

Endüstri ürünleri tasarımında strüktür

Demet GÜNAL ERTAŞ*, **Nigan BAYAZIT**

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Strüktür endüstri ürünleri tasarımının önemli bileşenlerinden biridir. Mesleki eğitim ve uygulama süreci içinde endüstri ürünleri tasarımının kurgulanması ve üretilmesi için strüktür kavramının bilinmesi, malzemelerle ilişkilerinin doğru kurulması gerekmektedir. Bu tezde endüstri ürünü tasarımında strüktür ve malzemeyi kapsayan yapısal özelliklerin tasarıma etkilerinin irdelenmesi amaçlanmaktadır. Strüktür kavramı bu kavramın tasarımdaki yeri ve önemi, tasarıma etkileri üzerinde durulmaktadır. Farklı endüstri ürünleri tasarımlarından örnekler strüktür, biçim, malzeme, işlev ilişkileri yönünden incelenmektedir ve sınıflandırılmaktadır. Çalışmanın daha sonraki aşamasında ise "strüktür tasarımında 'strain gauge' olarak adlandırılan gerinim ölçer (birim uzama) tekniği ile şekil değiştirme ölçümü ve gerilme analizinin kullanılması" konusu tasarımda faydalanılacak bir yöntem olarak önerilmektedir. Tasarımda farklı yöntemlerin geliştirilmesi yaratıcılığın artırılması, özgün tasarımların yapılması açısından faydalı olacaktır. Endüstri ürünleri tasarımı alanında strüktürel çalışmalar tasarımın geliştirilmesinde faydalı olacaktır. Tasarımda kullanılması önerilen gerinim ölçer ile ölçme tekniği ve gerilme analizinden yeni tasarlanacak endüstri ürünleri tasarımları ve mevcut tasarımlarda yapılacak geliştirme çalışmaları için faydalanılabileceğini öngörerek, bu ilişkinin ne şekilde kurulabileceğini göstermek üzere bu yöntem bir örnek üzerinde uygulanmıştır. Önerilen yöntem ışığında tasarımda hangi ölçütlerden nasıl yararlanılacağı üzerinde durulmaktadır. Çalışmada kullanılan yöntemler arasında mevcut endüstri ürünleri tasarımlarının analizi, gerinim ölçer ile ölçüm tekniği, bilgisayar ortamında gerilme analizleri yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Endüstri ürünleri tasarımı, strüktür, biçim, gerinim ölçer.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Demet GÜNAL ERTAŞ. ertas@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Programında tamamlanmış olan "Endüstri ürünleri tasarımında yapısal özelliklerin tasarıma etkileri" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 26.12.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 30.01.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Structure in industrial product design

Extended abstract

At present we have a wide variety of industrial products. Structure in design is very important, one of the most important concepts in nature and also in different disciplines such as architecture and arts. The value of such a concept is to be used as an advantage in the area of industrial product design and also increasing the structural studies in that area will be helpful. This article is based on the structural studies which will be useful the field of design.

In this study we searched about the affects of the structural characteristics of industrial product design. The two structural characteristics such as structure and material are examined for their relationship with some other factors in production process, which are effective factors in product design. One of the objectives of this study is to deal with the structure concept, which has lack of interest in industrial product design, in details with all the means of utility, and though explain the theme "structure in design" from a different perspective.

Another objective of the study is to make searches about how to increase the usage of the structural studies in the areas of design and product development, thus being a guide for those kinds of works. It is studied to improve a method which will prove that the structural studies help design from a technical point of view and to the ability of creativity. It is aimed to make the studies to be directed to create variation in design. Also improving a method to develop the designs technically is among the objectives. It is also aimed at to make a research on the topics such as creating variety on design, and increasing the quality of the designed products.

In the study it is intended to analyze a variety of designs with different characteristics and different qualities, which are involved in the existent design literature and also in our daily life. Though classifying the designs which have similar structural characteristics in the same group and constituting a classification system for the industrial designs are also aimed at in this study. Knowledge of the structure and knowledge of the structural characteristics will be useful in design area and in taking structural decisions.

Various methods are used in this study. These are: 1) analysis of the different product designs, 2) measurement with the strain gauge technology, 3) tension analysis on the computer and design. Different structural characteristics of the industrial products and types of their structures are investigated. The relationship of shape-material-structure are observed and analyzed on different samples of industrial products. Affects and function of structure in designing specific industrial products are examined.

One of the objectives of this study is to improve the design of industrial product, that does not include only form design, but includes the design of technical elements, which are integrated with the material characteristics, thus proving the possibility of creating more functional and specific products.

The usage of the material and energy used in any area are important for the people. So that usage and quantity of the material and the number of parts used in the industrial products are very important. Those should have enough quantity to be used but not more than required. Designers and engineers should improve the optimum solution. Creating good solutions will be possible due to using different technologies and methods in product design and production process.

In this study, we investigated usage of different methods in designing the product structure. How the strain gauge method can be utilized in designing, are studied. We defined how we can utilize this technique within the product design process. As a method strain measurements and stress analysis can be use for the decisions about design and product. We can see something on product due to these measurements, their results and analysis. We can see some mistakes about material selection. So that we can suggest appropriate material for product. This measurement method may be useful for to recognize advantages of some shapes and materials of products. In the study it is searched how to utilize structural studies in design. The necessary factors are impressed in those dedicated studies. It is mentioned how to deal with those factors. All those mentioned and recommended methods are applied on a chair design, and used in the process of design development.

Keywords: Industrial product design, structure, form, strain gauge.

Giriş

Bu çalışmada strüktürel özelliklerin endüstri ürünleri tasarımına etkileri konusu ele alınmaktadır. Çalışmanın amaçlarından biri tasarımcılara yol gösterici olması bakımından endüstri ürünleri tasarımlarının strüktürel özelliklerine göre sınıflandırılması, avantajlı yönlerinin ve özelliklerinin, üretildikleri malzemelerin ortaya konmasıdır. Çalışmanın diğer bir amacı da strüktürel çalışmalardan tasarımı geliştirmede nasıl faydalanılabileceği ile ilgili araştırma yapmak, yol göstermek ve bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla projenin sonraki aşamasında endüstri ürünleri tasarımlarının strüktürel sınıflandırılmasında başlangıçta anlatılan farklı strüktürlerin tasarımlarının geliştirilmesinde 'strain gauge' adı verilen gerinim ölçer direnç bantları ile şekil değiştirme ölçümü ve gerilme analizinin bir yöntem olarak kullanılması önerisi üzerinde durulmaktadır. Bu yöntemden tasarımda strüktürel çalışmalarda faydalanılabileceğini göstermek üzere bir uygulama yapılmaktadır.

