

ME 308
MACHINE ELEMENTS II

CHAPTER 1

**An Introduction to
Machine and Machine
Elements**

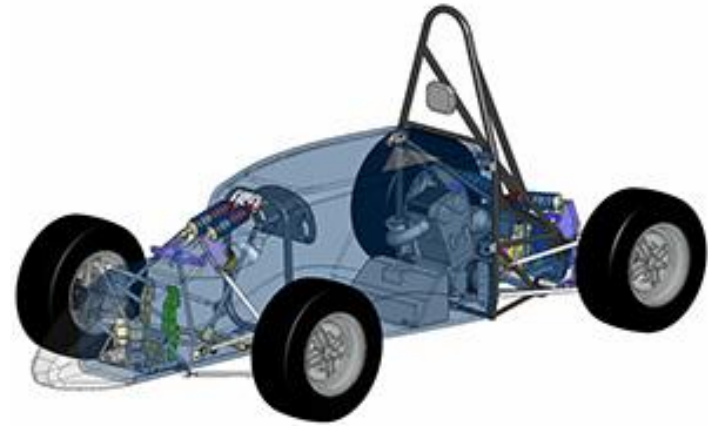
1.1 What is Machine?

Machine is any device that uses **Energy** to perform some activities.

A machine comprises several different machine elements properly designed and arranged to work together as a whole.

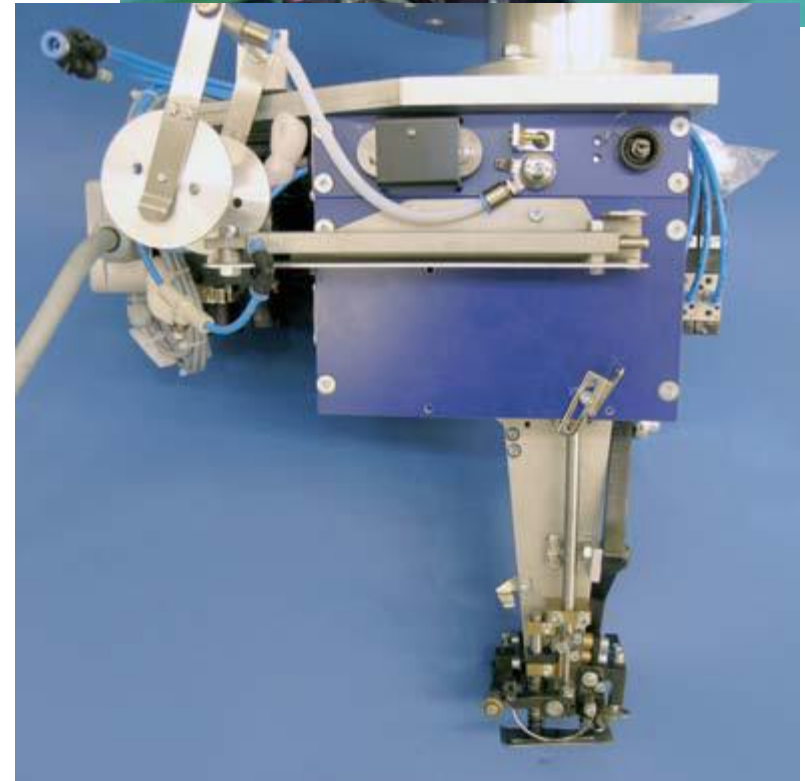
A mechanical system is a synergistic collection of machine elements. It is synergistic because as a design it represents an idea or concept greater than the sum of the individual parts.

For example: a wristwatch, although merely a collection of gears, springs, and cams, also represents the physical realization of a time-measuring.



1.1 What is Machine?

A Machine is a combination of mechanisms and other components that transforms, transmits, or uses energy, load, or motion for a specific purpose.



1.2 Machine Types

Industrial:

The machines used for manufacturing, fabrication and production purposes

General:

The machines used for easing daily life

Engineers use science to solve their problems if the science is available.

