



MEKANİK SİSTEMLERİN KAVRAMSAL TASARIMINA SİSTEMATİK BİR YAKLAŞIM

Mustafa BOZDEMİR, İhsan TOKTAŞ

Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kınıklı/Denizli
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknikokullar/Ankara

Geliş Tarihi : 05.02.2001

ÖZET

Kavramsal tasarım, bir veya daha fazla kavram modellerin ihtiyaçlar ve fonksiyonların bir tarifinden ve sonuçta tasarlanan bir nesnenin (sistemin) performans ve gerçek davranışının tahminine kadar bir geliştirme işlemidir. Bu çalışmada, mekanik sistemlerin kavramsal tasarımı için sistematik bir yaklaşım sunulmuştur. Bu sistematik yaklaşım, bir oto servis lifti örneğiyle açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kavramsal tasarım, Sistematik yaklaşım

A SYSTEMATIC APPROACH TO CONCEPTUAL DESIGN OF MECHANICAL SYSTEMS

ABSTRACT

Conceptual design is a process progressing from a description of needs and functions to one or more abstract models, and finally to the prediction of the actual behaviour and performance of the object being designed. In this study, A Systematic Approach is presented for Conceptual Design for Mechanical Systems. This systematic approach has been explained with an example of auto service lift.

Key Words : Conceptual design, Systematic approach

1. GİRİŞ

Tasarım, fonksiyon şartnameleri ve ihtiyaçlar grubunu, karşılaşılan fiziksel bir ürün veya sistemin komple bir tarifine dönüştürme işlemi olarak tarif edilebilir (Anderson and Crawford, 1989).

Tasarım, içerik bakımından 4 ayrı şekilde ele alınmıştır (Pahl and Beitz, 1996).

Orijinal Tasarım : İhtiyaçlarını karşılamak için yaratıcılık, yeni fikir, esneklik nitelikleri yüksek, yani çözüm prensiplerini geliştirme yeteneğine sahip olan tasarımcıların, teknik bir sisteme orijinal bir çözüm prensibini başarıyla uygulamasıdır.

Adapte Edilen Tasarım : Mevcut bir sistemin, çözüm prensipleri aynı kalmak şartıyla farklı bir göreve adapte edilmesidir.

Geçiş Tasarımı : Mevcut ürünü iyileştirme ve geliştirmedir.

Değişken Tasarım : Seçilen sistemin fonksiyon ve çözüm prensipleri sabit kalmak şartıyla; malzeme, sınırlandırıcı ve teknolojik özelliklerinin veya bazı boyutlarının değiştirilmesidir.

Bir tasarım metodu aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Pahl and Beitz, 1996).

- Bir probleme direkt yaklaşımı teşvik etmelidir; sadece uzmanlık alanlarında değil, tasarım faaliyetlerinin her çeşidi için de uygulanabilmelidir,
- Anlaşılabilirlik ve icat edilebilirliği teşvik etmelidir; optimum çözümler için araştırmayı kolaylaştırmalıdır,

- Diğer tasarım metot ve kavramlarıyla uyumlu olmalıdır,
- Tesadüfi çözümler bulmaya dayalı olmamalıdır,
- İlgili ödevler için bilinen çözümlerin uygulamasını kolaylaştırmalıdır,
- Elektronik veri işlemiyle uyumlu olmalıdır,
- Kolayca öğrenilebilmeli ve öğretilenmelidir,
- Modern ergonomi ve bilişsel psikolojik etkenler kullanılarak zaman tasarrufu sağlanmalı, insan hataları önlenmelidir.

Tasarım metotlarının işleyişinde olması gereken bu özellikler kullanılarak yapılan bir tasarım işlemi sonucunda, klasik tasarım metotlarına göre çok daha çabuk ve direkt olarak mümkün olan ürün tasarım çözümlerinin bulunabilmesinde, tasarımcılara yardım sağlayacaktır.

