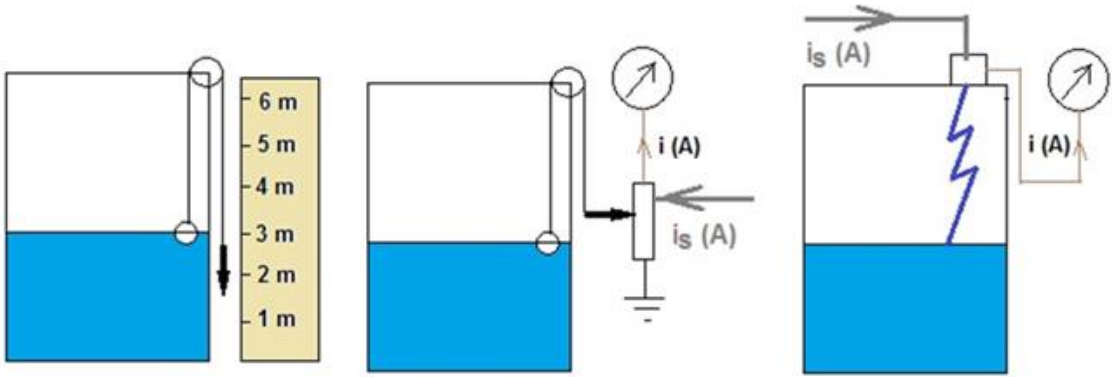
Örnek 2.117. Sıvı kimyasalların depolanması için kullanılmakta olan, atmosferik basınçta çalışan silindirik bir tankın seviye göstergesi tasarımı için genel fonksiyonu bularak detaylandırınız.



Tasarım için çözüm varyantları aşağıdaki gibi değerlendirilebilmektedir. Bu örnekte aşağıda verilmekte olan on beş adet çözüm önerisinden üç adedi dikkate alınarak irdelenecektir.

1	Dalma Tip Sensörler
2	Ultrasonik Sensörler
3	Kesintisiz Servo Kontrol Sensörleri
4	Kapasitif Sensörler
5	Titreşimli Sensörler
6	Şamandıralı Sensörler
7	By-pass Tip Sensörler
8	Dalma Tip Şamandıralı Sensörler
9	Ultrasonik Transmitterler
10	Manyetik Şamandıralı Sensörler
11	Kapasitif Sensörler
12	Paslanmaz Çelik Şamandıralı Sensörler
13	Titreşimli Çatal Tip Sensörler
14	Dip Montajlı Ultrasonik Sensörler

15	Mini Manyetik Sensörler



(A) **(B)** **(C)**

Değerlendirilecek çözüm önerileri:

(A) Bir cetvel yardımı ile seviyeyi gösteren mekanik şamandıralı sistem.

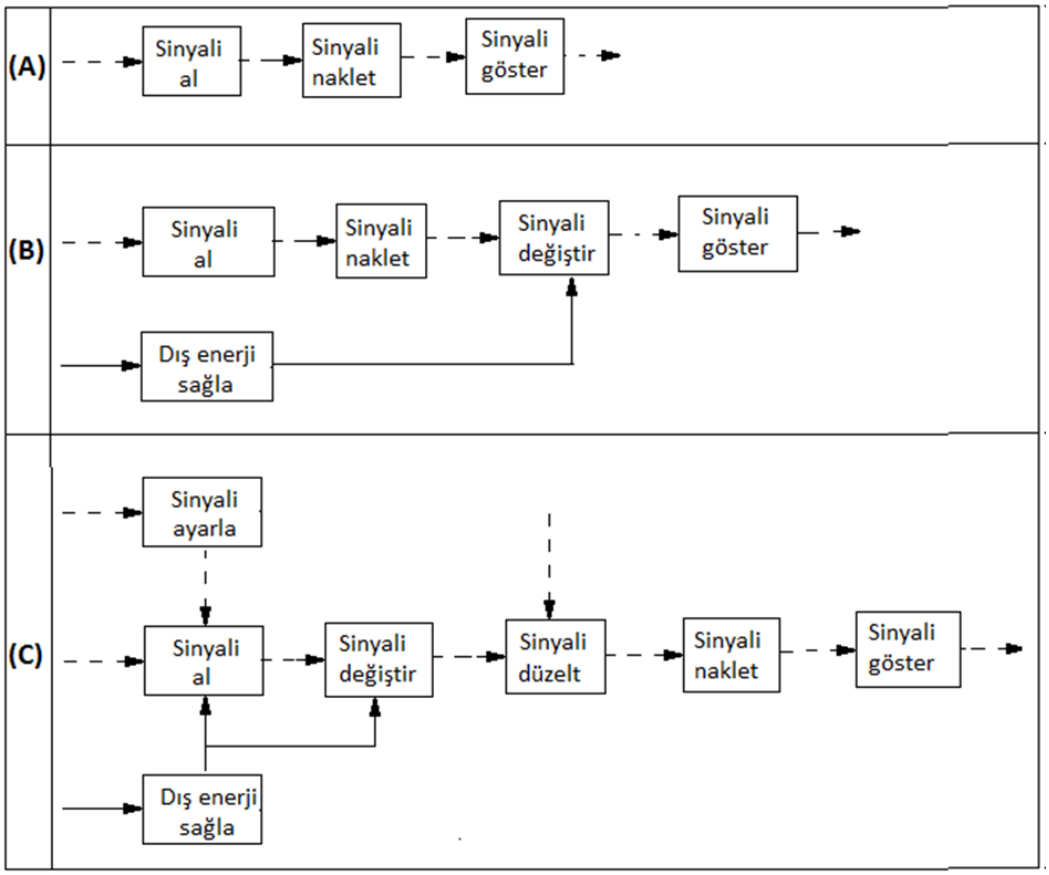
(B) Bir direnç yardımı ile seviyeyi gösteren mekanik şamandıralı sistem.

(C) Radar kullanan seviye ölçüm sistemi.

Seviye göstergesinin temel kullanım amacı tank içindeki sıvının miktarını tespit etmek olduğu için, genel fonksiyon yapısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Problem formülasyonu	Fonksiyon yapısı
Genel fonksiyon	Sıvı miktarını ölç ve göster

Seviye göstergesinin ana fonksiyon yapısı aşağıdaki gibi detaylandırılabilir.



(A) Seçeneğinde sinyali alacak eleman bir yüzer şamandıradır. Sinyal ucunda ağırlık asılı olan bir çelik halat tarafından iletilmektedir. Çelik halatın ucundaki ağırlık düşey yerleştirilmiş bir cetvel üzerinde seviyeyi okumamızı sağlamaktadır. Burada, tankın içinde bulunan sıvının özellikler şamandıra ve halat üzerinde deformasyonlara yol açabilir. Ayrıca uzun boydaki halatın elastik ve termal uzamaları okuma hatalarına yol açmaktadır. Son olarak biz o anki seviyeyi görebiliriz ancak bu seviyenin bir öncekine bağlı olarak değişimini görebilmek için sürekli kayıt tutulması gereklidir.

(B) Seçeneği (A) seçeneği ile benzer çalışmaktadır. Bu seçenekte mekanik sinyal elektriksel sinyale dönüştürülmektedir.

(C) Seçeneğinde radar yöntemi uygulanmaktadır. Radar (veya mikrodalga) yönteminde, kabın üstüne yerleştirilen sensörden aşağı doğru yönlendirilmiş GHz mertebesinde yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılır. Gönderilen enerjinin seviyesi ölçülmek istenen sıvı yüzeyinden yansıyan kısmı, sensöre geri döner. Sinyalin gidip gelme süresi seviyenin tespiti için kullanılan büyüklüktür.

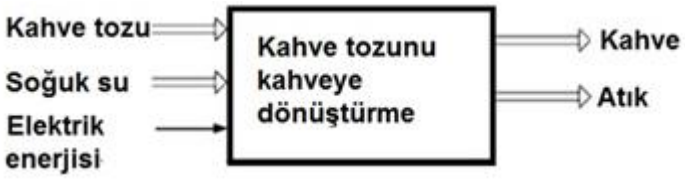
Fonksiyonların özeti:

Fonksiyonlar	Fonksiyon tanımı	Açıklama

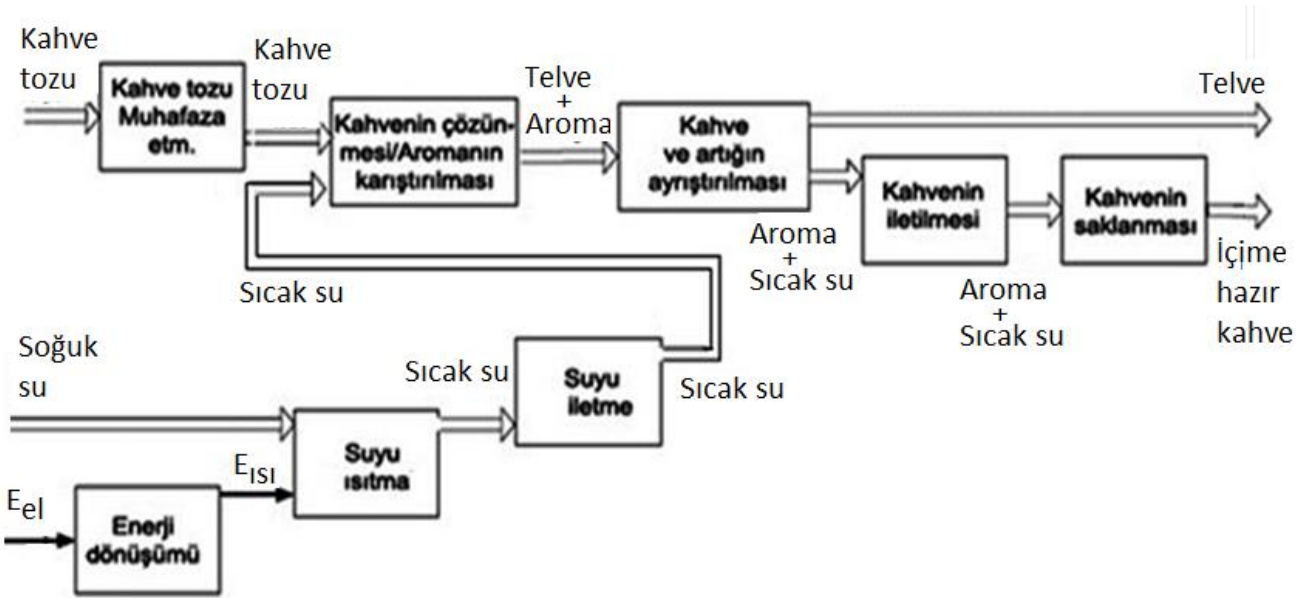
Ana fonksiyon	Tanktaki sıvının seviyesinin ölçülmesi ve gösterilmesi	Seviye ölçme sistemi yukarıda bahsedilmekte olan onbeş farklı tipte yapılabilmektedir.
Alt fonksiyonlar (Burada sadece (A) tipi çözüm için yorumlar yapılmaktadır).	Sinyali al	Şamandra
	Sinyali naklet	Çelik halat, elyaf halat, bitkisel halat vb.
	Sinyali göster	Düşey cetvel

Örnek 2.118. Kahve makinası fonksiyon yapısını oluşturunuz.

Kahve makinasının ana fonksiyon yapısı aşağıdaki gibi verilebilir.



Detaylı fonksiyon yapısı aşağıdaki gibi verilebilir.



3.4. Seçim tablolarının hazırlanması ve kavramsal çözüm alternatiflerinin belirlenmesi

a. Seçim tabloları oluşturma

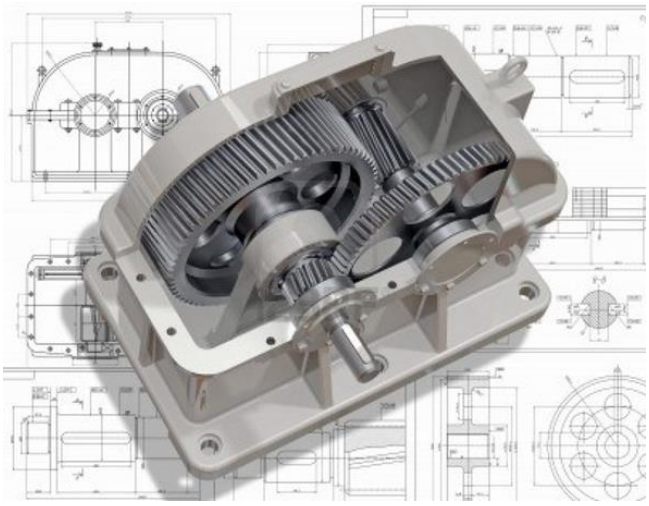
Seçim tabloları oluşturma prosesi aşağıdaki gibi yapılmaktadır (şekil 2.8).

- Ödevdeki alt fonksiyonları detaylandırılır,
- Her detay için çözüm varyantları oluşturulur.
- Bütün varyantlar tabloya kaydedilir.
- Çözümler birleştirilebilir.

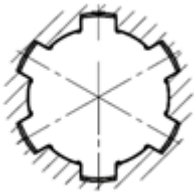
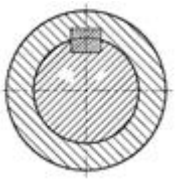
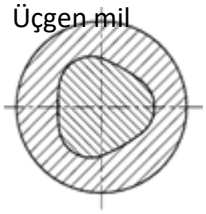
Alt-fonksiyonlar \ Çözümler		1	2	...	j	...	m
1	F_1	S_{11}	S_{12}		S_{1j}		S_{1m}
2	F_2	S_{21}	S_{22}		S_{2j}		S_{2m}
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
i	F_i	S_{i1}	S_{i2}		S_{ij}		S_{im}

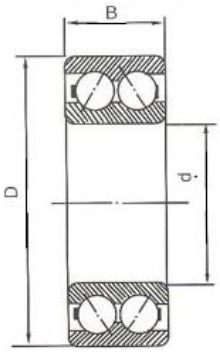
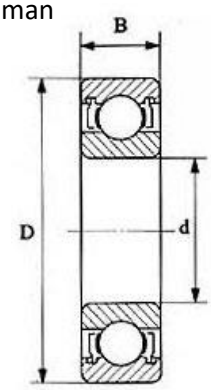
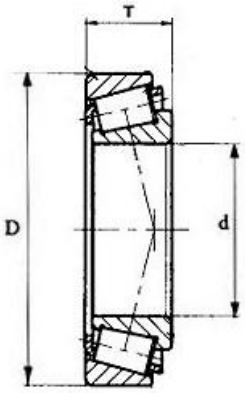
Şekil 2.8. Seçim tablosu örneği

Örnek 2.120. Helisel dişlili redüktörde çıkıştaki büyük dişlinin göbeğinin mile bağlanması ve giriş mili yatağı ile ilgili seçim tablosunu hazırlayarak çözüm prensiplerini oluşturunuz.

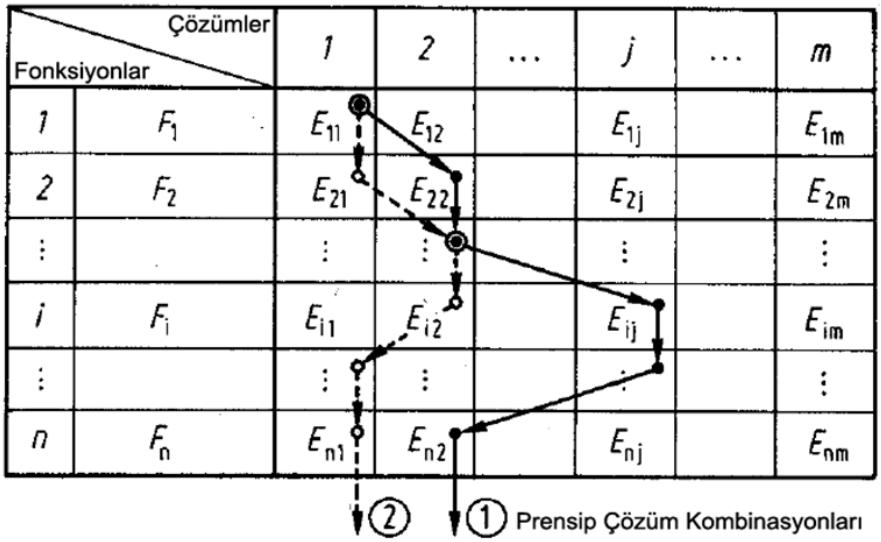


Aynı fiziksel etkiyi veren farklı alt fonksiyon yapılarının çözüm prensiplerini bir tablo içinde yazabiliriz.

		A	B	C
1	Büyük dişli göbeği	Freze dişli kama 	Kama 	Üçgen mil 

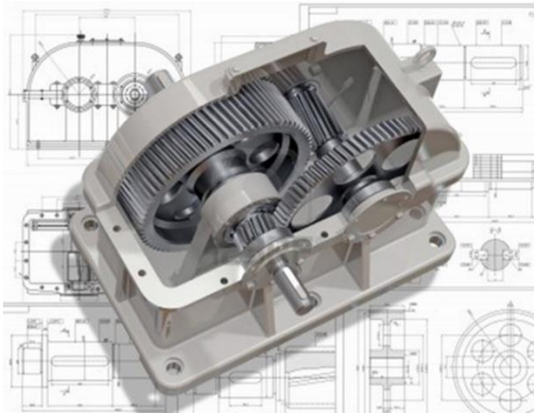
2	Giriş mili yatağı	Çift sıralı küresel bilyalı yatak 	Küresel bilyalı kapaklı rulman 	Konik masuralı rulman 

Seçim tablolarından kavramsal çözüm alternatifleri belirlenmektedir. Burada her bir fonksiyonun ve prensip çözümün, diğer fonksiyon ve prensip çözümlerle olan ilişkisi ele alınır, sonuçta, ürünün genel çözümü için, kombinasyonlar oluşturulur (şekil 2.9).



Şekil 2.9. Seçim tablosunda çözüm prensiplerinin işaretlenmesi.

Örnek 2.121. Helisel dişli redüktör için kavramsal tasarım alternatiflerini belirleyiniz.



	Fonksiyonlar	A	B	C	D
1	Mekanizmada hızı dönüştür	1 kademe helis dişli çark	2 kademe helis dişli çark	3 kademe helis dişli çark	
2	Mekanizma girişinde torku ilet	Mil uzantısı-kama	Mil uzantısı-freze dişli kama	Mil içine kama bağlantısı	Mil içine freze dişli bağlantı
3	Mil-pinyon arasında tork ilet	Mil-pinyon tek parça aynı malzemeden	Mil pinyon kamalı bağlantı	Mil pinyon freze dişli bağlantı	Mil pinyon sıkı geçme bağlantı
4	Mil-büyük dişli arasında tork ilet	Mil-dişli sıkı geçme bağlantı	Mil dişli kamalı bağlantı	Mil dişli freze dişli bağlantı	
5	Mekanizma çıkışında torku ilet	Mil uzantısı-kama	Mil uzantısı-freze dişli kama	Mil içine kama bağlantısı	Mil içine freze dişli bağlantı
6	Hareketli elemanları yatakla	Küresel bilyalı rulman	Küresel bilyalı omuzluklu rulman	Silindirik masuralı oynak rulman	Konik masuralı rulman
7	Mekanizmayı muhafaza et	Döküm kutu mil eksenlerine paralel orta bölme yüzeyi	Döküm kutu üstten kapaklı iki parça	Kaynaklı kutu mil eksenlerine paralel orta bölme yüzeyi	Kaynaklı kutu üstten kapaklı
8	Yağı muhafaza et	Hareketli kısımlarda yaylı yağ keçeleri sabit kısımlarda conta	Hareketli kısımlarda yaylı yağ keçeleri, sabit kısımlarda o-ring		
9	Yağlama yap	Daldırma yağlama	Redüktör içindeki pompa ile püskürtme yağlama	Redüktör dışında pompa püskürtme yağlama	
10	Yağ miktarını göster	Daldırma çubuğu	Şeffaf boru yağ seviye göstergesi		
11	Yağ doldur	Redüktör üstünde filtreli yağ dolum deliği	Redüktör üstünde filtresiz yağ dolum deliği	Redüktör üstündeki büyük kapak	
12	Kirli yağ boşalt	Eğimli kutu tabanı kenarda boşaltma tapası	Düz kutu tabanı kenarda boşaltma tapası		
13	Redüktörü sisteme bağla	Giriş çıkıştan flanşlı bağlantı	Tabandan yere bağlantı	Girişte flanşlı bağlantı, gövde tabandan yere bağlı	
14	Soğutma yap	Gövde kanatlı, hava soğutmalı	Ekstra soğutma yok doğal soğutmalı	Dışardan fanlı soğutma	Dışardan sulu soğutma

Kavramsal çözüm alternatifleri;

I. 1B-2A-3A-4C-5B-6D-7A-8B-9A-10A-11B-12A-13B-14D
II. 1B-2A-3A-4B-5A-6C-7A-8A-9C-10A-11B-12A-13B-14B
III. 1B-2C-3A-4B-5D-6D-7A-8A-9A-10A-11A-12B-13B-14C

Kavramsal tasarım alternatifleri üzerinde çalışma

Bu aşamada yapılabilecek işlemlerden bazıları aşağıdaki gibi verilmektedir.

- Taslak çizimler oluşturma
- Kaba hesaplamalar yapma ve tasarım şartnamesine uygunluğu kontrol etme.
- Tasarım alternatifleri için ilk tasarım fikirlerini not etme, kontrol listeleri hazırlayarak ödevin ne kadar karşılandığını değerlendirme.

Örnek 2.122. Helisel dişli redüktörde konsept tasarım alternatiflerini kontrol ediniz, kroki çizimleri yapınız.

Tasarım şartnamesine göre giriş hızı 1500 d/dak ve çıkış hızı 200 d/dak olarak kesin istek söz konusudur. Bu durumda hız dönüştürme oranı (çevrim oranı) i=1500/200= 7,5 olmaktadır.

Tek kademeli, çevrim oranı 7,5 olan helis dişli grubu kullanıldığında dişli çark çapı büyüdüğü için, kutu boyu yaklaşık 600 mm olarak bulunur. Kutu yüksekliği ise 600 mm ve kutu eni ise 220 mm nin altında kalmaktadır.

Hâlbuki tasarım şartnamesinde dişli kutusunun yüksekliğinin 500 mm yi aşamayacağı kesin istek olarak belirtilmiştir.

Bu değere uygun olacak şekilde redüktörde 2 dişli grubu kullanmanın daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

İki kademeli redüktör kabul edilerek DIN standartlarına uygun olarak yapılan boyutlandırma sonuçları aşağıdadır.

Dişlilerde çevrim oranı genelde tam sayı seçilmez. Bunun nedeni her devirde aynı dişlerin birbirine temas etmesi ve sonuçta dişlerde tek taraflı aşınma oluşmasıdır.

Helis açısı yüksek devirlerde büyük, düşük devirlerde küçük seçilmelidir. Büyük helis açısı daha sessiz çalışmaya imkân vermektedir ancak bu esnada eksenel kuvvetler artmaktadır. Bu örnekte azdırma tezgâhı ile diş açılacağı kabul edilerek helis açısını DIN 3978 e uygun olarak tayin etmek gerekir. Hassas dişliler imal etmek isteniyorsa, dişli açılmasında kullanılan azdırma tezgâhlarının özelliğinden dolayı β nın tam sayı olması yerine, sin β/π değerinin tam sayı olması daha doğrudur. Örneğimizde sin β/π =0,05 olarak alındığında $\beta = 9{,}03743^0$ olarak belirlenmiştir.

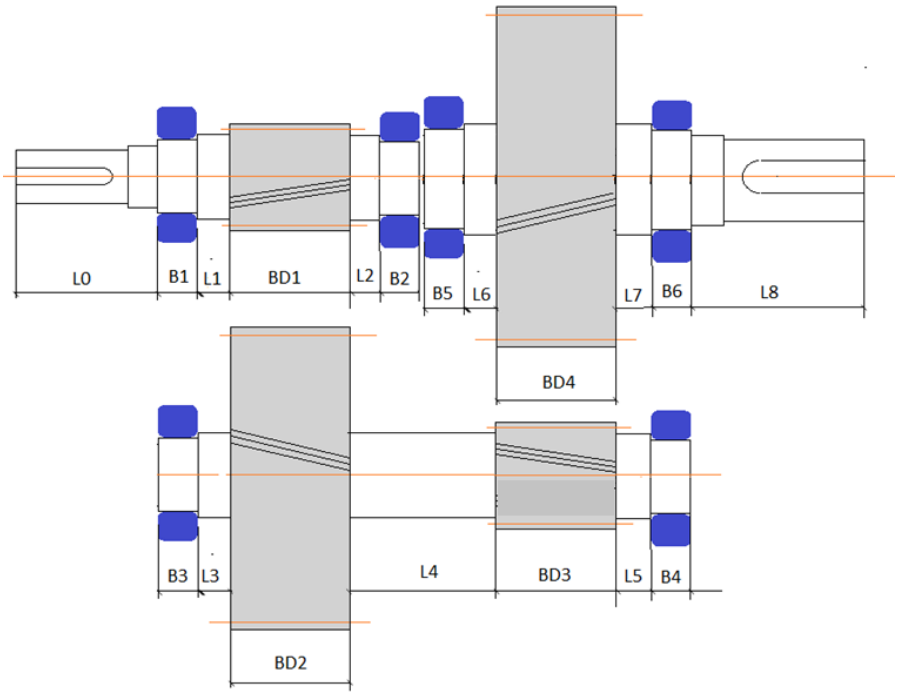
Burada dişli çarkların malzemeleri ıslah çeliği, 42 CrMo 4 (ASTM 4140) (DIN-1.7225) seçilmiş olup bu gruptaki çelikler, banyoda nitratlama, doğrudan alevle veya endüksiyonla sertleştirme yöntemlerinden biri ile

sertleştirilebilmektedir. Burada sementasyon yöntemi tercih edilmiş ve sertlik değerleri ise 52 HRC olarak belirlenmiştir.

1. kademe			**2. kademe**		
1. kademe pinyon dişli			**2. kademe pinyon dişli**		
1.kademe dişlilerde normal modül m_1	5	mm	2.kademe dişlilerde normal modül m_2	9	mm
Pinyon dişli dis sayısı, z_1	16		Pinyon dişli dis sayısı, z_3	17	
Pinyon dişli eni, b_1	100	mm	Pinyon dişli disli eni, b_3	125	mm
Pinyon dişli bölüm dairesi çapı, d_{01}	80,9	mm	Pinyon dişli bölüm dairesi çapı, d_{03}	154,7	mm
1. Kademe büyük dişli			**2. kademe büyük dişli**		
Dis sayısı, z_2	65		Dis sayısı, z_4	28	
Büyük dişli bölüm dairesi çapı, d_{02}	328,7	mm	Büyük dişli bölüm dairesi çapı, d_{04}	254,9	mm
Disli eni, b_2	100	mm	Disli eni, b_4	125	mm
Eksenler arası mesafe, a_1	204,8	mm	Eksenler arası mesafe, a_2	204,8	mm
Çevrim oranı, i_{12}	4,06		Çevrim oranı, i_{34}	1,85	

Hesaplamalar sonucunda bulunan değerlere göre redüktör dış boyutları kontrol edilecek olur ise,

Yerleşim planına göre giriş ve çıkış millerinin gövde dışındaki uzantıları hariç, yaklaşık olarak, redüktörün eni 450 mm, boyu 550 mm ve yüksekliği ise 400 mm olabileceği anlaşılmaktadır.



Redüktör veriminin az olması güç kayıplarına veya çalışma esnasında ısınma problemlerinin oluşmasına yol açar. Redüktör verimi karşılıklı çalışan dişli çarkların tipine, malzemelerine ve işleme şekillerine, yatak tipine ve montaj hassasiyetine bağlı olarak değişmektedir.

Genel kabul her dişli grubunun verimi için tahminde bulunup redüktör verimini belirlemektir.

Bir dişli grubu ve onu taşıyan mil-yatak sistemi için aşağıdaki verim değerleri kabul edilebilir.

- Taşlanmış dişlilerde rulmanla yataklama için her grup için verim; 0,99
- Taşlanmamış dişlilerde rulmanla yataklama için her grup için verim; 0,97
- Yağ contası verimi; 0,980

Buna göre redüktör verimini aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

1.kademe verimi, $\eta_{12} = 0{,}99x0{,}98 = 0{,}97$

2.kademe verimi, $\eta_{34} = 0{,}99x0{,}98 = 0{,}97$

Redüktörün toplam verimi; $\eta_t = \eta_{12}.\eta_{34} = 0{,}97x0{,}97 = 0{,}94$

Redüktör giriş gücü, *N= 55 kW* olarak verilmişti. Buna göre kayıp güç, $N_k = (1-0{,}94)x55=3{,}3\ kW$ olacaktır.

Redüktör çalışma sıcaklığının maksimum 80^0C' a kadar çıkmasına izin verilebilir. Bu nedenle kayıplardan kaynaklanan ısı gücünün soğutulması gereklidir. Soğutma üç şekilde gerçekleştirilmektedir.

1. Doğal soğutma (redüktör yüzeyleri ile dış ortam arasında ısı transferi).
2. Hava ile soğutma (redüktör dışından yüzeylerine hava üfleme veya yağı dışarı alarak hava üfleme).
3. Sıvılarla soğutma (redüktör yağını dışarda sıvı ile soğutarak tekrar ortama gönderme)

Redüktör için ortalama bir değer olarak ısı transfer katsayısı K=20 kcal/(m^2 h ^{0}C) olarak kabul edilebilir.

Bu durumda kutunun atmosfere temas eden yüzey alanı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$A = \frac{860N_k}{K(t_1 - t_2)} = \frac{860x3{,}3}{20x(80-30)} = 2{,}84\ m^2$$

Burada, dış ortam sıcaklığı, 30^0C ve redüktör iç sıcaklığı maksimum 80^0C olarak kabul edilmiştir.

Hâlbuki redüktörümüzde mevcut ısı transfer alanı, $A=2x0{,}55x0{,}4+2x0{,}4x0{,}45+0{,}45x0{,}55 = 1{,}05\ m^2$

Buna göre gerekli ve mevcut yüzey alanları $2{,}84>>1{,}05\ m^2$ olup, durumda doğal ısı transferi için gövdede soğutucu kanat vb. yapılar kullanarak, yeterli miktarda ısı transfer yüzeyi oluşturmak oldukça zor görülmektedir.

Yağlama şekli dişlilerin çevre hızına da bağlı olarak seçilmektedir (DIN 51509). Redüktördeki dişlilerin ortak çevre hızı aşağıdaki gibi kabul edilmektedir.

- İki kademeli redüktörlerde ikinci kademenin çevre hızı,

- Üç kademeli redüktörlerde ikinci ve üçüncü kademenin ortalama çevre hızı alınır

Redüktör giriş hızı, $n_1=1500\ d/dak$, ikinci kademenin dönme hızı, $n_2=n_1/i_{12}=1500/4{,}06=369{,}4\ d/dak$

İkinci kademenin dış çapı, $d_{d3}=d_{03} +2m_n=154{,}7+2x9=172{,}7\ mm$

İkinci kademenin hızı, $v_2=\omega_2\ d_{d3}/2= \pi x369{,}4 \times 0{,}1727/ (30 \times 2)=3{,}3$ m/s < 4 m/s dişli yüzeylerine gres yağı sürme veya daldırma yağlama yapılabilir. Ancak kayıp güç fazla olduğu için gres sürme şeklindeki yağlama devre dışı kalır.

Redüktör yağlama şekli tavsiyeleri aşağıdaki tabloda mevcuttur.