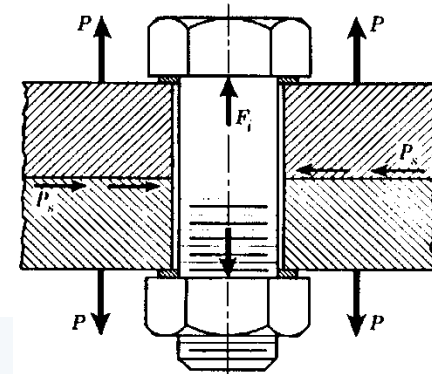
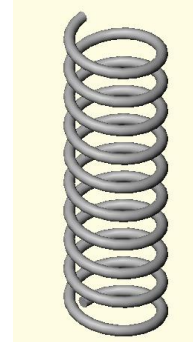
But available or not, the problem must be solved, and whatever form the solution takes under these conditions is called ***engineering***.

1.3 Machine Elements

Machine elements are the individual components of a machine like below:

Axle, Shaft, Bearings, Belts, Fastener, Gear, Key, Link Chains, Rack and Pinion, Roller, Rope, Seals, Spring, Wheel

Those elements or components when they come together and work properly make up a machine.



1.4 Design of Machinery and Design of Machine Elements

Here are some of the courses to be studied in an order to better understand mechanical design/engineering.

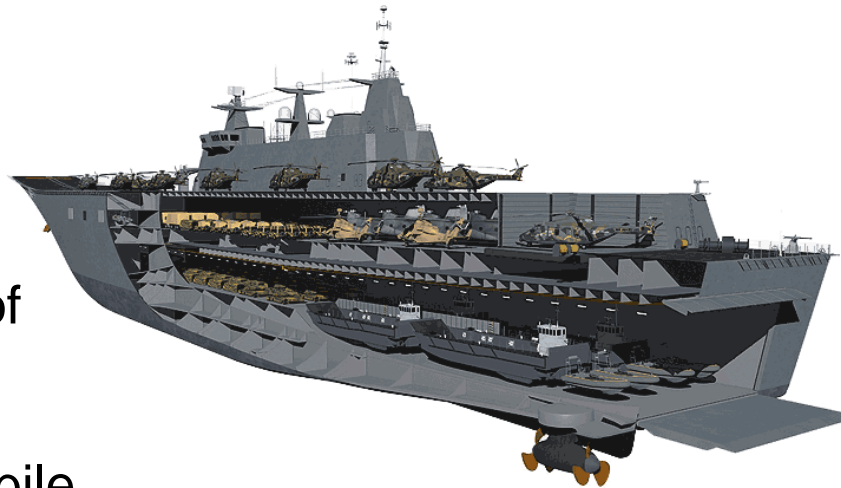
- **Statics** (loadings-forces, rigid body assumption)
- **Engineering Materials 1** (mechanical and physical properties of materials)
- **Strength of Materials** (stresses and deformations of materials under different loadings)
- **Machine Elements 1** (design-analysis phenomenon and failure types-theories)
- **Machine Elements 2** (design-selection and analysis of individual machine elements)

Design of Machinery and Design of Machine Elements

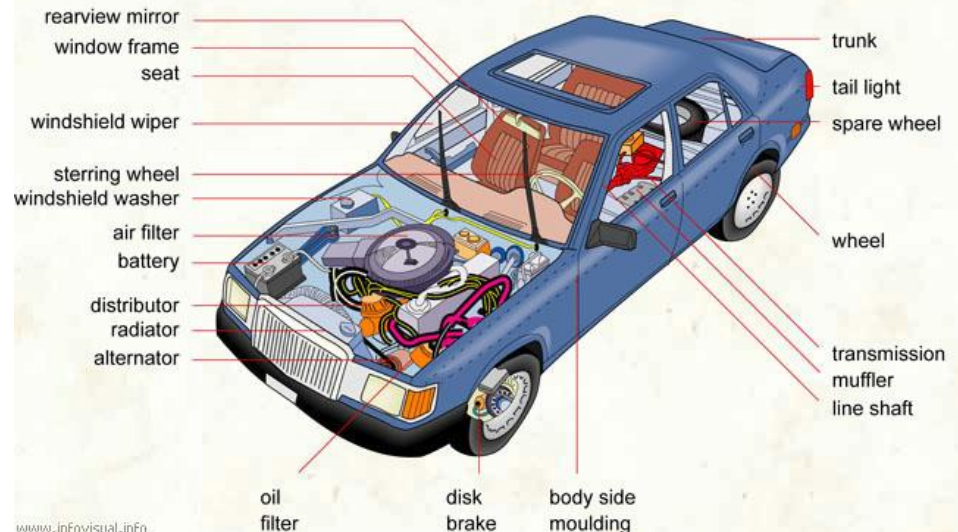
- Design of Machinery
- Machine Design
- Mechanical System Design

These are the systems or a complete machinery made of different elements.

