

Makina Mühendisliğinde Tasarım ve Tasarım İşlem Modelleri

Hüseyin R. Börklü

Yardımcı Doçent
Makina Eğitimi Bölümü
Teknik Eğitim Fakültesi
Gazi Üniversitesi
06500 Beşevler - ANKARA

Bu makalede, makina mühendisliği tasarım işlemi, içeriği ve tasarım işlem modelleri hakkında yapılan bir araştırma çalışması özetlenmektedir. Tasarım işlemi, fonksiyonel uzayda belirlenen ihtiyaçları fiziki çözüm uzayında en uygun karşılayabilecek ürünün tam bir tasvirini yapabilmek için gerekli faaliyetler bütünüdür. İçerik bakımından tasarım tasnifi; orjinal (veya yeni), adapte edilen, geçiş ve değişken (veya büyültülebilir) tasarım çeşitlerini kapsamaktadır. Karşılaştırmalı bir tarzda incelenen dört formal tasarım işlem modeli ise; sistematik, bilgi-işleme faaliyeti olarak, sınırlandırmaya dayalı ve aksiyometrik tasarım çeşitlerinden oluşmaktadır.

TASARIM İŞLEMİ

Henüz tam anlaşılabilmiş olmamasına rağmen tasarımın, oldukça karmaşık ve yüksek dereceli yaratıcılık gerektiren bir faaliyet şekli olduğuna dair genel bir görüş mevcuttur [1, 2]. Konuyla yeni ilgilenmekte olan birisi, mühendislik tasarımı alanındaki kaynaklara ilk göz atışta çeşitli yazarların farklı ve hatta çelişkili görüşlere sahip olduklarını zannederek şaşırabilir [2, 3, 4]. Ancak dikkatli bir çalışmanın arkasından, tasarımın "öz" bir tasarım tanımından (fonksiyonel tanım veya tasarım ihtiyaç tanımı şeklinde olan), bu fonksiyonel tanımla belirlenen görevleri karşılayabilecek yetenekte "somut" bir sistem, montaj veya parçanın üretimine doğru geliştiğinde pek çok otoritenin fikir birliğinde olduğu anlaşılabilir [1]. Tasarımcının fonksiyonel tanımla belirlediği hususların fiziksel bir mamüle dönüştürülebilmesi için gereken işlem, mamülden mamüle ve tasarımcıdan tasarımcıya değişmektedir. Tasarım işlemine tesir eden pek çok faktör vardır ve bunlardan büyük öneme sahip olduğu genelde kabul edilmiş dördü şunlardır:

- **Tasarım alanı:** Örneğin ürün, makinacılık, elektrik, elektromekanik, kimya, inşaat veya bunların birkaçının bir arada olduğu endüstri dallarından hangisine aittir ?
- **Tasarım seviyesi:** Tasarım, tüm bir sistem, montaj, altmontaj veya parçalardan hangisine aittir ?
- **Tasarımcı tecrübe birikimi ve eğitim düzeyi:** Tasarımcı, daha önce hiç benzer bir sistem

tasarlamış mıdır ?

- **Tasarım içeriği:** Tasarım, yüksek düzeyli orjinallik gerektiriyor mu veya bir civatanın ölçülendirilmesi gibi çok iyi bilinen bir kaç adımın takibini mi icap ettiriyor ?

Bunlardan ilk üç faktör yeterince açık olmakla birlikte dördüncüsü ek açıklama gerektirmektedir.

TASARIM İÇERİĞİ

İçerik bakımından tasarımı dört ayrı tasnifte değerlendirmek mümkündür [2, 3, 4]. Bunlar;

- Orjinal (veya yeni) tasarımlar,
- Adapte edilen tasarımlar,
- Geçiş tasarımları ve
- Değişken (veya büyültülebilir) tasarımlardır.