Dişli çarkın çevre hızı, v (m/s)	**Yağlama şekli**
< 4m/s	Yüzeylere gres yağı sürme. Burada kinematik viskozitesi 225 mm^2/s den yüksek yağlar kullanılır.
<12 m/s	Daldırma yağlama. v/r ≤ 550 olmalıdır. Burada r yağa dalan dişlinin yarıçapıdır.
>12 m/s	Püskürtme yağlama. Püskürtülen yağ basınç değeri p=1 ile3 MPa arasında seçilmektedir.

3.5. Konsept tasarımı belirleme

Seçilen konsept tasarımlar içinden en iyisini seçebilmek amacı ile teknik ve ekonomik kriterlere göre farklı değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en çok bilinenleri bu bölümde tanıtılmaktadır.

Seçim kartı yöntemi

Her zaman kullanılabilecek basit bir yöntemdir. Ancak karışık tasarımlarda yeterli olmayabilir. Çoğunlukla bir ön değerlendirme yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntemin özellikleri;

- ✓ Fazla sayısal değerlendirme yapılmamaktadır.
- ✓ Sadece çözüm varyantları alt alta veya yan yana şekilde dizilir.
- ✓ Seçim tablolarını hazırlamadan önce veya hazırladıktan sonra bu değerlendirmeler yapılabilir.

Çözüm seçeneği	**Değerlendirme ölçütleri**					**Karar**
	Tasarım şartnamesini karşılama					
		Kullanıcılar tarafından tercih edilir				
			Sürekli çalışmaya uygun			
				Düşük maliyet		
	A	B	C	D	**Açıklamalar**	
I	+	+	+	+		+
II	-	+	+	-	Doğal soğutma yetersiz olacaktır. Redüktör dışından pompa ile püskürtme yağlama maliyeti arttırabilir.	-
III	+	-	+	+	Düz kutu tabanı yağ boşaltma işlemini güçleştirebilir.	+

Tablo 2.10. Kavramsal tasarımda seçim kartı örneği.

Bu durumda I ve III no' lu çözümler daha detaylı değerlendirmeler için sürdürülebilir niteliktedir.

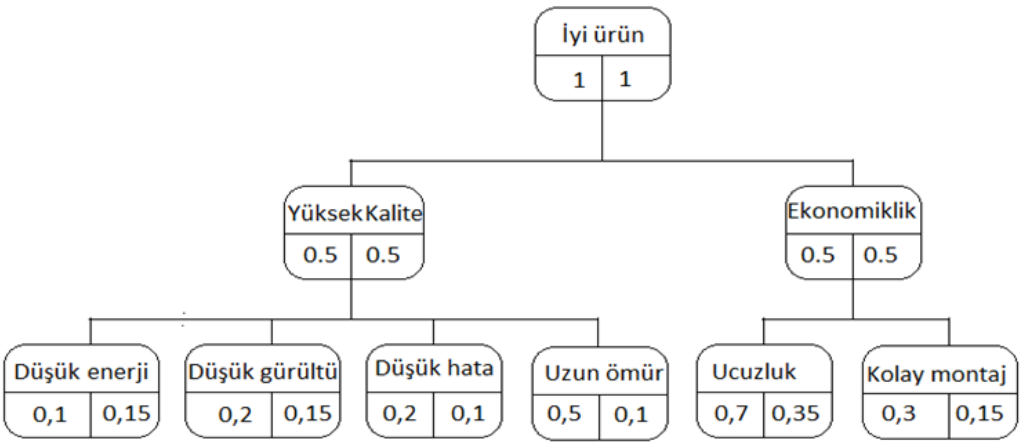
Karar verme analizleri

a. Kullanım değeri analizi
b. Kesselring / VDI 2225 analizleri

Ortak özellik olarak, Küçük ve orta ölçekli tasarımlar için uygun oldukları söylenebilir. Büyük ölçekli tasarımlar için bir proje yönetimi bünyesinde tüm karar verme seçeneklerinin kombinasyonu uygulanmaktadır.

Kullanım değeri analizi;

Helisel redüktörde kullanım değeri analizi yönteminin uygulanması,



Not tablosu;

Sistem Özellikleri						
Puan	**Enerji Kaybı (kW)**	**Montaj kolaylığı**	**Maliyet**	**Hata oranı**	**Gürültü (dB)**	**Ömür (yıl)**
0	>4,0	Çok karmaşık	Çok pahalı	Çok yüksek	>40	<5
1	3,5-4,0	Karmaşık	Pahalı	Yüksek	30-40	5-7
2	2,5-3,5	Orta	Orta	Orta	20-31	8-9
3	1,5-2,5	Basit	Ucuz	Düşük	10-21	10-15
4	0,0-1,5	Çok basit	Çok ucuz	Çok düşük	<10	>15

Konseptler için değerlendirme tabloları;

Kriterler				**Konsept 1**		
No	**Açıklama**		**Ağırlık**	**Özellik**	**Değer**	**Ağırlık**
1	Enerji kaybı	g1	0,15	Kayıp enerji 3,3 kW	2	0,3
2	Düşük gürültü	g2	0,15	Gürültü düzeyi 12 dB	3	0,45
3	Düşük hata	g3	0,1	Çok düşük	4	0,4
4	Uzun ömür	g4	0,1	Tasarım ömrü 10 yıl	3	0,3
5	Ucuzluk	g5	0,35	Ucuzluk	4	1,4
6	Montaj kolaylığı	g6	0,15	Çok basit	4	0,6
				Toplam, W		**3,45**
Kriterler				**Konsept 3**		
No	**Açıklama**		**Ağırlık**	**Özellik**	**Değer**	**Ağırlık**
1	Enerji kaybı	g1	0,15	Kayıp enerji 3,3 kW	2	0,3
2	Düşük gürültü	g2	0,15	Gürültü düzeyi 18 dB	3	0,45
3	Düşük hata	g3	0,1	Çok düşük	4	0,4
4	Uzun ömür	g4	0,1	Tasarım ömrü 10 yıl	3	0,3
5	Ucuzluk	g5	0,35	Ucuzluk	4	1,4
6	Montaj kolaylığı	g6	0,15	Basit	3	0,45
				Toplam, W		**3,30**

Bu sonuçlara göre kavramsal tasarım çözümü olarak konsept 1 seçilebilir.

Helisel redüktörde Kesselring veya VDI 2225 analiz yönteminin uygulanması

Teknik Kriterler				**Konsept 1**		
No	**Açıklama**		**Ağırlık**	**Özellik**	**Değer**	**Ağırlık**
1	Enerji kaybı	g1	0,15	Kayıp enerji 3,3 kW	2	0,3
2	Düşük gürültü	g2	0,15	Gürültü düzeyi 18 dB	3	0,45
3	Düşük hata	g3	0,1	Çok düşük	4	0,4
4	Uzun ömür	g4	0,1	Tasarım ömrü 10 yıl	3	0,3
				Toplam, W		**1,45**
				Oran 1=Toplam/ En büyük not		**0,36**
Ekonomik Kriterler				**Konsept 1**		
No	**Açıklama**		**Ağırlık**	**Özellik**	**Değer**	**Ağırlık**
1	Ucuzluk	g5	0,35	Ucuzluk	4	1,4
2	Montaj kolaylığı	g6	0,15	Çok basit	4	0,6
				Toplam, W		**2,0**
				Oran 2=Toplam/ En büyük not		**0,50**

$$S_1 = \sqrt{Oran1.Oran2} = \sqrt{0{,}36x0{,}50} = 0{,}424$$

				Konsept 3		
No	**Açıklama**		**Ağırlık**	**Özellik**	**Değer**	**Ağırlık**
1	Enerji kaybı	g1	0,15	Kayıp enerji 3,3 kW	2	0,3
2	Düşük gürültü	g2	0,15	Gürültü düzeyi 18 dB	3	0,45
3	Düşük hata	g3	0,1	Çok düşük	4	0,4
4	Uzun ömür	g4	0,1	Tasarım ömrü 10 yıl	3	0,3
				Toplam, W		**1,45**
				Oran 1=Toplam/ En büyük not		**0,36**
Ekonomik Kriterler				**Konsept 3**		
No	**Açıklama**		**Ağırlık**	**Özellik**	**Değer**	**Ağırlık**
1	Ucuzluk	g5	0,35	Ucuzluk	4	1,4
2	Montaj kolaylığı	g6	0,15	Çok basit	3	0,45
				Toplam, W		**1,85**
				Oran 2=Toplam/ En büyük not		**0,46**

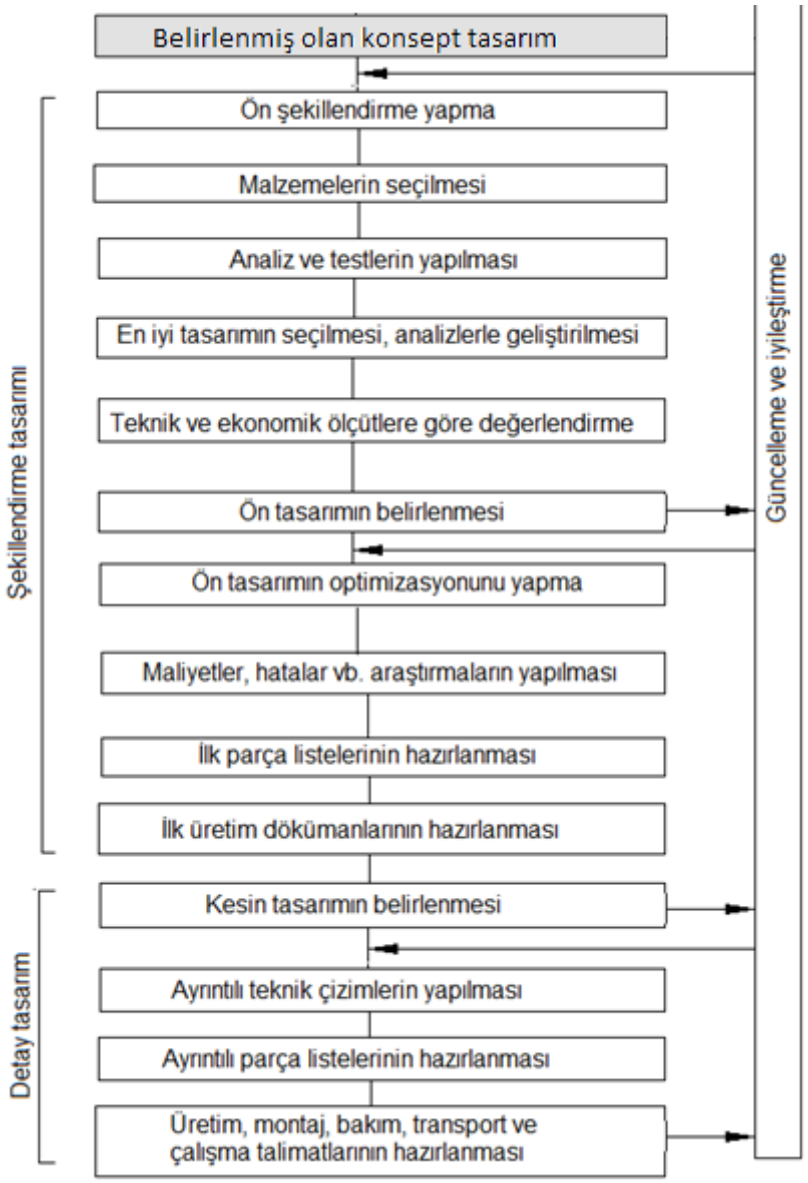
$$S_3 = \sqrt{Oran1.Oran2} = \sqrt{0{,}36x0{,}46} = 0{,}407$$

Sonuç olarak optimal çözümün konsept 1 olduğu anlaşılmaktadır. Bu seçimden sonra şekillendirme tasarımı aşamasına geçilir.

3. Şekillendirme Tasarımı

Konsept tasarımın belirlenmesinden sonra tasarımın kabaca geometrisi, boyutları, kullanılacak malzemeler ve imalat yöntemleri belirlenmiştir. Şekillendirme tasarımı aşamasında ise kavramsal tasarımın somutlaştırılması söz konusudur, ya da yaygın bir deyişle kavramsal tasarımda oluşturulan iskelete etler yerleştirilmektedir. Bu aşamada işletme gereksinimleri ve performans özellikleri gibi en alt düzey talepler dikkate alınarak tasarımdaki temel alt sistemler seçilir ve boyutlandırılır. Örneğin kavramsal tasarımı bitirilmiş bir merdivenin şekillendirme tasarımı yapılırken, yan destekler ve basamakların oluşturulması ile başlanır ve daha sonra yan desteklerin basamaklarla nasıl birleştirileceğine karar verilir.

Şekillendirme tasarımı sistematiği aşağıdaki gibi verilmektedir (şekil 3.1).



Şekil 3.1. Şekillendirme tasarımı sistematiği

Şekillendirme tasarımı aşamasında aşağıda verildiği gibi birçok kısıtlayıcı faktör söz konusudur. Bu faktörler parçanın temel yapısı, imalat şekli, malzeme seçimi gibi tasarımın birçok aşamasındaki değerlendirme ve karar verme işlemlerinde belirleyicidir.

- Üretim miktarı
- Zaman
- Maliyet
- Mevcut stok, tedarikler, yan sanayi
- Personel vb.

Şekillendirme tasarımı aşamasındaki temel beklentiler aşağıda verilmektedir.

- Tasarımdan beklenen fonksiyonlar karşılanmalıdır. Ana fonksiyon ve yardımcı fonksiyonlar tam ve doğru olarak belirlenmiş olmalıdır.
- Makinanın işletim sistemlerinin uygunluğu sağlanmış olmalıdır. Örneğin rahatsızlık verici titreşim gürültü gibi sorunlar giderilmeli ve makine kontrollerinin karmaşık olmayan bir şekilde yapılabilir olması sağlanmalıdır.
- Tasarımın yapısı, boyutları, toleransları ve kullanılan malzemeler, dayanım, deformasyon, gürültü, ömür, korozyon gibi genel beklentileri karşılamalıdır.
- Tasarım işletme ve çevre açısından emniyetli olmalıdır.
- İnsan ve makine ilişkileri, estetik gibi hususlar hesaplara katılmalı ve böylece ergonomik bir tasarım oluşturulmalıdır.
- İmalat prosesleri doğru seçilmeli ve bu konudaki analizler yapılmış olmalıdır.
- Tasarım aşamasında kalite kontrolü yapılabilir. Ayrıca tasarımın imalat aşamasında da kalite kontrolü prosedürleri belirlenmelidir.
- Montaj işlemlerinin verimli olması için tasarımda montaj süreleri ve parça adetleri minimize edilmiş olmalıdır.
- İmal edilen tasarımın fabrika içi ve dışı taşıma işlemlerinin mevcut imkânlarla uyumlu olması gereklidir.
- Tasarımda bakım ve onarım işleri değerlendirilmiş olmalıdır. Periyodik bakımlar ve süreleri belirlenmelidir. Tasarım kolayca onarım yapılacak şekilde, mümkünse benzer yapıda standart elemanlarla oluşturulmalıdır.
- Tasarımın ömrü, maliyetleri öngörülen değerleri karşılamalıdır.
- Tasarım prosesinde zaman planları yapılmış olmalıdır.

Şekillendirme tasarımı aşamasında gerçekleştirilen işlemler aşağıdaki gibi üç temel başlık altında değerlendirilmektedir.

a. Ürün yapısı oluşturma
b. Konfigürasyonlar geliştirme
c. Parametrik tasarım

3.1. Ürün yapısı oluşturma

Ürün mimarisi oluşturma, fonksiyonlarını yürütmeleri için fiziksel unsurların düzenlenmesi aşamasıdır. Ürün mimarisinin veya ürün yapısının oluşturulması aşamasında başta maliyet olmak üzere çevresel etkiler, imalat prosesi, estetik gibi çok sayıda parametre değerlendirilmelidir. Sonuçta bir ürün için en uygun ürün mimarisinin oluşturulması bir optimizasyon problemidir.

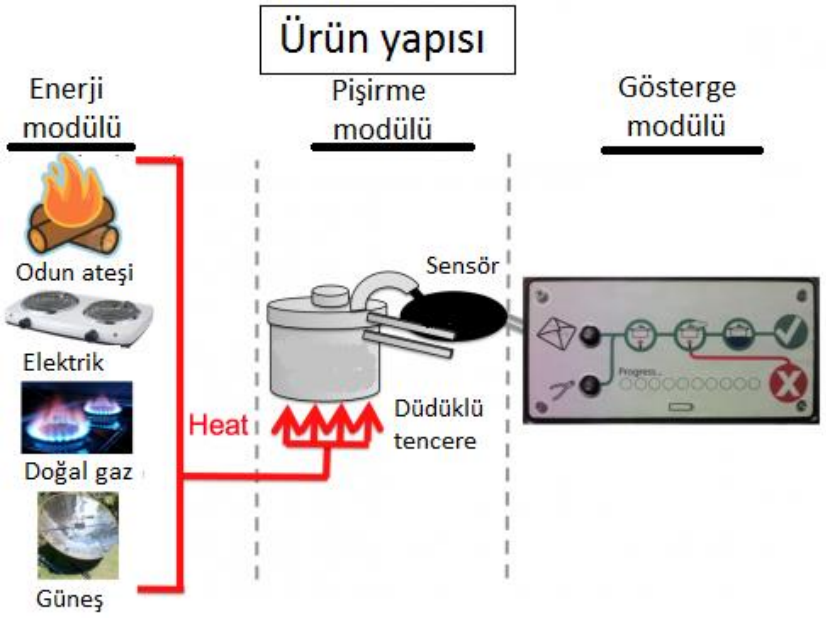
Yapı ilk olarak kaba skeçler şeklinde kavramsal tasarım aşamasında ortaya çıkmaktadır. Ancak şekillendirme tasarımı aşamasında, ürünün temel yapısal bloklarının tanımlanmakta ve elemanlar arası ilişkiler oluşturulmaktadır.

Bir ürünün şekli onun fonksiyon yapısı ile ilişkilidir. Ürünü oluşturan fiziksel yapının blokları genelde modüller veya alt sistemler olarak adlandırılmaktadır.

Ürün yapısının oluşturulmasında, modüler, integral veya karma şekillendirme yaklaşımları kullanılmaktadır.

a. Modüler ürün yapısı oluşturma,

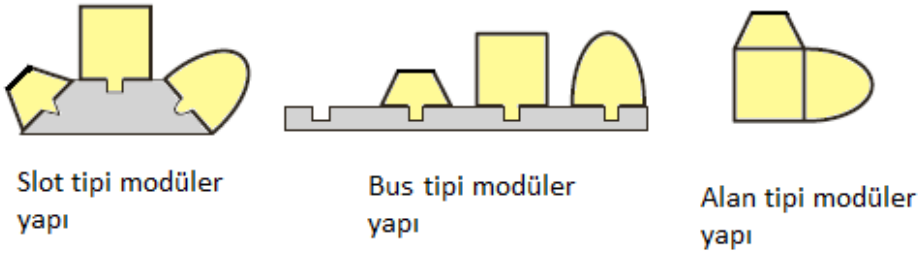
Modüler bir mimaride, her modül sadece kendi fonksiyonlarını gerçekleştirir ve modüller arasındaki etkileşimler iyi tanımlanmıştır. Modüler ürün yapısının tercih sebepleri sürdürülebilir ve genişleyebilir tasarımlar yapmak içindir. Bu konuya örnek olarak bir bilgisayar verilebilir. Bir bilgisayara farklı harici depolama cihazları, özel amaçlı sürücüler takılarak farklı işlevler elde edilebilmektedir. Veya bir pişirme sistemi her biri ayrı işleve sahip modüllerin bir araya getirilmesi ile oluşturulabilir (şekil 3.2).



Şekil 3.2. Bir pişirme sisteminin modüler ürün yapısı

Modüler yapı genel olarak üç değişik tipte oluşturulabilmektedir, bunlar;

- Slot tip modüler yapılarda modüller arasındaki ilişkilerin hepsi birbirinden farklıdır. Örneğin bir otomobildeki radyo, DVD oynatıcı ile değiştirilemez.
- Bus (veri yolu) tip modüler yapılarda modüller genel bir etkileşim şekli ile birleştirilirler. Böylelikle modüller arasında değişim yapılabilir. Örneğin bir kütüphanedeki rafların çoğu birbiri ile değiştirilebilir.
- Alan tipi modüler yaklaşımda tüm parçalar birbirlerine bağlanarak genel yapı oluşturulmaktadır. Örneğin borular birleştirilerek tesisatlar oluşturulmaktadır.

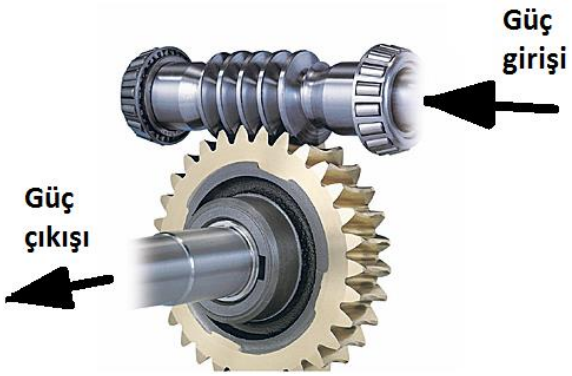


Şekil 3.3. Modüler yapı tipleri

b. İntegral ürün yapısı oluşturma,

İntegral tasarım yapısı oluşturmada fonksiyonların uygulanması sadece bir veya birkaç modül ile gerçekleştirilir. İntegral ürün mimarilerinde, bileşenler birden fazla işlevleri yerine getirir. Bu durumda parçalar çok karmaşıklaşır ancak bileşenlerin sayısı ve dolayısı ile maliyetler azalır ve daha yüksek performansa sahip bir tasarım gerçekleştirilir.

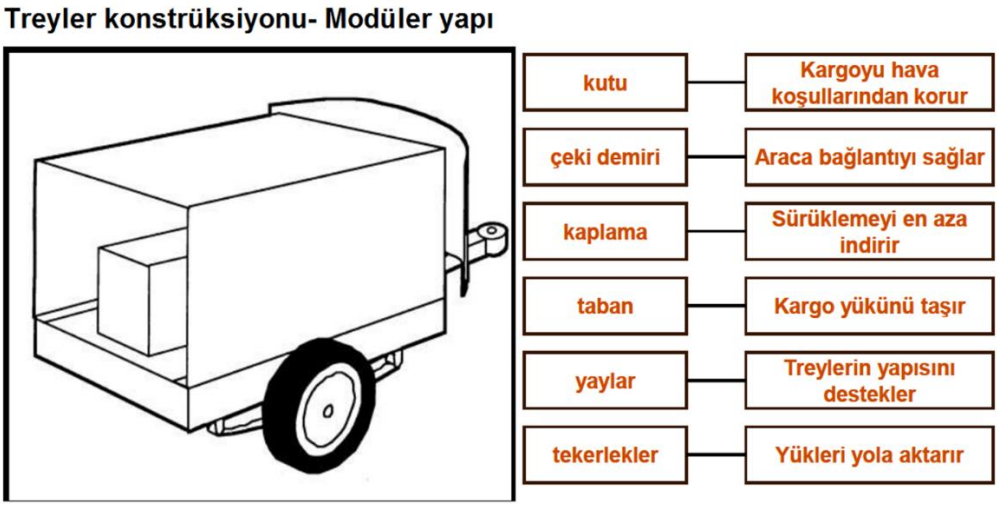
İntegral tasarım için bir sonsuz vida mekanizmasının tasarımından bir örnek verilebilir (şekil 3.4). Burada Sonsuz vida mekanizmasındaki vida ve dişli çark çifti birlikte çalıştıklarında hız değiştirme amacıyla kullanılmaktadırlar. Ancak bu elemanlar aynı zamanda hareketin yönünü değiştirme ve belirli bir uzaklığa hareketi iletme gibi farklı fonksiyonları da yerine getirmektedirler.

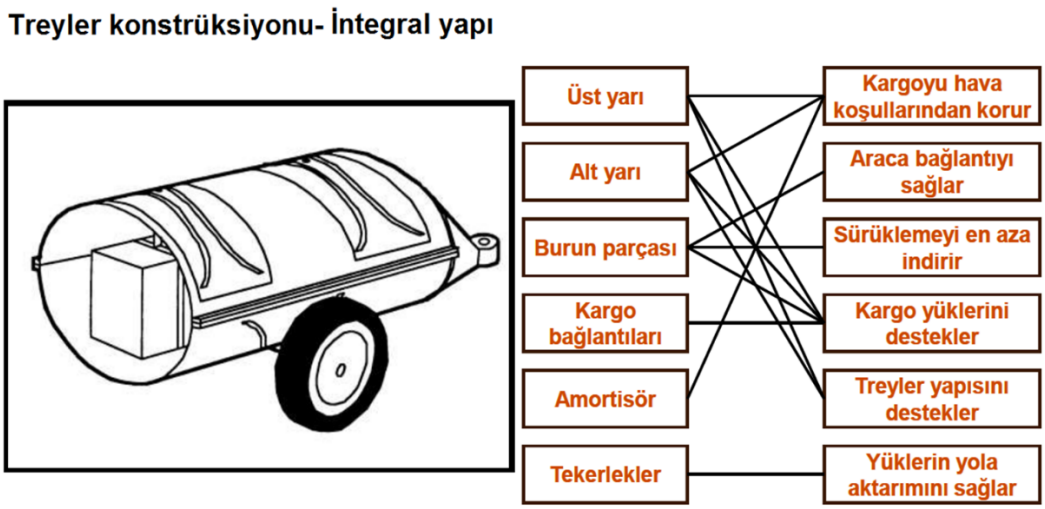


Şekil 3.4. Sonsuz vida mekanizması

Bir başka örnek olarak bir dizel motorun ana mili verilebilir. Bu eleman motordaki diğer bileşenlerle ilişkili integral bir yapı oluşturmaktadır.

Örnek 3.1. Bir treylerin konstrüksiyonunu modüler ve integral ürün yapısı oluşturma düşünceleri ile ayrı ayrı şekillendiriniz.





c. Estetik ürün yapısı oluşturma,

Estetik sözcüğü, Grekçe " aisthesis" algı, duyum sözcüğünden gelir ve ilk kez Alexander Gottlieb Baumgarten (1714-1762) tarafından kullanılmıştır. "Aesthetica" (1750) Baumgarten' in en önemli yapıtıdır.

Kant'ın "Yargı gücünün Eleştirisi", Schelling' in "Sanat Felsefesi", Negel' in "Estetik Dersleri" ve Schopenhauer' in "İstenç ve Tasarım Olarak Evren" adlı yapıtının üçüncü kitabı Alman idealizm felsefesinin dört sistemci yapıtlarıdır. Bu eserlerde egemen olan kavrayışa göre, sanat felsefesi, aynı zamanda "güzel kavramı" ile bir aradaydı.

Aslında geriye doğru bakıldığında, Platon'dan Hegel' e kadar, güzel kavramının estetik spekülasyonların merkezinde yer aldığı görülür ki, bu açıdan, haklı olarak felsefi estetiğin de felsefe tarihi içinde sürekli bir geleneğe sahip olduğu söylenebilir.

Tasarım planlama, biçimlendirme, oluşturma işlemlerini kapsar. Bu nedenle tasarımcı sanatsal ve bilimsel yöntemleri birlikte kullanır. Romalı mühendis Vitruvius' a göre bir yapı sağlamlık, işlevsellik ve estetik ölçülere göre oluşturulmalıdır. Bu düşüncelerin ışığında aynı görevi yerine getirmek için hepsi işe yarayan yüzlerce farklı tasarım oluşturmak mümkündür.

21. yüzyılda teknolojide, ekonomi alanında, kültürel ve yaşam tarzında tarih boyunca görülmemiş ölçüde hızlı değişimler olmuştur. Bu değişimlerde belirleyici rol oynayan her alandaki tasarımcılara önemli görevler düşmektedir. Bu nedenle, makine mühendisliği alanındaki tasarımcılar da, işlev, tasarım ve estetik kavramlarını çağın dinamiklerine uygun bir biçimde dönüştürmeli ve geliştirmelidirler.

Orijinal tasarımlar geliştirmek artan sanayileşme ve nüfus yoğunluğu, göz önüne alındığında, insan ırkının sürdürülebilirliği için önemli bir gereksinimdir. Orijinal tasarımlar geliştirmek için uygulamalı sanatların üç temel ayağı olan yapı, işlev ve estetik kurguyu birbiri ile ilişkilendirebilen, çağdaş, taklitten uzak ve yeni açılımlara uyarlayabilen tasarımcıların yetiştirilmesi gereklidir. Uygulamalı bilimler ve sanatlar eğitiminde özellikle ürüne dönük çalışmalardaki "kullanım amacına uygunluk", " sağlamlık " ve " ekonomiklik " gibi kavramlar bu alandaki estetik yapılanma ve yaratıcılığın önüne geçme tehdidini taşımaktadır.

Bir tasarımın estetik olabilmesi için beş temel ilke bulunmaktadır, bunlar;

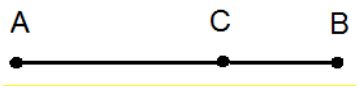
a. Denge
b. Orantı ve görsel hiyerarşi
c. Görsel devamlılık
d. Bütünlük
e. Vurgulama

Estetik tasarım çalışmalarında bu beş temel ilke göz önünde tutulmalıdır. Tasarım hazırlanırken denge, orantı ve görsel devamlılık bir bütünlük içerisinde iyi bir vurgulamayla verilmelidir.

Estetik şekillendirme için analitik bir yaklaşım olarak altın oran kullanımı

Altın oran, matematik ve sanatta, bir bütünün parçaları arasında gözlemlenen, uyum açısından en yetkin boyutları verdiği sanılan geometrik ve sayısal bir oran bağıntısıdır. Eski Mısırlılar ve Yunanlılar tarafından keşfedilmiş, mimaride ve sanatta kullanılmıştır. Euclid (M.Ö. 365 – M.Ö. 300), "Elementler" adlı tezinde, bir doğruyu 1.6180339... sayısına uygun ekstrem ve önemli oranda bölmekten bahsetmiştir.

Bir doğru parçasının (AB) Altın Oran'a uygun biçimde iki parçaya bölünmesi gerektiğinde, bu doğru öyle bir noktadan (C) bölünmelidir ki; küçük parçanın (AC) büyük parçaya (CB) oranı, büyük parçanın (CB) bütün doğruya (AB) oranına eşit olsun.

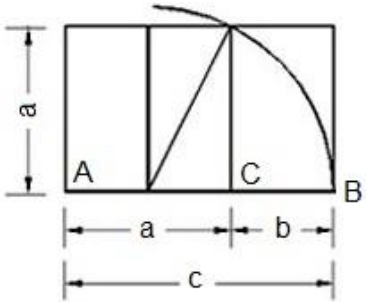


$$\frac{AC}{CB} = \frac{AB}{AC} = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1{,}618$$

$$AC^2 = AB.CB$$

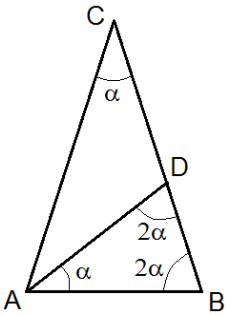
$$1^2 = 1{,}618x0{,}618$$

Dikdörtgen parça yüzeylerinin altın orana göre şekillendirilmesi aşağıdaki gibi yapılmaktadır.



$$AB = c = 1{,}618\,, \qquad AC = a = 1\,, \qquad CB = b = 0{,}618$$

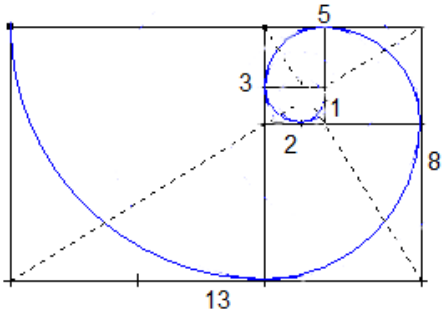
Altın orana sahip bir parça yüzeyi aşağıdaki gibi şekillendirilmektedir.