Çalışmada ele alınan, elektrik direnç bantları yardımıyla yapılan şekil değiştirme ölçümlerini ve bilgisayarda yapılan gerilme analizlerini içeren yöntemin endüstri ürünleri tasarımında strüktür geliştirmede kullanılabileceğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır.

Tasarımda strüktür

Endüstri ürünü tasarımında teknik, ergonomik ve estetik gereklilikler olmak üzere uyulması gereken çeşitli gereklilikler vardır (Mayall, 1967). Teknik gereklilikler arasında strüktürün önemli yeri vardır.

Farklı bilim dallarında strüktürden elemanlar ve parçalar arası ilişkiler düzeni ve bu ilişkileri biçimlendiren bir kavram olarak bahsedilmektedir. Tasarımda strüktür ise bir tasarım nesnesinin fiziksel yapısını tanımlayan bir terimdir. Endüstri ürünleri tasarımında strüktür, tasarımları ayakta tutan, biçiminin oluşmasına yardım eden, özel bir düzenle biraraya getirilmiş parçaların meydana getirildiği sistemdir. Tasarım olgusunun önemli öğelerinden strüktür, biçim ve malzeme tasarım olgusunun önemli öğelerindedir. Tasarımın ortaya konmasında, onu aya-

ğa kaldıran düzen olarak strüktür önemlidir. Strüktür sistemi bir ilişkiler bütünü olduğundan strüktürü oluşturan öğelerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin doğru tanımlanması gerekmektedir.

Strüktür türleri

Bu çalışmada farklı özellikler taşıyan strüktürler sınıflar altında toplanarak tanımlanmaktadır. Bunlar Tablo 1'de yer almaktadır. Amaç endüstri ürünleri tasarımında görülen strüktürlerin belli bir sistematik içinde analiz edilmesidir (Günel Ertaş ve Bayazıt, 2004).

Tablo 1. Endüstri ürünü tasarımlarında görülen strüktürler

1	Kabuklar
2	Dolu strüktürler
3	Çerçeveler a -Boru kesitli çerçeveler b -Dolu kesitli çerçeveler
4	Membranlar a-Yüzeysel membranlar b-Dolgulu membranlar c-Şişme membranlar
5	Levhalar a-Düzlem levhalar b-Nervürlü levhalar c-Katlanmış levhalar
6	Uzay kafesler
7	Asma gergi sistemler
8	Karma strüktürler

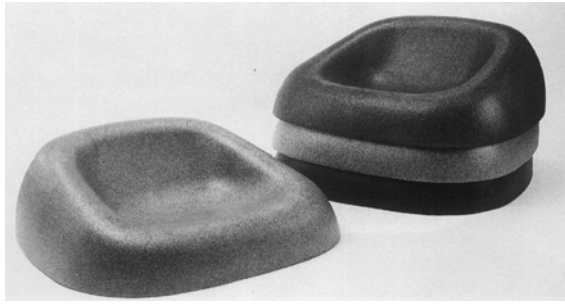
Kabuklar

Tanımı: Kabuklar belirli bir et kalınlığına sahip bir dış kabuğun kendi biçimiyle oluşturduğu ve ayakta tuttuğu strüktürlerdir. Kalınlıkları diğer boyutlarının yanında oldukça küçük değerler alan eğrisel yüzeyli elemanlardır.

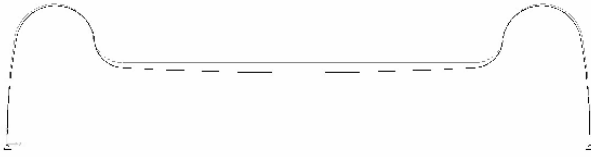
Kabuk tasarımlar: Kabuklar arasında sergileme elemanları, mobilya türleri, bilgisayar, elektrik süpürgesi gibi ürünler, seramik sağlık donatım malzemeleri, banyo armatürleri, kova, bardak benzeri ürünler, masa üstü ürünler, çaydanlık, tencere gibi mutfak gereçleri, bavul, çanta gibi aksesuarlar, aydınlatma armatürleri sayılabilir.

Strüktürel özellikler: Kabuklar ince, genellikle eğrilikli olan yüzeysel taşıyıcılardır.

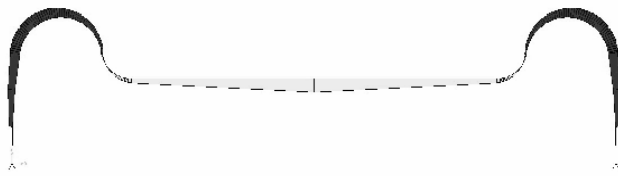
- Kabuklar genellikle tek parça olarak ayakta dururlar. Biçimlerinde sürekliliğin sağlanabildiği strüktürlerdir.
- Az malzeme ile istenen mukavemetin sağlanabildiği, dayanımları ölçülerine, kesit kalınlığına, biçimine ve malzemesine bağlı olarak değişebilen strüktürlerdir.
- Yükleri genellikle çekme, basınç ve kesme kuvvetleri ile aktarırlar (Engel, 2004).
- Düzgün yayılı yüke karşı mukavemetleri tekil yüke karşı mukavemetlerinden daha iyidir. Şekil 1'de kabuk bir oturma elemanının strüktürel davranışı görülmektedir.



a) Kabuk oturma elemanı



b) Kabuğun şekil değişimi



c) Kabuğun moment diyagramı

Şekil 1. Kabuğun strüktürel davranışı

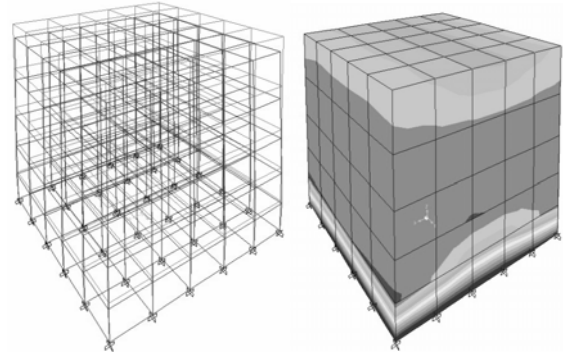
Dolu strüktürler

Tanım: Dolu strüktürler tasarlanan biçimi içi dolu bir kütle olarak ayakta tutan strüktürler olarak tanımlanabilir. Genellikle karmaşık geometrilerin tasarlanması, belli bir kütle ağırlığına gerek duyulması, malzemenin ve üretim yöntemlerinin getirdiği kısıtlamalar dolu strüktürlerin tasarlanmasını gerektirmektedir.

Dolu strüktür tasarımlar: Dolu strüktürler arasında bazı mobilyalar, bazı aksesuarlar, çatal kaşık gibi tasarımlar yer almaktadır.

Strüktürel özellikler: Her doğrultuda yük taşıyan kütsel taşıyıcılardır.