Bir orjinal (veya yeni) tasarım, teknik bir sistem (fabrika, makina veya montaj) için orjinal bir çözüm prensibinin başarılı bir şekilde uygulanmasını gerektirir [3]. Bu tasarım işlem şeklinde tasarımcı, oldukça fazla yeni fikirler ve yaratıcılık göstermelidir [4]. Top, tüfek, uçak, motorlu araç, uzay gemisi, bilgisayar v.b. gibi pek çok ürünün ilk tasarım ve imali, orjinal tasarımın uygulama örneklerindedir. Orjinal tasarımla ilgilenen bütün tasarımcıların, tasarım ihtiyaçlarını karşılamak için yeni fikir ve çözüm prensiplerini geliştirme yeteneğine sahip olmaları gerekir.

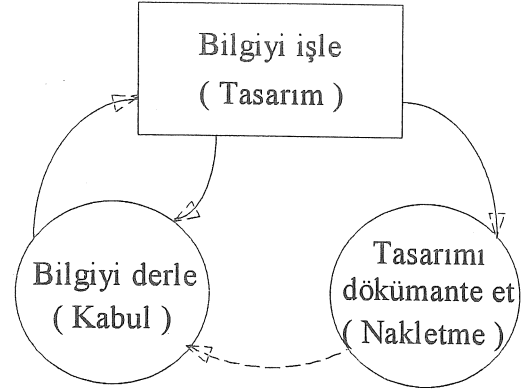
Bir adapte edilen tasarım, bilinen bir sistemin (çözüm prensipleri aynı kalarak) farklı bir görev için adapte edilmesini kapsar [3]. Örneğin, otomobildeki

Tasarım problem tanımı (specification), sadece tasarım ihtiyaçlarının başlangıç konumunu belirtmeyip; tasarımın ilerlemesine paralel olarak sürekli değiştirilmek ve geliştirilmek sureti ile güncel bir döküman hizmeti de ifa edecektir. Kavramsal tasarım safhası esnasında, bir dizi farklı tasarım çözümleri (tasarım alternatifleri) oluşturulup; aralarından en iyi biri veya daha fazla, şekillendirme tasarımı aşamasında ele alınmak üzere seçilecektir. Şekillendirme tasarım safhasında, tasarım oluşumu belirlenecek ve imalat işlemleri tespit edilecektir. Ayrıntılı tasarım safhası, tasarım işleminin son aşamasıdır ve burada; geometrik şekil, boyutlar, malzeme, yüzey pürüzlülüğü ve bireysel parçalara ait diğer özellikler belirlenecek ve tasarım montajının genel oluşumu geliştirilecektir. Tasarım işleminin bu bölümü, eğer tasarımda standart parçalar da kullanılacak ise, üretici firma kataloglarından (veya standart organizasyonların kataloglarından - TSE gibi -) parça belirlenmesi ve seçimini de kapsamaktadır.

Bilgi İşleme Faaliyeti Olarak Tasarım

Tasarım, Pahl ve Beitz tarafından bir bilgi işleme faaliyeti olarak da modellenmiştir. Bu model, şu iteratif adımlardan meydana gelmektedir; kabul (toplama), işleme (tasarım) ve nakletme (dökümantasyon) [3]. Bu, Şekil 2'de gösterilmiştir.