Ship, bridge, crane, automobile etc. designs are the examples



ANATOMY OF AN AUTOMOBILE



Design of Machinery

- Machinery
- Machine
- Mechanical System

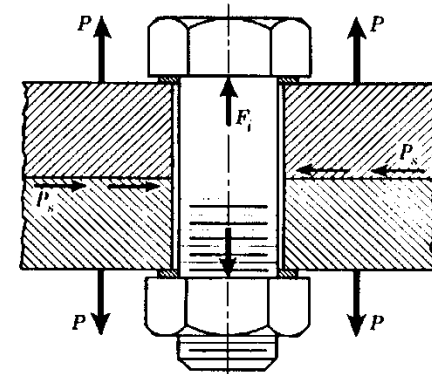
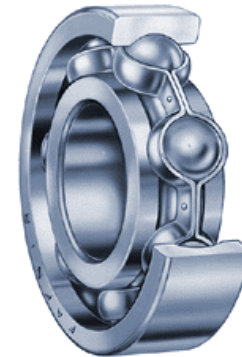
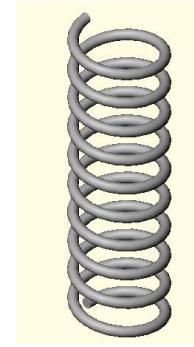
- These are the systems or a complete machinery made up from different elements.

- Ship, bridge, crane, automobile etc. are the examples of this category.

- Design of these equipments or machines covers activities of bringing different elements to work effectively, efficiently and safely together.



- **Design of Machine Elements,** on the other hand, deals with the design of each individual element of the machine (rather than the whole machine itself)
- Examples are the design of :
 - Gears
 - Springs
 - Bolts
 - Bearings
 - Shafts etc.
- **These machine elements, usually are brought together to make up a machine or a system.**



DESIGN LEVEL

DESIGN EXAMPLE

- Engineering Design →
 - Automobile (requires mechanical, electrical, control and industrial engineering)
- Mechanical (Machine) Design →
 - Engine, clutch, gearbox, etc. (mainly of mechanical nature)
- Machine Element Design →
 - Shaft, gears, bearings, etc. (are single elements cannot function effectively on its own)

Design of a machine element (e.g. a shaft or a gear) generally means:

- to determine **a suitable material** (with required treatment) to be used
- to determine **a suitable geometry** to satisfy the required functions
- to determine **suitable sizes** to satisfy the design requirements **safely**



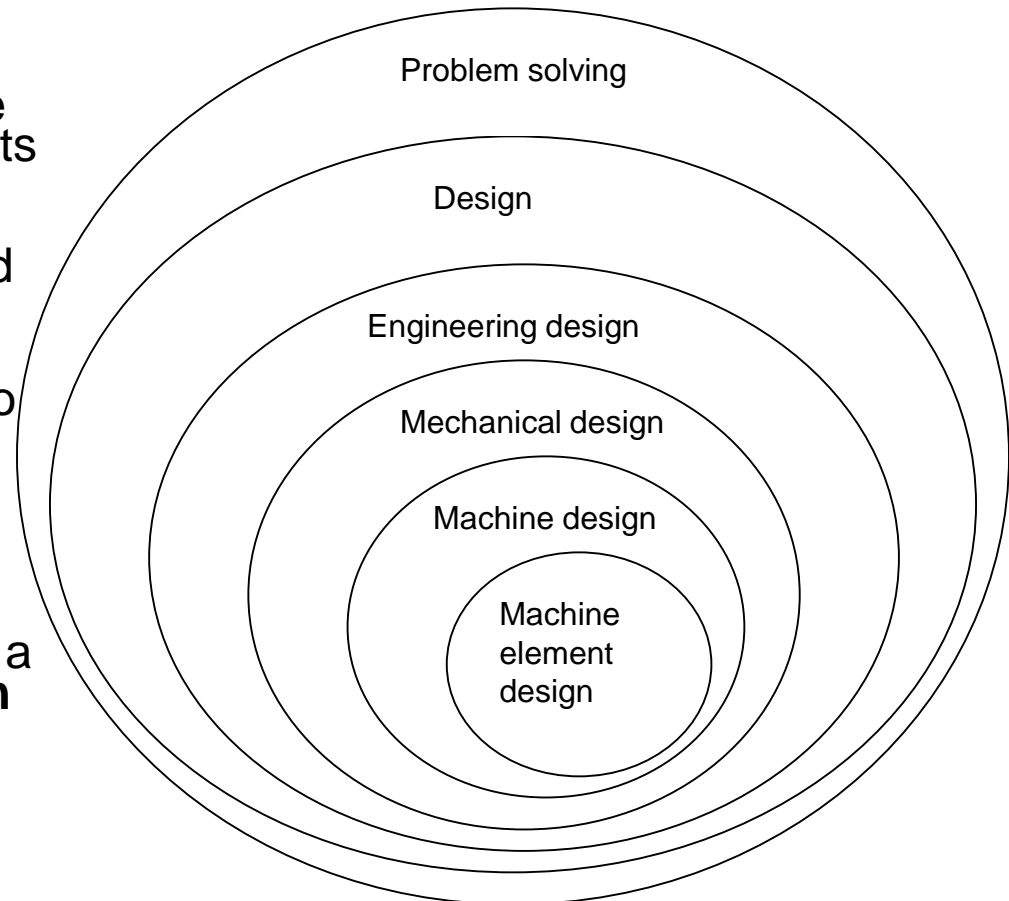
The ultimate objective of a mechanical design, of course, is to produce a useful device that is