Sistemik tasarım teknikleri, klasik ürün tasarım tekniklerine göre daha bilimsel, bilgisayar destekli tasarımda temsil edilmesi daha kolay, sıralı, şeffaf ve düzenlemeler yapılması daha kolaydır. Ürün tasarım katalogları kullanarak ve daha önceden hazırlanmış benzer projelerin çözümlerinden mümkün olanları kullanarak, ilgili problemin sistemik yapısı daha kolay anlaşılabilir hale getirilebilir.

Sistemik ürün tasarım metotları kullanılırken, bilgisayarda uygun ürün tasarım veri tabanının oluşturularak, şartname ihtiyaçlarını karşılayan elemanlardan uygun olanlarının bilgisayar desteği sayesinde seçimi ve geri besleme esnekliğinin sağlanması son derece önemlidir. Metotsuz bilgiye dayalı olarak geliştirilen bir tasarım sisteminde; unsur modelleri kullanmak, veri tabanı oluşturmak, geometrik modelleri analiz etmek, veri akışının sürekliliğini sağlamak, farklı veri tabanları arasında bağlantılar yapmak mümkün değildir. Sistemik tasarım teknikleri kullanılarak, elde edilen tasarım veri tabanları sayesinde, bilgisayar teknolojisi üst düzeyde kullanılabilir. Bilgisayarda kullanılacak olan bilgilerin veri tabanında temsil edilmesi için uygun bir biçimde, rasyonel kullanıma sokulması sistemik tasarım teknikleriyle oldukça kolaylaştırır (Anderson and Crawford, 1989).

2. MÜHENDİSLİK TASARIM İŞLEMİ

Tasarım işlemi çalışmalarında genellikle aşağıda bahsedilen temel bazı modeller önerilmektedir (Int. 01).

- Kuralcı Model,
- Tanımsal Model,

- Bilgisayara Dayalı Modeller.

Kuralcı modeller, 'doğru' bir tasarıma varmak için tasarım esnasında uyulan kurallı faaliyetlerdir. Kuralcı modeller, sistemik veya metodik tasarım yaklaşımları için temel teşkil eden modeller olarak gösterilir. Tasarım işleminde bu modellerin, aşağıda görülen birkaç temel aşamadan oluştuğu görülmektedir.

1. Problemin tarifi aşaması,
2. Kavramsal tasarım aşaması,
3. Şekillendirme aşaması,
4. Detaylı tasarım aşaması.

Problemin tarifi aşamasında, tasarım problemi belirtilir, ihtiyaçlar ve şartnameler meydana getirilir. Kavramsal tasarım aşamasında; fonksiyonlar, yerine getirilmek için ayrılır. Fonksiyonlar olabildiğince alt fonksiyonlarına ayrıştırılmaya çalışılır. Bundan sonra, iş yeri imalat şartları da göz önünde bulundurularak ürün çalışma prensipleri belirlenir. Uygun çalışma prensipleri belirlendikten sonra, şekillendirme tasarımına başlanır. Şekillendirme tasarımı esnasında, seçilen çalışma prensiplerini gerçekleştirebilecek mekanik parçalar tasarlanır ve bu parçalar arası sıralı ilişkiler belirlenir. Şekillendirme tasarımı bittikten sonra, her bir bağımsız parçanın ayrıntılı tasarımı başlayabilir. Bu tasarım aşaması esnasında, her bir parça eksiksiz şekilde detaylandırılarak, ölçü, tolerans ve malzeme özellikleri belirlenir.

Kurallı yaklaşımın çoğu Alman yazarlar; (Rodenacker, 1970; Pahl and Beitz, 1977-1984; Koller, 1979; Roth, 1982) ve Alman Mühendisler Birliğinin standart kurallarında VDI 2222 (Anon., 1987)'de önerilmiştir. Metodik (Kurallı) yaklaşımla ilgili tasarıma ait bir örnekte Van den Kroonenberg (1983) tarafından yapılmıştır. Pugh (1990) ise çalışmalarını tasarım işlemi içerisinde iletişimin önemi, çok disiplinli takım çalışmaları gerektiren bir tasarım metodu sunmaktadır.