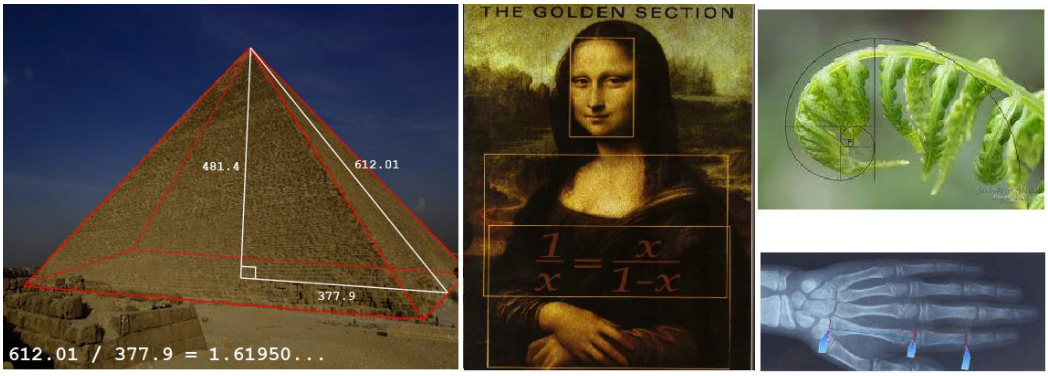
Altın orana sahip üçgen ikizkenar olup iç açıları α ve 2α olacak şekilde seçilir. Böylece bir kenar üzerindeki B, C, D noktaları altın oranı teşkil ederler.

$5\alpha = 180^0$ olduğuna göre altın üçgen için $\alpha = 36^0$ olarak alınmaktadır.

Altın orana sahip spiral geometri oluşturma.

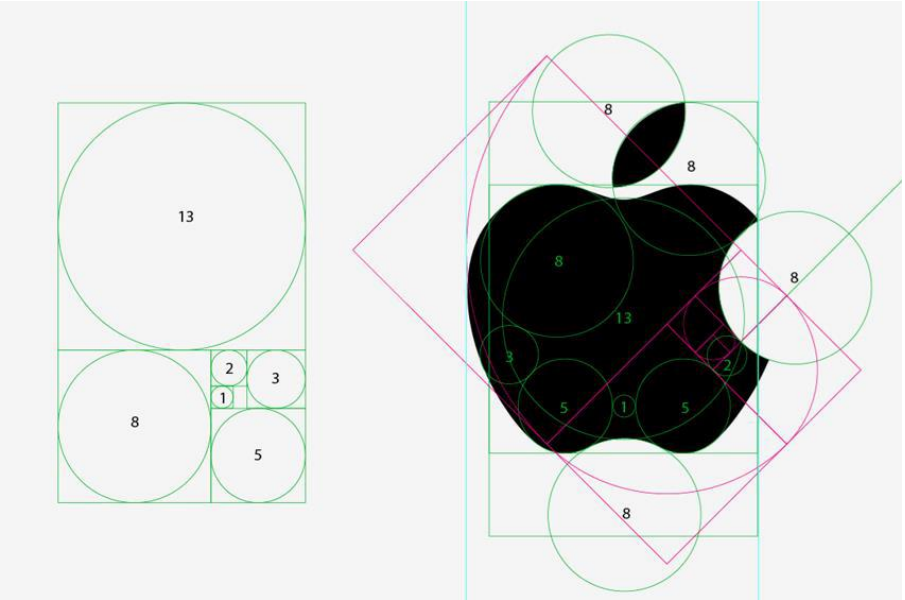


Bu geometride her yeni kenarın uzunluğu kendinden önceki uzun ve kısa kenarların uzunlukları toplamına eşittir. Altın orana diğer örnekler şekil 3.5, şekil 3.6 ve şekil 3.7 de görülmektedir.



Şekil 3.5. Mısır piramitleri, Mona Lisa, tütün yaprağı ve parmaklarımız altın orana sahiptir.

Şekil 3.6. Aston Martin Rapide altın orana göre tasarlanmıştır.



Şekil 3.7. Apple logosu altın orana göre tasarlanmıştır.

Malzeme ve imalat yöntemine uygun şekillendirme

Şekillendirmede malzemenin cinsi önemlidir. Örneğin alüminyum veya plastik bir malzeme ile yapılan estetik bir tasarımda, pik döküm malzemeye göre karmaşık şekilleri yüzey pürüzlülüğü daha az ve daha hassas geometrilerle oluşturmada çok daha başarılı olunabilir.

Her imalat yöntemi her geometride parça üretimine uygun değildir. Örneğin çelik levhalardan soğuk şekillendirme (cold forming) ile I profil üretilemez. İnce cidarlı malzemeler ısıl işlemler sonrası çarpılabilir dolayısı ile geometrileri bozulur.

Ürün yapısını oluşturmada göz önüne alınması gereken olgular

a. Ürün yapısının etkileşimleri,
   - Çok aşınan elemanlar, (örneğin, araç lastikleri, fren balataları vb.)
   - Sarf malzemeleri, (örneğin, otomobillerde motor yağları, silecek suyu vb.)
   - Kullanımda esneklik sağlayan elemanlar, (örneğin, redüktörlerde hareketsiz kısımlarda sızdırmazlık elemanı olarak conta veya o-ring kullanımı vb.)
   - Geri dönüşüm, (örneğin çelik malzemeler kompozitlere oranla çok daha kolayca geri dönüştürülebilirler vb.)
b. Ürün çeşitliliği,
   - Ürün çeşitliliği firmanın pazar talebine yanıt olarak belirli bir süre içinde üretilebilir ürün modelleri aralığını ifade eder. Örneğin Swatch firması yüzlerce saat modeli üretmektedir.
c. Elemanların standardizasyonu,
   - Değişik ürünlerde benzer elemanlar veya parçalar kullanılabilir. Örneğin bir otomobil firması ağırlığı 1,2-2,0 kN arasında olan muhtelif model araçlarında 195/60 R15 tekerlek lastiklerini kullanabilir.
d. Ürün performansı,
   - Ürünün beklenen fonksiyonları yerine getirme performansı önemlidir. Örneğin bazı araçlarda yakıt deposu aynı zamanda gövde elemanı olarak kullanılmaktadır.
e. İmal edilebilirlik,
   - İmalata uygun tasarımlar yapılmalıdır. Örneğin döküm yolu ile imal edilecek bir parçada soğuma için uygun önlemler alınarak tasarım gerçekleştirilmelidir. Aksi halde parçanın dökümden sonra çarpılarak deforme olması kaçınılmaz olacaktır.
   - Elemanların integrasyonu ile parça sayısını azaltmak mümkündür. Örneğin somun sıkma işlerinde kullanılan bir anahtar tek bir parça olmasına rağmen ucu ile somunu tutmakta ve sap kısmı da moment kolu olarak görev yapmaktadır.

3.2. Şekillendirme Tasarımının Temel Kuralları

Pahl ve Beitz şekillendirme tasarımının temel kurallarını açıklık, basitlik ve emniyet olarak üçe ayırmaktadır.

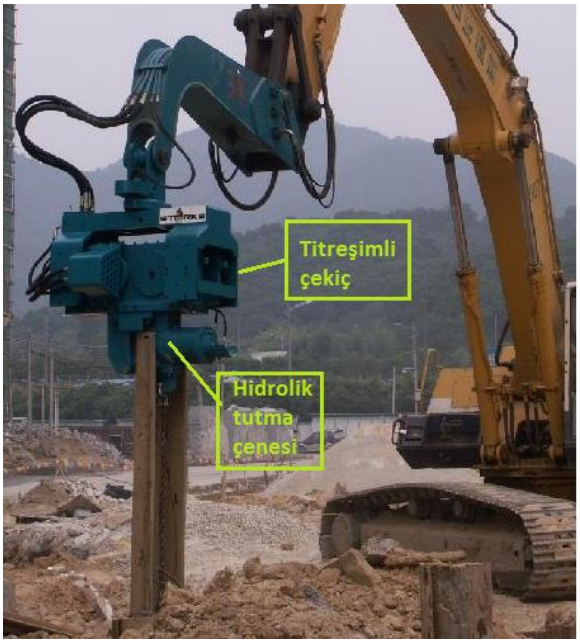
a. Açıklık ilkesi

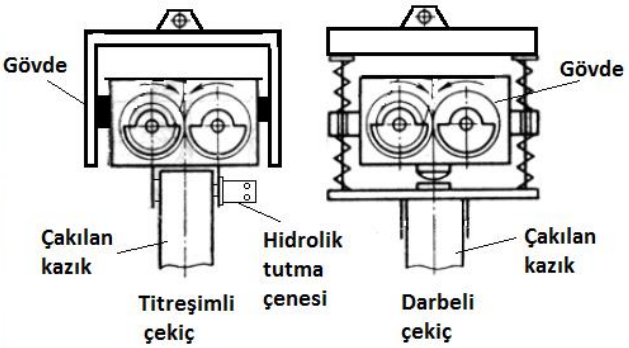
Enerji, malzeme ve bilgi giriş ve çıkışları arasındaki ilişkilerin net ve açık olması ile ilişkilidir.

Tasarımın fonksiyon yapısı açıkça belirtilmelidir. Örneğin titreşim prensibi ile çalışan bir çekicin çakma fonksiyonunun temelinde titreşim hareketi olması halinde çakılacak ekipmanın çekicin başı ile birlikte hareket etmesi zorunludur. Bu durumda çakılacak ekipmanı çakma gövdesine bağlayacak bir tutma elemanına ihtiyaç vardır. Halbuki çakma fonksiyonu çarpışma şeklinde gerçekleşecek ise bu durumda tutma elemanı gereksiz olacaktır (şekil 3.15).

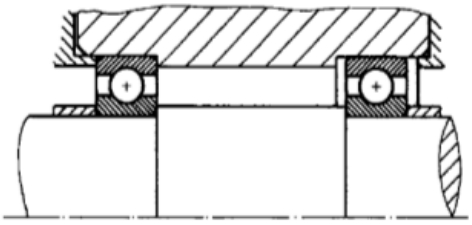
Çalışma prensibi açısından tasarımın açık ve net olması önemlidir. Örneğin bir rulmanlı yatak sistemi tasarımında elemanlar arası ilişkilerin tam olarak tanımlanmaması tasarımın hatalı olmasına yol açmaktadır (şekil 3.16).

Benzer şekilde tasarımın bu aşamasında, ergonomi, çevreye uygunluk, bakım ve onarım, montaj, imalat konularında da yanlış anlaşılmaya yol açmayacak, açıkça belirlenmiş şekilde bir tasarım konfigürasyonu oluşturmak gereklidir.

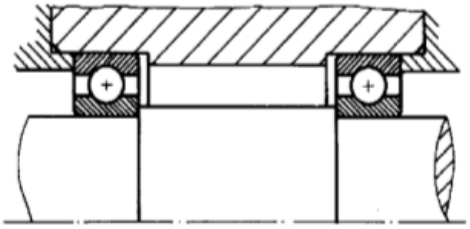




Şekil 3.15. Titreşimli çekiç tipleri



a-Soldaki yatak eksenel yükleri karşılamakta buna karşılık sağdaki yatak ise termal genleşme etkilerini dengelemektedir. (Net tasarım)



b-Sağ veya soldaki yataklardaki yükler termal etkiler, toleranslar vb. birçok dış etkiye bağlıdır. (Belirsiz tasarım)

Şekil 3.16. Rulmanlı yataklarda açık ve net tasarımın çalışma prensibi ilkesine göre açıklanması.

b. Basitlik ilkesi

Tasarımda basitlik kolay üretilen ekonomik ürünler geliştirmek için önemlidir.

Basitlik ilkesi kapsamında aşağıdaki tasarım önerileri verilebilir.

- Az sayıda parça kullanmak
- Sade ve bilinen bir geometriler ile parçaları oluşturmak,
- Tek tip eleman kullanmak
- Tek tip malzeme kullanmak,
- Emisyonları az ve geri dönüşümü kolay malzemeler kullanmak.

Şekil 3.17. Malzemeleri düşey yönde iletmede en basit yöntem ağırlıklarından yararlanmaktır.

Basitlik ilkesi için temel başlıklar açıklık ilkesinde olduğu gibi, fonksiyon,

çalışma prensibi, ergonomi, çevreye uygunluk, bakım ve onarım, montaj ve imalat olarak verilebilir.

Örneğin iki nokta arasında malzeme transferi yapmak için en basit fonksiyon yapısı değerlendirildiğinde ilk akla gelen yerçekimi kuvvetini kullanmak olabilir. Bu durum minimum enerji kullanımına yol açacaktır.

c. Emniyet ilkesi:

Bir makine veya sistemin emniyeti, işletme emniyeti, operatör emniyeti ve çevre emniyeti temel alanlarında ele alınmaktadır.

İşletmelerde makinelerin çalışması esnasında riskler oluşturmaması için uygun tasarımlar yapılmalıdır. Örneğin bir motor-redüktör bağlantısında kullanılan kavramanın merkezkaç kuvvetler etkisinde parçalanması ve çevreye dağılması işletmede çalışanların yaralanmasına yol açabilir. Bunu önlemek için mutlaka koruyucu muhafaza da tasarıma dâhil edilmelidir. Bir makinenin çalışması esnasında oluşan gürültü, titreşim gibi zararlı etkiler çevresi için zararlıdır.

Bir vincin tasarımında devrilme riski söz konusudur. Eğer kaldırılan yük bilinmiyor ise ve aşırı yük emniyeti mevcut değilse vinç devrilecek, operatör ve yakın çevredeki insanlar için risk oluşturacaktır.

Bir nükleer santralin emniyet tasarımında tüm dış etkiler açık ve net olarak hesaba katılmamış ise çevre felaketi kaçınılmaz olacaktır (şekil 3.18).

Şekil 3.18. Fukushima nükleer santralindeki felaketin sebebi tsunaminin öngörülmemesi olmuştur.

Emniyetli tasarımlar firmalar için saygınlık sebebidir. Emniyetli ürünler pazarda daha çok tutulmakta ve daha yüksek fiyatlara alıcı bulabilmektedir.

Alman endüstri standardı olan DIN 31000’ e göre emniyet üç seviyede tanımlanmaktadır.

- Doğrudan emniyet
- Dolaylı emniyet
- Uyarılar

Doğrudan emniyetin temel ilkeleri, emniyetli ömür, tedbirlilik ve fazlalık olarak verilmektedir. Emniyetli ömür ilkesi tasarımın bildirilen kullanım ömrünü arızasız bir şekilde emniyetle tamamlaması anlamına gelmektedir. Bir otomobil için verilen mekanik garanti süresi 5 yıl ise bu durumda sadece periyodik bakımlarla bu süre her

seferinde tamamlanabilmelidir. Ancak aynı firma tasarım değişikliğine gitmeden aynı otomobil için Alaska da 5 yıl garanti vermesi mümkün olmayacaktır. Çevresel etkiler tasarımın emniyetli ömürle kullanılmasına engel olacaktır. Örneğin düşük sıcaklıkta birçok cıvata bağlantısı kırılgan olmaktadır. Bu durumda bu parçaların kolayca deforme olması kaçınılmaz olacaktır.

Tedbirlilik ilkesi, kullanım sürecinde ağır hasar oluşmadan bir sistemin fonksiyon kaybına, örneğin bazı parçaların kırılmasına izin verir. Örneğin bazı basınçlı kaplarda emniyet valfleri basınç yükselmelerinden kaynaklanan olası deformasyonlarda büyük zararları engellemek için kullanılmaktadır (şekil 3.19). Veya başka bir örnek olarak bir reaktörde kabın içindeki cıvata vb. parçaların kırılması sonucu reaktörün içine düşen parça tesisatı tıkayarak risk oluşturma olasılığı verilebilir. Bu durum uygun tasarımlar yapılarak önlenebilmektedir.

Şekil 3.19. Buhar kazanında basınç yükselmelerine karşı tedbir olarak basınç emniyet valflerinin kullanılması.

Fazlalık ilkesine göre yapılan emniyet tasarımlarında aktif ve pasif elemanlar kullanılmaktadır. Aktif fazlalık durumunda sistemdeki tüm emniyet unsurları çalışır haldedir. Bunun için örnek olarak bir uçağın iki adet jet motorunu irdeleyebiliriz. İki motor da aynı anda çalışarak uçağı istenen performansta uçurmaktadırlar. Ancak herhangi birinde arıza oluşması durumunda uçağın performansı azalır ancak düşme tehlikesi oluşmaz. Bir başka örnek olarak şekil 3.19' daki buhar kazanının üzerinde iki adet basınç emniyet valfi kullanılması durumunu verilebilir. Burada iki valf sürekli devrededir, ancak biri arıza yapsa bile diğeri sistemin ihtiyacını karşılamaya yeterli olacak şekilde seçilmiştir.

Pasif fazlalık halinde emniyet ekipmanları normal olarak devre dışı olmasına rağmen arıza durumunda devreye girerler. Örneğin uçakların iniş takımları normal olarak hidrolik servo sistem tarafından çalıştırılmaktadır. Ancak bu sistemin arıza yapması durumunda yedek sistemler devreye alınarak emniyetli uçuş durumu sağlanmaktadır.

Dolaylı emniyet durumu, koruyucu sistem veya cihaz kullanımlarını kapsamaktadır. Koruyucu sistemler tehlike durumu oluştuğunda devreye girerek emniyetli bir çalışma için yardımcı olurlar. Örneğin buhar kazanının su seviye kontrol cihazı, su seviyesindeki fazlalık ve eksiklikleri algılayarak emniyetli bir çalışma

ortamı oluşturmaktadır. Dolaylı emniyet durumu için bir başka örnek olarak bir presin önündeki ışın perdesi verilebilir. Bir hata sonucu insanın örneğin eli prese çok fazla yaklaşacak olursa ışın perdesi bu durumu algılayarak çalışmayı durdurmaktadır.

Uyarı işaret ve levhaları ise tehlikeli durumları belirtmek amacı ile kullanılmaktadır (şekil 3.20).

Şekil 3.20. İş sağlığı ve iş güvenliği yönetmenliğine göre yapılan risk değerlendirmesi sonuçlarına bağlı olarak, çalışma yöntemleri, iş organizasyonu ve toplu korunma önlemleriyle işyerindeki risklerin giderilemediği veya yeterince azaltılamadığı durumlarda, güvenlik ve sağlık işaretleri bulundurulması ve uygun şekilde kullanılması zorunludur.

3.3. Şekillendirme tasarımının ilkeleri

Şekillendirme tasarımının temel ilkeleri Pahl ve Beitz' e göre aşağıdaki gibi verilmektedir.

a. Kuvvet aktarma ilkesi
b. Görevlerin ayrılığı ilkesi
c. Kendine yardım ilkesi
d. Kararlılık ilkesi

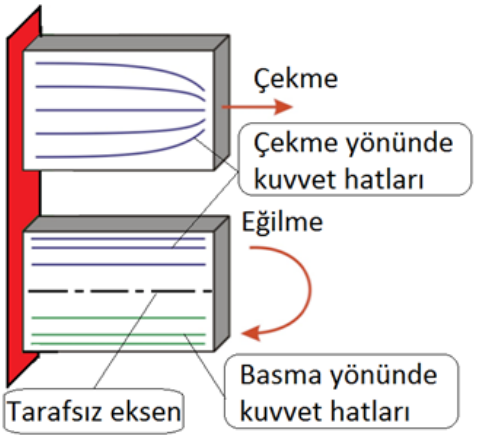
a. Kuvvet aktarma ilkesi

Kuvvet aktarma ilkesi mekanik tasarımda, iki nokta arasında kuvvet ve momentlerin aktarımı ile ilişkilidir. Kuvvet aktarımında temel beklenti yapılan tasarım sonucunda kuvvetlerin parçalar üzerinde eşit dağılmış gerilmelere yol açmasıdır. Genelde geometrik sınırlamalar bu duruma engel olmaktadır.

- Kuvvet akış hatları ve düzenli dayanım ilkesi
- Doğrudan ve kısa kuvvet aktarma yolu ilkesi
- Eşlenik deformasyon ilkesi
- Dengeli kuvvetler ilkesi

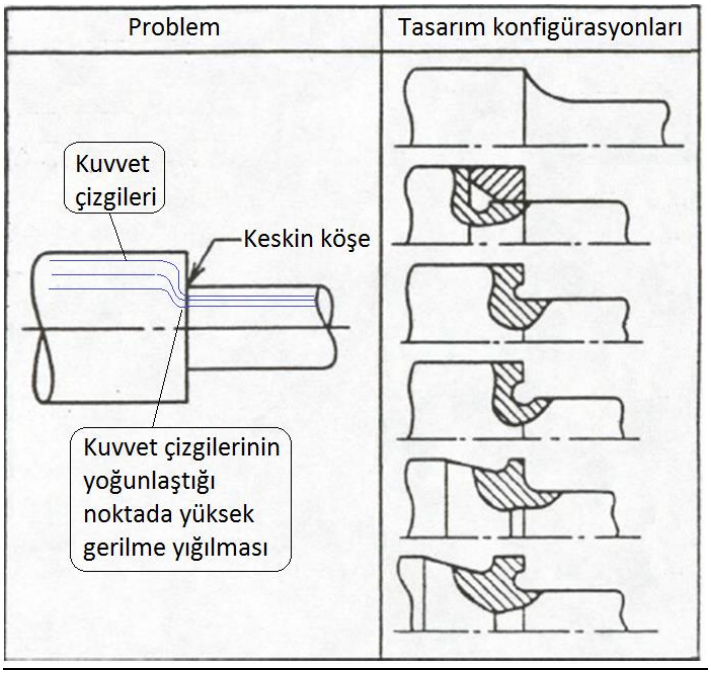
<u>Kuvvet akış hatlarının düzenli olması ilkesi;</u>

Parçalara etki eden eğilme, burulma momentleri ve eksenel, radyal kuvvetler parçalarda kuvvet iletim hatları boyunca etkili olurlar. Böylece parça içinde kuvvet çizgileri oluşur. Parça geometrisinden veya malzeme özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle kuvvet çizgilerinin düzensiz olması kesitlerde gerilme yığılmalarına yol açar (şekil 3.21).

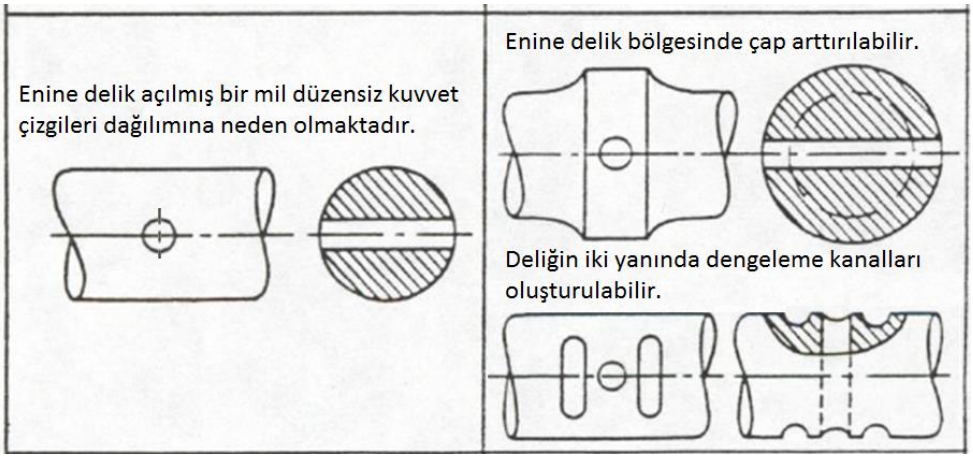


Şekil 3.21. Çekme ve eğilme yönünde kuvvet iletiminde parçalar üzerinde kuvvet çizgilerinin durumu.

Örnek 3.2. Şekilde verilmekte olan milin ucuna fatura oluşturulması gereklidir. Kuvvet çizgilerinin durumunu inceleyerek uygun tasarım konfigürasyonlarını belirleyiniz.

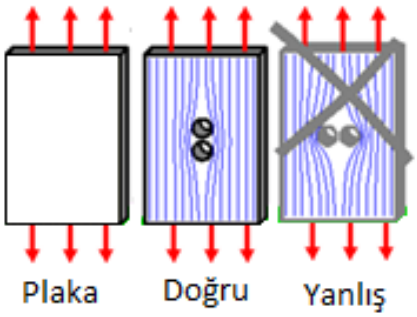


Örnek 3.3. Bir mil üzerine enine delik delinmesi gereklidir. Düzenli kuvvet akış çizgileri elde etmek için yapılabilecek uygun tasarımları belirtiniz.

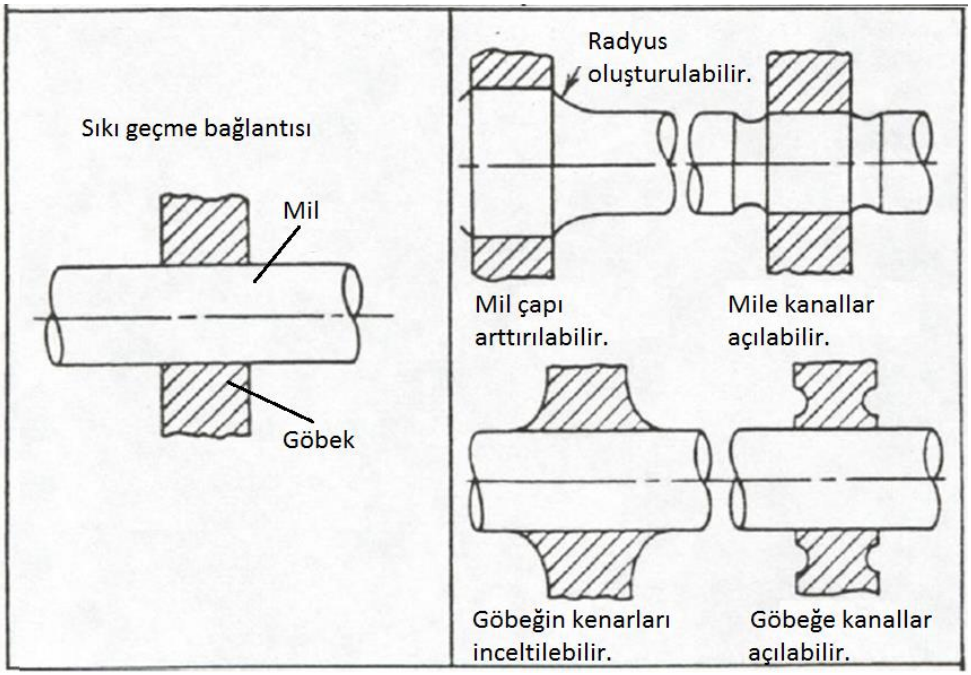


Örnek 3.4. Bir mil üzerine enine kanal açılması gereklidir. Düzenli kuvvet akış çizgileri elde etmek için yapılabilecek uygun tasarımları belirtiniz.

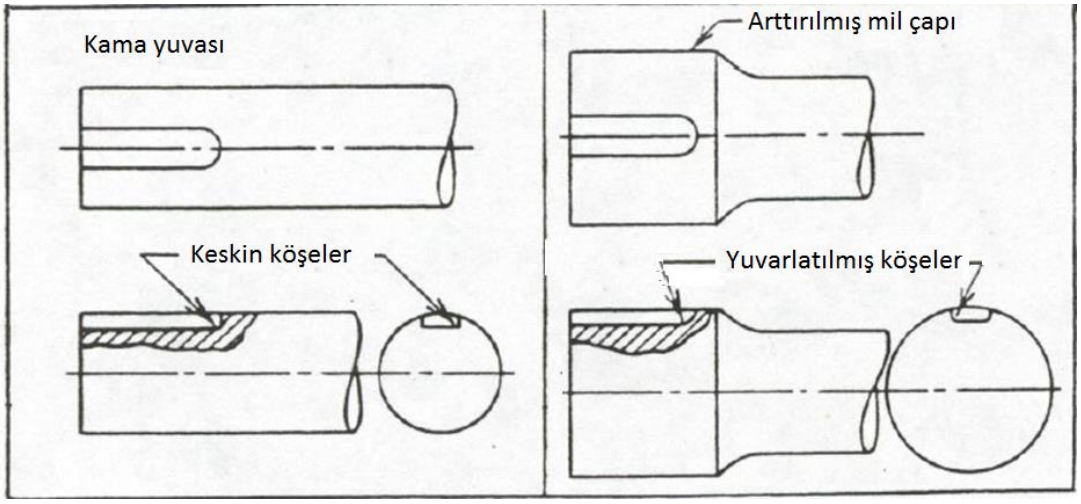
Örnek 3.5. Şekilde görülen çekme kuvveti etkisindeki çelik plaka iki adet cıvata deliği açılarak yapıya bağlanmaktadır. Kuvvet akış çizgilerini değerlendirerek delikler için uygun konfigürasyon tasarımını belirleyiniz.



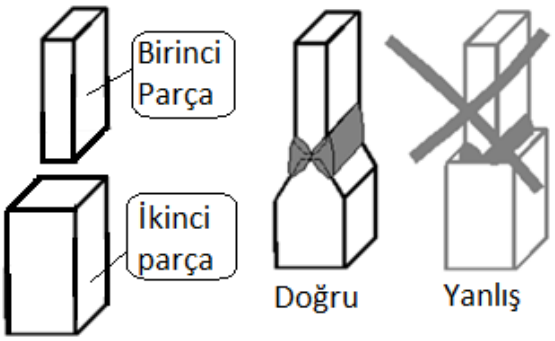
Örnek 3.6. Bir mil üzerine bir dişli çarkın göbeğinin sıkı geçme olarak takılması gereklidir. Düzenli kuvvet akış çizgileri elde etmek için yapılabilecek uygun tasarımları belirtiniz.



Örnek 3.7. Bir mil üzerine standart bir kama yuvası açılması gereklidir. Düzenli kuvvet akış çizgileri elde etmek için yapılabilecek uygun tasarımları belirtiniz.



Örnek 3.8. Şekilde görülmekte olan farklı kesitte iki parça, uc uca gelecek şekilde, kaynaklı birleştirme yöntemi ile bağlanacaktır. Kuvvet akış çizgilerini değerlendirerek uygun tasarımı oluşturunuz.



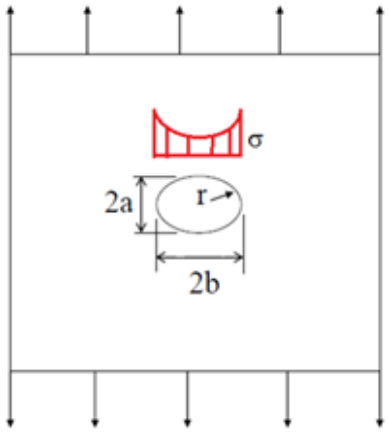
Örnek 3.9. Şekildeki plaka çekme kuvveti etkisindedir. Plaka üzerine eliptik bir delik delinmesi gerekmektedir. Kuvvet akış çizgilerini değerlendirerek uygun delik konumunu belirleyiniz.

Kuvvet akış çizgileri nedeni ile oluşacak etki literatürde gerilme yığılması faktörü ile ifade edilmektedir.