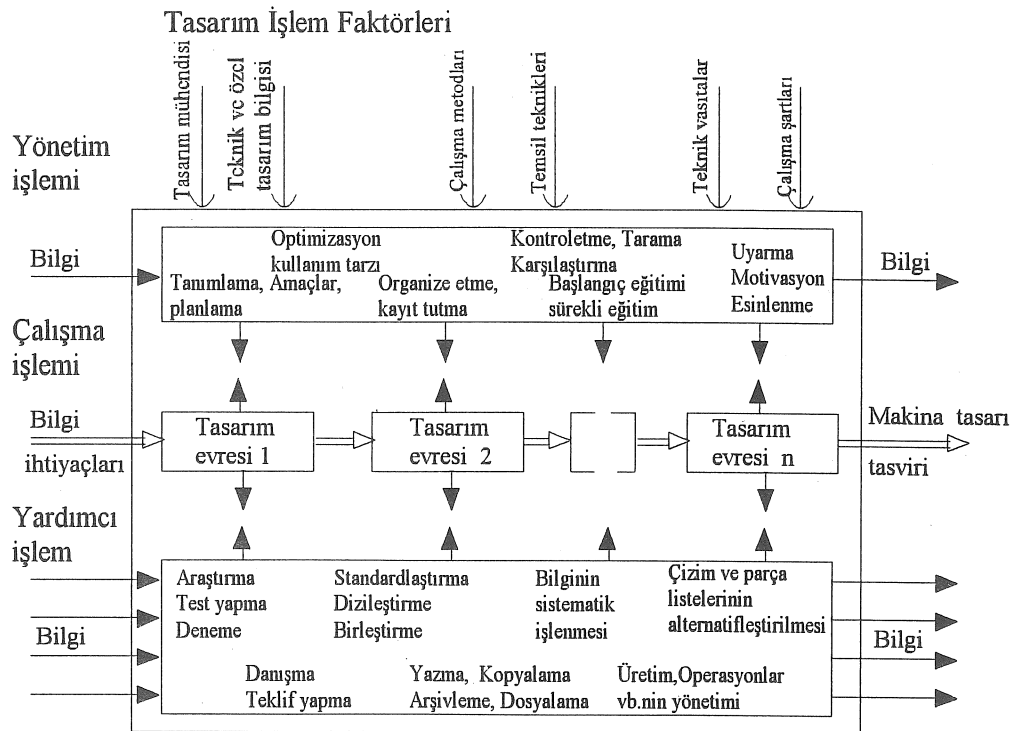
Bilgi toplama esnasında gerekli veri aralarında market analizi, eğitim çalışmaları, patentler, araştırma, tasarım katalogları, tabii ve yapay sistemlerin analizi,



Şekil 2. Bilgi İşleme Faaliyeti Olarak Tasarım.

bilgisayar verileri v.b. gibi pek çok alandan toplanır. Bilgi işleme esnasında tasarım, analiz ve sentez, çözüm fikirlerinin geliştirilmesi, deneysel çalışma, ön kroki çizimlerinin üretimi ve potansiyel çözümlerin değerlendirilmesi v.b. gibi yollar vasıtası ile yapılır. Nakletme sırasında bilgi, çizimler, raporlar, üretim dökümanları, bilgisayar disketleri v.b. gibi yollarla döküman et edilir. Her bir özel tasarım çözümü çeşit ve içerik açısından farklı bilgilere ihtiyaç duyacağı için, yukarıda belirtilen safhalar arasında bilgi değişimi genelde oldukça zor ve karmaşık bir işlemdir.

Hubka'da tasarım işlemini, girdi/çıktıları bilgi olan ve bir dizi "Tasarım İşlem Faktörleri" etkisi altında çalışan teknik bir sisteme benzetmektedir [8]. Anılan bu modeli Hubka, "genel tasarım işlem modeli" olarak adlandırmaktadır, (Şekil 3). Şekil 3, Hubka'nın



Şekil 3. Genel Tasarım İşlem Modeli [8].

mühendislik tasarımını, bir müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesinden, tam bir ürün tasvirine kadar bir bilgi nakli olarak düşündüğünü göstermektedir. Tasarım işlemlerini tesir eden etkilerin, tasarımcı ve tasarımcı çalışma tarzına bağlı olduğu da görülmektedir. Ancak Hubka, tasarımcıya ilave olarak bilgi geçişine etki eden diğer faktörlerden de bahsetmektedir. Bunlar:

- Özel tasarım bilgisini de kapsayan teknik bilginin mevcudiyeti
- Kullanılan çalışma metodları
- Seçilen temsil teknikleri
- Yönetim teknikleri (tasarım işlemi ve tasarım grubunun ikisinde birden)
- Çalışma şartları ve çevresidir.