- **Safe** S
- **Efficient** E
- **Economical and** E
- **Manufacturable** M

THESE ARE THE DESIGNER'S MILESTONES
(SOLID DESIGN RULES)

- **To design** : (in general terms) is to formulate a plan for the satisfaction of a human need.
- **Engineering design** is the process in which scientific principles and the tools of engineering – mathematics, computers, graphics, materials science, and documentation –are used to produce a plan which can be fabricated, installed commissioned and operated to satisfy a need.

- **Mechanical engineering design** is the above process as applied to components and systems of a mechanical nature – machines, products, devices, instruments, mechanical structures, and materials handling systems
- Preparing plans for production of units (such as engine, clutch, gearbox etc.) to perform certain functions is actually a **machine design process**.
- Selection or determination of the material, geometry and the size of the smaller parts such as shafts, gears, bearings, keys and sealing elements in a gearbox is a **machine element design process**.



Design versus Analysis

- **Design** (or synthesis) is a process of planning to present something new or different with some criteria satisfied (such as functionality, safety etc.)
 - You can design a new bicycle, new gear, different shaft etc.)
- Whereas **Analysis** is the process of checking if an existing system or item is fit to certain requirements or not.
 - You can check if
 - the brand “X” bicycle is fit for a long distance race or not,
 - the existing gear is suitable to transmit 5 kW power or not,
 - the existing gear is safe to run for 10^6 revolutions or not.

Steps/Process of a design

A- CONCEPT DESIGN

1. Identification of Need (normally ill-defined and vague)
2. Background research (necessary to fully define and understand the task)
3. Goal Statement (a more realistic statement of 1)
4. Task Specifications (bound the task and limit the scope)
5. Synthesis (“ideation and invention” or “brainstorming” stage, in which the largest possible number of creative solutions is generated)
6. General Analysis, Assessment, Iteration and Optimization (process output variables, stress, vibration, fatigue, fitness for purpose, engineering critical assessment, failure modes and avoidance of, consequences of failure)
7. Selection (of preferred design concept)

B- DETAILED DESIGN AND ANALYSIS

8. Detailed design and analysis (Joints, connections, welding, stress concentrations, fits, “nuts and bolts”)
9. Prototyping and Testing (sufficient drawings and details to enable a prototype to be fabricated and tested)
10. Final drawings and specifications
11. Quality Management, Inspection and Test Plans
12. Production

Design Considerations

Characteristics which influence the design.