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$$

Eliptik bir delik için kuvvet çizgilerinin sıkışmasından kaynaklanan gerilme yığılması faktörü aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$K_t = 1 + 2\frac{b}{a} = 1 + 2\sqrt{\frac{b}{r}}$$



Sayısal bir karşılaştırma yapacak olursak, uzun eksen uzunluğu b=30 mm ve kısa eksen uzunluğu a=10 mm olan eliptik bir deliğin parça üzerine delinmesi durumunda, yapılan tasarıma bağlı olarak maksimum gerilmenin normal gerilmeye oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

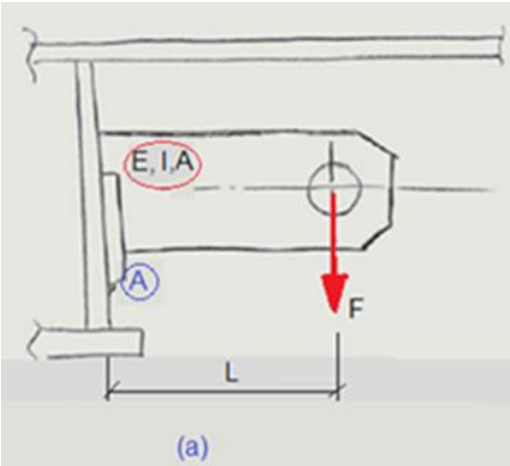
- Uzun eksen kuvvet çizgilerine dik olarak yerleştirilmiş ise, $K_t = 7$
- Uzun eksen kuvvet çizgilerine paralel olarak yerleştirilmiş ise, $K_t = 1{,}67$

<u>Doğrudan ve kısa kuvvet aktarma yolu ilkesi;</u>

Bir kuvvet / moment taşıma en kısa ve kestirme yoldan yapılır. Kuvvet akış hatları daima kapalı olmalıdır çünkü bu durumlar:

- Minimum malzeme kullanımı (hacim, ağırlık)
- Minimum deformasyon sağlar

Örnek 3.10. Şekillendirme tasarımı kuvvetin kısa yoldan iletimi ilkesine göre şekil a' da verilmekte olan ve St 52 malzemeden yapılmış olan ilk tasarımı kontrol ederek gerekirse emniyetli bir tasarımla değiştiriniz.



Verilenler,

- Malzemenin elastiklik modülü, E=2,1x10^5 N/mm^2
- Kiriş yüksekliği, h= 30 mm
- Kiriş et kalınlığı, t= 16 mm
- Kiriş atalet momenti, I_x= 36000 mm^4
- Kiriş alanı, A=480 mm^2
- Kiriş boyu, L=300 mm
- Kuvvet, F=4200 N

Çözüm,

Şekil a' daki mevcut gerilme değerinin hesaplanması

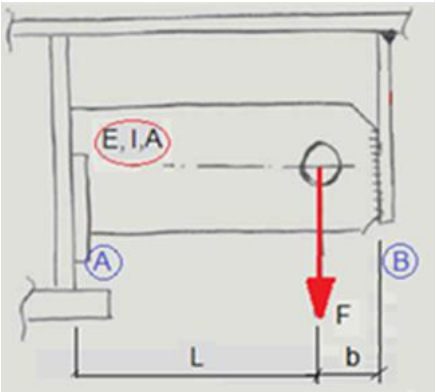
Mesnet reaksiyon kuvveti, $R_A = F = 4200\ N$

Mesnet reaksiyon momenti, $M_A = F.L = 4200x300 = 1.260.000\ N.mm$

$$\text{Kirişin A kesitindeki max. eğilme gerilmesi, } \sigma_e = \frac{M_A}{W_x} = \frac{1.260.000x15}{36.000} = 525\ MPa$$

$$\text{Kirişin A kesitindeki max. kesme gerilmesi, } \tau_k = \frac{R_A}{A} = \frac{4200}{480} = 8{,}8\ MPa$$

St52 şasi malzemesi için akma sınırı *360 MPa* olup parça emniyetsizdir. Bunun nedeni kuvvetin uzun yoldan aktarılmasıdır. Buna göre önerilen yeni tasarım konfigürasyonu şekil' de görülmektedir.



Burada;

Kiriş yay katsayısı, $k_1 = 3EI_x/L^3 = 840\ N/mm$

Kirişin deplasmanı, $y_1 = F/k_1 = 4200/840 = 5\ mm$

Rijit düşey desteğin deplasmanı, $y_2 \cong 0$

Bu nedenle B noktası da A gibi rijit mesnet olarak kabul edilebilir.

b=50 mm (kabul).

B noktasındaki eğilme momenti, $M_B = F.b.L^2/(L+b)^2 = 154286\ N.mm$

B noktasındaki reaksiyon, $R_B = FL^2(L+3b)/(L+3b)^3 = 3967\ N$

A noktasındaki eğilme momenti, $M_A = F.L.b^2/(L+b)^2 = 25714\ N.mm$

A noktasındaki reaksiyon, $R_A = Fb^2(3.L+b)/(L+3b)^3 = 233\ N$

Kirişte max. eğilme gerilmesi B noktasındadır, $\sigma_e = M_B/W_x = 64{,}3\ MPa$

Kiriş mesnet kaynağında kesme gerilmesi B noktası için, $\tau_k = R_B/A = 8{,}3\ MPa$

Bu çözümde kısa kuvvet aktarma yolu ilkesine göre tasarım yapılmış ve gerilme değerleri, malzeme emniyet sınırlarının oldukça altında kaldığı gözlenmiştir. Ayrıca kolay uygulanması ve ekonomik olması nedeniyle çözüm benimsenmiştir.

Örnek 3.11. Şekilde görülmekte olan ve kaldırma ekipmanı olarak kullanılan yük kancasının yerine doğrudan kuvvet aktarımı ilkesi gereği bir adet çekme çubuğu kullanıldığında kaldırma ekipmanında yapılabilecek ağırlık tasarrufunu hesaplayınız.

Kanca için hesaplamalar yapılacak olursa,

Kaldırılan yük, F=10000 N

İç yarıçap, r_i=100 mm

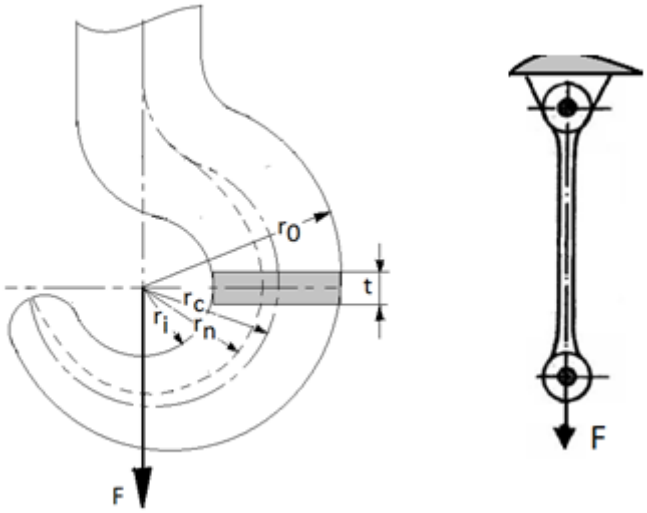
Dış yarıçap, r_0=200 mm

Kesitin kalınlığı, t=20 mm

Kesit simetri ekseni yarıçapı, $r_c = 0{,}5(r_i + r_o) = 150\ mm$

Kesit boyu, $h = r_0 + r_i = 100\ mm$

Kesit alanı, $A = th = 2000\ mm^2$



Tarafsız eksen yarıçapı, $r_n = \dfrac{h}{\ln\,(r_o/r_i)} = 144{,}3\ mm$

Eksantriklik, $e = r_c - r_n = 5{,}7\ mm$

Tarafsız eksenin kenara mesafesi, $y = r_n - r_i = 44{,}3\ mm$

Eğilme momenti, $M = Fr_c = 150000\ N.mm$

Dikdörtgen kanca kesitinde oluşan maksimum gerilme,

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{My}{Ae(r_n - y)} = 63\ MPa$$

Şayet kaldırma ekipmanı yerine 20x8 mm kesit ölçülerine sahip

bir çekme çubuğu kullanılacak olursa bu elemanda oluşacak

en büyük gerilme çekme tarzında ve yine 63 MPa olmaktadır.

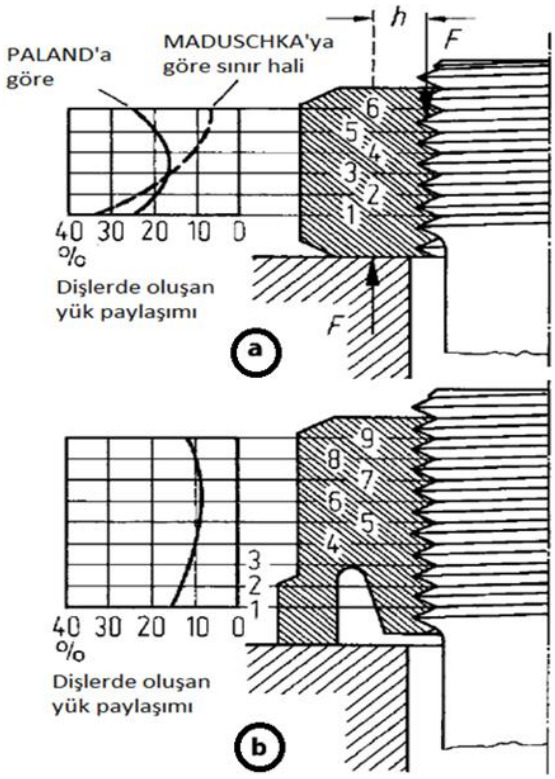
Ancak bu durumda kesit azalması miktarı, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\emptyset = \frac{160}{2000} = 0{,}08$$

Bu durumda iki ekipmanın aynı boyda olduğunu varsayarak ağırlık tasarrufunu 12,5 misli olarak buluruz.

<u>Deformasyonların uyumlu olması ilkesi;</u>

Konstrüksiyon geliştirmede deformasyonlar birçok durumda önemli rol oynamaktadırlar.

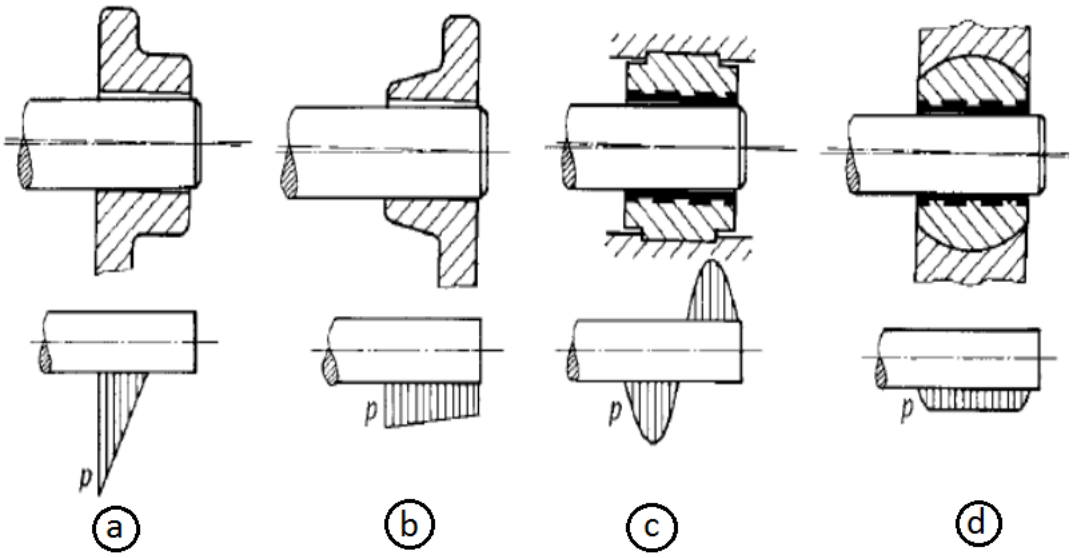


Şekil 3.22. Cıvata ile somun arasında elastik deformasyonlar oluşmaktadır. Eğer deformasyonlar şekil a' da olduğu gibi eşdeğer olmazsa yükün önemli bir kısmını somunun önündeki 2-3 diş taşır. Hâlbuki şekil b' de görüldüğü gibi somundan malzeme boşaltarak deformasyonları uyumlu hale getirmek ve sonuçta bu dezavantajı yok etmek mümkündür.

Temel ifadeler:

1. Kuvvet akışlarını dikkate almak genelde yeterli olmaz.

2. Bağıl deformasyonlar ilave gerilmeler ortaya çıkartır.



Şekil 3.23. Kaymalı yataklamada, yatak içi basınç dağılımı bağıl deformasyonlara bağlı olarak oldukça büyük farklılıklar göstermektedir.

Dengeli kuvvetler ilkesi;

Amaç: sistemden dışarıya yönelmiş kuvvetlerin olmamasıdır. Buna göre kuvvet akışına göre simetrik sistem düzenlemelidir.

Şekil 3.24. Şekilde görülen ok dişlide (herringbone gear) eksenel kuvvetler dengelenmiştir.

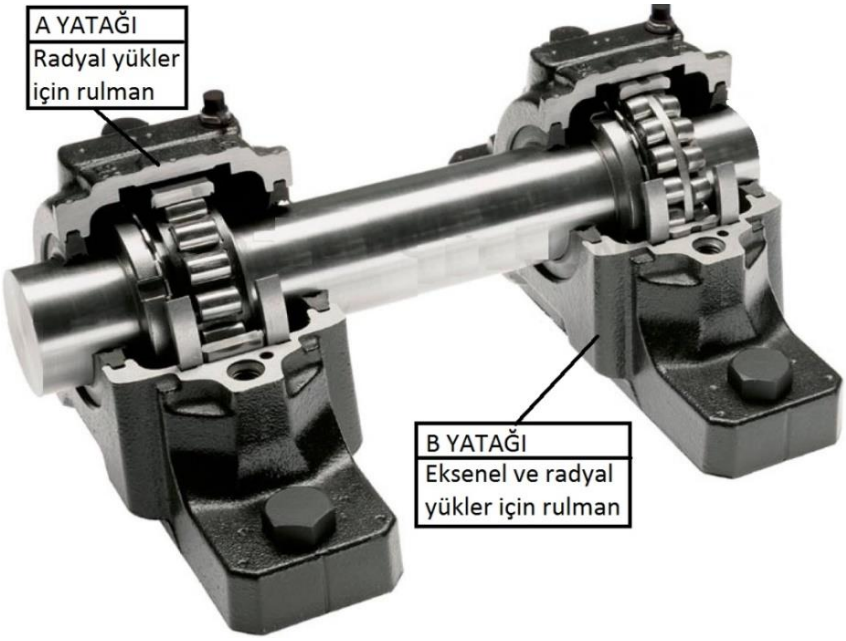
b. Görevlerin Ayrılığı İlkesi

Makine tasarımında görevlerin ayrılığı ilkesine göre her eleman belirli bir görev için kullanılmaktadır.

Şekil 3.25. Bir amortisör ve yayın birlikte montajı.

Şekil 3.25 de görülmekte olan süspansiyon sisteminde, yayın görevi yoldaki kasislerden dolayı oluşan kinetik enerjiyi, potansiyel enerji formuna dönüştürmektir. Ancak bu mekanik enerjilerin ısıya dönüştürülerek ek hareketlere veya darbelere sebep olmadan ortamdan uzaklaştırılması için amortisörün viskoz sönüm etkisinden yararlanılması gereklidir.

Şekil 3.26’ da ise iki adet rulmanla yataklanmış bir mil görünmektedir. Burada her yatak kendine ait radyal yükü taşır ve eksenel yük ise sadece B yatağına taşıtılmaktadır.



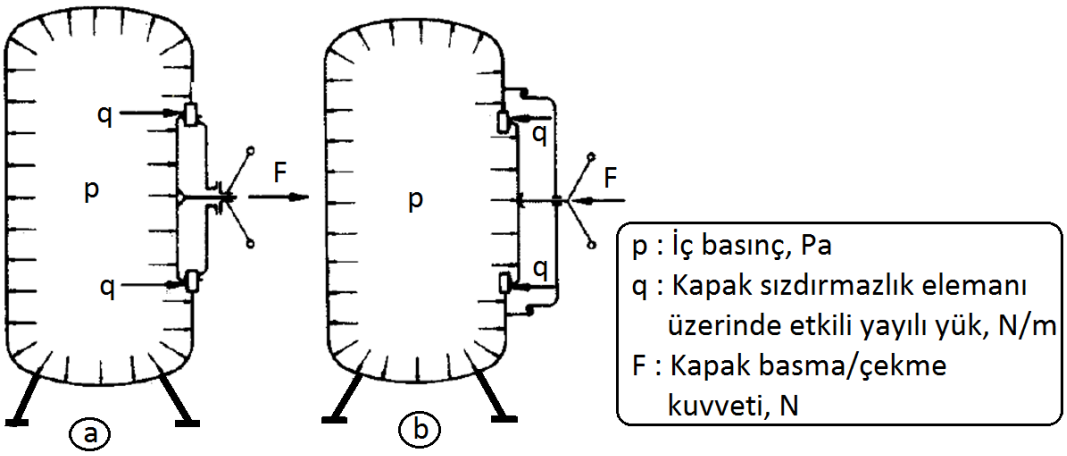
Şekil 3.26. Sabit ve oynak makaralı rulmanlarla yataklanmış bir mil.

c. Kendine yardım ilkesi,

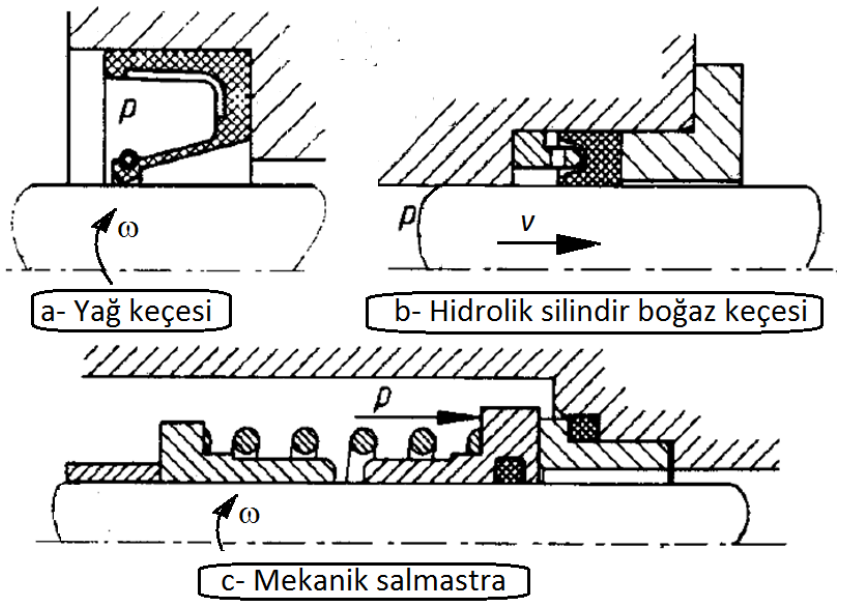
- Kendini Takviye Eden Çözümler: Amaç tasarımdaki iç ve dış kuvvetlerin faydalı kullanımı.

Şekil 3.27' de iç basıncı yüksek olan bir basınçlı kabın kapak tasarımı için farklı çözümler verilmektedir. Şekil 3.27-a' da kabın iç basıncı sızdırmazlık elemanı üzerinde ön yükleme oluşturmakta kullanılmaktadır.

Şekil 3.27-b çözümünde ise F sıkma kuvveti ile kapak sızdırmazlık elemanı üzerinde ön gergi kuvveti oluşturulmakta ve iç basınç bu kuvvetin etkisini azaltmaktadır.



Şekil 3.27. Bir otoklav için kapak tasarımı konfigürasyonları.



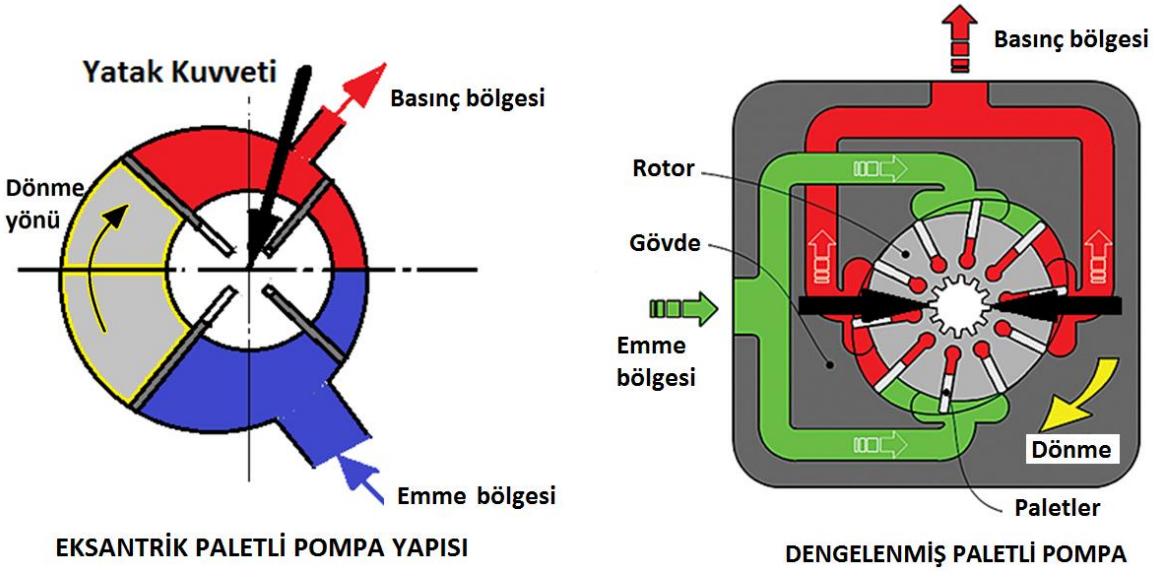
Şekil 3.28. Dönme ve öteleme hareketi yapan sistemlerde kullanılan sızdırmazlık elemanları. Burada sızdırmazlık elemanlarının tamamı ön yükleme kuvveti olarak iç basıncı (p) kullanmaktadır.

- Kendini Dengeleyen Çözümler:

Amaç;

- Dış yüklerle oluşan gerilmelerin birbirini dengelemesi,
- Sabit ve belirli bir yerde bulunan ek kuvvet / momentlerle performans artışı sağlanması.

Eksantrik yapılı bir paletli pompa şekil 3.29' da görülmektedir. Bu pompa yapısında Basınç bölgesinde oluşan yüksek kuvvet rotoru ve pompa yataklarını oldukça fazla zorlamaktadır.



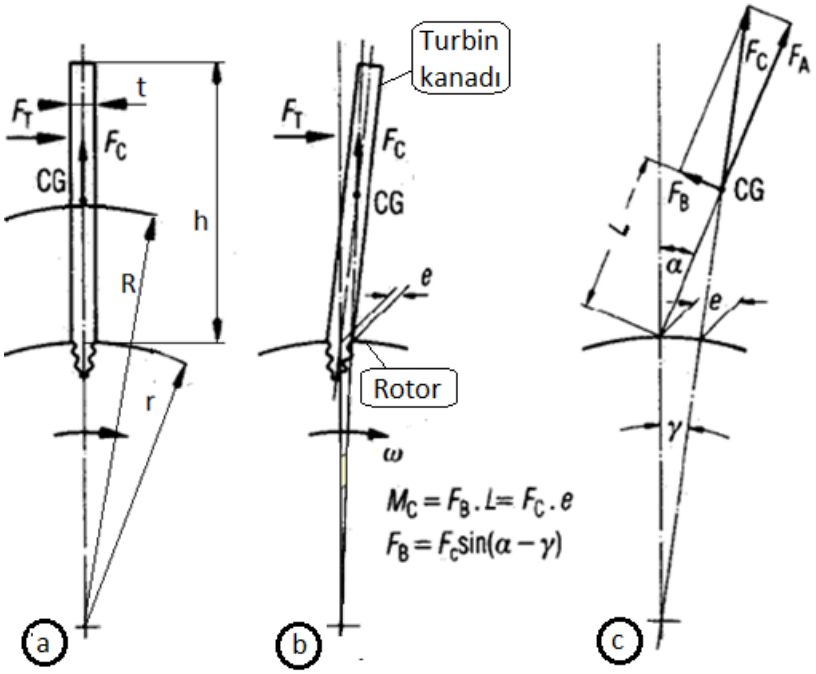
Şekil 3.29. Paletli pompa çeşitleri.

Eksantrik pompaların bu dezavantajını yok etmek amacı ile kendini dengeleyen bir çözüm prensibi uygulanarak dengelenmiş paletli pompa yapıları geliştirilmiştir. Bu pompa yapısında iki adet emme ve iki adet basınç bölgesi mevcuttur. Dolayısı ile basınç kuvvetleri birbirlerini dengelemektedir.

Şekil 3.30’ da görüldüğü gibi bir otomobilin lastikleri, onun ağırlığını taşırken iç basınçları ve taşıma alanları arasında bir denge oluşturarak kendini dengeleyen çözüm oluşturmaktadırlar.

Şekil 3.30. Araç lastiklerinin üzerlerine gelen ağırlık kuvvetlerini dengeleyebilmek için yere baskı alanlarını değiştirmeleri.

Örnek 3.12. Şekilde verilmekte olan türbin kanadını şekillendirme tasarımı kurallarına göre konumlandırınız.



Verilenler:

Turbin dönme hızı, n=5000 d/dak

Turbin rotoru yarıçapı, r=90 mm

Kanat ağırlık merkezi dairesi yarıçapı, R=240 mm

Kanat kalınlığı, t=5 mm

Kanat yüksekliği, h=300 mm

Kanat üzerinde etkili net basınç, p=0,5 bar

Kanat kütlesi, m=0,589 kg

Şekil a' da verilmekte olan tasarıma göre kanat üzerinde etkili gerilme değerinin hesaplanması,

Kanat itme kuvveti, $F_T = hbp = 750\ N$

Kanat eğilme momenti, $M_1 = 0{,}5\ F_T h = 112500\ N.mm$

Santrifüj kuvvet, $F_C = m\omega^2 R = 38738\ N$

Kanat mukavemet momenti, $W = \dfrac{bt^2}{6} = 208\ mm^3$

Kanat kesit alanı, $A = bt = 250\ mm^2$

Kanat üzerinde etkili toplam gerilme, $\sigma_{t1} = \dfrac{F_C}{A} + \dfrac{M_1}{W} = 695\ MPa$

Bu gerilme değeri oldukça yüksektir ve bu değeri azaltmak için kendini dengeleyen bir çözüm oluşturalım.

Yeni çözüm konfigürasyonunda aynı ölçülerdeki türbin kanadını, α=3^0 eğimli monte edelim.

Kanat orta mesafesi, $L = 0{,}5h = 150\ mm$

$$\gamma = \frac{Sin\alpha}{\dfrac{r}{L} + Cos\alpha} = 0{,}033\ radyan = 1{,}9\ derece$$

$F_B = F_C Sin(\alpha - \gamma) = 760\ N$ ve $M_2 = F_B L = 114010\ N.mm$

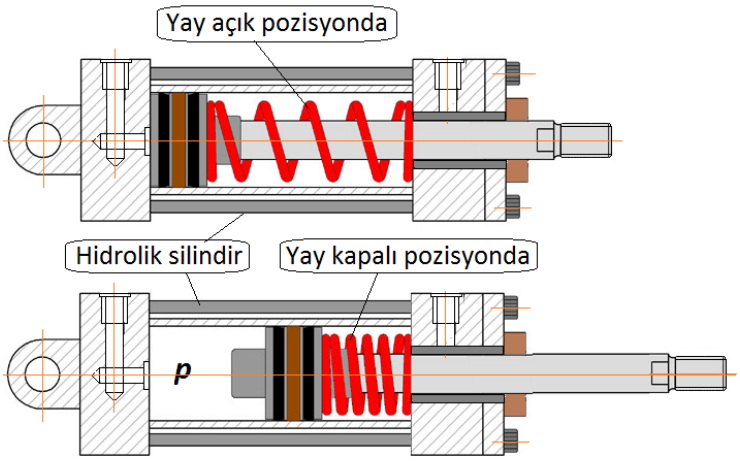
Bu durumda kanat üzerinde etkili net eğilme momenti, $M = M_1 - M_2 = 1510\ N.mm$

Buna göre kanat üzerinde etkili toplam gerilme, $\sigma_{t2} = \dfrac{F_C}{A} + \dfrac{M}{W} = 162\ MPa$

- Kendini Koruyan Çözümler

Amaç aşırı zorlamalar karşısında fonksiyon kayıplarına rağmen elemanların kendini korumasıdır.

Örneğin şekil 3.31' de görülmekte olan hidrolik silindirin içindeki geri getirici helezon yay yüksek basınç kuvvetleri etkisinde kaldığında esneme özelliğini kaybederek tamamen kapalı konuma gelse bile yapısında plastik deformasyon oluşmamaktadır. Müsaade edilen elastik şekil değiştirme sınırından sonra eleman kendini korumaktadır. Kuvvetler normale dönünce sistem çalışmaya devam edebilmektedir.



Şekil 3.31. Yay dönüşlü bir hidrolik silindir.

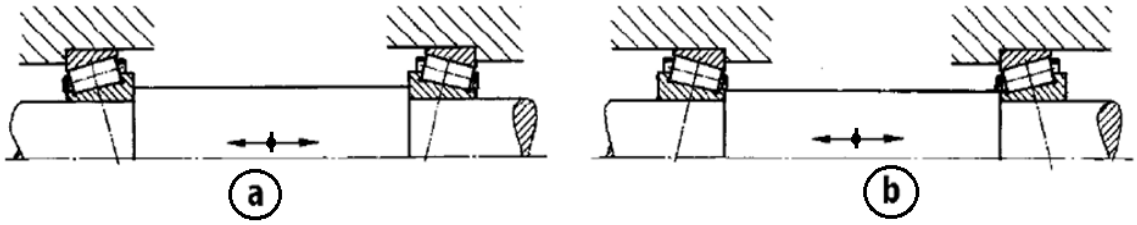
d. Kararlılık İlkesi

Makinelerde eleman davranışlarının belirsiz olduğu durumların tespiti ve bu durumlar için çözüm önerileri geliştirmek oldukça güçtür. Genelde bu gibi belirsiz durumlar işletmelerde uzun zaman aralığında ortaya çıkmaktadır. Firmalar bu deneyimleri izlemekte ve bu birikimlerle daha kararlı ve doğru çalışan tasarımlar yapmaktadırlar.

Örneğin şekil 3.32' de görüldüğü gibi bir bantlı konveyörün bandı, kasnak üzerinde her iki tarafa doğru kayarak hareket edebilmektedir. Eğer imalat ve montajda hiçbir hata yoksa bile bu durum oluşmaktadır. Bunun nedeni termal etkilerle farklı bölgesel uzamalar ve ayrıca temas yüzeylerindeki farklı bölgesel sürtünme etkileridir. Firmalar bu durumu gözledikten sonra tedbirler üretmişlerdir. Bu tedbirler, kasnağın ortasına bombe verme, kasnak üzerine enine veya çapraz yivler açma şeklinde olabilmektedir. Böylece konveyör bantlarının kararsız durumu giderilmiş ve sürekli bir çalışma ortamı sağlanabilmiştir.

Şekil 3.32. Bantlı konveyör ve iki ayrı tahrik kasnağı tasarımı. Burada bandın yana kaymaması için tahrik kasnaklarının üzerinde yivler oluşturulmuştur.