Sınırlandırmaya - Dayalı Tasarım

Tasarım, bir sınırlandırmayı giderme problemi olarak da modellenmiş bulunmaktadır [9]. Serrano, tasarım işleminin çoğunun, sınırlandırmaların tayin, formülasyon ve giderilmesini kapsadığını belirtmektedir [10]. Bu tasarım işlem modelinde sınırlandırmaların, yeni bir mamül geliştirilmesi esnasında sürekli ilave edildiği, çıkartıldığı ve değiştirildiği kabul edilmektedir. "Sınırlandırma" terimi, üzerinde bir çokluğun tanımlanabileceği bir alan olarak belirtilebilir [11]. Tasarım sınırlandırmaları, tasarım tanımından çıkartılan, bir mamülün fonksiyonel görev olarak karşılması gereken özellik ve şartları belirtir. Bunlar, tasarımın performansını (fonksiyon), fiziksel kanunlara uygunluğunu (fizik) ve geometrik ve topolojik özelliklerini (biçim) niteler [10]. Eğer tasarım, sınırlandırmaya-dayalı bir problem olarak düşünülür ise, bir dizi eşitlik ve eşitsizlik denklemler cinsinden tanımlanması gerekir. Bu matematiksel tanım, "sınırlandırma tasarım modeli" olarak anılır. Bir sınırlandırma tasarım modeli, parametreler arasındaki elemanter ilişkilerden (genelde nümerik denklemler) oluşur [12]. Böylece bu bağlamda, sınırlandırmaya - dayalı tasarım işlemi, "sınırlandırma tasarım modeli" oluşturulması ve elde edilmesi ile "tasarım sınırlandırmaları" tarafından belirlenen bir uzayda bu modelin geliştirilmesine dayanmaktadır [13].

Sınırlandırmaya-dayalı tasarım işlem modelinin tasarım formülasyonu, Şekil 4'te görülmektedir. Burada,

tasarım sınırlayıcıları "tasarım ihtiyaç tanım uzayı" (İ) olarak adlandırılan bir uzayı tanımlarken; tasarım çözümleri, "kavram uzayı" (K) olarak belirtilen bir uzayı tanımlamaktadır. Böylece tasarım, bazı alan-özel kurallar, katalog verisi veya hesap formüllerine dayanan, uygun bir çözümün kavram uzayında belirlenmesi olarak düşünülebilir. Eğer, tasarım ihtiyaç tanım uzayı ve kavram uzaylarına tatbik edilecek bir kesişme operasyonu ile elde edilecek sonuç boş bir küme değilse, tasarım çözümü (X) geçerlidir.

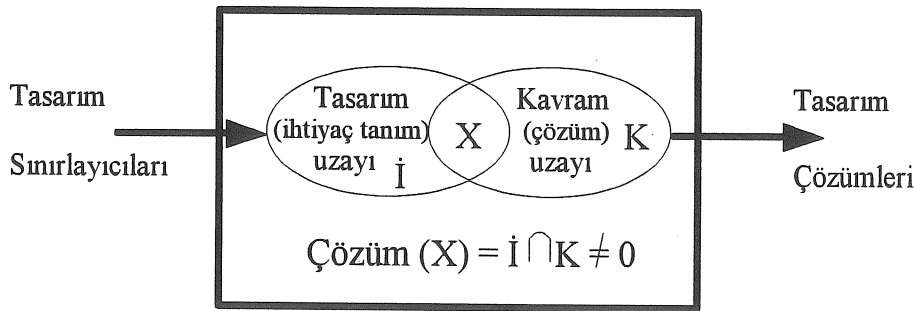
Uzayların oldukça kompleks (genelde lineer olmayan denklem ve eşitsizliklerle tanımlanmakta) olmasından ötürü, iki uzayın kesişmesini içre edebilecek yakın bir çözümün elde edilmesi oldukça zordur (eğer imkansız değilse). Tasarım işlemi süresince, başlangıç tasarım ihtiyaç tanımı, tasarım problemlerinin karışık tabiatından ötürü; ilk teşebbüste genelde geçerli bir çözümce karşılanamaz. Eğer önerilen çözüm, tasarım ihtiyaç tanımını karşılamıyor ise (kavram uzayı ve tasarım ihtiyaç tanım uzayı arasındaki kesişme boş bir küme ise), mümkün olabilecek iki stratejiden birisi kullanılabilir. Ya önerilen kavram (tasarım sınırlayıcıları) değiştirilir (Şekil 5.a da görüldüğü gibi) veya tasarım ihtiyaç tanımı değiştirilir (Şekil 5.b de görüldüğü gibi).