- Mukavemetleri, statik ve dinamik özellikleri geometrilerine bağlı olan strüktürlerdir.
- Dolu strüktürlerin dayanımı boyuta, biçime ve malzemeye bağlı olarak değişebilmektedir.
- İstenen mukavemetin malzemenin masif olarak kullanılmasıyla sağlanabildiği strüktürlerdir. Şekil 2'de dolu strüktür bir tasarımın davranışı görülmektedir.



a) Şekil Değişimleri b) Gerilmeler

Şekil 2. Dolu strüktür prizmatik taburenin strüktürel davranışı

Çerçeveseler

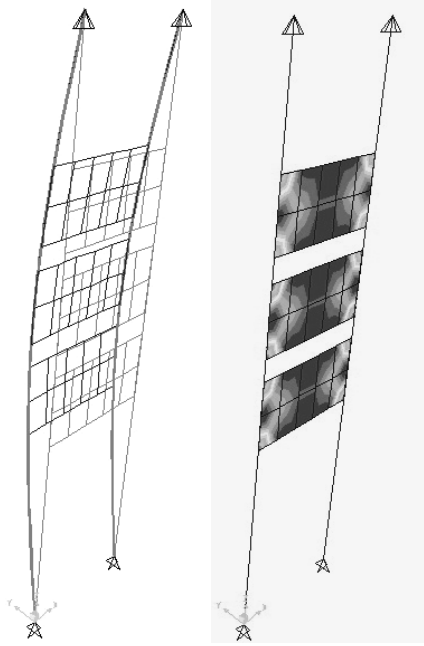
Tanım: Çerçeveseler yatay çubuklarla düşey çubuklar arasında rijit bir bağ oluşturularak elde edilen bir ana iskeletin, tasarımın taşıyıcı strüktürünü oluşturduğu sistemler olarak tanımlanabilir.

Çerçeve tasarımlar: Çerçeveselere örnek olarak mobilyalar, bisiklet, jimnastik aletleri, banyo mutfak aksesuarları, sergileme sistemleri, aydınlatma armatürleri sayılabilir.

Strüktürel özellikler: Çerçeveseler yüklerin farklı doğrultulardaki çubuklarla aktarıldığı sistemlerdir (Engel, 2004).

- Çerçeveselerin dengesinde sistemdeki çubukların doğrultuları, parçaların kesit biçimleri, boyutları, malzemeleri önemlidir.

- Düzgün yayılı yük ve noktasal yük karşısındaki davranışları farklıdır. Şekil 3'de panonun strüktürel davranışı görülmektedir .



a) Şekil Değişirme b) Gerilmeler

Şekil 3. Çerçevenin strüktürel davranışı

Membranlar

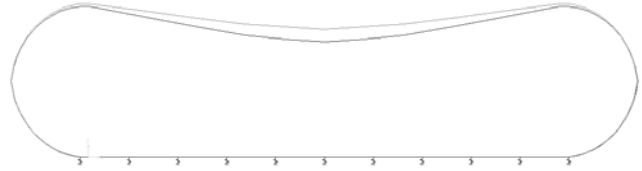
Tanımı: Membranlar içlerindeki hava, gaz, sıvı, köpük malzeme ya da artık malzeme ile ayakta duran, kendi öz rijitliği olmayan tam eğilebilir türden malzemelerle yapılmış strüktürler olarak tanımlanabilir. Membranlar yüzeysel membranlar, dolgulu membranlar ve şişme membranlar olarak gruplandırılabilir.

Membran tasarımlar: Membranlar arasında puf ya da şişme koltuk gibi mobilyalar, dolgulu ve şişme oyuncaklar, deniz aksesuarları sayılabilir.

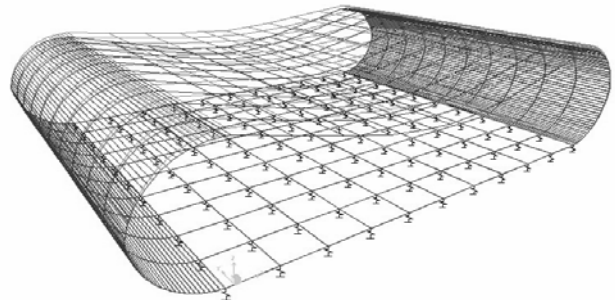
Strüktürel özellikler: Membranlar ancak çekmeye mukavemet edebilecek derecede rijit olmayan malzemelerle üretilmektedir. Dalgulu ve şişme membranlar içlerindeki dolgu ve hava sayesinde rijitlikleri artırılarak basınca dayanıklı hale getirilirler.

- Membranın üzerine etkiyen kuvvet membranın belli doğrultularda şekil değiştirmesiyle yüze ve belli bölgelere aktarılabilir.

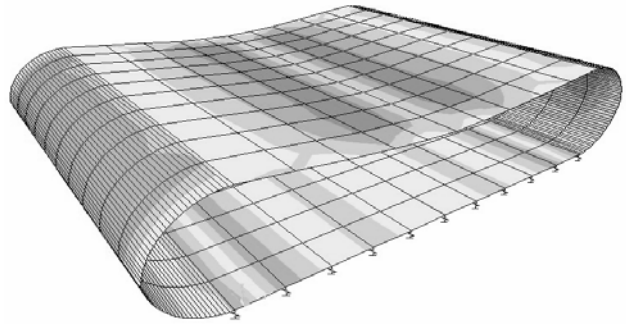
- Şişme membranlar basınç, çekme, kesme gibi yüklere maruz kalabilmektedir. Eğilme rijitlikleri düşüktür (Engel, 2004).
- İç basınç dış kuvvetlere eşit olduğunda teorik olarak membran dengelidir. Yüzeydeki gerilmeler sıfırdır.
- Şekil değiştirme sonucu kalıcı bir değişiklik ya da kırılma olmamaktadır. Şekil 4'te dolgulu membranın strüktürel davranışı görülmektedir.



a) Dolgulu membran oturma elemanı kesitinde şekil değiştirmeler



b) Dolgulu membrandaki şekil değiştirmeler



c) Dolgulu membrandaki gerilmeler

Şekil 4. Dolgulu membranın davranışı

Levhalar

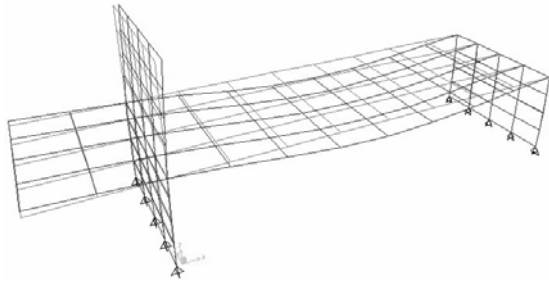
Tanımı: Levhalar kalınlığı diğer boyutlarına göre küçük düzlem elemanlarla oluşturulan iki doğrultuda yük dağılımının olduğu elemanlardır. Düzlem levha, nervürlü levha, katlanmış

levha olmak üzere farklı gruplar altında toplanmaktadır.