Millerin yataklanmalarında da zaman zaman belirsizlikler oluşmaktadır. Örneğin şekil 3.33-a' da termal etkiler dolayısı ile milin genleşmesi halinde her iki yatak üzerinde etkili kuvvetler farklı ve belirsiz olmaktadır. Bunu önlemek için şekil 3.33-b' deki tasarım geliştirilmiştir. Bu tasarımda termal genleşmelerin sistemde fazladan kuvvetlere neden olması söz konusu değildir.



Şekil 3.33. Bir milin konik rulmanlarla iki farklı konfigürasyona göre yataklanması.

3.4. Parametrik tasarım

Konfigürasyon tasarım aşamasında boyutlar ve toleranslar geçici olarak belirlenmişti. Burada parçaların boyutlandırılması için kullanılan analizler ise genellikle çok ayrıntılı ve karmaşık değildi.

Parametrik tasarım, daha önce konfigürasyon tasarımında kullanılmasına karar verilmiş çeşitli yapısal elemanların özellikleri ile ilgilenerek onları optimize etmek için yapılır. Buna göre parametrik tasarımın amacı;

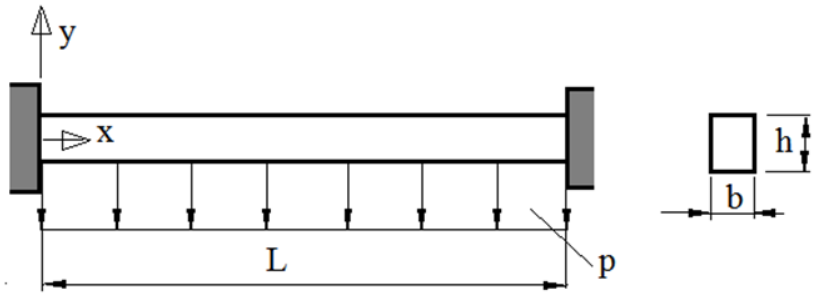
a. Performans ve üretilebilirlik için en iyi tasarım değişkenlerini bulmak.
b. Maksimum kalite ve performans sağlayacak boyutları ve toleransları ayarlamak.
c. Güvenilir ürünler yapmak
d. En uygun maliyeti oluşturmak.

Sonuçta bu istekleri karşılayacak tasarım değişkenleri belirlenir. Bir tasarım değişkeni, bir boyut veya bir tolerans olabileceği gibi, parçanın malzemesi, ısıl işlemi veya yüzey bitirme uygulaması olabilir.

Yapısal elemanlarda optimize edilecek tasarım değişkenlerinin önemlileri,

- Boyutlar,
- Toleranslar,
- Malzeme tipleri, özellikleri
- Geometri,
- Üretim süreçleri,
- Montaj ve bitirme işlemleri

Örnek 3.13. Şekilde görülmekte olan dikdörtgen kesitli kiriş, üniform yayılı yük altındadır ve iki ucundan rijit olarak bağlıdır. Kiriş yüksekliğini parametrik tasarımla belirleyiniz.



Çözüm:

Kirişin düşey deplasman denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$EI\frac{d^4v}{dx^4} = p$$

Sınır şartları,

$$v(0) = 0, \qquad v(L) = 0, \qquad \frac{dv(0)}{dx} = 0, \quad \frac{dv(L)}{dx} = 0$$

$$v(x) = \frac{pL^4}{24EI}\left[\left(\frac{x}{L}\right)^4 - 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 + \left(\frac{x}{L}\right)^2\right]$$

Çökmenin maksimum değeri türev alınarak bulunabilir,

$$\frac{dv(x)}{dx} = 0 \qquad \frac{4x^3}{L^4} - \frac{6x^2}{L^3} + \frac{2x}{L^2} = 0$$

Buradan maksimum çökme için, x=$L/2$

Kesit atalet momenti,

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Maksimum çökme miktarı,

$$v_{max} = \frac{pL^4}{2Ebh^3}\left[\left(\frac{L/2}{L}\right)^4 - 2\left(\frac{L/2}{L}\right)^3 + \left(\frac{L/2}{L}\right)^2\right]$$

$$h = L\left[\frac{p}{32Eb(v_{max}/L)}\right]^{1/3}$$

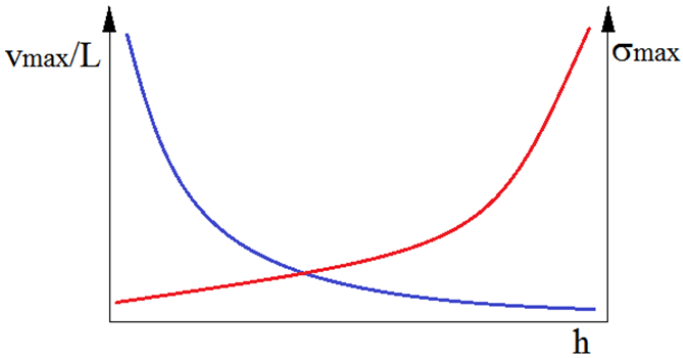
Eğilme momenti,

$$M = EI\frac{d^2v}{dx^2} \qquad M(0) = \frac{pL^2}{12}$$

$$\sigma_x = \frac{My}{I} \qquad \sigma_{x,max} = \frac{pL^2}{2bh^2} = \sigma_{AK}$$

$$h = L\left[\frac{p}{2b\sigma_{x,max}}\right]^{1/2}$$

Eğrilerin birleştirilmesi,

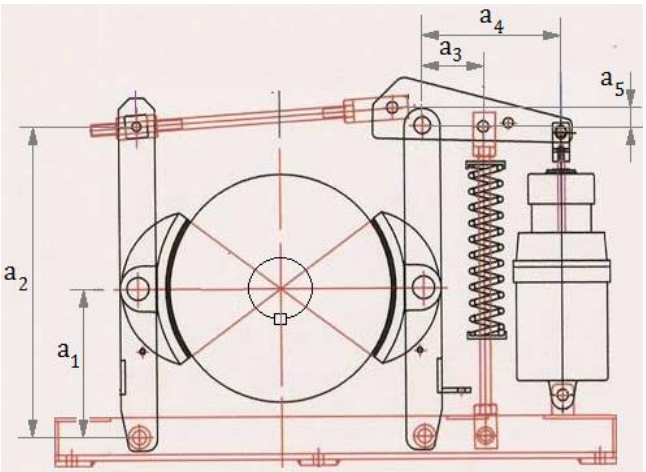


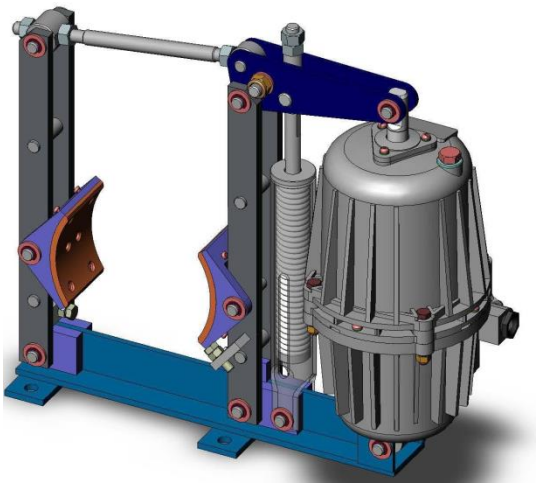
Parametrik tasarım kapsamında "Failure Mode and Effects Analysis" (FMEA), sağlamlık ve güvenirlik analizleri, boyut ve tolerans analizleri gibi faaliyetler gerçekleştirilmektedir.

Bu analiz faaliyetlerini kapsayacak şekilde parametrik tasarımda proses şeması aşağıdaki gibi verilmektedir.

a. Problemin formülasyonu
b. Tasarım değişkenlerinin belirlenmesi
c. Alternatif tasarımların geliştirilmesi
d. Problemin çözümü ve tasarım özelliklerinin belirlenmesi
e. Tasarımın optimizasyonu ve sonuç

Örnek 3.14. Şekilde verilen fren mekanizmasında kullanılan basma yayının parametrik tasarımının yapınız.





Verilenler:

Frenleme için gerekli tork, $M_f = 2500\ N.m$

Yay baskı kuvveti, $F = 3026\ N$ (Mekanizma geometrisinden hesaplanmaktadır)

Yayın izin vereceği balata aşınması miktarı, $x = 3\ mm$

Bu aşınmayı karşılamak için gerekli yay deplasmanı, $\delta = (a_2\ a_3)/(a_1\ a_5) = 7\ mm$

Balataların aşınma sürecinde izin verilen yay baskısı kuvveti değişimi, $\Delta F = 434\ N$

Balata aşınma sürecini temel alarak yay katsayısı, $k = \Delta F/\delta = 434/7 = 62\ N/mm$

Buna göre basma yayında gerekli en büyük frenleme kuvveti,

$F_{max} = F + k\delta = 3026 + 62 * 7 = 3460\ N$

Geometrik sınırlamalar;

Yayın takılacağı mil çapı, $D_m = 50\ mm$

Yay ile içindeki mil arasındaki boşluk, $\varepsilon_1 = \%10 = 0{,}1x50 = 5\ mm$

Bu verilere göre yay tasarımı için ön parametreler aşağıdaki tabloda verildiği gibi belirlenmektedir.

Parametre	**En küçük değer**	**En büyük değer**
Yay kuvveti, $F_{max}\ \ (N)$	3460	-
Yay esneme miktarı, $\delta\ \ (mm)$	-	7
Yay sarımı iç çapı, $D_i\ \ (mm)$	55	63
Yay indeksi, $C = D/d$	5	12
Emniyet faktörü, S	1,2	

Tasarım değişkenleri;

- Yay geometrisi; Yay teli çapı, d olsun bu durumda yay sarım çapı, D yay tellerinin ortasından ölçülerek belirlenecektir.
- Yay indeksi; $C = D/d$ genel olarak yay indeksi, 5 ile 12 arasındadır. İndeks 5 in altında olursa yay teli çok kalın olacağı için imalat zorlaşmaktadır. Eğer indeks 12 nin üzerinde olursa bu durumda da yay teli çok ince olur, yay katsayısı azalır ve burkulma riski artar.
- Burada, yay sarımı dış çapı, $D_d = D + d$ ve sarım iç çapı, $D_i = D - d$
- Yayın aktif sarım sayısı, N; burada yayın etkili sarım sayısı kastedilmektedir. Yayın uc geometrisine bağlı olarak oturma yüzeyleri ile irtibatı sağlayan 0,5 ile 2 aktif olmayan sarım söz konusu olabilir. Burada yayın toplam sarım sayısı, N_t olarak verilmektedir.
- Yayın katı yüksekliği, L; Yayın baskı altında tam kapalı yüksekliği olarak verilmektedir.
- Wahl faktör, K_w; Gerilme düzeltme faktörü olarak verilmektedir.
- Yay malzemesi; Ortalama servis koşullarına uygun olacak şekilde sert çekilmiş genel yay malzemesi seçilecektir. En ekonomik yay malzemesi budur.

Çözüm:

Başlangıç olarak seçilen ekonomik malzeme, ASTM standardına uygun A227 kodlu sert çekilmiş yay malzemesidir. Bu malzeme için burulmada akma gerilmesi, en büyük çekme gerilmesinin %50' si olarak alınırsa 552 MPa olarak bulunur. Bu durumda emniyetli gerilme değeri, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tau_{em} = 552/1{,}2 = 460\ MPa$$

Ancak tasarımın gerektirmesi halinde malzeme kalitesi iyileştirilecektir. Yay indeksi için başlangıçta ortalama bir değer olarak $C = 7$ değeri kullanılacaktır. Yayın üzerindeki kuvvetlerden dolayı kalıcı bir deformasyon

oluşmaması için kontrol yapılacaktır. Çalışma durumunda yay strokunun durumu ve burkulma riskleri kontrol edilecektir. Bu tasarımın temel hedefi verilen koşullara en uygun yay tasarımını gerçekleştirmektir. Burada uygunluk değerleri kütle ve maliyettir.

Analiz yöntemi ile alternatif tasarımlar oluşturma,

Yay telinin dış yüzeyinde burulma momenti, $T = FD/2$ etkisi altında en büyük burulma gerilmesi oluşmaktadır.

$$\tau_b = K_c \frac{Tr}{J} = K_c \frac{(FD/2)\frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = K_c \frac{8FD}{\pi d^3} \quad (MPa)$$

Burada gerilme yükseltme faktörü, aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$K_c = \frac{4C-1}{4C-4}$$

Ayrıca, yay telinin kesitinin ortasında maksimum değere ulaşan bir kesilme gerilmesi oluşmaktadır.

$$\tau_k = 1{,}23\frac{F}{A} = 1{,}23\frac{4F}{\pi d^2}$$

Bu durumda toplam gerilmenin en büyük değeri yay tel kesitinin ortasında oluşmaktadır.

$$\tau_{max} = K_c \frac{8FD}{\pi d^3} + 1{,}23\frac{4F}{\pi d^2} = \left[K_c + \frac{1{,}23}{2}\frac{d}{D}\right]\frac{8FD}{\pi d^3}$$

Wahl faktörü, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$K_w = K_c + \frac{1{,}23}{2}\frac{d}{D} = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0{,}615}{C}$$

$$\tau_{max} = K_w \frac{8FD}{\pi d^3}$$

Sayısal çözümler,

Farklı yay indeksi değerleri için denklem 5.5 ve 5.6 kullanılarak aşağıdaki tablo oluşturulabilir. Tasarım tecrübelerine dayanarak, helisel yaylarda tel çapı, d genel olarak 15 mm ‘nin altında alınmaktadır. Bu problemde d=12 mm olarak kabul edilecektir.

Adım	d (mm)	C	D (mm)	K_w	F (N)
1	12	10	120	1,145	2272
2	12	7	84	1,213	3303
3	12	6	72	1,253	3461

Burada, yük taşıma kapasitesi dikkate alındığında en uygun tasarım değerleri, C=6, D=72 mm ve d=12 mm olarak belirlenmiştir.

F kuvveti etkisiyle oluşan yay deformasyonuna göre serbest yay boyunun, $L_f$ve toplam sarım sayısının, N_t belirlenmesi.

$$\delta = \frac{FLD^2}{4JG} = \frac{PD^2(\pi DN)}{4\left(\frac{\pi d^4}{32}\right)G} = \frac{8D^3FN}{d^4G}$$

Burada,

Aktif sarım sayısı, N

Aktif yay boyu, $L = \pi DN$ (mm)

Yay malzemesinin kayma modülü, G=80.000 MPa

$$N = \frac{G\delta d^4}{8FD^3} = \frac{Gd^4}{8kD^3} \qquad burada, \qquad k = \frac{F}{\delta}$$

$$N = \frac{12^4 x 80000}{8x62x72^3} = 9$$

Aktif olmayan uc sarımlarının sayısı, $N_i = 2$ olarak kabul edilirse, toplam sarım sayısı hesaplanır.

$$N_t = N + N_i = 9 + 2 = 11$$

Yayın kapalı boyu, $L_k = N_t d = 11x12 = 132\ mm$

Yayın $F - \delta$ eğrisinin doğrusal kısmını kullanmak için kapalı boyu %10 arttırılacaktır.

$$L_k = 1{,}1x132 = 145{,}2\ mm$$

Yukarıdaki tabloda müsaade edilen en büyük yay kuvveti $F_{max} = 3340\ (N)$ olarak verilmekte idi.

Bu duruma göre yayın en fazla esneme miktarı, $\delta_{max} = F_{max}/k = 3340/62 = 53{,}87\ mm$ olarak hesaplanabilir. Buna göre yayın yüksüz durumdaki boyu, L_s bulunur.

$$L_s = L_k + \delta_{max} = 145{,}2 + 53{,}87 = 199\ mm$$

Bu aşamada burkulma kontrolü yapılması gereklidir. Buna göre basma yaylarında verilmekte olan narinlik oranı, $L_s/D < 2{,}63/\alpha$ olmalıdır. Burada, iki ucu yuvaya yerleştirilmiş sarmal yaylar için, $\alpha = 1$ olarak verilmektedir. Bu durumda $L_s/D < 2{,}63$ olarak alınır.

Mevcut narinlik oranı, $L_s/D = 199/72 = 2{,}76 > 2{,}63$ olduğuna göre burkulma riski vardır. Ancak burada kullanılan yayın ortasından klavuzlama amaçlı bir mil geçeceği için bu durum göz ardı edilebilir.

Tasarım verileri,

Malzeme: ASTM 227 sert çekilmiş yay teli.

Yay teli çapı, d=12 mm

Helisel yay dış çapı, $D_d = D + d = 72 + 12 = 84\ mm$

Helisel yay iç çapı, $D_i = D - d = 72 - 12 = 60\ mm$

Yay sarımı iç çapı ile kılavuz mil arasındaki boşluk, $(D_i - D_m)/2 = (60 - 50)/2 = 5\ mm$

Emniyetli olarak uygulanabilecek maksimum kuvvet, $F = 3461\ N$

Serbest yay boyu, $L_s = 199\ mm$, Kapalı yay boyu, $L_k = 145{,}2\ mm$, Yay katsayısı, $k = 62\ N/mm$

Tasarımı geliştirme, en uygun şekle sokma.

Yapılan tasarım uygun gibi görünmesine rağmen işletme koşullarında tüm problemlere cevap verebilirliği araştırılmalıdır.

Bu aşamada en önemli kriter yayın maliyetidir. Yayın maliyeti ise doğrudan kullanılan malzemenin kalitesi ve ağırlığı ile ilişkilidir. Yay kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$m = \rho V = \rho \frac{\pi d^2}{4} L = \rho \frac{\pi d^2}{4} \pi D N_t = \rho \frac{\pi^2}{4} C d^3 N_t$$

Bu denklemde Cd^3N_t minimize edilmesi gereken başarı kriterini oluşturmaktadır. Denklem [5.6] kullanılarak dayanım esasına göre yay kuvveti aşağıdaki gibi yazılabilir ve bu denklemden hareketle en az 3461 N luk emniyetli kuvveti sağlayacak boyutlar seçilerek aşağıda verilmekte olan tablo oluşturulabilir.

$$F = \frac{\tau_{max} \pi d^2}{8CK_w}$$

Sert çekilmiş ASTM A227 yay çeliği için								
Adım	D (mm)	d (mm)	D_i	N_t	C	K_w	F	Başarı kriteri
1	120	14	106	11	8,571429	1,171	3528	258720
2	84	13	71	11	6,461538	1,233	3833	156156
3	72	12	60	11	6	1,253	**3461**	**113639**
4	50	12	38	İç çap mil çapından küçük, tasarım imkânsız				
5	70	12	58	12	6	1,261	3537	118448
6	65	12	53	14	5,4	1,283	3742	132711
7	67,5	12	55,5	13	5,63	1,271	3637	125143
Yağda su verilmiş ve gerilme giderimi için temperlenmiş (menevişlenmiş) ASTM A229 yay çeliği için								
8	65	10,5	54,5	9	6	1,244	3880	65491
9	72	10,5	61,5	7	6,86	1,218	3578	**57571**

Burada sert çekilmiş ASTM A227 malzeme için emniyetli gerilme değeri, $\tau_{em} = 460\ MPa$ idi.

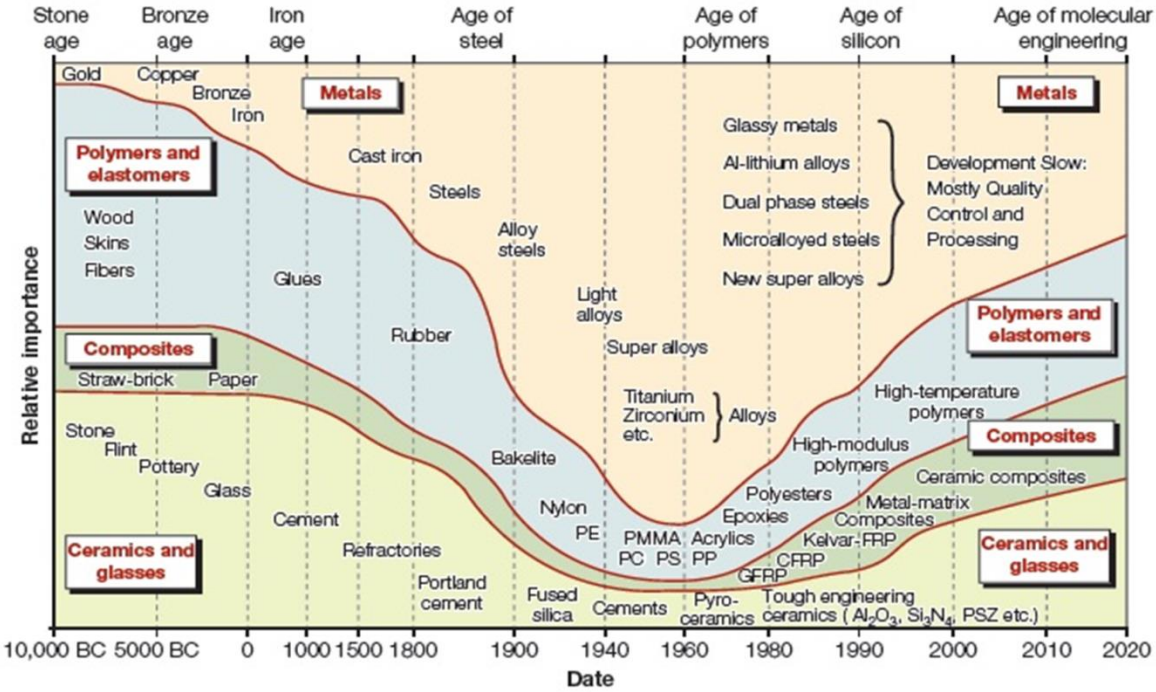
Halbuki yağda su verilmiş ve temperlenmiş ASTM A229 malzeme için akma sınırına göre S=1,2 emniyet katsayısı kullanılarak emniyetli gerilme değeri $\tau_{em} = 690\ MPa$ şeklinde verilmektedir ve tabloda bu değer kullanılmıştır.

İlk tasarım yaklaşımında 3. adımdaki değerlerin uygun olduğu sonucuna varılmıştı. Bu tasarım değerleri için başarı kriterinin 113.639 olduğu görülmektedir. Halbuki malzeme ve geometri değişimleri ile yapılan incelemede 9. adımdaki çözüm için başarı kriteri 57.571 olarak elde edilmektedir.

Bu durumda malzeme kütlesi (57.571/113.639)x100=%50 azalmaktadır. Son olarak malzeme fiyatları da irdelenir ve en uygun tasarım için karar verilir.

4. Konstrüksiyonda malzeme seçimi

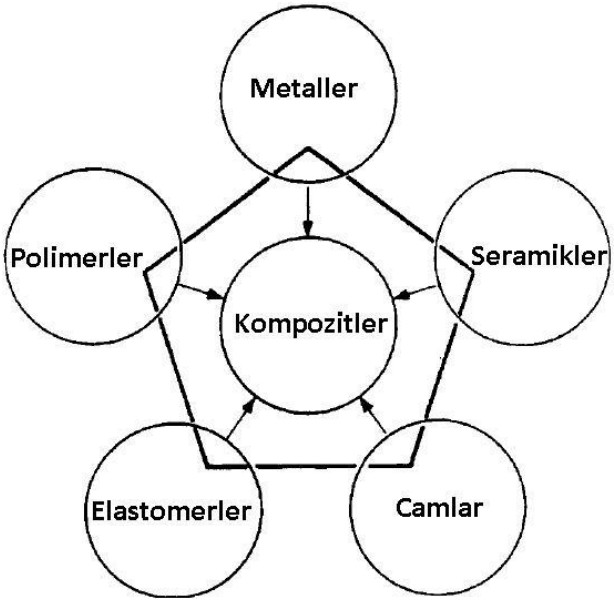
Giderek artan malzeme çeşitliliği, makine tasarımlarında, malzeme seçiminde çok sayıda seçenekle karşılaşılmasına yol açmaktadır. Günümüzde kullanılmakta olan malzeme çeşitleri 160.000 civarındadır. Tüm bu çeşitlilik arasından malzeme seçimi güçlükler içermektedir.



Şekil 4.1. Çağlar içinde değişen malzeme kullanımları.

Makine tasarımında kullanılmakta olan malzemeler genel anlamda altı temel bölüme ayrılmaktadır, bunlar;

- Metaller
- Polimerler
- Elastomerler
- Seramikler
- Camlar
- Kompozitler



Metaller,

Yüksek elastiklik modüllerine sahiptirler. Alaşımlama ve ısıl işlemlerle, kullanımda beklentilere bağlı olarak birçok parametreleri isteğe geliştirilebilmektedir. Metallerin temel özelliklerinden bazıları aşağıdaki gibi verilebilir.

- Yüksek elastiklik modülü
- Alaşımlama ve ısıl işlemlerle özellik geliştirme
- Kristal yapı
- Yüksek geri dönüşüm verimi
- Kolay şekillendirme, birleştirme
- Kırılgan olmayan yapı
- İyi mekanik ve termal mukavemet değerleri
- İyi elektriksel ve termal iletkenlik
- Zayıf korozyon dayanımı

Şekil 4.2. Metal malzemelerin döküm yolu ile şekillendirilmesi işlemi.

Seramik ve camlar,

Seramikler metal ve metal olmayan elementlerin bileşiminden oluşurlar. Örneğin Al_2O_3 bir seramik malzeme örneğidir. Seramik malzemelerin bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

- Metaller gibi yüksek modüle sahiptirler.
- Özellikle basma dayanımları yüksektir (çekmenin 15 misli)
- Delikler veya çatlaklar gibi gerilme yığılmalarını tolere edemezler.
- Yüksek sıcaklık ve korozyon dayanımları oldukça iyidir.

Seramikler düzenli atom dizilişleri ile kristal yapılı iken camlarda atomlar düzensiz dizilmiştir yani amorf yapı söz konusudur. Camlar genelde silikatlardan oluşurlar. Cam malzemelerin bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

- Kırılgandırlar
- Seramikler gibi çekme dayanımları düşük, basma dayanımları yüksektir.
- Saydam tipleri vardır.
- Kimyasal korozyon dayanımları iyidir.
- Seramiklerden farklı olarak yüksek sıcaklıklarda eritilerek şekillendirilmektedirler.

(a) (b)

Şekil 4.3. Seramik malzemeler (a) ve cam malzeme(b).

Polimer ve elastomerler,

Polimerler genelde petrol türevi ürünlerden elde edilmektedirler.

Polimer malzemelerin bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

- Elastiklik modülleri metallerden 50 kat daha azdır. Ancak metallere yakın dayanımlara sahiptirler.
- Elastik deformasyon miktarları yüksektir.
- Birçok özellikleri sıcaklığa bağlıdır.
  Örneğin 20^0C' da elastik olan bir polimer, 5^0C sıcaklıkta bir buzdolabının içinde kullanıldığında kırılgan olabilir.
- Polimer malzemelerle ekipman üretimi kolay ve ucuzdur.
- Korozyon dayanımları yüksek, sürtünme katsayıları düşüktür.
- Elektriksel olarak yalıtkandırlar.

Şekil 4.4. Plastik malzemeler bir çok makine elemanının imalatında kullanılabilmektedir.

Elastomerlerin en önemli özellikleri ise bir yay gibi iyi elastik esneme yetenekleri ve yüksek sönüm kabiliyetleridir.

Kompozitler,

Yukarıdaki malzemelerin iki veya daha fazlası bir araya getirilerek kompozit malzemeler oluşturulmaktadırlar. Burada bir araya getirme işlemi farklı malzemelerin tabaka, lif veya parçacıkları halinde yapılır. Polimer malzemelerin bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

- Bu malzemeler, yeterince hafif ve dayanıklıdırlar.
- Birçok kompozit, epoksi, polyester veya polimer bir matris ve cam, karbon veya kevlar ipliklerle oluşturulur. Bu tür kompozitler polimer matris yapıları nedeniyle 250^{0}C sıcaklığın üzerinde kullanılamazlar.
- Kompozit elemanlar pahalıdır ve diğer elemanlarla birleştirmelerinde zorluklar yaşanır.

4.1. Malzemelerin genel özellikleri

a. Genel özellikler

Yoğunluk,

Sıvı ve gazlarda hidrometreler veya iletkenlik ölçümü ile doğrudan ölçülebilmektedir. Katılarda ise kütle ve hacim ölçümleri ile saptanabilmektedir.

Fiyat,

Malzeme fiyatları talebe ve işlenme şekillerine bağlı olarak dünya genelinde değişiklikler göstermektedir. Örneğin Şubat 2013 rakamları ile, 130X130X6-12 S235 kütük fiyatı ereğli demir çelik fabrikasında 542 USD+KDV iken aynı malzemeden 150X150X15 S235 (Std.) L profilin fiyatı 716 USD+ KDV dir. Buna karşılık alüminyum malzemeden yapılan 30x30x3 mm ölçülerinde köşebentler ortalama 3830 USD+KDV fiyatla satılmaktadır.

b. Mekanik özellikler:

Elastiklik modülü,

Malzemelerin lineer elastik davrandığı bölgede çekme veya basma gerilmelerine karşılık gerinim eğrisinin eğimidir. Elastiklik modülünün çekme diyagramlarından ölçümü sünme vb. etkiler sebebi ile hata içermektedir. Bunun yerine bir kiriş veya tel elemanın doğal frekansından veya ses iletim hızından gidilerek daha hassas tespitler yapılabilmektedir.

Örneğin çekme çubuğu için, doğal frekanstan hareketle,

$$x = A.\sin\omega_n t \ \ , \ \omega_n = \sqrt{k/m} \ \ (rd/s) \ \ , \quad k = E.A/L \ \ (N/m) \text{ buradan, } \ E = m.\omega_n^2.L/A \ \ (Pa)$$

İkinci bir yaklaşım olarak aynı elemanda sesin yayılım hızını kullanabiliriz.

$$v = \sqrt{\ E/\rho} \ \ (m/s) \qquad \text{buradan, } \ E = v^2.\rho \ \ (Pa)$$

Elastiklik modülü, E: Çekme veya basma zorlamaları için kullanılmaktadır.

Kayma modülü,

Kayma modülü, G kayma zorlamalarındaki şekil değiştirme oranını ifade etmektedir.

Hacimsel esneklik modülü,

Hacimsel esneklik modülü, K hidrostatik basınç etkisi altında kullanılmaktadır.

Poisson oranı, yanal ve eksenel uzamalar arasındaki orandır.

$$\nu = -\,\varepsilon_1/\varepsilon_2$$

İsotropik bir malzeme için bu ifadeler birbiri ile bağlantılıdır.

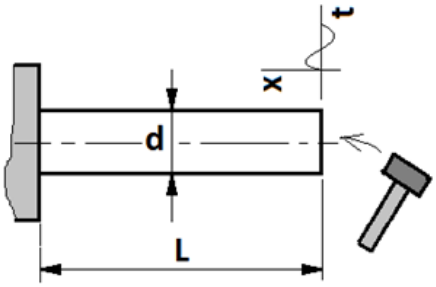
$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \qquad , \qquad K = \frac{E}{3(1-2.\nu)}$$

Örneğin ortalama bir çelik malzeme için

$$E = 210.000 \ N/mm^2 \ \ \text{ve} \qquad K = \frac{210000}{3(1-2x0{,}3)} = 175.000 \ N/mm^2 \ \text{ dir.}$$

Hâlbuki mineral yağlar için hacimsel esneklik modülü, $K = 16.000 \ N/mm^2$ dir.