Koller (1979)'e göre bir tasarım problemi; fonksiyonel sentez, niteliğin sentezi, niceliğin sentezi olmak üzere üç aşamada formülize edilir.

Suh (1990) tarafından tasarım genel prensiplerinin bir seti formülize edilmiştir. Tasarımın bir kurallı modeli, tasarım şeklinin genel prensipleri, bir tasarım açıklaması ve çözümüyle gelişmelidir. Suh'un merkezci yaklaşımı, iyi bir tasarımın temel özelliğini temsil eden iki aksiyom'dur.

1. **Aksiyom (Bağımsız Aksiyom):**
Fonksiyonel ihtiyaçları bağımsız olarak

sürdüren bir tasarım, bu şekilde yapılamayan bir tasarımdan daha iyidir.

2. **Aksiyom (Bilgi Aksiyomu):** Düşük bir bilgi hacmine sahip olan tasarım, yeterli bilgiye sahip olunmayan bir tasarımdan daha iyidir.

2. 1. Kavramsal Tasarım Sistemi

Kavramsal tasarım; bir veya daha fazla kavram modelinin ihtiyaçlar ve fonksiyonların bir tarifinden ve sonuçta tasarlanan bir nesnenin (sistemin) performans ve gerçek davranışının tahminine kadar geliştirme işlemidir. Kavramsal tasarımla ilgili bu işlem; çoğunlukla şüpheli ve tam olarak anlaşılabilen bir tasarım aşamasından oluşur. Geleneksel tasarım metodları, kavramsal tasarımın bu aşamasını açıklamaya yeterli gelmeyebilir. Örneğin, optimizasyon yaklaşımı, nitel faktörler ihmal edilme eğiliminde iken bir nicel tabiatın problemleri için uygundur.

Kavramsal tasarım konusuyla ilgili olarak pek çok farklı alanda çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar içerisinde, mekanik sistemlerin kavramsal tasarımı için sistem yapısının metodolojisinin belirlenmesi en az üzerinde inceleme yapılan bir konudur (Bakerjian, 1992).

Kavramsal tasarım genel olarak şu alt başlıklarla tanımlanabilmektedir.

- **Yaratıcılık:** Kavramsal modeller yapmak için hayal ve icat kabiliyeti gereklidir. Yaratıcı zihinsel tasarım faaliyeti ilerlemeleri olarak bu kavramlar, değişikliklerin sebebi ve baştaki kavramların kaynağıdır.
- **Çoklu Çözümler Gerektirme:** Tasarım işlemi belirsizdir ve herhangi bir tasarım problemi için pek çok çözüm önerisi olabilir.
- **Deneysellik:** Kavramsal modellerin değerlendirme ve yapısı için teorik yapıyı kurmakta kesinlik yoktur; işlem ve ilişkiler yerine deneysel bir ortam kullanılır.
- **Uygunluk:** Tasarımın ortamı içerisinde elde edilen teorik bilgiler ile teknolojik gelişmelerle elde edilen deneysel bilgiler arasında doğru ilişkiler kurulmalıdır.
- **Uzmanlık :** Uzmanlık bilgi ve zeka gerektirir. Mümkün olan çözümlerin değerlendirilmesinde ve sistematik tasarım işlemi içerisinde çok önemli rolü bulunan tasarım işleminin formülize edilebilmesinde, tasarımcı bilgi ve uzmanlığının büyük etkisi vardır.

Kusiak'a göre Kavramsal tasarım işlemi üç farklı uzayı tanımakla başlar. Bunlar; İhtiyaç uzayı,

Fonksiyonel uzay ve Fiziksel uzaydır (Kusiak and Szczerbicki, 1990).