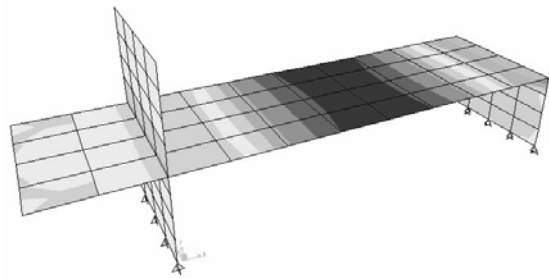
Levha tasarımlar: Levha tasarımlar arasında durak, park, sergi gibi çatı örtü sistemleri, sergileme elemanları, reklam panoları, masa, dolap sistemleri gibi mobilyalar sayılabilir.

Strüktürel özellikler: Levhalar yükü yüzeye en iyi şekilde aktaran elemanlardır.

- Levhalar çekme, basınç, kesme, eğilme kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar.
- Levhalarda eğilme momenti daha çöktür.
- Levhalarda sistemin dengelenmesinde sistemdeki levhaların biraraya gelişleri, biçim, bağlantı noktaları önemlidir.
- Levhaların davranışı kesit kalınlıklarına ve malzemelerine göre değişebilmektedir.
- Yayılı yüke gösterdikleri mukavemet tekil yüke gösterdikleri mukavemetten yüksektir. Şekil 5'te çerçeve askılığın strüktürel davranışı görülmektedir.



a) Levha mobilyadaki şekil değiştirmeler



b) Levha mobilyadaki gerilmeler

Şekil 5. Mobilyanın strüktürel davranışı

Uzay kafesler

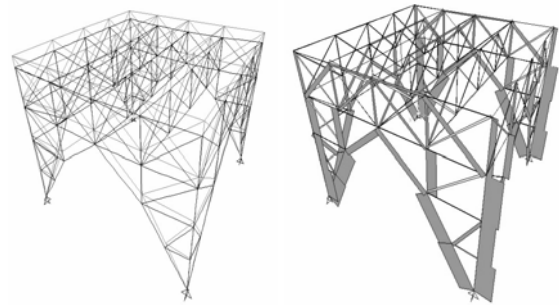
Tanımı: Uzay kafes sistemler çubukların düğüm noktalarıyla ve düğüm noktalarındaki çeşitli bağlantılarla oluşturdukları uzaysal taşıyıcı sis-

temlerdir. Uzay kafesler endüstri ürünleri tasarımında çok az görülmektedir.

Uzay kafes tasarımlar: Bu strüktürün özelliklerini taşıyan tasarımlar arasında durak, sergileme standları gibi ürünler, sergileme, depolama, satış ve reklam üniteleri, oyuncaklar, sehpa sandalye gibi mobilyalar yer almaktadır.

Strüktürel özellikler: Uzay kafeslerde çeşitli düzenler görülmektedir. Uzay kafesler geometrik olarak cisimlerin köşe veya kenarlarıyla belirlenirler.

- Uzay kafeslerde yük aktarımında, gelen kuvvetler çok sayıda çubuk ve farklı doğrultularda bileşenlere ayrılmaktadır.
- Genellikle üst tabaka basınca, alt tabaka çekmeye çalışmaktadır.
- Farklı düğüm noktası çözümleri kullanılabilir. Çubuk parçaların civata, kaynak, geçme gibi farklı şekillerde düğüm noktalarında birleşimini sağlayan çözümler geliştirilmiştir. Şekil 6'da uzay kafes oturma elemanının strüktürel davranışı görülmektedir.



a) Şekil değiştirmeler b) Kuvvetler

Şekil 6. Uzay kafesin strüktürel davranışı

Asma gergi sistemler

Tanımı: Asma sistemler membran, levha ya da kabuk elemanların kablo, ip, tel gibi elemanlarla asılmalarıyla oluşturulan çekme gerilmeli strüktürlerdir. Asma sistemlerin zemine, duvara, başka sabit elemanlara montajı yapılmaktadır.

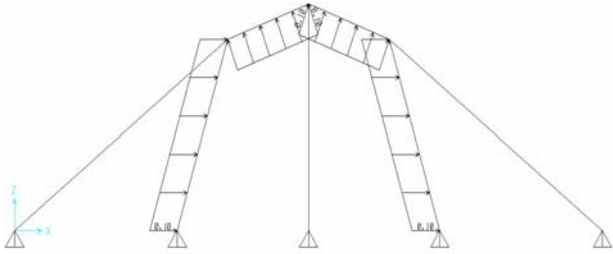
Asma gergi sistem tasarımlar: Bu strüktürün özelliklerini taşıyan tasarımlar arasında otobüs durakları, sergileme elemanları, çadırlar, bazı kitaplık ve raf sistemleri sayılabilir.

Strüktürel özellikler: Asma sistemlerde çekme gerilmeleri altında malzemeler basınç ve eğilmeye maruz olmalarıyla birlikte burkulma, devrilme ve buruşma için ek emniyet gerekmediği için daha rahat kullanılmaktadır.

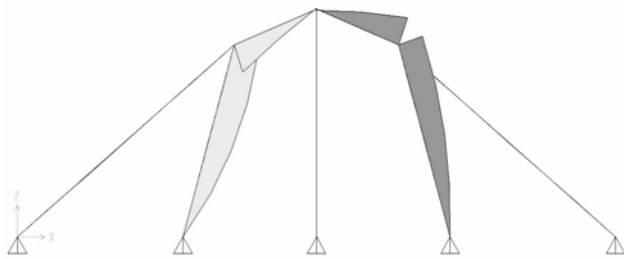
- Asma sistemler yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımına daha elverişlidir.
- Sistemdeki tel ve halatlar ya da eğilme rijitliği olmayan membran yüzeyler kuvvet doğrultusunda şekil değiştirecek biçimde yerleştirildiklerinde kuvveti aktarabilirler.
- Büyük boyutlu durak, çadır, sergileme sistemi gibi ürünlerde yüksek mukavemetli malzemelerin kullanılması ve bunlarla çekme gerilmeli asma sistemler oluşturulması açıklıkların az ağırlıkla geçilmesini, gerektiğinde sökülerek tekrar kurulabilen tasarımlar yaratılmasını sağlamaktadır. Şekil 7’de asma sistem çadır üzerinde strüktürel davranışları gösterilmektedir.



a) Asma sistem çadırın şekil değişimi



b) Asma sistem çadırda kuvvetler



c) Asma sistem çadırda momentler

Şekil 7. Çadırın strüktürel davranışı

Karma strüktürler

Tanımı: Karma strüktürler çeşitli strüktür türlerini birarada bulandıran, farklı strüktürlerin farklı özelliklerini taşıyan sistemlerdir. Karma sistemlerde farklı strüktürler birbirlerini tamamlayarak tasarım için doğru sistemin kurulmasını sağlamaktadırlar.