Diğer taraftan, eğer tasarım problemi bir çözüm kavramınca karşılanıyor ise, daha iyi bir çözüm bulmak için bölgenin incelenmesi ve mevcut çözümün geliştirilmesi arzulanabilir.

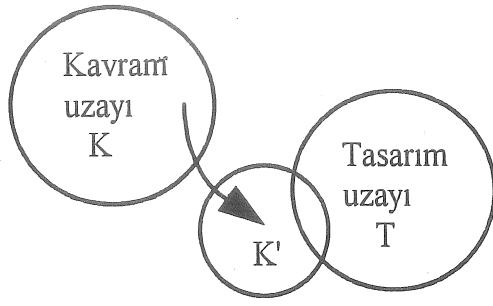
Sınırlandırmaya - dayalı tasarım işlemine kaliteli destek sağlamak için geliştirilecek bilgisayar destekli tasarım sistemleri, sınırlandırıcı formüle etme, giderme ve oluşturma işlemlerinde yeterli kapasiteye sahip olmalıdır. İlaveten, bu tür sistemler, sınırlandırmalar için basit metodlar da sağlamaları gerekir.

Aksiyometrik Tasarım

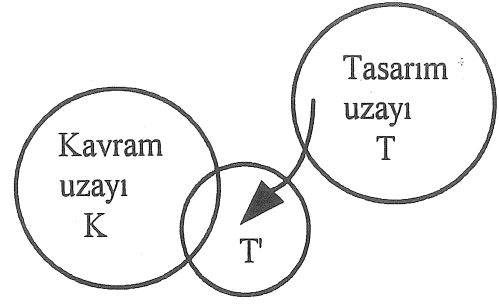
Suh [5] tarafından önerilen aksiyomlara dayalı tasarım işlem modeli, iki farklı uzay (ki bunlar, fonksiyonel uzay ve fiziksel uzay) tanımlamayla birlikte bir tasarım ihtiyacını karşılamak için fonksiyonel uzaydan fiziksel'e geçiş işlemini de kapsamaktadır. Bu modelde herhangi özel bir tasarım amacı, fonksiyonel uzayda belirtilen bir fonksiyonel ihtiyaçlar ve



Şekil 4. Sınırlandırmaya Dayalı Tasarım Modelinde Tasarım Formülasyonu.



(a) Alternatif kavram denetleme



(b) Tasarım tanımını değiştirme

Şekil 5. Sınırlandırmaya Dayalı Tasarım Modelinde Değişiklik İşlemleri [10].

sınırlayıcılar kümesi (Fİ) olarak tanımlanmıştır. Bu problemin müteakip çözümü, fiziki uzayda oluşturulur ve bir tasarım parametreler kümesi (TP) cinsinden belirlenir. Tasarım, tasarım faaliyetinin her hiyerarşik seviyesinde, bu iki farklı ve bağımsız uzayı ilişkilendiren işlem olarak tanımlanır (Şekil 6). Fiziki çözüm uzayında fonksiyonel ihtiyaçları karşılayabilecek birden fazla çözüm olabileceğinden ötürü uzaylar arası geçiş tek değildir. Ancak, tasarım işleminin önemli amaçlarından birisi de, alternatif çözümler arasından en iyi (veya optimum) tasarımı seçmektir. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için, Suh'ça önerilen aksiyometrik tasarım yaklaşımı, bilimsel bir temel sağlamayı amaçlamıştır. Aksiyometrik tasarımın dayandığı aksiyomlar şunlardır [5]:

(i) Bağımsızlık Aksiyomu: Bu, fonksiyonel ihtiyaçların bağımsız tutulmasını kapsar.

(ii) Bilgi Aksiyomu: Bu, tasarım bilgi kapsamının en az bir seviyede tutulmasını gerektirir.