Kavramsal tasarımda, bir tasarımcı bir nesnenin fonksiyonel bir kavram tarifini ihtiyaçları tamamlayan fiziksel bir tarife dönüştürür (Hoover and Rinderle, 1989). Bu anlamda, tasarım fonksiyonel uzaydan fiziksel uzaya bir dönüştürmedir. Diğer bir deyişle; davranışın bir tarifinden bir nesnenin fiziksel bir tarifinin meydana getirilmesidir. Kavramsal tasarım iki adıma ayrılabilir.

1. Fonksiyonlarla bir nesnenin soyut bir tarifini (model) meydana getirmek.
2. Modelin gerektirdiği ideal özelliklerine uygun bir şekilde, şartname kurallarına uygun olarak nesnenin fiziksel olarak temsil edilmesi.

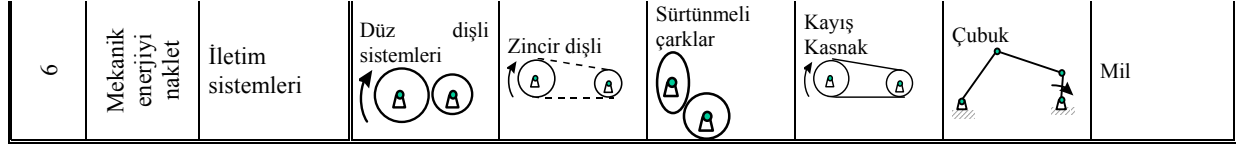
Tasarım şartnamesi, tasarım ödevini açıklayan talepler ve isteklerden oluşur (Pahl and Beitz, 1996). Şartnameler, genel talepten (genel ihtiyaç) başlayarak daha özel taleplere (alt-ihtiyaçlara) bir soyut tasarım ödevinin belirlenmesini sağlar. Belirlenen şartname ihtiyaçlarını karşılayan bir tasarımın fonksiyonu ise, istenilen görevi gerçekleştirmek için kullanılan aracın davranışdır (Kota and Ward, 1990). Fonksiyonlar, temsil aşamasında parçalarla uyana kadar ayrıştırılır. Bu uyum bire bir fonksiyon-parça ilişkisi için basit temsil edilebilir ve mekanik sistemler alanında sık vuku bulan daha karmaşık ilişkiler olabilir.

Fonksiyonel uzayda, verilen bir ihtiyaç için seçilen veya atanan her bir fonksiyon ileri alt-fonksiyonlara ayrıştırılabilir. Bir karmaşık sistem için mantık ağacı tipik olarak geniştir. Daha sonra fonksiyonel ve ihtiyaç uzaylarını araştırmak için ihtiyaç, sistematik bir yaklaşım geliştirmeye sebeptir. Mantık ağacı, şartname aşamasını içeren, yapı kayıt ve temsil için tasarımcıya yardım eden böyle takımlardan biridir. İhtiyaçlar ve fonksiyonlar için mantık ağacı kavramsal tasarımda iki farklı yolla uygulanabilir.

- I. Alternatif kavramsal tasarım çözümleri için araştırma,
- II. Tek çözüm için araştırma.

Aşağıdaki bölüm (Pahl and Beitz, 1996)'in alternatif çözümler için araştırma ayrıntılarını tartışır.

3. PAHL VE BEITZ' İN SİSTEMATİK YAKLAŞIMIYLA ÖRNEK BİR TASARIM UYGULAMASI



Bu şekilde hazırlanan şemalar, ileriki çalışmalarda tekrar kullanılabilir. Hazırlanacak bir sınıflandırma şemasının geliştirilmesi şu sıraya göre yapılır (Pahl and Beitz, 1996).

- Çözüm önerileri satırlarına girilir,
- Öneriler; enerji, hareket çeşidi gibi ana başlıklarla incelenir,
- Aynı öneriler bu başlıklara göre tasnif edilir.