Karma strüktür tasarımlar: Karma strüktüre örnek olarak beyaz eşya, uçak, helikopter, araba gibi araçlar, aydınlatma armatürleri, mobilyalar, sergileme sistemleri, yönlendirme sistemleri, durak ve çatı örtü sistemleri verilebilir.

Strüktürel özellikler: İçerdikleri strüktürlerin farklı strüktürel özelliklerini birarada taşımaktadırlar.

Strüktür geliştirme

Çalışmanın bu aşamasında, yukarıda bahsedilen özellikleri taşıyan çeşitli strüktürlerin tasarlanmasında, geliştirilmesinde ve iyileştirilmesinde faydalanılabilecek bir yöntem üzerinde durulmaktadır. Çalışma gerinim ölçer ile ölçme tekniği ve deneysel gerilme analizininin strüktür geliştirme sürecinde kullanılabileceğini, bu teknikten nasıl faydalanılabileceğini göstermek amacıyla yapılan bir uygulamayı kapsamaktadır. Tasarımların strüktürleri için farklı hedefler konulabilmektedir. Buradaki uygulamada hedef olarak mukavemetin sağlanması, imalatta kullanılan malzeme ve parçaların azaltılması belirlenmiştir. Tasarımı bu hedeflere göre geliştirmek üzere strüktürde gerinim ölçer ile şekil değiştirme ölçümleri ve gerilme analizleri yapılmıştır. ‘Strain gauge’ ile ölçme tekniğinden aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Gerinim ölçer ile ölçme tekniği

Mühendislik uygulamalarında deneysel gerilme analizlerinin yapılabilmesi ancak şekil değiştirme elemanlarının ölçülmesi ve bu büyüklüklerle gerilmeler arasındaki bağıntıların kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir. Birim uzamanın ölçülmesinde en güvenilir sonuçları veren yöntem gerinim ölçer ile birim uzama uygulamasıdır. Gerinim ölçer tekniği sadece deneysel gerilme analizi yapmak için değil, ayrıca birçok fiziksel

büyüküğün ölçülmesinde de sık kullanılan bir araç haline gelmiştir. En çok kullanılan gerinim ölçer türü olan, bu çalışmada kullanılan elektriksel rezistans gerinim ölçerlerde direnci R olan bir metal tele aksel çekme kuvveti uygulanarak şekil değişimi ile direnç değişimi izlenmektedir. Direnç değişimi ile birim uzama arasındaki bağıntı yaklaşık kabullerle belirlenebilmektedir” (Toprak vd., 1997; Window, 1992).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

R : Direnç, ρ : Özdirenç, L : Uzunluk, A : Dik kesit. Kuvvetin değişimi ile birim uzama arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$dR = \frac{\rho}{A} dL + \frac{L}{A} d\rho - \frac{\rho L}{A^2} dA \quad (2)$$

$$\frac{dR}{R} = K\varepsilon \text{ bulunur.} \quad (3)$$

$$K = C(1 - 2\nu) + 1 + 2\nu \quad (4)$$

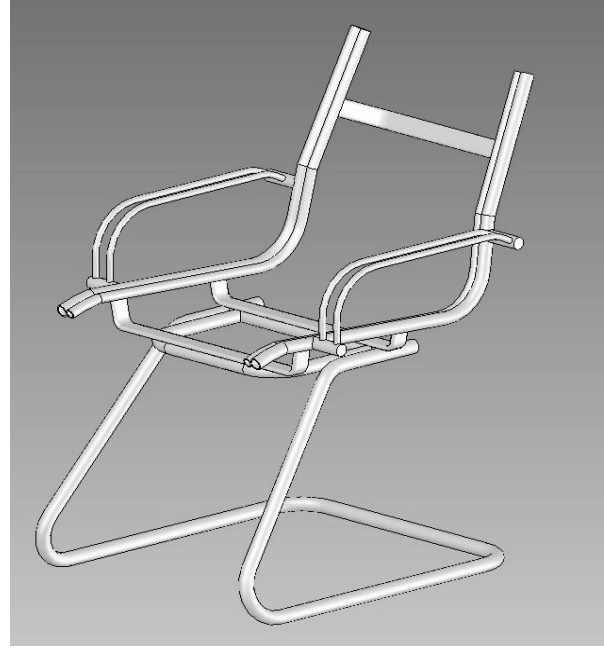
Burada K bir malzeme katsayısıdır ve gauge faktörü olarak tanımlanır. Bu bağıntıdan yararlanılarak direnç değişimi ölçülerek şekil değiştirme bileşeni hakkında bilgi elde edilebilecektir. Elastisite ve kayma modülü, yorulma gerilmesi gibi değerler de hesaplarda kullanılır (Toprak vd., 1997).

Mevcut tasarımın analizi

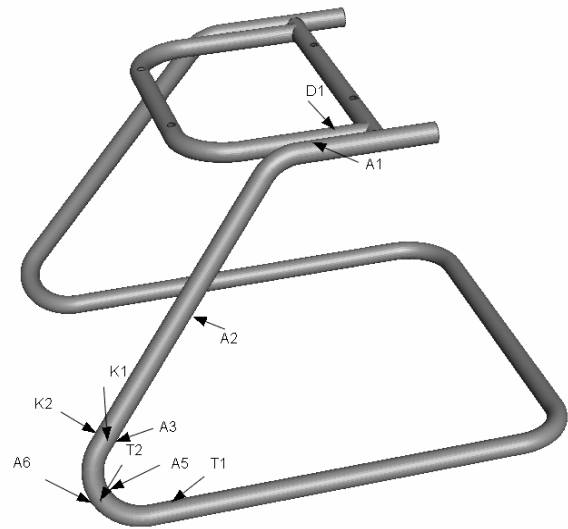
Çalışmanın bu aşamasında Şekil 8’de görülen boru kesitli çelik çerçeve sandalye üzerinde analizler yapılmıştır (Şekil 9, Şekil 10). Üzerinde deneysel çalışma yapılan sandalye içi boş daire kesitli çelik çerçeve strüktürden ve deri oturma bölümünden oluşmaktadır. Çelik mukavemeti sayesinde sandalye hafif, üretimi ve kullanımı kolay, dayanıklı bir tasarım niteliği taşımaktadır. Çelik çerçeve, tasarımın görselliğinin ve strüktürünün baskın öğesidir.