If possible, all must be considered in a “checklist” type manner

- 1. Purpose, performance
- 2. Static or Steady State Strength
- 3. Fatigue Strength (low cycle and high cycle)
- 4. Weight, Inertia
- 5. Form, Shape, Size, Ergonomics
- 6. Reliability
- 7. Safety
- 8. Initial Cost
- 9. Serviceability and Maintainability
- 10. Vibration, Transients, Noise
- 11. Materials, and Availability of
- 12. Inspection and Testing
- 13. Long-term Behavior
- 14. Fuel Systems
- 15. Friction
- 16. Failure Modes and Consequences
- 17. Versatility
- 18. Manufacturability
- 19. Joints (welds, fasteners)
- 20. Styling, Aesthetics
- 21. Marketability
- 22. Control
- 23. Stiffness, Compliance
- 24. Surface Texture and Finish
- 25. Lubrication
- 26. Liability
- 27. Life Cycle Cost
- 28. Environment/Corrosion/Erosion
- 29. Machinery and Structural Dynamics
- 30. Ease of Handling and Operating
- 31. Rapidity of Changeovers
- 32. Disposal
- 33. Toxic Output
- 34. Wear
- 35. Link with other Machines
- 36. Upgradability
- 37. Electrical, Magnetic, RF
- 38. Risk Assessment
- 39. FMECA – Failure Mode Effects & Criticality Analysis

Materials and Process

All designs must be able to be made from some material and be able to be manufactured.

Here is a list of material properties some of which are usually taken into consideration during designs.

- 1. Tensile Strength
- 2. Shear Strength
- 3. Compressive Strength
- 4. Ductility and Brittleness
- 5. Bending Strength
- 6. Elastic Modulus
- 7. Torsional Rigidity
- 8. Poisson's Ratio
- 9. Fatigue Strength
- 10. Impact Resistance
- 11. Fracture Toughness
- 12. Creep and Thermal Effects
- 13. homogeneity, Isotropy, orthotropic, anisotropy
- 14. Statistical Nature of Material Properties
- 15. Hardness
- 16. Wear and Friction
- 17. Corrosion, Erosion
- 18. Heat Treatment
- 19. Case Hardening
- 20. Forming
- 21. Coatings and Surface Treatments
- 22. Damping
- 23. Electrical and Magnetic properties

Different Loads in design and analysis processes

In the design and stress analysis process, all loads must be considered, including:

1. **Principal Loads**

- a. Dead Loads
- b. Live Loads
- c. Inertia Loads

2. **Additional Loads**

- a. Wind Loads
- b. Snow or Ice Loads
- c. Thermally Induced Loads
- d. Travelling Skew Loads

3. **Special Loads**

- a. Off-center Live Loads
- b. Out-of-service Wind Loads
- c. Test Loads
- d. Buffer Impact Forces
- e. Tilting Forces
- f. Live Loads on Walkways and in Chutes
- g. Emergency Situation Loads
- h. Seismic Loads
- i. Installation Loads

ME308 MACHINE ELEMENTS II

TEXTBOOK:

MECHANICAL ENGINEERING DESIGN by J E Shigley , 1st Metric Edition
or **MECHANICAL ENGINEERING DESIGN** by J E Shigley & L D Mitchell, 4th Edition

CONTENTS

- MECHANICAL SPRINGS 2 weeks
- ROLLING CONTACT BEARINGS 2 weeks
- JOURNAL BEARINGS 2 weeks
- SPUR GEARS 2 weeks
- HELICAL GEARS 1 weeks
- BEVEL GEARS 1 weeks
- WORM GEARS 1 weeks
- FLEXIBLE MECHANICAL ELEMENTS(Belts, Chains and Ropes) 1 weeks
- CLUTCHES, BRAKES AND COUPLINGS 1 weeks
- SHAFTS 1 weeks

EXAMS

2 midterm exams (20% each; 20% + 20%) = 40%

2 to 3 term projects (20% total) = 20%

1 final exam (40%) = 40%


+-----
=100%

MECHANICAL ENGINEERING DESIGN

First Metric Edition



Joseph Edward Shigley
Professor Emeritus
The University of Michigan



McGraw-Hill Book Company

*New York St. Louis San Francisco Auckland Bogotá Hamburg
London Madrid Mexico Montreal New Delhi Panama Paris
São Paulo Singapore Sydney Tokyo Toronto*

ME 308
MACHINE ELEMENTS II
PROGRAMME 2024-2025 SPRING

WEEK	DATE	CHAPTER	TOPICS
1	24.02.2025	1	Introduction
1	27.02.2025	2	Mechanical Springs
2	03.03.2025	2	Mechanical Springs
2	06.03.2025	2	Mechanical Springs
3	10.03.2025	2	Mechanical Springs
3	13.03.2025	2	Mechanical Springs
4	17.03.2025	3	Rolling Contact Bearings
4	20.03.2025	3	Rolling Contact Bearings
5	24.03.2025	3	Rolling Contact Bearings
5	27.03.2025	3	Rolling Contact Bearings
6	31.03.2025		Ramazan Bayramı
6	03.04.2025	4	Journal Bearings
7	07.04.2025	4	Journal Bearings
7	10.04.2025	4	Journal Bearings
8	14.04.2025	4	Journal Bearings
8	17.04.2025	5	Spur Gears
9	21.04.2025	5	Spur Gears
9	24.04.2025		MIDTERM I