Hazırlanan sınıflandırma şemalarından alt fonksiyonlara çözüm prensipleri aranırken, henüz daha önce kullanılmamış çözümler bulunmaya ve kullanılmaya dikkat edilebilir. Sınıflandırma kriteri ve ilgili parametreleri; enerji, malzeme veya sinyal akışları arasında belirlenebilir ilişkilerden çıkarılmalıdır (Zwicky, 1976).

D. Tablo 1’de resimsel olarak hazırlanan sınıflandırma şeması Tablo 2’de sadeleştirilerek üzerinde seçim işlemi yapılabilecek hale getirilmiştir. Tablo 1’deki sınıflandırma esas alınarak satır ve sütun numaralarına göre uygun bulunan tasarım biçimleri Tablo 2 üzerine işaretlenir.

Tablo 2. Çözüm Prensipleri Tablosu

Çözüm Prensipleri			1	2	3	4	5	6
1	Enerjiyi değiştir	E-M	•	•	•	•	•	•
2		E-H	•	•	•	•	•	•
3		M-M	•	•	•	•	•	•
4		M-H	•	•	•	•	•	•
5	B.D.	B.D.	•	•	•	•	•	•
6	N.	İ.S.	•	•	•	•	•	•

Tablo 2’deki seçim karmaşıklığının önlenmesi için sadece uygun bulunan çözümlerin gösterimi

yapılmıştır. Bu sınıflandırma tablosu kullanılarak oto servis lifti için tasarımcı tarafından yapılması muhtemel bütün çözümler Tablo 3’de çıkarılmıştır.

Tablo 3. Oto servis liftinin alternatif çözümleri

Çözüm 1	1.1 - 5.1 - 6.6. - 6.2 - 3.4
Çözüm 2	1.1 - 5.2 - 6.6. - 6.2 - 3.4
Çözüm 3	1.1 - 5.3 - 6.6. - 6.2 - 3.4
Çözüm 4	1.1 - 5.4 - 6.6. - 6.2 - 3.4
Çözüm 5	1.1 - 5.5 - 6.6. - 6.2 - 3.4
Çözüm 6	1.1 - 5.5 - 6.6. - 6.6 - 3.4
Çözüm 7	1.1 - 5.1 - 6.6. - 6.3 - 3.4
Çözüm 8	1.1 - 5.1 - 6.6. - 6.4 - 3.4
Çözüm 9	1.1 - 5.5 - 6.2. - 6.2 - 3.5
Çözüm 10	1.1 - 5.1 - 6.6. - 6.6 - 3.4
Çözüm 11	1.1 - 5.1 - 6.6. - 6.2 - 3.4
Çözüm 12	2.1 - 4.6
Çözüm 13	1.1 - 5.1 - 6.2 - 6.6
Çözüm 14	1.1 - 5.1 - 6.6. - 6.6 - 3.3
Çözüm 15	1.1 - 5.5 - 6.6. - 3.2

E. Son işlem olarak çıkarılmış bulunan tüm bu olasılıkların sistemin geneline olan etkisi, imal edilebilirlik, emniyetli çalışma, maliyet ve diğer tasarım esasları altında bir toplam değerlendirmeleri yapılmalıdır. Birbiri ile ilişkili olan alt fonksiyonlara aranan çözümlerin uyumlu olmasına da özen gösterilmelidir.