Tablo 2 ve Tablo 3’te görülen A2, T1, A5, K2, D1, T2, K1 kodları strüktür üzerindeki gerinim ölçerleri ve yapılandırıldıkları noktaları ifade et-

mektedir. Bu noktalar Şekil 9’da gösterilmektedir. Çerçeve belirlenen noktalara gerinim ölçer yapılandırılmıştır. Strüktür üzerine farklı yükler verilerek oluşan şekil değişimleri ölçülmüştür ve gerilmeler hesaplanmıştır. Ölçümlerle ve bilgisayarda yapılan sonlu elemanlar analiziyle elde edilen değerler birlikte ele alınarak strüktür için belirlenen hedeflere ulaşılması amacıyla tasarımda değişiklikler önerilmiştir. Önerilen tasarımda mukavemetin sağlanıp sağlanmadığı bilgisayar analizleriyle etüd edilmiştir.



Şekil 8. Çerçeve sandalyenin orjinal perspektifi



Şekil 9. Sandalyede ölçüm yapılan noktalar



Şekil 10. Çerçevadaki gerilmeler

Strüktür üzerinde mikrostrain birimiyle ölçülen şekil değiştirme değerleriyle

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{I} \quad (5)$$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (6)$$

formülleriyle gerilmeler hesaplanmıştır. ε birim boydaki değişme, σ gerilme, E elastiklik modülüdür. Tablo 2’de ve Tablo 3’teki gerilme değerleri görülmektedir.

Tablo 2. Gerinim ölçerlerle ölçümlerde elde edilen gerilmeler (N/mm²)

Ölçüm noktası	1.ölçüm gerilmeler σ	2. ölçüm gerilmeler σ	3. ölçüm gerilmeler σ	4. ölçüm gerilmeler σ	5. ölçüm gerilmeler σ
A2	-285.60	-247.80	-210.80	-204.00	-170.00
T1	-350.20	-305.60	-258.80	-216.60	-214.00
A5a	-115.52	-297.40	-86.20	-238.00	-63.52
A5b	-385.60	-321.20	-290.60	-267.80	-211.20
A5c	-236.00	-207.20	-176.40	-172.00	-126.40
K2	+334.80	+298.40	+249.80	+255.00	+210.00
D1	+139.40	+93.80	+84.80	+64.80	+38.00
T2a	+65.48	+111.00	+51.80	+79.60	+40.36
T2b	+98.40	+89.60	+79.40	+63.20	+62.20
T2c	+211.00	+209.60	+167.00	+153.60	+127.80
K1a	+69.92	+179.60	+53.64	+86.20	+41.32
K1b	+124.00	+103.60	+93.00	+130.80	+73.60
K1c	+169.00	+156.00	+134.00	+128.00	+106.60

Tablo 3. Bilgisayar analizine ve deneye göre gerilmeler

Ölçüm noktaları	120 kg yüklemdeki gerilmeler σ (N/mm ²)	180 kg yüklemdeki gerilmeler σ (N/mm ²)	Gerinim ölçerle labaratuvarında ölçüme göre gerilme aralığı σ (N/mm ²)
A2	103.43	157.70	60.40-285.60
T1	78.38	120.18	97-350.20
A5	294.88	452.547	132.20-385.60
K2	211.03	322.79	107.60-334.80
D1	69.31	103.707	38-139.40
T2	300.415	463.007	38.60-98.40
K1	55.19	85.31	49.20-130.80
A6	275.92	423.25	-
A3	147.86	225.14	-
A1	23.64	35.24	-

Tasarımda kullanılan malzemenin akma gerilmesi 800 N/mm^2 , elastisite modülü $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 'dir, emniyet gerilmesi 14000 N/cm^2 'dir. A2 noktasında oluşan gerilme değerlerinin -285 ile -170 N/mm^2 aralığında kaldığı görülmüştür. Bu gerilme değerleri tasarımda kullanılan çeliğin akma gerilmesi olan 800 N/mm^2 'nin altında kaldığından, A2 noktasındaki gerilme değerleri normal sınırlar içinde kalmaktadır.

T1 noktasındaki gerilme değerleri -350.20 N/mm^2 ile -214 N/mm^2 arasında kalmaktadır. Bu da sandalye malzemesinin akma gerilmesi olan 800 N/mm^2 'nin ve emniyet gerilmesi olan 14000 N/cm^2 'nin altında kalmaktadır. Tasarımın T1 noktasında strüktürel bir sorun ya da istenmeyen şekil değiştirme görülmemektedir.

A5a'da sırtlığa yük verilmediğinde -39.76 N/mm^2 olan gerilme, sırtlığa yük verildiğinde -115.52 N/mm^2 'ye çıkmaktadır. Gerilmedeki bu artışın sebeplerinden biri arkaya yük verildiğinde ağırlık merkezinin yer değiştirmesidir. Normal gerilme -115.52 N/mm^2 ile -63.52 N/mm^2 aralığındadır ve akma gerilmesi ile emniyet gerilmesinin altında kaldığından kalıcı bir şekil değiştirme olmamaktadır. Eksen doğrultusundaki A5 b kodlu gerinim ölçerde sırtlığa yük verildiği durumdaki gerilme -385.60 N/mm^2 ile -211.20 N/mm^2 aralığındadır. Bu değer çeliğin akma gerilmesinin altında kalmaktadır. A5c kodlu gerinim ölçerde sırtlığa yük verilmediğinde -89.80 N/mm^2 olarak hesaplanan gerilme, sırtlığa yaslayarak yükleme yapıldığında -236 N/mm^2 ile -126.40 N/mm^2 aralığında değişmektedir. Normal gerilmeler A5 kodlu gerinim ölçerin olduğu noktada akma gerilmesinin altında kalmaktadır. Kalıcı şekil değiştirme yoktur.

K2 noktasında, sırtlığa yaslanıldığı durumlarda değişen yüklere göre gerilme değerleri $+334.80 \text{ N/mm}^2$ ile $+210 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. Bu gerilmeler de akma gerilmesinin altında kalmaktadır ve sorun teşkil etmemektedir.

D1 noktasında sırta yük verilmediğinde -126.80 N/mm^2 olarak hesaplanan gerilme, sırtlığa yaslanıldığında $+139.40 \text{ N/mm}^2$ ile $+38.00 \text{ N/mm}^2$ aralığında kalmaktadır. Değerler akma gerilmesinin ve emniyet gerilmesinin altındadır.

Sırtlığa yük verilerek yükleme yapıldığı durumda T2a'daki gerilmeler $+65.48 \text{ N/mm}^2$ ile $+40.32 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. Eksen doğrultusundaki T2b'deki gerilmeler $+98.40 \text{ N/mm}^2$ ile $+62.20 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. T2c'deki gerilmeler $+211.00 \text{ N/mm}^2$ ile $+127.80 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. T2 kodlu gerilim ölçerin olduğu noktada kırılma, açılma, eliptik kesit gibi strüktürü olumsuz etkileyebilecek farklı hareketler olmasına rağmen gerilmelerin sınır değerleri aşmadığı, istenmeyen bir şekil değiştirmenin olmadığı görülmektedir.