WEEK	DATE	CHAPTER	TOPICS
10	28.04.2025	5	Spur Gears
10	01.05.2025		1 Mayıs İşçi Bayramı
11	05.05.2025	5	Spur Gears
11	08.05.2025	5	Spur Gears
12	12.05.2025	6	Helical Gears
12	15.05.2025	6	Helical Gears
13	19.05.2025	6	Helical Gears
13	22.05.2025	7	Bevel Gears
14	26.05.2025	7	Bevel Gears
14	29.05.2025		MIDTERM II
15	02.06.2025	8	Worm Gears
15	05.06.2025	9	Flexible Mechanical Elements (Belts, Chains and Ropes)
16	09.06.2025	9	Kurban Bayramı
16	12.06.2025	10	Clutches, Brakes, Couplings and Shafts

TEXTBOOK:

MECHANICAL ENGINEERING DESIGN by J E Shigley, 1st Metric Edition or
MECHANICAL ENGINEERING DESIGN by J E Shigley & L D Mitchell, 4th Edition.

SOME OF THE OTHER REFERENCE BOOKS:

EXAMS:

2 Midterm Exams (20 % each)	40 %
2 to 3 Term Projects (20 % total)	20 %
Final Exam (40 %)	40 %

+-----

100 %

TASARIM GÜVENLİK KATSAYISI - SAFETY FACTOR (DESIGN FACTOR)

- Tasarım güvenlik katsayısı (n) tasarımı yapılan makine elemanının yük taşıma kapasitesi olarak tasarım yüküne göre kaç kerre daha emniyetli olduğunu gösterir. Ancak makine veya elemanın tasarımında kullanılan güvenlik katsayısı hiçbir zaman kullanıcıya (veya başka birine) bildirilmez. Kullanıcı açısından bilinmesi gereken şey azami yükleme değerleridir (ki bu da tasarımda kullanılan ve gerekli güvenlik katsayısını sağlayan yük veya gerilme değerleridir).
- Örnek olarak yük taşıyan bir çok kamyonet ve benzeri araçlarda **“istihap haddi 5000 kg”**dır gibi taşıyabileceği azami yük miktarını belirten yazılar vardır. Eğer bu araçta kullanılan elemanların **en düşük tasarım güvenlik katsayısı 2** olarak alınmışsa bunun manası şudur:
- *“Bu araç $2 \times 5.000 = 10.000$ kg’a kadar yük taşıyabilir ancak bunun hiçbir garantisi yoktur ve her an arıza verebilir. Kısa sürede arıza vermese bile muhtemelen bu araç için öngörülen ömür fazla yüklemeye dolaylı kısalmaktadır.”*
- Eğer tasarım sırasında güvenlik katsayısı daha da küçültülerek 1’e yaklaştırılırsa (1.2, 1.3 gibi) ve kullanıcının kazara veya bilinçsiz kullanımından dolayı aşırı yükleme ihtimali varsa aracın veya elemanlarının kırılma, bozulma veya fonksiyonlarını yerine getirememeye riski daha da artmaktadır.

- Bütün tasarımlarda **amaçlar ve zorunluluklar** vardır. Bunların bazıları:
- Eleman fonksiyonunu kaybetmeden en fazla yükü taşımalıdır (safety- güvenlik)
- Kullanılan malzeme pahalıdır veya az yer işgali istenmektedir, o yüzden en az malzeme kullanılmalıdır. (minimum volume –en az hacim)
- Elemanın ağırlığı bazı sebeplerle en aza indirilmelidir. (minimum weight - en az ağırlık)
- Eleman belli bir boşlukta-aralıkta çalışacağı için boyutları belli değerleri aşmamalıdır. (dimensional constraints – boyutsal sınırlamalar)
- Eğer tasarımda (uçaklarda ve helikopterlerde olduğu gibi) temel zorunluluk (amaç) ağırlığı ve dolaylı olarak da boyutları en aza indirmek ise güvenlik katsayısı genellikle 2'nin altında ve 1'e yaklaşan değerler(1.2, 1.3 etc.) alınır, ancak çok dikkatli ve gerçeğe yakın gerilme analizleri yapılması gerekir. Bu çalışmalar model-prototip elemanlar üzerindeki deneysel (gerilme analizi) çalışmalar olabileceği gibi sonlu elemanlar analizi de olabilir.