Aksiyom 1, her bir özel fonksiyonel ihtiyaç ve buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki geçişin (veya ilişki) bire-bir olmasını belirtir. Aksiyom 2, bilgi içeriğinin azaltulması ve sadeleştirilmesi sureti ile tasarımın karışıklığı ile ilgilenir. Suh, bu iki aksiyomdan 7 sonuç çıkartmıştır. Bu sonuçlar, özel tasarım kararları vermede çok yararlı olmaları ve gerçek durumlara uygulanmalarının orjinal aksiyomlardan daha fazla kolaylık sağlamalarından ötürü tasarım kuralları

olarak ta düşünülebilir. Anılan sonuçlar şunları kapsamaktadır; birleştirilmiş tasarımların ayrıştırılması, fonksiyonel ihtiyaçların en aza indirgenmesi ve birleştirilmesi ile standardizasyonun kullanımı. Suh'un aksiyomlara dayalı tasarım işlem modeli Şekil 7'de gösterilmiş olup; burada bir iteratif işlem, tasarım döngüsünü belirlemektedir. Tasarım, bir fonksiyonel ihtiyaçlar ve sınırlayıcılar kümesi (tasarım ihtiyaç tanımı) cinsinden tanımlanabilecek bir toplumsal ihtiyacın tayini ile başlar. Bu tanımlama bir kez başarılı bir şekilde yapılırsa, gerekli ürün modelini ortaya koyabilmek için uygun fikirler geliştirilebilecektir. Daha sonra, ürün modeli analiz edilerek, bir geri besleme döngüsü vasıtası ile orjinal ihtiyaçlarla karşılaştırılabilir. Eğer fonksiyonel ihtiyaçlar, geliştirilen ürün modelince tam olarak karşılanamaz ise, iteratif işlem, ya yeni bir fikrin geliştirilmesi ya da fonksiyonel ihtiyaçların değiştirilmesi ile devam ettirilir.

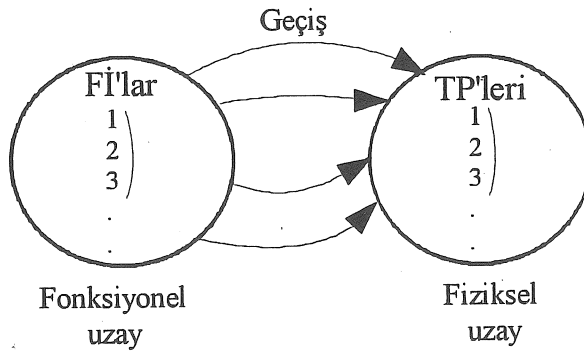
Suh'un aksiyomları ve bunlardan çıkardığı sonuçlar ile kullanılan tasarım işlemi, "iyi tasarımlar" geliştirmeyi amaçlamıştır. Minimum bilgi içeriği, yapısal olarak basit ve bağımsız fonksiyonel ihtiyaçlara sahip olan tasarımları Suh, iyi tasarımlar olarak nitelendirmektedir. İlâveten iyi tasarımlar, bilimsel kanunlara ve mühendislik prensiplerine dayanmalı ve üretilebilirlik özelliğine sahip olmalıdır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

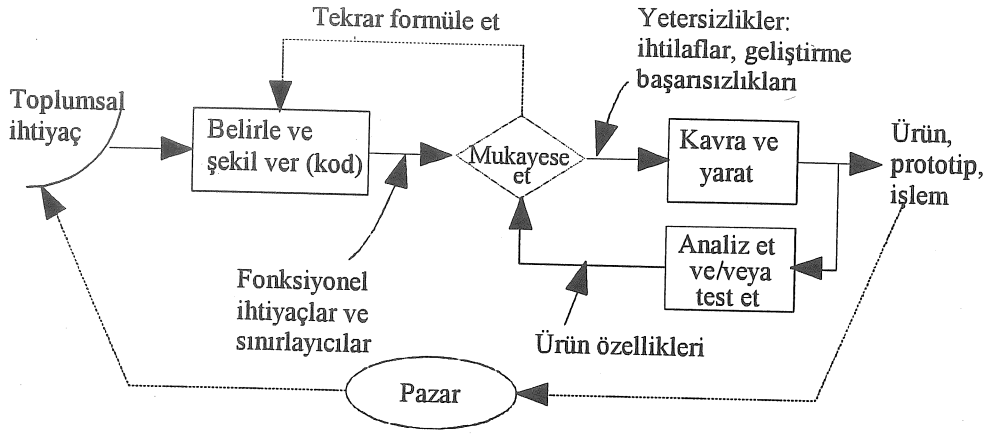
Araştırmacılar tarafından her zaman belirtilmemişse de yukarıdaki bütün tasarım işlem modellerindeki genel tasarım faaliyeti, iç içe girmiş iki uzayda gerçekleşmektedir. Bu uzaylar:

1. Problem tanım (veya fonksiyonel ihtiyaç) uzayı,
2. Tasarım çözüm (veya fiziki çözüm) uzayıdır, (Şekil 8'de de görüldüğü gibi).

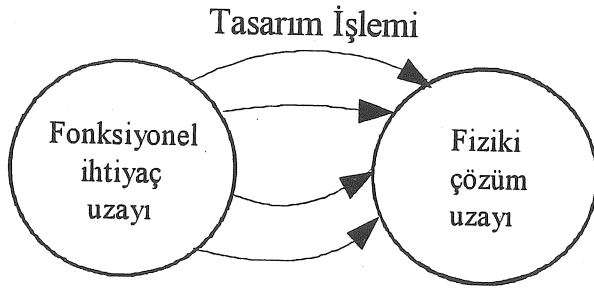
Tasarım işleminin amacı, fonksiyonel ihtiyaç uzayında belirtilen tasarım ihtiyaçlarını karşılayabilecek tam bir ürün tasvirini fiziki çözüm uzayında yapmaktır. Özetlenen bütün metodlar, benzer hususları farklı birer terminoloji kullanarak ifade etmekte, işlemi çeşitli ayrıntılarda irdelemekte ve konuyu farklı bakış açılarından değerlendirmektedir.



Şekil 6. Fonksiyonel Uzaydan Fiziksel Uzaya Geçiş İşlemi Olarak Tanımlanan Tasarım [5].



Şekil 7. Tasarım Döngüsü - Daha Etkili Sentez, Geliştirilmiş Yaratıcılık, Daha Güçlü Analiz ve İyileştirilmiş Karar Temellerine İhtiyaç Göstermektedir [5].



Şekil 8. Fonksiyonel İhtiyaç Uzayını Fiziki Çözüm Uzayına İrtibatlandıran Tasarım İşlemi.

Sistematiik tasarım işlem modelinde tasarımcı, bir dizi hazırlanmış kural ve basamakları takip ederek fonksiyonel ihtiyaç uzayından (tasarım ihtiyaç tanımı ile gösterilen), fiziki çözüm uzayına geçiş yapar. Bu model, tasarım işlemini incelenen diğer modellerden daha ayrıntılı olarak ele almaktadır. Tasarım bilgi modelinde "bilgi derleme safhası", fonksiyonel ihtiyaç uzayının gösterimi olarak düşünülebilir. Daha sonra bilgi, bir tasarım çözümü geliştirmek için işleme tabii tutulmaktadır. Hubka, genel tasarım işlem modelinde, tasarım bilgi modelini daha ayrıntılı olarak ele almaktadır [8]. Sınırlandırmaya - dayalı tasarım işlem modelinde, fonksiyonel ihtiyaç uzayı, bir küme tasarım sınırlayıcısı olarak temsil edilmiştir. Çeşitli tasarım çözümleri modellenmiş ve böylece kavram uzayında (Fiziki çözüm uzayı) mevcuttur. Bu iki uzay arasında tatbik edilecek bir arakesit operasyonu, anılan modeldeki tasarım işlemini tanımlamaktadır (veya modellemektedir). Eğer arakesit mümkün değil ise, geçerli bir çözüm elde edebilmek için ya tasarım ihtiyaç tanım uzayında ya da kavram uzayında bir değişiklik

yapılmalıdır. Bu model, arakesit işleminin nasıl yapılacağı hakkında bir öneride bulunmamaktadır. Aksiyomlara dayalı tasarım modelinde, fonksiyonel uzay (veya fonksiyonel ihtiyaç uzayı) ve fiziki çözüm uzayı arasındaki geçiş işlemi, iki aksiyomca desteklenmektedir.