Örnek 4.1. Şekildeki çubuğa bir çekiçle vurulduğunda uc noktasının yer değiştirme eğrisi x=0,019.Sin 15t şeklinde elde edilmektedir. Çubuğun boyu L=300 mm, çapı d=40 mm ve yoğunluğu 6 g/cm³ olduğuna göre çubuk malzemesinin elastiklik modülünü hesaplayınız.



$$x = 0{,}019.Sin15t = C.Sin\omega_n t \qquad \omega_n = 15\ rd/s$$

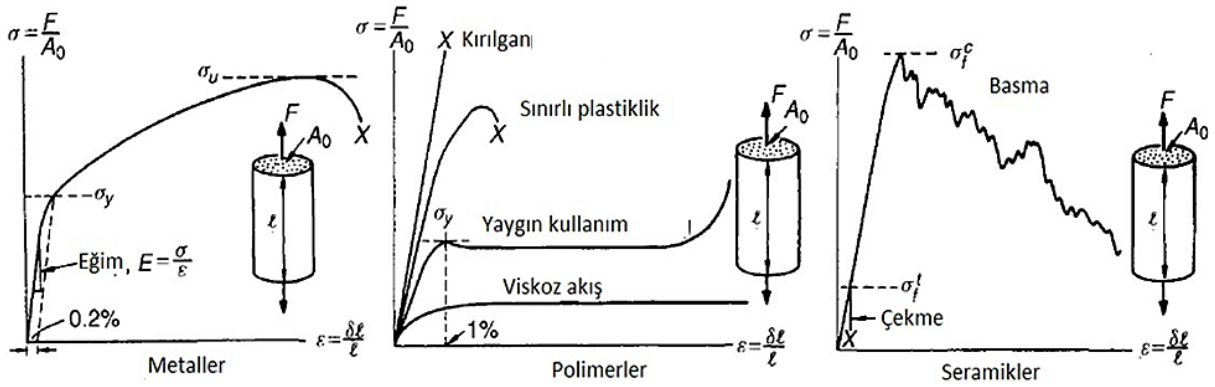
$$A = \pi.d^2/4 = \pi x\ 40^2/4 = 1256{,}6\ mm^2$$

$$m = \rho . L . A = \frac{6x30x12{,}566}{1000} = 2{,}26\ kg$$

$$E = \frac{m.\omega_n^2.L}{A} = \frac{2{,}26x15^2x0{,}3}{1256{,}6x10^{-6}} = 121399\ N/m^2$$

Dayanım,

Metallerde akma sınırı, σ_f, %0,2 kalıcı gerinime eşdeğer kabul edilir.



Şekil 4.5. Mühendislik malzemelerinin karşılaştırmalı çekme- uzama diyagramları.

Bu değere kadar davranış lineerdir. Hâlbuki plastik malzemelerde gerilme-gerinim eğrisi nonlineer karakterdedir. Bu malzemeler için akma sınırının %0,1 kalıcı gerinim değerinde oluştuğu kabul edilmektedir. Çeliklerde basma ve çekme yönündeki zorlamalarda dayanım değerleri eşdeğer olmasına rağmen, polimer malzemelerin basma zorlamalarına çekmeye göre %20 daha fazla dayanabildiği saptanmıştır. Özellikle cam ve seramiklerde bu durum çok daha belirgin olup bu malzemelerin basma dayanımları çekme dayanımlarının 10-15 misli daha fazladır.

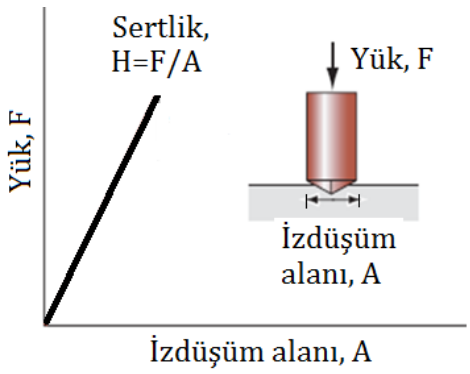
Sertlik,

Sertlik, bir malzemenin dayanımının göstergesidir. Sertlik, H dayanım, σ_f ile ilişkilidir ($H \cong 3\sigma_f$).

Örneğin vickers sertlik ölçümü ile ilişkili olarak,

$H = 10H_v$ yazılabilir.

Burada, H_v (kg/mm2)



Şekil 4.6. Malzemelerin sertliklerinin ölçümü

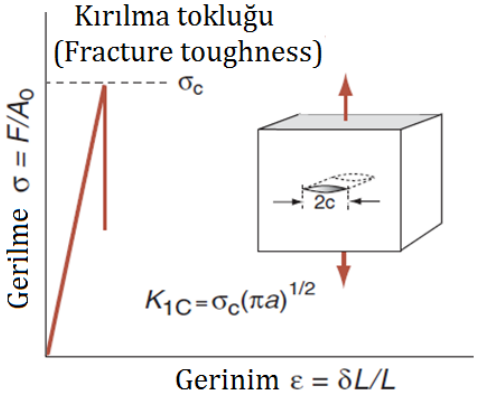
Tokluk ve kırılma tokluğu,

Bir malzemenin çatlak yayılmasına direnci olarak verilmektedir. Eğer bir parçada şekilde görüldüğü gibi 2c boyunda bir çatlak varsa σ_c çekme gerilmesi altında kırılma tokluğu, K_{1C} ve tokluk, G_{1C} değerleri sırası ile aşağıdaki gibi bulunur.

$$K_{1C} = Y\sigma_c\sqrt{\pi c} \quad MPa/m^{1/2}$$

$$G_{1C} = \frac{K_{1C}^2}{E(1+\nu)} \qquad kj/m^2$$

Burada Y geometriye bağlıdır ve çoğunlukla basit geometrilerde değeri 1 olarak alınabilir. Seramiklerin, camların ve birçok polimer yapılı malzemenin dayanımını bu yöntemle ifade etmek daha doğrudur.



Şekil 4.7. Malzemelerde kırılma tokluğu çatlak ilişkisi.

Örnek 4.2. Seramik bir yer döşemesi 2 mm ye kadar uzunlukta çatlaklar içermektedir. Seramiğin yapılan testler sonucu K_{1c}=0,4 MPa.m$^{1/2}$ kırılma tokluğuna (fracture toughness) sahip olduğu saptanmıştır. Seramik üzerindeki insanların yürüyüşlerinden kaynaklanan basma gerilmesi değeri en fazla 35 MPa olarak saptanmıştır. Bu seramik döşemenin kırılmadan kullanılabilirliğini araştırınız.

Çözüm:

$$2c = 2\ \mu m = 2x10^{-6}\ m$$

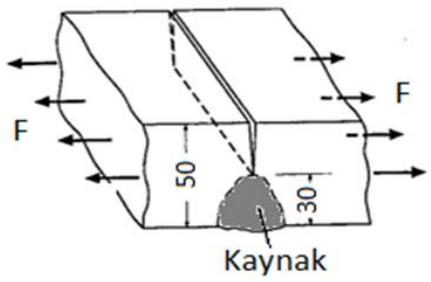
$$c = 1x10^{-6}\ m$$

$$\sigma_c = \frac{K_{1C}}{Y\sqrt{\pi c}} = \frac{0{,}4}{1x\sqrt{\pi x10^{-6}}} = 225\ MPa$$

Dolayısı ile seramik emniyetle kullanılabilir.

Örnek 4.3. Çekme zorlaması etkisindeki iki çelik levha alın alına tek taraflı kaynak yapılmıştır. Kaynak dikişi şekilde görüldüğü gibi kalınlığın bir kısmına nüfuz edebilmiştir. Konstrüksiyonun çalışma sıcaklığı -70^{0}C dır. Kaynak dolgu malzemesi saclarla aynı mekanik özelliğe sahip olduğuna göre bu konstrüksiyonun çalışabileceği maksimum çekme gerilmesi sınırını hesaplayınız.

Malzemenin -70C soğuktaki kırılma tokluğu K_1c=40 MPa.m$^{1/2}$ olarak verilmiştir.



Çözüm:

$$c = 50 - 30 = 20\ mm = 0{,}2\ m$$

$$\sigma_c = \frac{K_{1C}}{Y\sqrt{\pi c}} = \frac{40}{1{,}12x\sqrt{\pi x 0{,}02}} = 142{,}5\ MPa$$

Malzemelerin kayıp sabiti veya sönüm faktörü,

Bu değer bir malzemenin titreşim enerjisini sönümleme derecesini ifade eder. Bir malzeme σ_{max} gerilmesi ile elastik sınır içinde yüklenmiş ise depolayabileceği elastik enerji miktarı,

$$U = \int_0^{\sigma_{max}} \sigma d\varepsilon \approx \frac{1}{2}\frac{\sigma_{max}^2}{E}$$

Elemanı yükledikten sonra üzerinden yükü kaldırır isek toplam dönüştürebileceği enerji miktarı;

$$\Delta U = \oint \sigma d\varepsilon$$

Buna göre malzeme kayıp sabiti, η aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{\Delta U}{2\pi U}$$

Spesifik sönüm oranı (doğal titreşimlerin genliklerinin azalma oranı),

$$D = \frac{\Delta U}{U}$$

$$\eta = \frac{D}{2\pi} = \frac{\Delta}{\pi} = \tan\delta = \frac{1}{Q}$$

Burada δ gerilme ve gerinim arasındaki faz gecikmesi, Q rezonans faktörüdür. Bu eşitlik büyük sönümlerde geçersizdir.

Eğer sönüm faktörü (η<0,01) çok küçük ise aşağıdaki ifade kullanılabilir.

$$\Delta = \ln\left(\frac{A}{A + dA}\right) = \pi\eta$$

Bu eşitlik düzenlenerek n çevrim için hesaplanırsa,

$$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = \left(\frac{1}{10^{\pi\eta}} - 1\right).n$$

Titreşim genliğinin A/A_0 kadar değişimi için geçen zaman,

$$t = \frac{n}{f}$$

Örnek 4.4. Sönüm sabiti (loss coefficient) $\eta = 0{,}01$ olan bir malzemeden üretilmiş olan bir zilin doğal frekansı f=1000 Hz'dir.

- Zile bir darbe vurduktan sonra ne kadar süre ile çalacağını bulunuz.
- Eğer düşük sönümlü örneğin $\eta = 10^{-4}$ malzeme kullanılırsa çalma süresi ne kadar uzar.

Zilin titreşim genliği, A başlangıç değerinin %1' ine azaldığında çalmanın son bulacağı kabul edilecektir.

Cevap;

Zilin titreşim genliği, A başlangıç değerinin %1' ine azaldığında çalmanın son bulacağı kabul edilmektir. Buna göre, A_0 değeri, A=0,01A_0 değerine düşecektir.

$$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = \ln(0{,}01)$$

$$\ln(0{,}01) = \left(\frac{1}{10^{\pi\eta}} - 1\right).n$$

$$\eta = 0{,}01\ için,$$
$$-4{,}6 = \left(\frac{1}{10^{0{,}01\pi}} - 1\right).n$$
$$n = 66\ tekrar\ veya \frac{n}{f} = \frac{66}{1000}\ s = 66\ ms$$
$$\eta = 10^{-4}\ için,\ n = 6400\ tekrar\ ve\ \frac{n}{f} = 6{,}4\ s$$

Termal özellikler

Malzemelerde iki sıcaklık önemlidir, bunlar; Erime sıcaklığı, T_m ve camsı geçiş sıcaklığı T_g' dir. Bu sıcaklıklar katı malzeme içindeki bağların dayanımı ile doğrudan ilgilidir. Kristal yapılı katılar kesin bir erime sıcaklığına sahiptir. Kristal olmayanlar ise (polimerler vb.) katı halden viskoz sıvıya geçişi temsil eden veya başka bir deyişle maddenin camsı özelliklerini kaybedip viskoz özellikler kazanmaya başladığı sıcaklık sınırı ile tanımlanırlar. Bu değer her zaman erime sıcaklığından daha düşüktür. Tasarımlarda maksimum ve minimum servis sıcaklığı, T_{max} ve T_{min} kullanılması faydalıdır. Maksimum servis sıcaklığı malzemenin oksidasyon, kimyasal değişim veya ekstra sünme (creep) etkileri olmaksızın kullanılabileceği sıcaklığı ifade etmektedir. Minimum servis sıcaklığı ise malzemenin kırılganlaştığı veya emniyetsiz sıcaklık sınırını ifade eder.

Termal iletkenlik,

λ (W/m.K) malzemenin yüksek sıcaklıktaki T1 yüzeylerinden, X mesafede, düşük sıcaklıktaki T2, bölgelere ısı akışı q (W/m2) ile ifade edilmektedir.

Termal genleşme,

Termal genleşme, malzemelerin ısı etkisinde boyut değiştirmesidir ve lineer termal genleşme katsayısı $\boldsymbol{\alpha}$ (K^{-1}) veya (microstrain/C), ile ifade edilmektedir. İsotropik malzemelerde hacimsel genleşme = 3. $\boldsymbol{\alpha}$ olarak alınabilir ancak anisotropik malzemelerde hacimsel genleşme asal termal gerinimlerin bileşkesi ile oluşur ve tespit etmek için daha fazla sabite ihtiyaç duyulur.

Termal şok dayanımı,

ΔT_S (K veya C), malzemenin hasar oluşmaksızın aniden soğutulabileceği maksimum sıcaklık farkıdır. Bu değer ve sünme direnci (creep resistance) yüksek sıcaklıkta tasarımda önemlidir.

Çevre direnci,

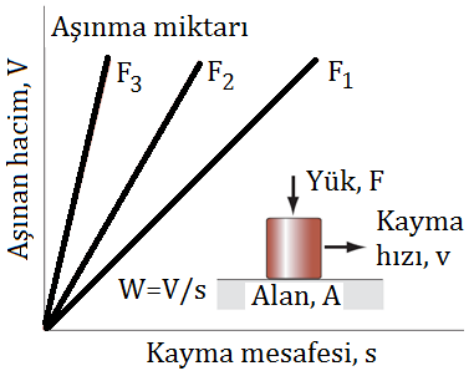
Malzemelerin çevresel etkilere karşı dirençlerini ifade etmek amacı ile malzemeler, çok iyi, iyi, ortalama, kötü ve çok kötü olarak 5 farklı kategoriye ayrılmaktadır.

Aşınma direnci,

Çevre direnci ile ilişkili faktördür ve Archard aşınma sabiti, K_A (MPa^{-1}) ile ifade edilmektedir.

$$\frac{W}{A} = F.K_A$$

Burada, A alan, P ise bu alana dik kuvvettir. W eğim değeri şekilde verilmektedir.



Şekil 4.8. Malzemelerde aşınma

Örnek 4.5. Kuru çalışan iki çelik malzeme birbiri üzerinde, P=2 MPa yüzey basıncı altında, f=0,3 Hz frekansta ve a=2 mm genlikte kayma hareketi yapmaktadır. Çelik-çelik çalışmasında Archard aşınma sabiti $K_A=3x10^{-8}$ $(MPa)^{-1}$ dir. T=100 saat çalışma sonunda yüzeylerdeki aşınmayı bulunuz.

Cevap:

Aşınan tabaka kalınlığı, $d = 4.a.f.t\ \ (mm)$

$$x = \frac{Aşınan\ hacim}{Alan} = 4.a.f.t.K_A.P$$

$$x = 4x2x0{,}3x100x3600x3x10^{-8}x2 = 0{,}052\ mm = 52\ \mu m$$

4.2. Bilgisayar ortamında malzeme seçimi prosesi,

Malzeme seçiminde öncelikle kullanılacak malzemenin hangi temel gruptan seçileceğine karar verilmelidir. Daha sonra da sistematik yaklaşımlarla seçilen grup içinden malzeme seçimi yapılmalıdır. Bu konuda ilk ve en yaygın yazılım 1994 yılında Prof.Michael F. Ashby ve David Cebon tarafından Cambridge Universitesi Mühendislik biriminde geliştirilen GRANTA' dır.

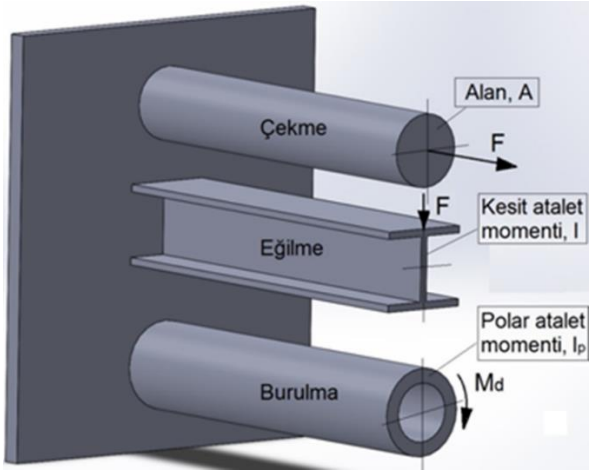
Analitik şekillendirme

Makine tasarımı kapsamında yapılacak analizler ve optimizasyon çalışmaları ile parçaların hafif, istenen dayanım ve elastik deformasyon değerlerine uygun olarak ön şekillendirilmeleri söz konusudur. Bu durumda özellikle basit yapılı parçalar için şekil faktörleri oluşturmak ve bunların optimizasyonunu yapmak önerilebilir.

Bu yaklaşımları Oxford üniversitesinden Profesör Michael F. Ashby geliştirdiği konstrüksiyonda malzeme seçimi sistematiğinde de kullanmıştır.

Parçalar üzerinde etkili yükler genel olarak çekme, eğilme, kesme, burulma ve burkulma gibi etkiler oluşturmaktadır. Bu zorlamalarda parçanın istenen dayanım ve esneklik performanslarında çalışabilmesi onun kesit atalet momenti ve kesit alanı gibi iki temel geometrik özelliğine bağlıdır. Bu geometrik özellikler referans bir değere göre düzenlenerek şekil faktörleri tanımlanmaktadır.

Makine parçaları üzerinde etkili genel yükleme durumlarının bazıları şekil 3.8 de görülmektedir.



Şekil 3.8. Makina parçaları üzerinde farklı zorlama etkileri.

Şekil faktörlerini oluştururken referans kesit değeri olarak şekillendirilecek parça ile eşit kesit değerine sahip bir dairesel kesit kabul edilmektedir. Bu referans kesitin yarıçapı, r ise kesit alanı ve diğer özellikler aşağıdaki gibi yazılabilir.

Alan, $A = \pi r^2$

Eğilme için atalet momenti, $I_r = \frac{\pi}{4} r^4 = \frac{A^2}{4\pi}$

Daire kesit için polar atalet momenti, $I_{pr} = 2I_r$

Eğilme için mukavemet momenti, $W_r = \frac{\pi}{4} r^3 = \frac{A^{3/2}}{4\sqrt{\pi}}$

Daire kesit için polar mukavemet momenti, $W_{pr} = \frac{\pi}{2} r^3 = \frac{A^{3/2}}{2\sqrt{\pi}}$

a. Elastik deformasyonlar temel alınarak yapılan tasarımda şekillendirme faktörleri,

- **Eğilme zorlaması:** Bu zorlamada elastik deformasyonları etkileyen değer kesit atalet momentidir. Buna göre, eğilme ile zorlanan parçalarda elastik deformasyonu temel alan şekillendirme işlemlerinde maksimum yapılması gereken eğilme faktörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$EP_e = \frac{I}{I_r} = 4\pi \frac{I}{A^2}$$

- **Burulma zorlaması**: Bu zorlamada ise elastik deformasyonlarını etkileyen değer kesit burulma direncidir. Buna göre, burulma ile zorlanan parçalarda elastik deformasyonu temel alan şekillendirme işlemlerinde maksimum yapılması gereken burulma faktörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$EP_b = \frac{K}{I_{pr}} = 2\pi \frac{K}{A^2}$$

b. Dayanım temel alınarak yapılan tasarımda şekillendirme faktörleri,

- **Eğilme zorlaması:** Bu zorlamada dayanımı etkileyen değer kesit mukavemet momentidir. Buna göre, eğilme ile zorlanan parçalarda dayanımı temel alan şekillendirme işlemlerinde maksimum yapılması gereken eğilme faktörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$DP_e = \frac{W}{W_r} = 4\sqrt{\pi} \frac{W}{A^{3/2}}$$

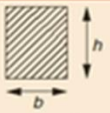
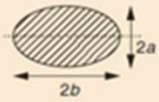
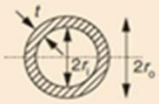
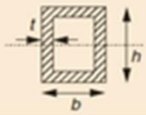
- **Burulma zorlaması:** Bu zorlamada ise dayanımı etkileyen değer kesitin burulma mukavemet momentidir. Buna göre, burulma ile zorlanan parçalarda dayanımı temel alan şekillendirme işlemlerinde maksimum yapılması gereken burulma faktörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

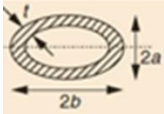
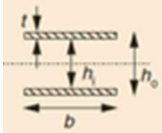
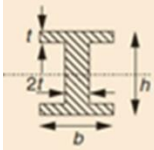
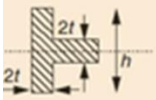
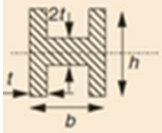
$$DP_b = \frac{W_p}{W_{pr}} = 2\pi \frac{W_p}{A^2}$$

Şekil faktörlerinin endüstriyel uygulamalarda kullanımlarında değerler keyfi olarak arttırılamaz. Boyutları oransız parçalarda burkulma, buruşma, kesilme gibi farklı deformasyon etkilerinin oluşması söz konusudur. Pratikte kullanılabilecek değerler tablo 3.2 de verilmektedir.

Malzeme	$(EP_e)_{max}$	$(EP_b)_{max}$	$(DP_e)_{max}$	$(DP_b)_{max}$
İmalat çelikleri	65	25	13	7
6061 Aluminyum alaşımı	44	31	10	8
GFRP ve CFRP (kompozit)	39	26	9	7
Naylon vb. polimerler	12	8	5	4
Dolu kesitli ahşaplar	5	1	3	1
Elastomerler	< 6	3	-	-

Tablo 3.2. Şekil faktörlerinin sınır değerleri.

Geometri	Eğilme faktörü, EP_e	Burulma faktörü, EP_b	Eğilme faktörü, DP_e	Burulma faktörü DP_b
	$\frac{h}{b}$	$2.38\frac{h}{b}\left(1-0.58\frac{b}{h}\right)$ $(h>b)$	$\left(\frac{h}{b}\right)^{0.5}$	$1.6\sqrt{\frac{b}{h}}\frac{1}{(1+0.6b/h)}$ $(h>b)$
	$\frac{2}{\sqrt{3}}=1.15$	0.832	$\frac{3^{1/4}}{2}=0.658$	0.83
	$\frac{3}{\pi}=0.955$	1.14	$\frac{3}{2\sqrt{\pi}}=0.846$	1.35
	$\frac{3}{\pi}\frac{a}{b}$	$\frac{2.28ab}{(a^2+b^2)}$	$\frac{3}{2\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{a}{b}}$	$1.35\sqrt{\frac{a}{b}}$ $(a<b)$
	$\frac{3}{\pi}\left(\frac{r}{t}\right)$ $(r\gg t)$	$1.14\left(\frac{r}{t}\right)$	$\frac{3}{\sqrt{2\pi}}\sqrt{\frac{r}{t}}$	$1.91\sqrt{\frac{r}{t}}$
	$\frac{1}{2}\frac{h}{t}\frac{(1+3b/h)}{(1+b/h)^2}$ $(h,b\gg t)$	$\frac{3.57b^2(1-t/h)^4}{th(1+b/h)^3}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{h}{t}}\frac{(1+3b/h)}{(1+b/h)^{3/2}}$	$3.39\sqrt{\frac{h^2}{bt}}\frac{1}{(1+h/b)^{3/2}}$

Geometri	Eğilme faktörü, EP_e	Burulma faktörü, EP_b	Eğilme faktörü, DP_e	Burulma faktörü DP_b
	$\frac{3}{\pi}\frac{a}{t}\frac{(1+3b/a)}{(1+b/a)^2}$ $(a,b\gg t)$	$\frac{9.12(ab)^{5/2}}{t(a^2+b^2)(a+b)^2}$	$\frac{3}{2\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{a}{t}}\frac{(1+3b/a)}{(1+b/a)^{3/2}}$	$5.41\sqrt{\frac{a}{t}}\frac{1}{(1+a/b)^{3/2}}$
	$\frac{3}{2}\frac{h_o^2}{bt}$ $(h,b\gg t)$	—	$\frac{3}{\sqrt{2}}\frac{h_o}{\sqrt{bt}}$	—
	$\frac{1}{2}\frac{h}{t}\frac{(1+3b/h)}{(1+b/h)^2}$ $(h,b\gg t)$	$1.19\left(\frac{t}{b}\right)\frac{(1+4h/b)}{(1+h/b)^2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{h}{t}}\frac{(1+3b/h)}{(1+b/h)^{3/2}}$	$1.13\sqrt{\frac{t}{b}}\frac{(1+4h/b)}{(1+h/b)^{3/2}}$
	$\frac{1}{2}\frac{h}{t}\frac{(1+4bt^2/h^3)}{(1+b/h)^2}$ $(h,b\gg t)$	$0.595\left(\frac{t}{h}\right)\frac{(1+8b/h)}{(1+b/h)^2}$	$\frac{3}{4}\sqrt{\frac{h}{t}}\frac{(1+4bt^2/h^3)}{(1+b/h)^{3/2}}$	$0.565\sqrt{\frac{t}{h}}\frac{(1+8b/h)}{(1+b/h)^{3/2}}$
	$\frac{1}{2}\frac{h}{t}\frac{(1+4bt^2/h^3)}{(1+b/h)^2}$ $(h,b\gg t)$	$1.19\left(\frac{t}{h}\right)\frac{(1+4b/h)}{(1+b/h)^2}$	$\frac{3}{4}\sqrt{\frac{h}{t}}\frac{(1+4bt^2/h^3)}{(1+b/h)^{3/2}}$	$1.13\sqrt{\frac{t}{h}}\frac{(1+4b/h)}{(1+b/h)^{3/2}}$

Tablo 3.3. Parça geometrilerine göre kesit özellikleri ve şekil faktörleri.

Makine konstrüksiyonlarında sistematik malzeme seçimi amacıyla, araştırmacılar tarafından seçim indeksleri geliştirilmiştir.
Bilgisayar ortamında malzeme seçimi prosesi üç aşamada gerçekleştirilebilir. İlk aşamada malzemelerin fiziksel, kimyasal vb. özellikleri ile ilgili kapsamlı bir veri tabanları oluşturulmalıdır. İkinci aşamada, analitik malzeme seçimine imkân verecek şekilde, malzeme seçim indeksleri geliştirilmeli veya mevcut olanlar kullanılmalıdır. Son olarak, belirlenecek sınır koşullarına göre, optimal seçime imkan tanıyan, yapay sinir ağları, genetik algoritma vb. yazılım algoritmaları kullanılarak bilgisayar yardımıyla optimal malzeme seçimini gerçekleştirmek mümkün olacaktır.
Prof.Michael F. Ashby ve ekibine göre malzeme seçimi için kullanılabilecek bazı seçim indeksleri aşağıda verilmektedir.

- Fonksiyonal gereksinimlerin fonksiyonu, $f_1(F)$
- Geometrik parametrelerin fonksiyonu, $f_2(G)$
- Malzeme özelliklerinin fonksiyonu, $f_3(M)$

Bu durumda optimal malzeme seçim indeksi aşağıdaki gibi verilmektedir.

$P = f_1(F).f_2(G).f_3(M)$

Bu indeksten elde edilen sonuçlar, malzeme özelliklerine göre çizilmiş grafiklere taşınarak optimal malzeme seçimi yapılmaktadır. Ancak bu işlemler çok sayıda malzemenin kullanıldığı günümüz koşullarında uzun zaman gerektirmekte ve bazı özel durumlarda da sonuç almayı güçleştirmektedir.
Bu nedenle, bu prosesin daha hızlı işlem imkânı tanıyan bilgisayarların desteğiyle yapılması daha doğru olacaktır.
Malzeme seçimi indekslerinin bulunması,

- Bir çekme çubuğunda katılık değerine göre minimum ağırlık için malzeme seçimi indeksinin bulunması

$$m = A.\rho.L$$
$$\sigma = E.\varepsilon = E.\ \Delta L/L = F/A$$
$$F = \frac{E.A}{L}\,\Delta L = k.x \quad \text{buradan } k = \frac{E.A}{L} \quad ve\ A = \frac{k.L}{E}$$
$$m = k.l^2.\left(\frac{\rho}{E}\right)$$

Bu durumda malzeme indeksi, $MI_1 = \dfrac{E}{\rho}$

- Hafif bir kirişin katılık değerine göre malzeme seçim indeksinin bulunması

Hafif yapı için ilk fonksiyon kütle ifadesidir.

$$m = A.\rho.L$$

Genel olarak F kuvveti etkisinde bir kirişin elastik sınır içinde çökme miktarı.

$$y = \frac{F.L^3}{C.E.I} = \frac{F}{k}$$

Buradan kirişe ait yay katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k = \frac{C.E.I}{L^3}$$

Burada E elastisite modülü ve C yük dağılımına bağlı olarak değişen bir faktördür.

Farklı geometriye sahip kiriş kesitleri için atalet momentleri aşağıdaki gibi verilebilir.

	Kare kiriş için :	Dikdörtgen kiriş için:
Atalet momentleri	$I = \frac{a^4}{12} = \frac{A^2}{12}$	$I = \frac{b.h^3}{12}$
Alan değerleri	$A = C_1.k^{1/2}.L^{3/2}.\frac{1}{E^{1/2}}$	$A = C_1.k^{1/3}.b^{2/3}.L.\frac{1}{E^{1/3}}$
Kütle değerleri	$m = C_1.k^{1/2}.L^{5/2}.\frac{\rho}{E^{1/2}}$	$m = C_1.k^{1/3}.b^{2/3}.L^2.\frac{\rho}{E^{1/3}}$
Malzeme indeksleri	$MI_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$	$MI_1 = \frac{E^{1/3}}{\rho}$

- Hafif bir kare kirişin dayanıma göre malzeme seçim indeksinin bulunması

$$\sigma = \frac{M}{2.I}a = \frac{M}{6a^3}$$

$$b^3 = A^{3/2} \qquad A = \frac{M^{2/3}}{C\sigma^{2/3}}$$

$$m = C.M^{2/3}.L.\frac{\rho}{\sigma^{2/3}} \quad \text{buradan malzeme indeksi} \quad MI_2 = \frac{\sigma^{2/3}}{\rho}$$

- Ucuz ve burkulmaya dayanıklı bir kolon için malzeme indeksinin bulunması.