- Ama bununla beraber **insan hayatının riskte olduğu bütün uygulamalarda katsayının yükseltilmesi gerekir**. Eğer analizler çok güvenilir bir şekilde yapılabilirse (ki hava taşıtlarında bu yapılmaktadır) bu değer 2'nin altına indirilebilir.
- Ağırlığın çok önem arz etmediği uygulamalarda bu katsayı 2'den büyük seçilmelidir.
- $2 < n = 4 \dots \dots \dots 10$
- Eğer kullanılan malzeme sünek (ductile), sistem statik yük altında ve malzeme özellikleri (akma veya kopma gerilmeleri) hakkında şüpheler yoksa katsayı 2'ye yakın alınabilir
- $2 < n < 3$
- Eğer kullanılan malzeme sünek ancak sistemdeki yükler dinamik veya tam olarak tespit veya tahmin edilemiyorsa veya malzeme özellikleri (akma veya kopma gerilmeleri) hakkında şüpheler varsa veya analizler çok detaylı ve hassas yapılamıyorsa katsayı en az 3 olmalıdır
- $3 < n < 4$

- Eğer kullanılan malzeme gevrek (brittle), sistem statik yük altında ve malzeme özellikleri (akma veya kopma gerilmeleri) hakkında şüpheler yoksa katsayı 3'e yakın alınabilir.
- $3 < n < 4$
- Eğer kullanılan malzeme gevrek ve yine malzeme özellikleri (akma veya kopma gerilmeleri) hakkında şüpheler varsa veya analizler çok detaylı ve hassas yapılamıyorsa katsayı en az 4 olmalıdır.
- $4 < n < 6$
- Eğer sistemdeki yükler şok (impact) yani ani yük değerlerini alabiliyorsa yukarıdaki değerlere 2 eklenmesi gerekir.
- Eğer tasarlanan eleman sistem içinde kritik, hayati bir önem arz eden ve değiştirilmesi veya yenilenmesi zor ve pahalıya mal olan bir elemansa katsayının alt ve üst değerlerini 1 veya 2 artırarak kullanmak gerekir.

- Eğer tasarlanan eleman kırıldığında veya çalışamaz duruma geldiğinde kullanıcı veya çevresindeki insanların hayatı direkt olarak riske giriyorsa değerleri 2-4 artırarak kullanmak gerekir. Örnek olarak insan taşıyan asansör tasarımlarında kiritik elemanların güvenlik katsayıları 10-15'lere kadar varır.
- Güvenlik katsayısı, taşınan yük oranı (N veya kg) cinsinden olabileceği gibi malzeme içinde oluşan gerilme oranı (N/mm² veya kg/mm²) cinsinden de olabilir. Bu uygulamaya göre değişebilir. Örnek olarak baskı yükü altındaki kolonların (columns against buckling) burkulmaya karşı olan güvenlik katsayısı yük oranları cinsinden hesaplanır.
- **$n = \text{Azami uygulanabilir yük} / \text{gerçek yük}$**

- Ancak mühendislikte çoğunlukla değişmeyen faktör malzeme gerilme dayanımı (akma ya da kopma gerilmesi) olduğu için güvenlik katsayısı genellikle gerilme oranı cinsinden verilir.
- **$n = \text{malzeme gerilme dayanımı} / \text{gerçek gerilme miktarı}$**
- Yorulma uygulamalarında güvenlik katsayısı her zaman iki sayının oranı cinsinden olmayabilir. Gerilme değerlerinin ortalama ve değişken kısımları ile malzemenin yorulma dayanımı mukavemeti de hesaba katılarak güvenlik katsayısı bulunur.
- Görüldüęü gibi malzemenin mekanik özellikleri (akma sınırı, kopma sınırı, yorulma dayanımı vs.) tasarım sırasında mutlaka bilinmesi gereken değerlerdir ve standart deneylerle doğru şekilde tespit edilmesi gerekir. Ancak deneylerle tespit edilen bu değerler mutlak olmayıp bazı etken faktörler sebebiyle ortalama bir değerdir ve az da olsa bir tolerans aralığına sahiptir.

THE END