Sırtlığa yük verilmediği durumda gerilme K1a'da $+29.20 \text{ N/mm}^2$, K1b'de $+49.20 \text{ N/mm}^2$, K1c'de $+76.40 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Sırtlığa yük verildiği durumlarda K1a'da gerilmeler $+69.92 \text{ N/mm}^2$ ile $+41.32 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. Eksen doğrultusundaki K1b'de gerilmeler $+124.00 \text{ N/mm}^2$ ile $+73.60 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. K1c'de gerilmeler $+169.00 \text{ N/mm}^2$ ile $+106.60 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. Bu gerilme değerlerinin 800 N/mm^2 olan akma gerilmesinin altında kaldıkları görülmektedir.

Ele alınan strüktürdeki gerilmeler standart bir sandalye için fazla bulunabilir; şekil değiştirme, akma ve kırılma oluşabilir. Ancak bu tasarımda akma gerilmesi yüksek bir malzeme olan yay çeliğinin kullanılmasıyla çeşitli strüktürel sorunların oluşması engellenmiştir.

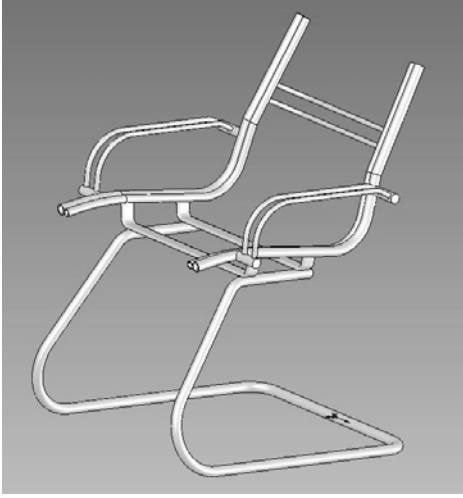
Yeni strüktür tasarımı önerisi

Analizlere göre strüktür ile ilgili çeşitli yorumlar yapılması ve öneriler geliştirilmesi mümkündür. Burada analizler sonucu strüktürün malzemesiyle, zayıf olan ve zayıf olmayan bölgeleriyle ilgili tespitler yapılmış ve tasarımda Şekil 11'deki değişiklikler önerilmiştir.

Önerilen strüktürün analizi

Şekil 11'de önerilen yeni strüktür üzerinde, sorun olup olmadığını görmek amacıyla, daha önce mevcut strüktür üzerinde yapılan işlemler yapılmıştır. Abaqus programında çizilen strüktüre bilgisayar ortamında yükleme yapılarak çeşitli bölgelerdeki gerilmeler incelenmiştir. Tablo

4'te bazı noktalardaki gerilme değerleri görülmektedir.



Şekil 11. Önerilen strüktürün perspektifi

Strüktürün oturma bölümü altına gelen birbirine paralel iki yatay parçası için bilgisayarda gerilmeler hesaplanmıştır. Bu bölgede en düşük ve en yüksek gerilmeler 24 MPa-195 MPa aralığındadır. Yatay kayıtın orta bölgesindeki gerilme 97.77 MPa-195.26 MPa aralığındadır. 800 N/mm² değerindeki akma gerilmesinin altında kalmaktadır. Gerilme bilgisayarda U1 noktasında 105.88 MPa, U2 noktasında 104.7 MPa olarak hesaplanmıştır. Kayıtların altında kalan bacağa geçişteki kıvrımlı bölgede gerilmeler 73.39 MPa-195.26 MPa aralığında akma gerilmesinin altında kalmaktadır.

Tablo 4. Önerilen strüktür üzerindeki noktalarda bilgisayarda hesaplanan gerilmeler

Ölçüm noktaları	Bilgisayardaki analiz programında 120 kg yük altındaki gerilme (N/mm ²)	Bilgisayardaki analiz programında 180 kg yük altındaki gerilme (N/mm ²)
A2	296.568	278.29
T1	64.72	94.66
A5	282.136	420.63
K2	263.773	394.116
T2	115.276	172.44
K1	69.333	103.81
A6	296.568	440.92
A3	235.355	351.152
A1	61.92	92.954
U1	105.88	159.98
U2	104.7	158.15

Strüktürdeki bacağın zemine doğru dairesel kıvrılan bölgesi için gerilmeler hesaplanmıştır. Bu bölgede en düşük ve en yüksek gerilmeler 97.77 MPa-292.75 MPa aralığındadır. Borunun kıvrıldığı orta aksa yakın bölgede gerilme 74 MPa-292.75 MPa aralığındadır. Değerler çeliğin akma gerilmesinin altında kalmaktadır ve strüktürel bir sorun yaşanmamaktadır.

Bilgisayar analizinde strüktüre 120 kg yüklenildiğinde gerilmeler A5'te 282.136 MPa, T2'de 115.276 MPa, A6'da 296.56 MPa, T1'de 64.72 MPa, K1 69.33 MPa, K2 263.773 MPa, A3 235.35 MPa hesaplanmıştır.

Önerilen strüktürde çeşitli bölgelerdeki gerilmeler akma gerilmesinin altında kaldığından sorun oluşmamaktadır. Gerek mevcut tasarım üzerinde yapılan deneysel çalışmaya ve bilgisayar analizine, gerekse önerilen strüktür üzerinde yapılan bilgisayar analizlerine dayanılarak, önerilen tasarımın, mevcut tasarımın görsel etkisini bozmadan parça azaltmayı, strüktürü hafifletmeyi, maliyeti ve üretim sürecini kısaltmayı hedefleyerek üretilebileceği, mukavemetin sağlanabileceği görülmektedir. Mevcut tasarımdaki boyutların küçültülmesine ve bazı parçaların çıkarılmasına rağmen, strüktür gene mukavimdir. Önerilen strüktürün mevcut çerçeve strüktüre göre üstünlükleri aşağıda ifade edilmektedir.

- Mevcut sandalyenin çerçeve strüktürünün ağırlığı 13 kg olmasına rağmen strüktürün yeni önerilen hali 9 kg'dır. Önerilen çerçevenin daha hafif olması çerçeveyi oluşturan borunun kesitinin küçültülmesiyle, parça sayısının azaltılmasıyla ve kullanılan çeliğin değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Hafifliğin sağladıkları ise tasarımın kullanımının, taşınmasının kolaylaştırılmasıdır.
- Sandalye için önerilen çerçeve strüktürdeki parça sayısı, mevcut strüktüre göre bir U biçimli parça ve bir de çubuk parça olmak üzere iki parça daha azdır. Parça eksiltilmesinin sağladıkları malzeme sarfiyatının azaltılması, maliyetin düşürülmesi, imalattaki işlem sayısının azaltılmasıdır.
- Strüktürdeki parça sayısının azaltılması, bu parçalarla birlikte dört bölgede kaynak yapma işleminin ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır.