- Fonksiyon: Kiriş
- Amaç: Minimum maliyet
- Sınırlamalar:

  a. Boy verilmiş, L

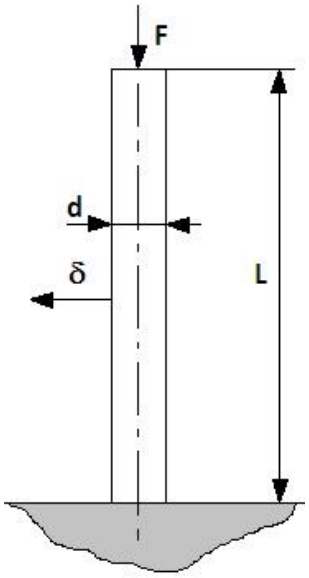
  b. Burkulmaya yol açmayacak basma kuvveti,F uygulanacak,

Burada maliyet göz önüne alınarak aşağıdaki amaç fonksiyonu yazılabilir.

$$C = A.L.\rho.C_m$$

Burada C_m (maliyet/kg) olarak kolon malzemesi için maliyet kriteridir. Burkulma için Euler formüasyonu uygulanırsa.

$$F \leq F_{crt} = \frac{n\pi^2 EI}{L^2}$$



Burada n kolonun uç bağlantılarına bağlı bir sabittir. Kolon için atalet momenti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I = \frac{\pi . d^4}{64} = \frac{A^2}{4\pi}$$

Bu durumda C, amaç fonksiyonu, aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C = (\frac{4}{n.\pi})^{1/2} \ (\frac{F}{L^2})^{1/2} \ L^3 \ (\frac{C_m \rho}{E^{1/2}})$$

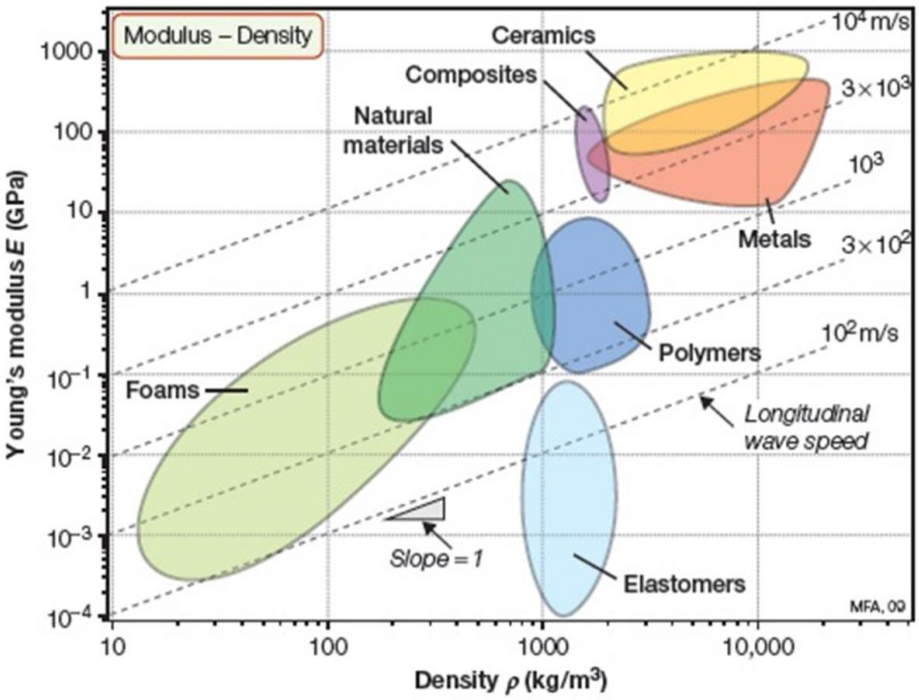
Bu durumda malzeme indeksi aşağıdaki gibi genelde elastiklik modülü- yoğunluk ilişkisi ile sonuçlanmaktadır

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

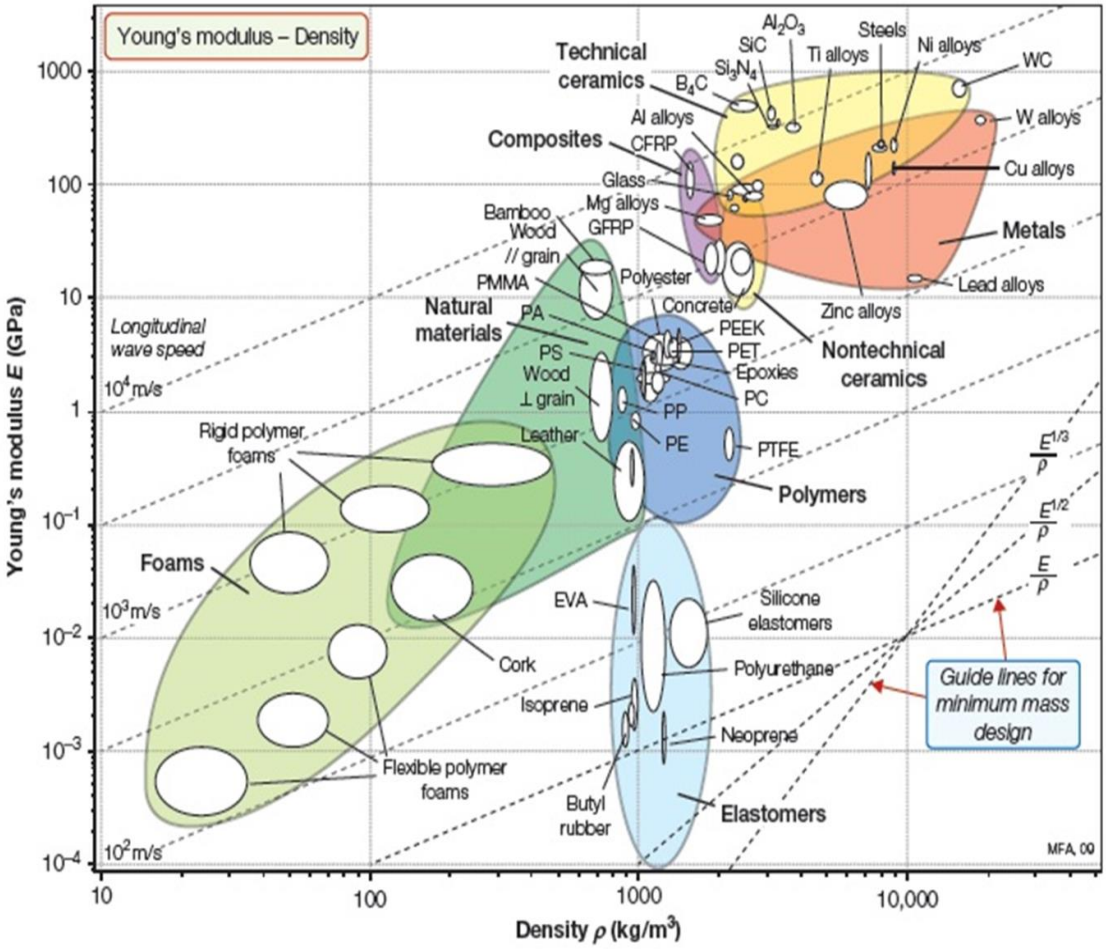
Fonksiyon, amaç, sınırlamalar	**Malzeme indeksi**	
Çekme çubuğu, min ağırlık, katılık belirlenmiş	E/ρ	MI_1
Kiriş, min ağırlık, katılık belirlenmiş	$E^{1/2}/\rho$	
Kiriş, min ağırlık, dayanım belirlenmiş	$\sigma_y^{2/3}/\rho$	MI_2
Kiriş, min maliyet, katılık belirlenmiş	$E^{1/2}/C_m\rho$	MI_3
Kiriş, min maliyet, dayanım belirlenmiş	$\sigma_y^{2/3}/C_m\rho$	MI_4
Kolon, min maliyet, burkulma yükü belirlenmiş	$E^{1/2}/C_m\rho$	MI_5
Yay, min ağırlık, enerji depolama verilmiş	$\sigma_y^2/E\rho$	MI_6
Termal yalıtım, min maliyet, ısı akısı belirlenmiş	$1/\lambda C_m\rho$	MI_7

Tablo 4.1. Malzeme özellikleri fonksiyonu için örnekler.

Bu tabloda; ρ, Yoğunluk; E, Elastisite modülü; σ_y, Elastiklik sınırı, C_m, Maliyet/kg



Şekil 4.9. Elastiklik modülü-yoğunluk ilişkisi (Şekil Granta yazılımından alınmıştır).



Şekil 4.10. Malzeme seçim doğrularının eğimleri (Şekil Granta yazılımından alınmıştır).

Tablo 4.1' de verilmekte olan malzeme indeksleri için eşitliklerin logaritması alınarak aşağıdaki denklemler oluşturulabilmektedir.

$$MI_1 = \frac{E^n}{\rho}$$

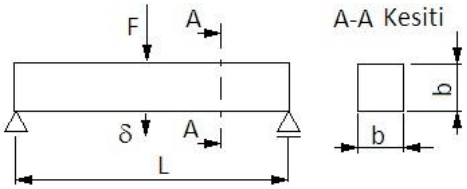
$$\log E = \text{n}.(\log \rho + \log MI_1)$$

Bu denklem logaritmik grafikte eğimi n olan doğruları ifade etmektedir.

Uygulamada seçime yardımcı olabilecek $E - \rho \ ve \, \sigma - \rho$ gibi şekiller oluşturulmaktadır (şekil 4.9 ve 4.10).

Örnek 4.6. Bir kiriş için, aşağıdaki beklentilere göre seçilebilecek malzemeleri belirleyiniz.

a. Kirişin hafif olması istenmektedir
b. Kirişin elastiklik sınırının mümkün olduğunca yüksek (E>50 Gpa) olması istenmektedir.



Cevap:

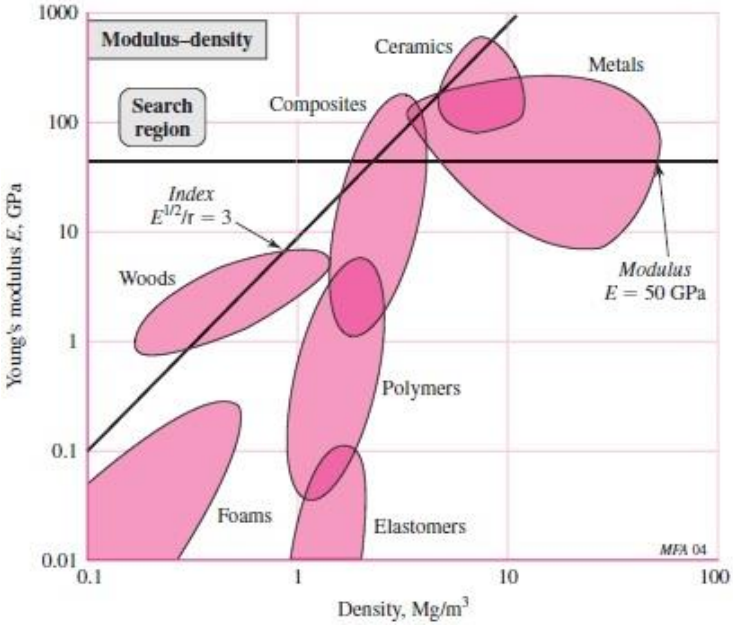
Eğilme ile zorlanan bir kirişin malzeme seçim indeksi aşağıdaki gibi hesaplanmıştı.

Burada amaç hafif malzeme kullanmaktır. Yani malzeme özellikleri ile ilgilidir.

Bu durumda, minimum kütle için maksimize edilmesi gereken optimal malzeme seçim indeksi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$MI_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

Ayrıca elastiklik modülü için, E>50 GPa istenmekte idi. Bu durumda aşağıdaki grafiğe ulaşılır.



Yukarıdaki grafiğe göre en uygun malzemeler ahşap, kompozit veya seramik olarak belirlenmektedir.

Şekil faktörlerinin malzeme seçim indeksleri ile birlikte kullanılması

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı üzere malzeme indeksleri parçanın şeklinden etkilenmemektedir. Ancak katılık ve dayanım gibi değerler şekil faktörleri ile ilişkilidir. Bu durumda malzeme seçiminde şekil faktörleri ile malzeme seçim indekslerini birlikte değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

- Hafif bir kirişin katılık değerine göre ve şekil faktörü de dikkate alınarak kombine malzeme seçim indeksi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Kirişin kütlesi,

$$m = A.\rho.L$$

Genel olarak F kuvveti etkisinde bir kirişin elastik sınır içinde çökme miktarı,

$$y = \frac{F.L^3}{C_1.E.I} = \frac{F}{k}$$

Buradan kirişe ait katılık değeri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k = \frac{C_1.E.I}{L^3}$$

Elastik deformasyonlar için eğilme faktörü aşağıdaki gibi yazılmıştı (bölüm 2).

$$EP_e = \frac{I}{I_r} = 4\pi\frac{I}{A^2}$$

$$m = \left(\frac{4\pi k}{C_1}\right)^{1/2} L^{5/2}\left(\frac{\rho^2}{E.(EP_e)}\right)^{1/2}$$

Kütleyi minimum yapacak kombine malzeme indeksi değeri aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$MK_1 = \frac{(E)^{1/2}}{\rho}.(EP_e)^{1/2} = MI_1.(EP_e)^{1/2}$$

- Hafif bir kirişin dayanıma göre ve şekil faktörü de dikkate alınarak kombine malzeme seçim indeksi yukarıdaki hesaplama şekli dikkate alınarak aşağıdaki gibi verilebilir.

$$MK_2 = MI_2.(DP_e)^{1/2}$$

Örnek 4.6. Eğilmeye çalışan bir kiriş için beklentiler hafiflik ve yüksek katılık değerlerine sahip olmasıdır. Bu kiriş için seçilebilecek en uygun malzemeleri bulunuz.

Çözüm:

Kirişlerde rijit ve hafif bir yapı için maksimum olması gereken malzeme seçim indeksi aşağıdaki gibi bulunmuştu.

$$MI_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

Şekil faktörü de dikkate alınacak olursa kütleyi minimum yapacak kombine malzeme indeksi değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştı.

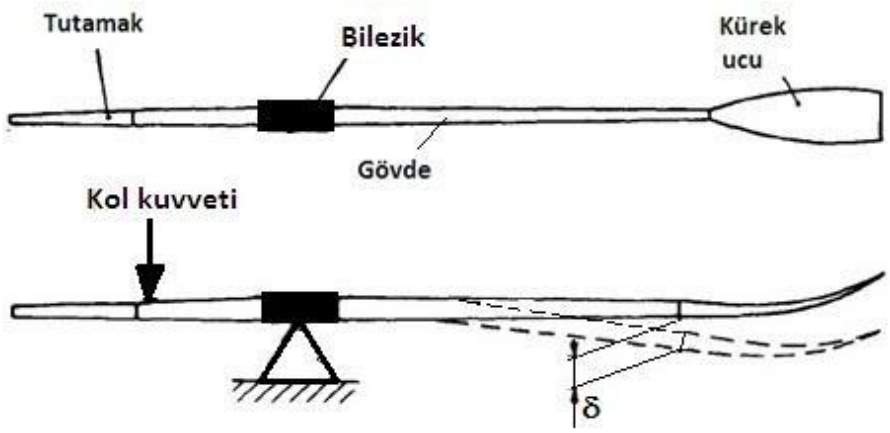
$$MK_1 = \frac{(E)^{1/2}}{\rho}.(EP_e)^{1/2}$$

Şekil 4.10 dan tüm faktörler (ekonomiklik, korozyon vb.) ve MI_1indeksi yüksek olacak şekilde değerlendirildikten sonra bu tasarımda kullanılabilecek malzemeler aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Malzeme	**ρ (Gr/cm³)**	**E (Gpa)**	**EP_e**	$\boldsymbol{MI_1}$	$\boldsymbol{MK_1}$
1020 Çelik	7,85	205	65	1,8	14,7
6061-T4 Aluminyum	2,7	70	44	3,1	20,6
GFRP	1,75	28	39	3,0	18,9
Ahşap	0,9	13,5	5	4,1	9,1

Sadece malzeme indeksi (MI) dikkate alındığında en uygun malzeme ahşap gibi görünmektedir. Ancak kombine indekse göre seçim yapılırsa ahşabın en kötü seçim olduğu en iyi seçimin de alüminyum olduğu anlaşılmaktadır.

Örnek 4.7. Kürek için malzeme seçimi



- Bir kürek, eğilme ile zorlanan bir kiriş gibi düşünülebilir.
- Eğilme karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır.
- Hafif olmalıdır.
- 2,05 m boyunda bir küreğe 10 kg yük asıldığında uc kısımdaki esneme yumuşak küreklerde 30 mm ve sert malzemeden küreklerde 50 mm olmaktadır

Kürek için tasarım gereksinimleri,

Fonksiyon: Kürek çekme.

Amaç: Minimum kütle amaçlanmaktadır.

Sınırlar: Aşağıdaki gibi verilmektedir.

- Boy, L önceden verilmektedir
- Eğilme için yay katsayısı, k verilmektedir
- Uygun kırılma direnci, buna göre istenen peklik değeri, $Gc = A.K_c^2/E > 1$ kJ/m2
- Düşük maliyet, Cm< 100 $/kg

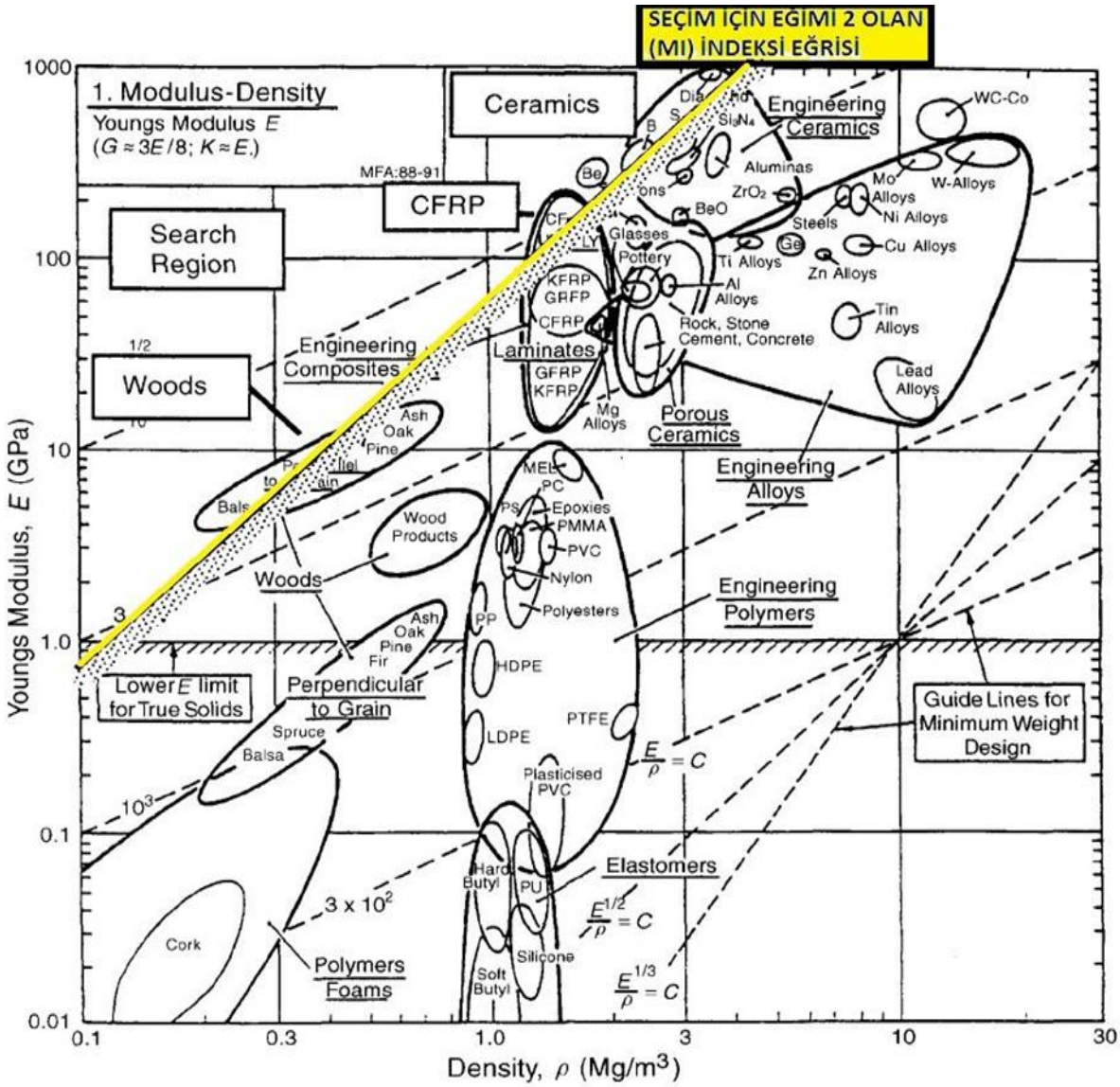
Seçim;

a. Eğilmeye çalışan ve katılık değeri yüksek hafif yapılı kürek malzemesi için tablo 4.1 de verilmekte olan malzeme seçim indeksi kullanılabilir.

$$MI_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

Bunun anlamı eğimi 2 olan doğrulardan en yüksek değerde olanı seçmek gerektiğidir.

Şekilden MI indeksi en büyük olan malzemenin seçilmesi uygun olabilir. Bu duruma uyumlu malzemeler, ahşap, karbon ve cam fiberle güçlendirilmiş polimerler, çelik, bazı polimerler ve bazı seramiklerdir.



b. Hafif ve kırılma direnci yüksek kürek malzemesi seçimi

Kırılma tokluğu değeri aşağıdaki gibi verilmekteydi.

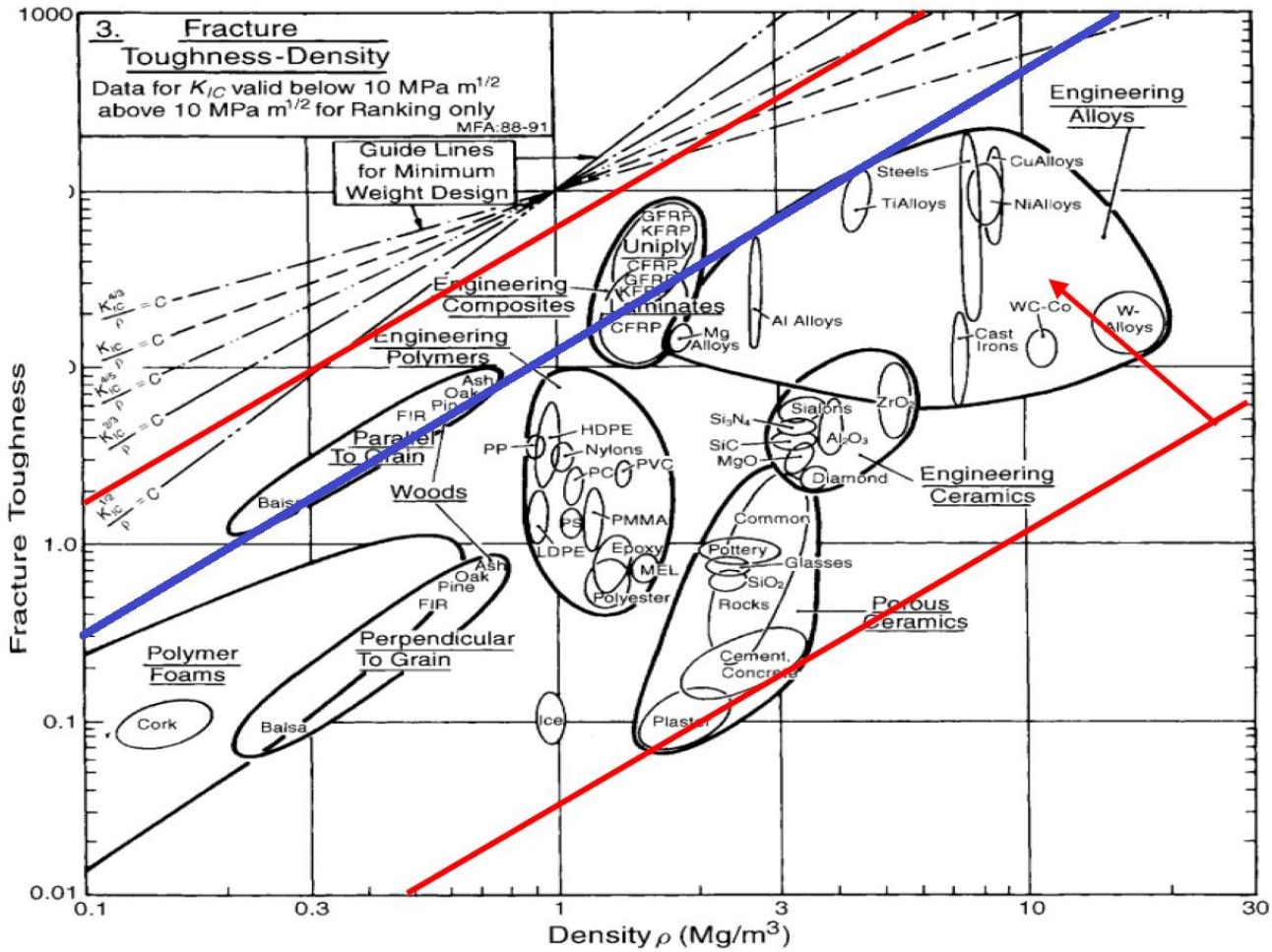
$$K_{1C} = Y\sigma\sqrt{\pi c} \approx C.\sigma$$

Buna göre tokluk değeri de aşağıdaki gibi verilebilir.

$$K = 2\pi.C.F.L/A^2$$

Burada alan değeri, A kütle formülünde (m=$A.\rho.L$) yerine yazılarak malzeme seçim indeksi bulunur.

$$MI_2 = \frac{K_{1c}^{2/3}}{\rho}$$



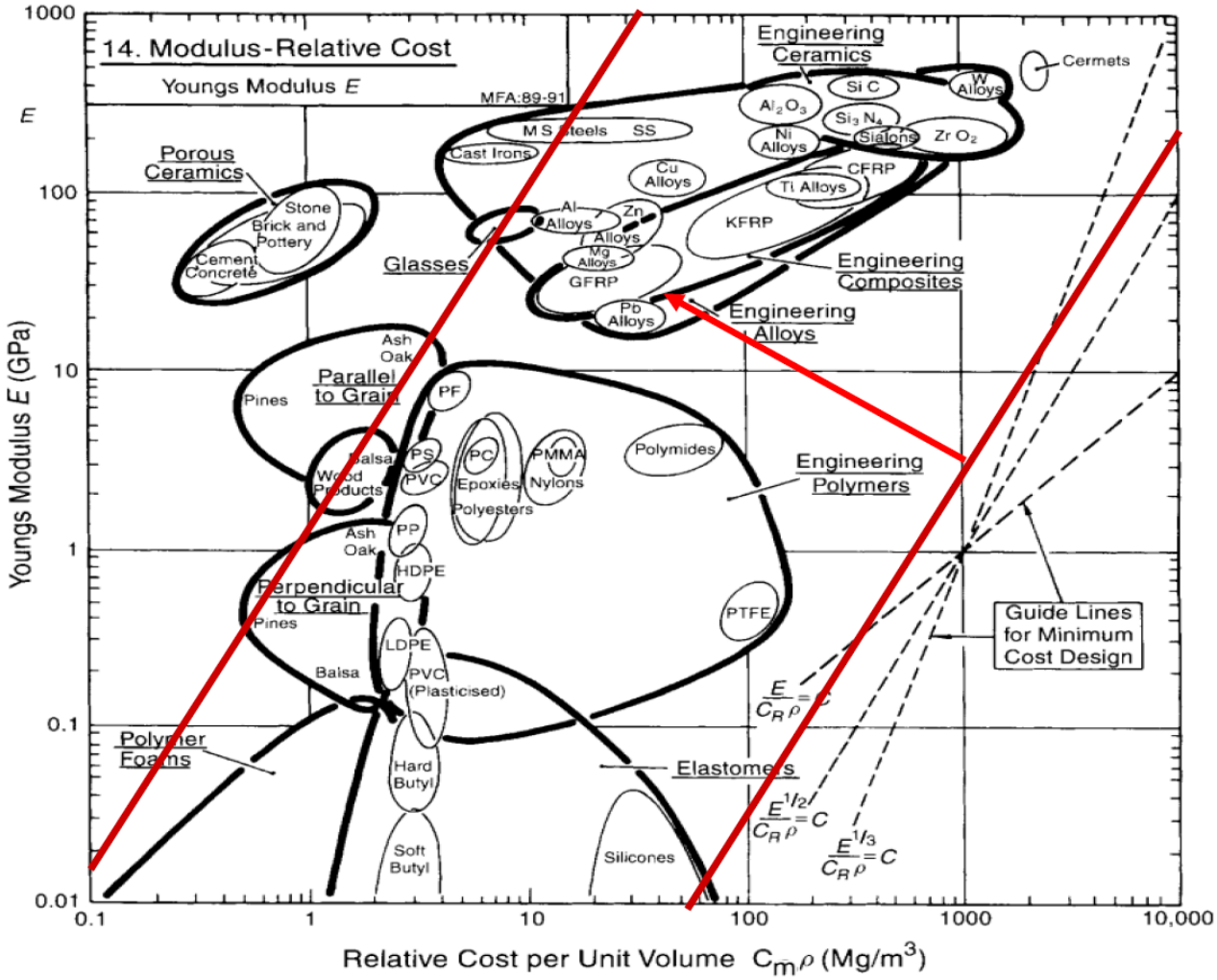
Şekle göre mavi seçim çizgisi en yüksek kırılma tokluğu bölgesinde iken elde edilebilen en uygun malzeme adayları ahşap, CFRP ve alaşımlı çelikler olarak görülmektedir.

c. Hafif ve ucuz kürek malzemesi seçimi

Hafif ve ucuz malzeme seçimi indeksi, MI_3 tablo 4.1 de verilmekte idi.

$$MI_3 = \frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$$

Aşağıdaki tabloda elastiklik modülü ile bağıl maliyet kıyaslanmaktadır. Tabloya göre en uygun seçimlerin seramikler, ahşap, dökme demir ve çelikler olduğu görülmektedir.



En uygun seçim için tablo oluşturma,

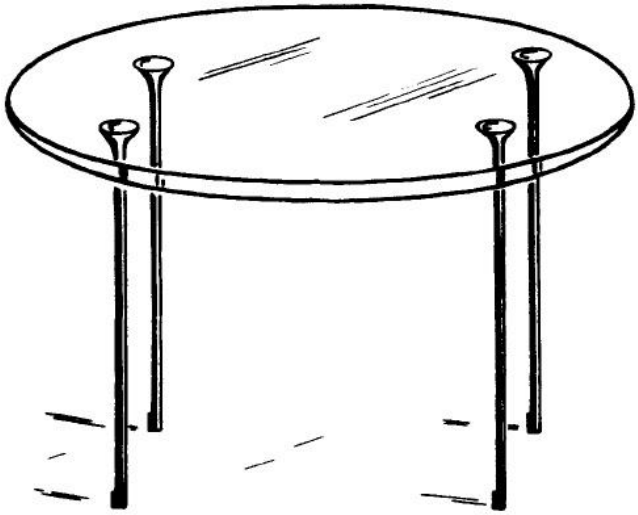
Malzeme	K_{1C} (MPa.m$^{0.5}$)	ρ (kg/m^3)	E (GPA)	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$	C_m (USD/m^3)	$\frac{K_{1c}^{2/3}}{\rho}$	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Ahşap	5	750	10	133	2	3,9	66,67
CFRP	3	1800	100	176	83	1,16	2,11
Alaşımlı çelik	50	7850	200	57	19	1,73	2,98
Seramik (SiC)	4	3210	400	197	124	0,78	1,58
Polimer (PVC)	1.1	1400	2,5	36	2	0,76	16,67

Seramikler kırılgan ve pahalı oldukları için elenir. CFRP iyi bir adaydır ancak pahalıdır. En yüksek indekse sahip uygun seçimin ahşap olduğu görülmektedir.

Malzeme	**Seçim indekslerinin çarpımı**
Ahşap	133*3,9*66,67=34582
CFRP	176*1,16*2,11=431
Alaşımlı çelik	57*1,73*2,98=294

Örnek 4.8. Masa ayakları için malzeme seçimi

Şekilde görüldüğü gibi basit ve hafif bir masa için kullanışlı ayak malzemesi seçilecektir. Şekilde görüldüğü gibi takviyesiz, narin, silindirik kesitli ayak profili istenmektedir.