Yukarıdaki tasarım işlemlerinin hepsi, görevlerini yapabilmeleri için yaygın ve önemli bazı stratejik işlemlerden faydalanmaktadırlar. Anılan işlemler şunları kapsamaktadır [8]:

- İterasyon - Tasarım problemlerine direk bir çözüm bulunamaması halinde oldukça sık kullanılır. İterasyon, yaklaşık bir çözüm elde etmek için yapılan bir takım kabullere bağlı olarak ya fonksiyonel ihtiyaç uzayında ya da fiziki çözüm uzayında bazı değişiklikler yapılmasını gerektirir.
- Özleştirme - Tasarımcı, önemli konular üzerinde çalışmasını yoğunlaştırırken, önemsizleri başlangıçta dikkate almaz ise, doğrudan ve çabuk bir tasarım çözümünü geliştirmesi mümkün olabilir.
- Sağlamaştırma - Tasarım işlemi, başlangıç kaba ve yaklaşık çözümlerinden daha hassas çözümlere doğru gelişebilir.
- Geliştirme - Mevcut bir tasarım çözümü, kritik ve değişiklikler yapılması sureti ile geliştirilebilir.
- Problem eksenleri stratejisi - Bir çözüme doğru ileri adımlar atılması veya sebeplere doğru geri gidilmesi ile herhangi bir problemin giderilmesi mümkün olabilir.

ABSTRACT

This paper summarizes the research work conducted on the design process of mechanical engineering, its context and models. The aim of the design process is to embody a full description of a product in the physical solution space that satisfies the specification described in the functional requirement space. The classification of the design made in terms of

its context includes the original (or new), adaptive, transitional (or extensional) design types. The comparative study of four formal models of the design process consists of the systematic, as an information processing activity, constraint-based and axiomatic design types.

KAYNAKLAR

1. Börklü, H.R., *Towards A Language For Mechanical Design*, PhD Thesis, University of Leeds, March 1993.
2. Finger, S. and Dixon, J. R., *A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive and Computer-Based Models of Design Process*, Research in Engineering Design, Vol. 1, Nm. 1, pp. 51-67, 1989.
3. Pahl, G. and Beitz, W., *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer - Verlag, 2nd edition, 1988.
4. Juster, N.P., *The Design Process and Design Methodologies*, Technical Report, CAE, Department of Mechanical Engineering, University of Leeds, May 1985.
5. Suh, N.P., *The Principles of Design*, Oxford University Press, 1990.
6. Orelup, F. and Dixon, J.R., *Dominic II: More Progress Towards Domain Independent Design by Iterative Redesign*, In C. R. Liu, A. Requica and S. Chandrasekar, editors, *Intelligent and Integrated Manufacturing Analysis and Synthesis*, Pages 67-80, Boston, December 13-18 1987, The Winter Annual Meeting of ASME.
7. Ulrich T., and Seering, W. P., *Synthesis of Schematic Description in Mechanical Design*, Research in Engineering Design, Vol. 1, Nm. 1, pp. 3-18, 1989.
8. Hubka, V., *Principles of Engineering Design*, Butterworth Scientific, London, 19980.
9. Simon, H., *The Science of the Artificial*, The MIT Press, 1981.
10. Serrano, D., *Constraint Management in Conceptual Design*, PhD Thesis, MIT, October 1987.
11. Buchanan, S. A., *The Use of Constraints in Geometric Modelling*, Technical Report, GMP, Dept. of Mechanical Engineering, University of Leeds, October 1987.
12. Sapošnek, M., *Research on Constraint-Based Design*, In J. S. Gero, editor, *Artificial Intelligence in Design*, Computational Mechanics Publications, Springer-Verlag, 1989.
13. Börklü, H. R., *A Survey of Constraint Based Design Systems*, Technical Report, CAE, Dept. of Mechanical Engineering, University of Leeds, September 1990.