Parça eksiltilmesinin sağladıkları arasında strüktür için imalat sırasında gerçekleştirilen işlemlerin sayısının, dolayısıyla imalat süresinin azaltılmasıdır.

Yukarıda mevcut tasarımın strüktürünü hedefler doğrultusunda geliştirebilmek için bir öneri getirilmektedir. Burada geliştirilmeye çalışılan yöntemin çeşitli tasarımlar üzerinde değişik şekillerde uygulanması mümkündür. Burada önerilen strüktürel hedefler dışında başka hedeflerin konulması, farklı etkenlerin ön plana alınması, çeşitli önerilerin geliştirilmesi mümkündür. Bu önerilerin sayısı artırılabilir. Örneğin başka bir alternatif tasarım çözüm olarak maliyetin düşürülmesi amacıyla tasarımda başka bir metalin kullanılması önerilebilir. Bu takdirde burada önerilen boyutların artırılması gerekebilir.

Tasarımda gerilme analizi yönteminin uygulanması, uygulamadaki değerlendirmeler, farklı tasarımlara, amaçlara, hedeflere, ölçütlere, şartlara, beklentilere bağlı olarak değişecektir. Geliştirilen strüktürler bilgisayar ortamında farklı programlarla analiz edilerek her biri için şekil değiştirmeler, gerilmeler görülebilir ve grafiklerle ifade edilebilir. Bu grafiklere bakılarak tasarımda öncelikli kriterler gözönüne alınarak değerlendirme yapılabilir. Optimum çözüm üretilebilir. Tasarım sürecinde, tasarımı analizlere dayanarak geliştirmede tek bir doğru çözüm olmamakla beraber, yöntem doğru çözümlere ulaşmada yol gösterici ve yardımcı olacaktır.

Sonuç

Tasarımların geliştirilmesinde, strüktürel çalışmalardan faydalanılabilir. Belli bir mantığı olan strüktürel çalışmalardan, gerinim ölçer ile ölçüm tekniğinden ve gerilme analizlerinden faydalanılması tasarım ekiplerine strüktürlerin geliştirilebilmesinde, temel kararların alınmasında, dolayısıyla tasarımın geliştirilmesinde yardımcı olacaktır. Tablo 5'te strüktür geliştirmede faydalanılabilecek çalışmalara değinilmektedir.

Strüktürle ilgili çeşitli kararlarda, strüktürün boyutlandırılmasında, strüktür için malzeme önerilmesinde, malzeme ve parça kullanımının optimize edilmesinde gerinim ölçer ile ölçüm tek-

niği ve gerilme analizlerinin kullanılması tasarıma yardımcı bir yöntem olarak faydalı olacaktır. Tasarıma strüktürel çalışmalarla katkıda bulunulması, yukarıda anlatılan işlemlerin farklı şekillerde ve farklı ağırlıklarla analiziyle kolaylaşacaktır. Gerinim ölçer ile ölçme tekniği ve gerilme analizleri belirli ürün grupları için yapılacak strüktürel çalışmalarda daha yoğun olarak kullanılabilir.

Tablo 5. Tasarımda strüktür geliştirme için yapılabilecek çalışmalar

Tasarımda strüktürel çalışmalar	
A	Strüktürde hedeflenen özelliklerin sağlanması
	A-1-Ekonomi
	A-2-Hafiflik
	A-3-Kullanım kolaylığı ve performans
	A-4-Uzun ömür
	A-5-Yeni işlevler
	A-6-Yeni görünüm
	A-7-Mukavemet
B	Strüktürel sorunların giderilmesi
	B-1-Malzemenin kaynaklanan sorunların giderilmesi
	B-1-1-Malzemenin belirlenmesi
	B-1-2-Malzemenin doğru kullanılması
	B-1-3-Malzeme ve parça kullanımında optimizasyon
	B-1-4-Boyutlandırma
	B-2-Üretimden kaynaklanan strüktürel sorunların giderilmesi
	B-2-1-Birleşim detaylarının geliştirilmesi
	B-2-2-İmalat strüktür arasındaki ilişkinin doğru kurulması
	B-2-3-İmalatta işçiliğin azaltılması
	B-3-Strüktürün tasarımdan kaynaklanan sorunların giderilmesi
	B-3-1-Fiziksel hataların giderilmesi
	B-3-2-Strüktürün biçiminin geliştirilmesi
	B-3-3-Strüktür işlev ilişkisinin geliştirilmesi
	B-3-4-Parça ilişkilerinin düzenlenmesi

Tasarım gibi geniş bir alanda yeniliklere ulaşılabilmesi, doğru çözümlerin üretilmesi teknik bilgi ve donanım gerektirmektedir. Yeni teknolojilerden ve yöntemlerden faydalanmak, deneyimleri değerlendirmek tasarımcıların başarısını arttıracaktır. Strüktür tasarımında ve üretimde sağlamlık, sadelik, iyi görünüm, enerjinin korunumu, ekonomiklik, malzeme ve iş gücünün daha ekonomik kullanımı, yenilik, farklı işlevlere cevap verebilme, hafiflik, yüksek per-

formans gibi ölçütlere önem verilerek yapılacak tasarımlar daha başarılı olacaktır. Strüktüre önem verilmesiyle yaratıcılığın artmasının yanısıra teknik yönü gelişmiş özgün tasarımlar elde edilebilecektir. Strüktürü gerektiği gibi düşünülerek geliştirilmiş, mukavemet problemleri doğru çözülmüş, nitelikli tasarımlar ile hem üretici hem de kullanıcı memnuniyeti sağlanacaktır.

Kaynaklar

Buchanan R., Margolin V., (1995). *Discovering design- explorations in design studies*, The University of Chicago Press, Chicago.
Degarmo E.P., Black J.D., Kohser R.A., (1997). *Materials and processes in manufacturing*, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River.

Engel H., (2004). *Strüktür sistemleri*, Tasarım Yayın Grubu, İstanbul.
Günel Ertaş D., Bayazıt N., (2004). Strüktür ve malzeme özelliklerinin endüstri ürünleri tasarımına etkisi, 2. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi*, TMMOB, İstanbul, 6-8 Ekim.
Lesko J., (1998). *Materials and manufacturing guide industrial design*, printed in USA.
Mayall W.H., (1967). *Industrial design for engineers*, Iliffe Books Ltd., London.
Toprak T., Tüfekçi E., Kalava H., Bozdağ E., (1997). *Deneysel gerilme analizi-strain gauge uygulamaları*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Yayını.
Vasiliev V.V., Gürdal Z., (1999). *Optimal design-theory and applications to materials and structures*, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, Basel.
William S., (2003). Parameters of product design, *Materials and Design*, **24**, 7.