Masa ayakları için tasarım gereksinimleri,

Fonksiyon	Kolon (Basma kuvveti ile zorlanmaktadır.)
Amaç	a- Minimum kütle
	b- Maksimum narinlik
Sınırlamalar	a- Boy, L verilmektedir
	b- Tasarım yükü etkisiyle burkulma olmamalıdır.
	c- Kaza ile çarpmalarda kırılma olmamalıdır.

Burada problemin iki amacı vardır, ağırlık minimum olmalıdır ve maksimum narinlik sağlanmalıdır. Bir sınırlama olarak, burkulmaya karşı direnç söz konusudur.

Önce minimum ağırlığı düşünelim.

Masa ayağının yoğunluğu ρ ve elastiklik modülü E, maksimum boyu L ve üzerinde etkili kuvvet F olsun. Masa ayağının kesit yarıçapına ait bir sınırlama söz konusu edilmemiştir.

Verilen amaç fonksiyonuna göre minimize edeceğimiz kütle aşağıdaki gibi yazılabilir.

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

Euler kuralına göre burkulma için kritik kuvvet aşağıdaki gibi verilebilir.

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} == \frac{\pi^3 E r^4}{4L^2} \qquad \text{burada,} \quad I = \frac{\pi r^4}{4}$$

Serbest değişken r olduğuna göre bu aradan çekilerek çözüm yapılıp m kütle eşitliği düzenlenirse aşağıdaki denklem yazılabilir.

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

Burkulmaya çalışan elemanlarda emniyet katsayısı 2,5 il 3,5 arasında alınabilir..

$$F = \frac{F_{krit}}{2{,}5 - 3{,}5}$$

Bu durumda ağırlığı minimize edebilecek malzeme indeksi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$MI_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

Şimdi narinlik için düşünürsek, En kritik durum için $F = F_{krit}$ yazılabilir.

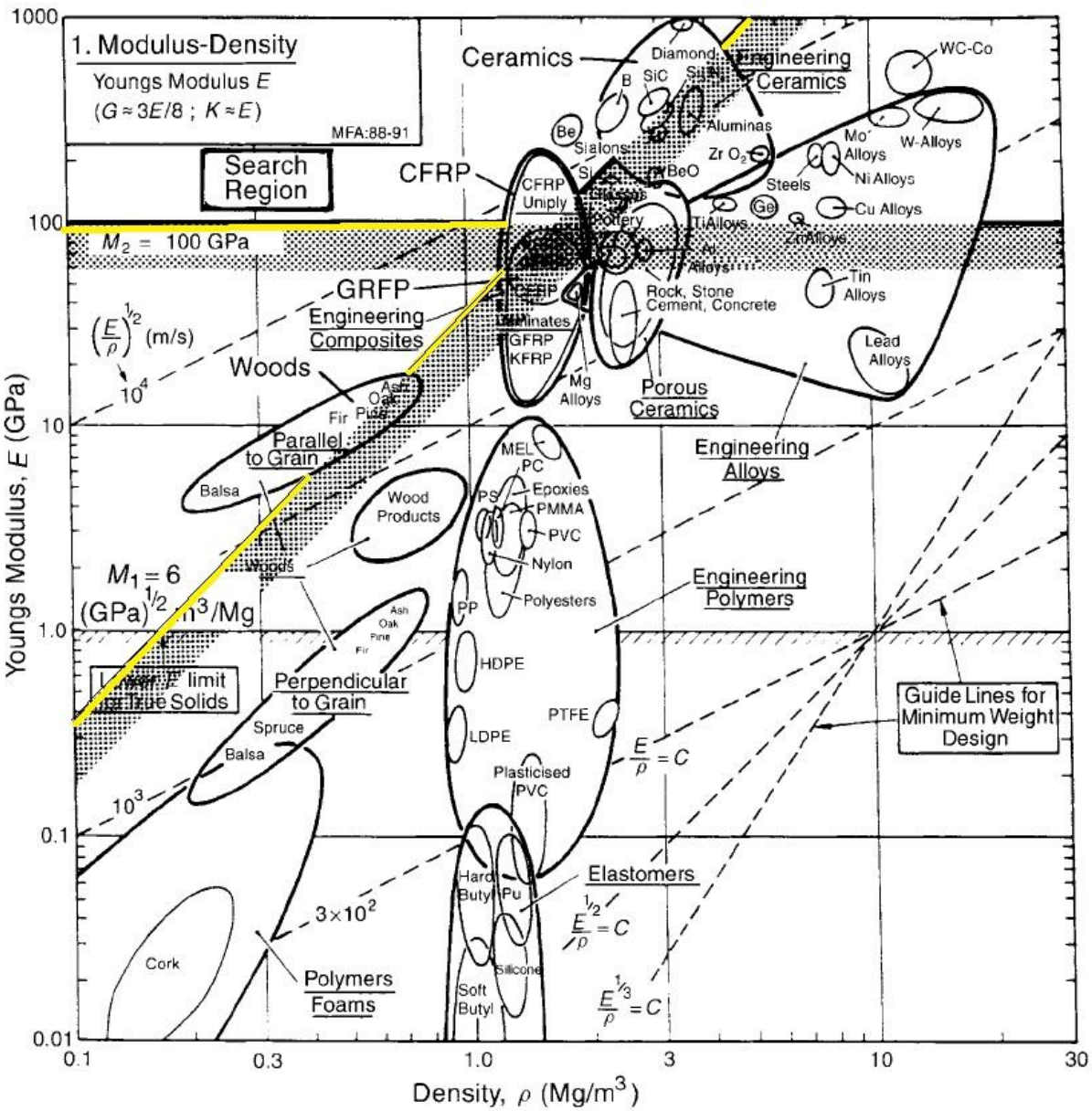
$$r = (\frac{4P}{\pi^3})^{\frac{1}{4}} \ (L)^{1/2} \ (\frac{1}{E})^{1/4}$$

En ince ayak içim malzeme indeksi bu durumda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$MI_2 = E$$

Bu durumda MI_1' e göre eğimi 2 olan doğrular ailesi kullanılabilir halbuki MI_2' ye göre yatay doğrular geçerlidir. Bu durumda aşağıdaki şekle göre kullanılabilecek malzemeler saptanır. Bu amaçla

$MI_1 = 6\ GPa^{1/2}/(Mg/m^3)$ oluncaya kadar eğimi 2 olan doğru yukarı çekilir. Bu eğri üzerinde her noktada MI_1 değeri sabittir.



Masa ayakları için malzeme tablosu olasılıkları aşağıda verilmektedir.

Malzeme	MI_1 $GPa^{1/2}\ m^3 / Mg$	MI_2 GPa	Açıklama
Ahşap	5-8	4-20	MI_1 e yakın ancak MI_2 sağlanamıyor.
CFRP	4-8	30-200	MI_1 ve MI_2' ye yakın ancak pahalı
GFRP	3,5-5,5	20-90	CFPR den ucuz fakat MI_2 zayıf.
Seramik	4-8	150-1000	MI_1 ve MI_2' ye yakın ancak kırılgan

Burada MI_1 doğrusunun üstünde kalan olabilecek malzemeler, ahşap, kompozitler (özellikle CFRP), ve özel mühendislik seramikleri olabilir. Polimerler yeterince rijit olmadıkları için kabul görmemiştir.

Metal alaşımları ve hatta magnezyum alaşımları bile ağır olmaktadır. Bundan sonraki kriter narinliktir ve E büyük olmalıdır. Eğer burada $MI_1 = 100\ GPa$ seçilecek olursa ahşap ve GFRP devre dışı kalacaktır. Eğer ayak gerçekten ince olsun istenirse listede sadece CFRP ve seramikler kalır. Seramikler kırılgandır yani peklik değerleri düşüktür. Bu durumda elimizde bir tek CFRP kalmıştır. Bu ise pahalı bir malzemedir. O zaman kriterler biraz gevşetilerek yeni bir alternatif geliştirilebilir.

Örnek 4.9. Bir sızdırmazlık elemanı için malzeme seçimi

Şekilde görülmekte olan sızdırmazlık elemanı için malzeme seçilmesi gerekmektedir. Sızdırmazlık elemanı silindirik formda olup yarıçapı, R ve elastiklik modülü, E olsun. Eleman düz ve rijit bir yüzeye f yayılı kuvveti ile basılmaktadır. Elastik ezilme sonucunda oluşan ortak temas yüzeyi b aşağıdaki gibi yazılabilir.

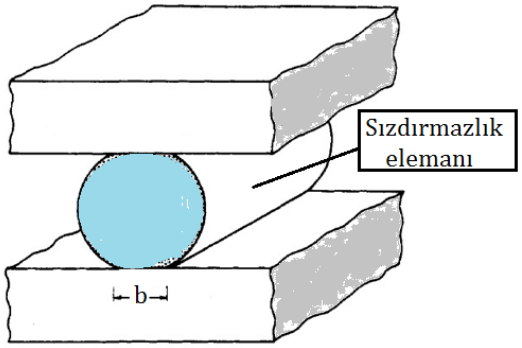
$$b = 2(\frac{f.R}{E})^{1/2}$$

Burada amaç fonksiyonu, b' nin maksimum olmasıdır. Sızdırmazlık elemanın ile yüzey arasındaki kontak gerilmesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sigma = 0{,}6.(\frac{f.E}{R})^{1/2}$$

Sınır koşulu ise sızdırmazlık elemanının, sıkıştırılma sonrasında da elastik olarak kalmasıdır. Buna göre, σ akma gerilmesinden küçük olmalıdır. Bu iki eşitlik birleştirilirse, aşağıdaki sonuca ulaşılır.

$$b = 3{,}3.R.(\frac{\sigma_f}{E})$$



Bu durumda maksimize edilecek malzeme indeksi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$MI_1 = \frac{\sigma_f}{E}$$

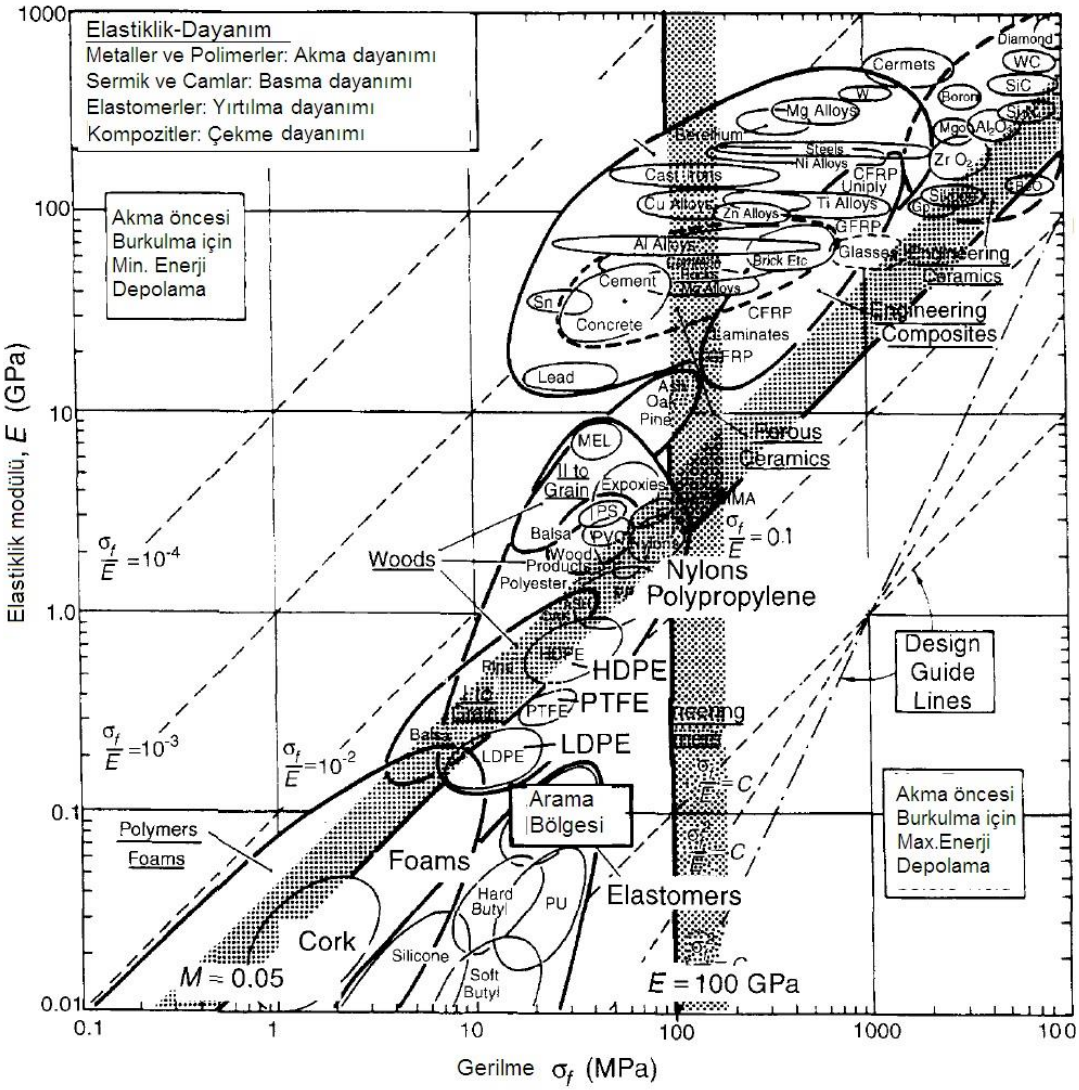
Elastik sızdırmazlık elemanı için tasarım gereksinimleri aşağıdaki gibidir.

Fonksiyon	Elastik sızdırmazlık elemanı
Amaç	Maksimum sızdırmazlık
Sınırlamalar	a-Kontak basıncı sınırlaması
	b-Düşük maliyet

Ayrıca kontak gerilmesi, σ yüzeyleri deformasyona uğratmıyacak kadar küçük olmalıdır. Örneğin yüzeylerin emniyetle taşıyabileceği gerilme 100 MPa' dan az olsun. Bu durumda ikinci malzeme indeksi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$MI_2 = \sigma_f \leq 100\ MPa$$

Bu iki indeks $\sigma_f - E$ grafiğine yerleştirilir. Resimde köpük ve mantar gibi uygun olmayan elastomerler elemine edilmiştir.



Grafikte seçim bölgesinde bulunan malzemeler ve etay özellikleri aşağıdaki tabloda verilmektedir. Buradan uygun malzeme seçimi yapılacaktır.

Malzeme	$MI_1 = \frac{\sigma_f}{E}$	Açıklama
Elastomerik EVA	0,7 - 1	Doğal seçim, ısıya ve bazı solventlere zayıf dayanım.
Poliüretan	2 - 5	Sızdırmazlık elemanlarında genel kullanım
Silikon kauçuk	0,2 – 0,5	Karbon zincirli polimerlere göre yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal olarak inert
PTFE	0,05 - 1	Yüksek sıcaklığa iyi dayanım, kimyasal olarak stabil, ancak pahalı
Polietilen	0,02 – 0,05	Ucuz fakat esneme özellikleri değişiyor, stabil değil
Polipropilen	0,02 – 0,04	Ucuz fakat esneme özellikleri değişiyor, stabil değil
Naylon	0,02 – 0,03	Temas basıncının üst sınırına yakın

Örnek 4.10. Sönüm sabiti (loss coefficient) $\eta = 0{,}02$ olan bir malzemeden üretilmiş olan bir zilin doğal frekansı f=1000 Hz'dir.

- Zile bir darbe vurduktan sonra ne kadar süre ile çalacağını bulunuz.
- Eğer düşük sönümlü örneğin $\eta = 10^{-4}$ malzeme kullanılırsa çalma süresi ne kadar uzar.

Zilin titreşim genliği, A başlangıç değerinin %1' ine azaldığında çalmanın son bulacağı kabul edilecektir.

Çözüm: Malzemenin elastik enerjisi,

$$U = \oint_0^{\sigma_{max}} \sigma d\varepsilon \approx \frac{1}{2}\frac{\sigma_{max}^2}{E}$$

Malzeme zorlanıp serbest bırakılırsa enerji değişimi,

$$\Delta U = \oint \sigma d\varepsilon$$

Sönüm oranı,

$$\eta = \frac{\Delta U}{2\pi U_{max}}$$

Spesifik sönüm oranı

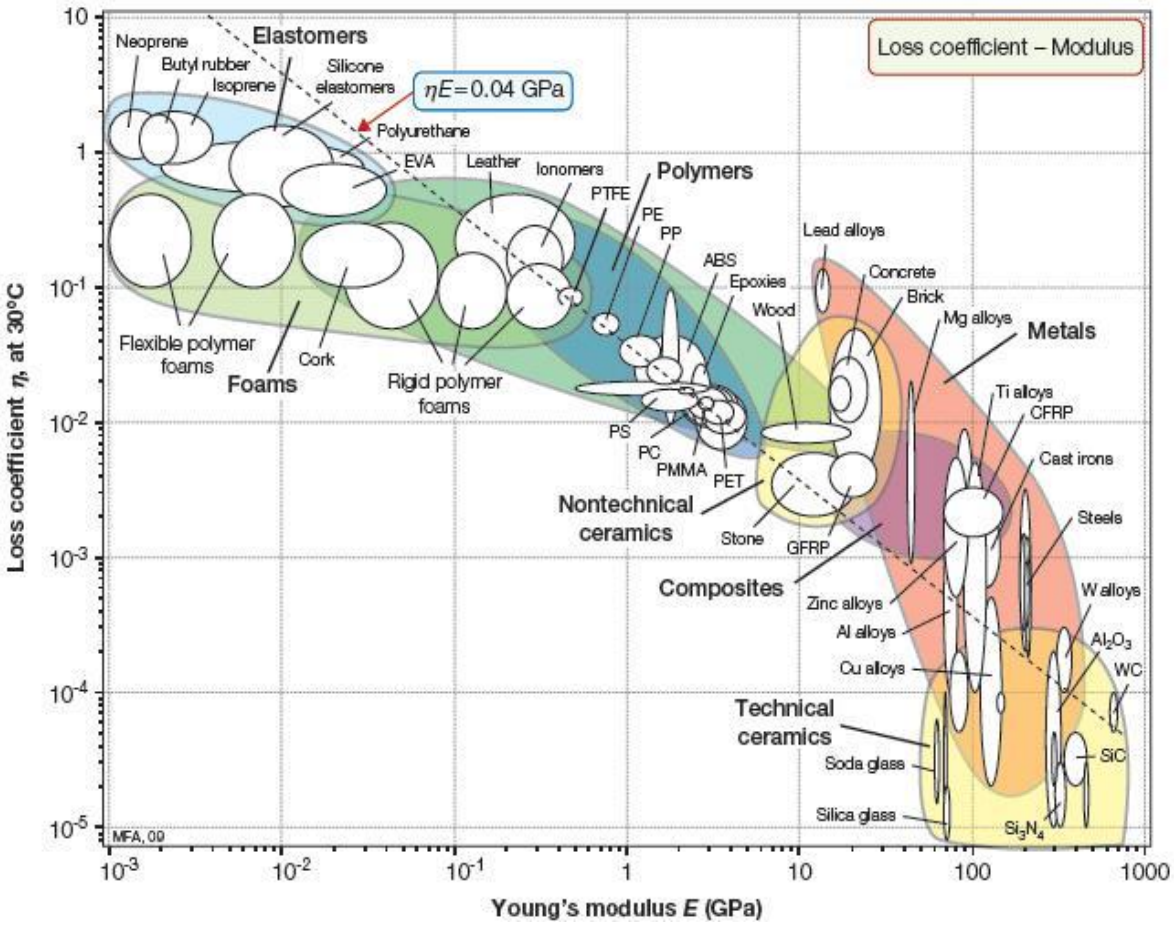
$$D = \frac{\Delta U}{U}$$

Burada Δ tekrarlayan doğal titreşim genlikleri oranıdır.Eğer sönüm faktörü ($\eta < 0{,}01$) çok küçük ise aşağıdaki ifade kullanılabilir. Bu eşitlik büyük sönümlerde geçersizdir.

$$\eta = \frac{D}{2\pi} = \frac{\Delta}{\pi} = \tan\delta = \frac{1}{Q}$$

Burada δ gerilme ve gerinim arasındaki faz gecikmesi, Q rezonans faktörüdür.

$$\ln\left(\frac{A}{A + dA}\right) = \Delta = \pi\eta$$



Bu eşitlik düzenlenerek n çevrim için hesaplanırsa,

$$\int_0^n \frac{dA}{A} = \int_0^n \left(\frac{1}{10^{\pi\eta}} - 1\right) dA$$

$$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = \ln(0{,}01) = -4{,}6$$

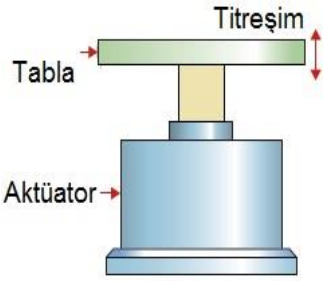
$$\eta = 0{,}02\ için,\ \ \ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = \left(\frac{1}{10^{\pi\eta}} - 1\right).n$$

$$-4{,}6 = \left(\frac{1}{10^{0{,}02\pi}} - 1\right).n$$

$$n = 34\ tekrar\ veya \frac{n}{f} = \frac{34}{1000}\ s = 34\ ms$$

$$\eta = 10^{-4}\ için,\ n = 6400\ tekrar\ ve\ \frac{n}{f} = 6{,}4\ s$$

Örnek 4.11. Otomobil ve hava araçları ekipmanlarının testleri için, 1000 Hz frekansa kadar titreşim üreten bir test ünitesi tasarımı yapılacaktır. Tabla malzemesini seçiniz.



Tasarım parametreleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Fonksiyon	• **Titreşim test tablası**
Verilenler	• Tabla yarıçapı, R • Dış kuvvetlere karşı yeterince rijit yapılı olmalıdır • Rezonans oluşmaması için doğal frekansı maksimum çalışma frekansının altında kalmalıdır.
Amaç	• Güç gereksinimi minimize edilmelidir.
Serbest değişkenler	• Tabla kalınlığı, t • Malzeme seçimi

Kütle ifadesi,

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

Burada r malzeme yoğunluğudur.

Tabla en kritik durumda eğilme ile çalışmaktadır. Eğilme zorlaması esnasında düşey deplasmanların fazla olması doğal frekansını azaltacaktır bu nedenle yüksek eğilme rijitlik (stiffness) değeri gereklidir.

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

Burada C_2 sabit bir sayıdır.

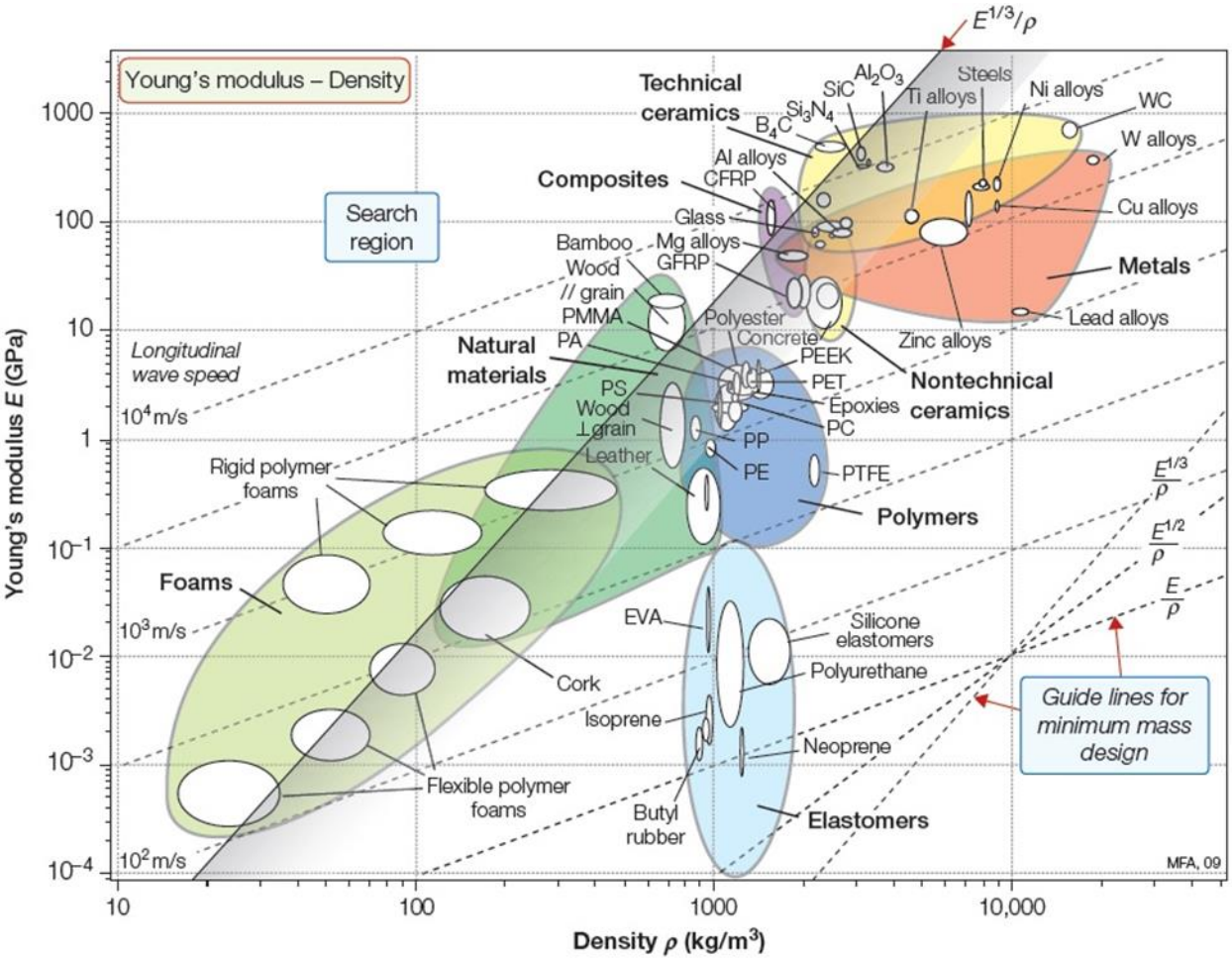
Kesitin eğilme zorlamasına karşı herhangibir bölgesi için atalet momenti, t^3R ile orantılıdır.

$$I \propto t^3 . R$$

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

Burada C_3 sabit bir sayıdır. Bu ifade kütle denklemine yazılarak aşağıdaki eşitlik bulunur.

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



Malzeme kütlesini minimize edebilmek için, aşağıdaki ifade maksimum olmalıdır.

$$M_2 = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

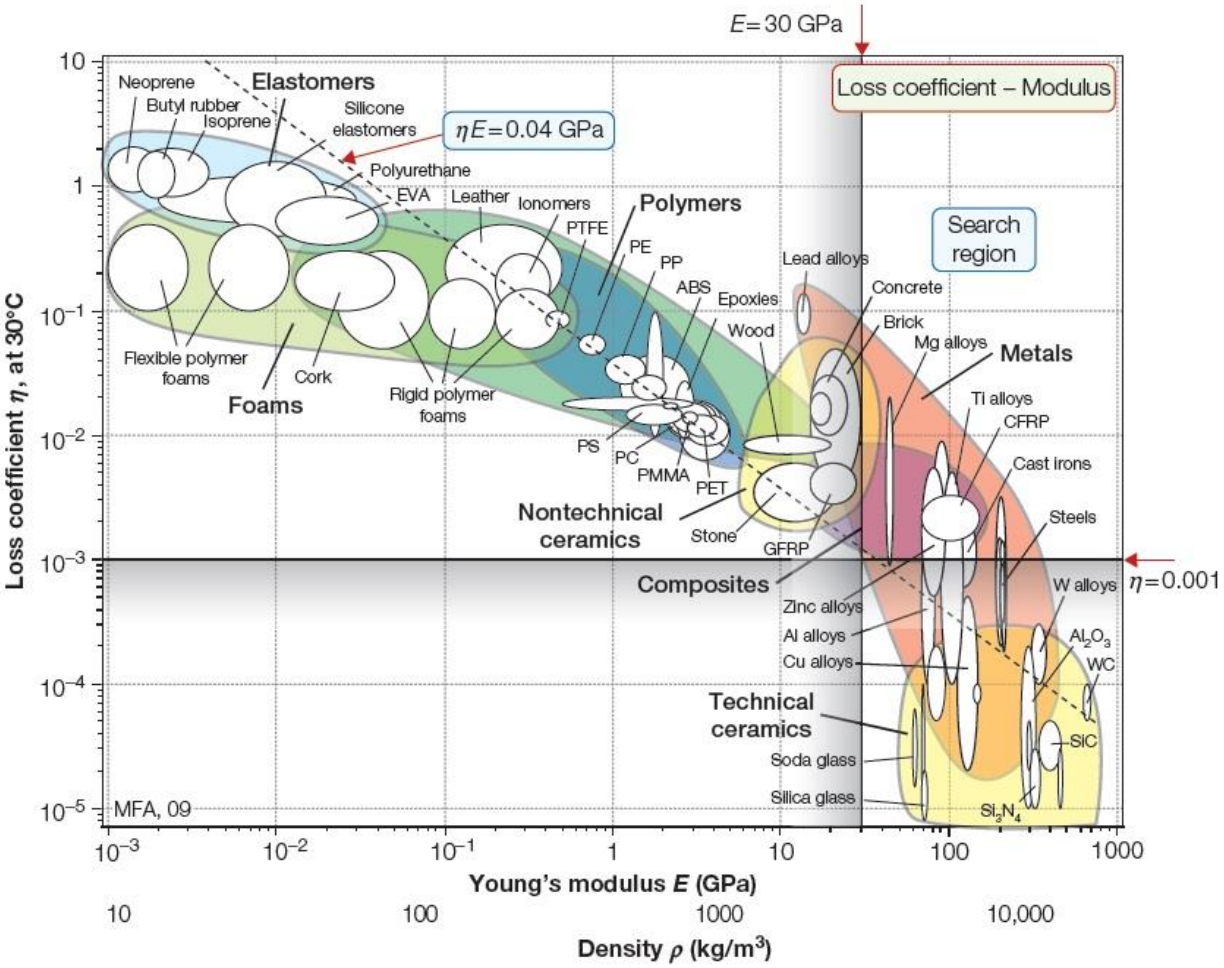
Aşağıdaki şekilden M_2 faktörüne uygun malzemeler E-ρ diyagramında 1/3 eğimindeki doğrunun altındakilerdir.

Ayrıca en ince tabla en yüksek elastiklik değerindeki malzeme ile yapılabilir, buna göre;

$$M_1 = E$$

M1 faktörüne uygun E>30 Gpa olan ve yüksek doğal frekansa sahip bir malzeme seçilir. Bu durumda sönüm sabitinin de yüksek olması gerekir yani $\eta > 0{,}001$

Buna göre bir malzeme aşağıdaki şekilden seçilebilir.



Ayrıca dış kuvvetler karşı yeterli akma dayanımı ve kırılma tokluğu, K_{1C} sağlanmalıdır.

Bu malzemeler tabloda verilmektedir.

Malzeme	**Max.kayıp sabiti,η**	**$M1=E^{1/3}/\rho$ $GPa^{1/3}/(Mg/m^3)$**	**ρ Mg/m^3**	**Yorumlar**
Mg-alaşımları	2x10-2	1,9	1,75	En iyi seçim
Ti-alaşımları	5x10-3	1	4,6	İyi sönüm özellikleri fakat pahalı
CFRP	4x10-3	3	1,8	Mg-alaşımlarından daha düşük sönüm fakat olabilir.
Dökme demir	4x10-3	0,7	7,8	İyi sönüm fakat ağır malzeme
Zn-alaşımları	7x10-3	0,7	5,5	Mg-alaşımlarından daha düşük sönüm fakat küçük bir tabla için olabilir.