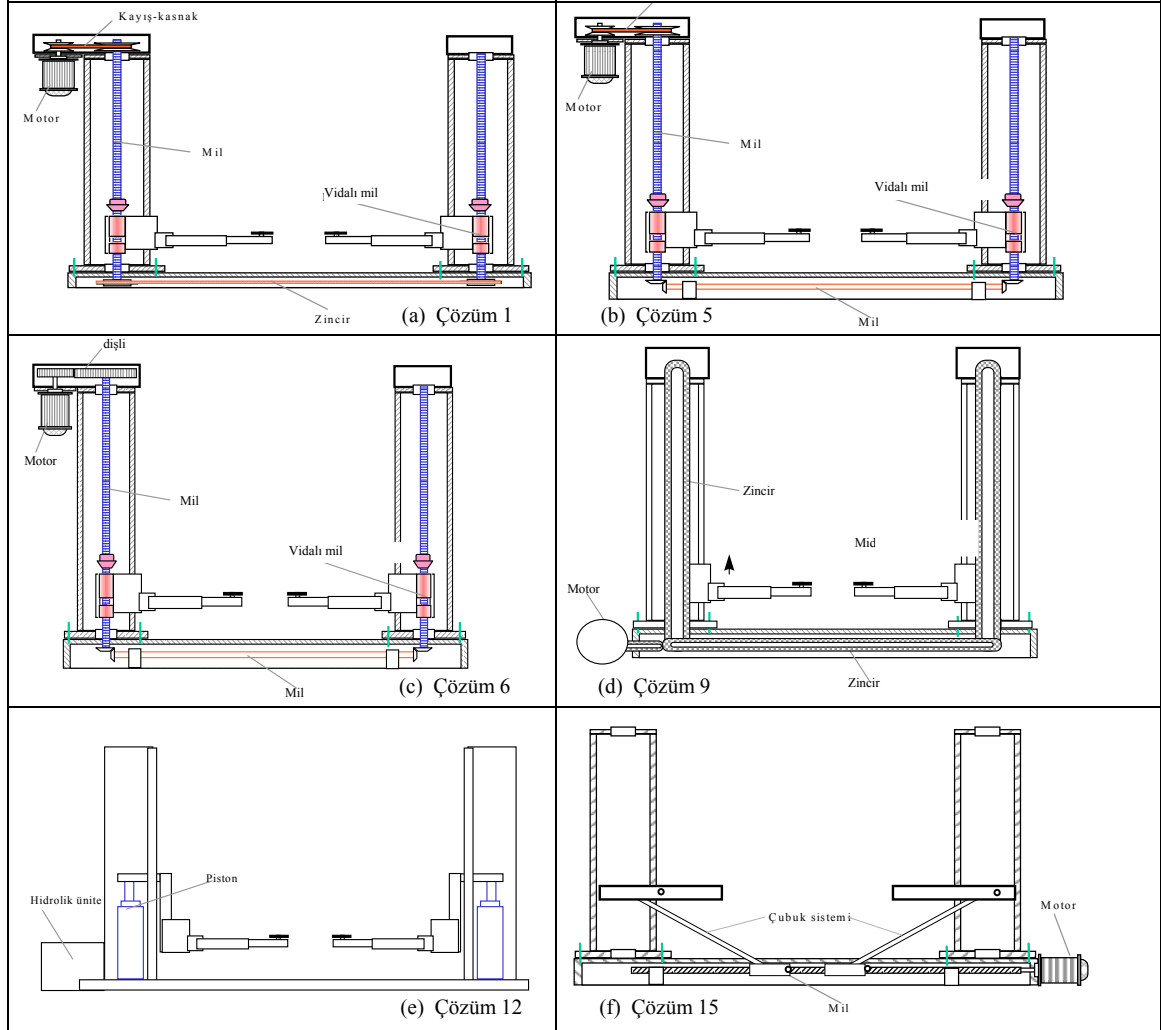
Tablo 4’de elde edilen çözümlerin değerlendirildiği bir seçim kartı görülmektedir. Bu seçim kartı tablosu üzerindeki sütunlara tasarımdan beklenen faydalar yazılır. Tasarımın değerlendirilmesini daha hassas hale getirmek isteniyorsa, sütun sayısındaki faydalar sayısı artırılmalıdır.

Bulunan çözümler sıra ile satırlara girilirken, tasarım isteklerini karşılama durumuna göre (+), (-) ya da (?) işaretlemeler yapılır. İşaretlemeler yapılırken iş yerinin fiziki durumu, araç-gereç, personel vb. etkenler değerlendirmeyi etkiler. Genel işaretlemeler tamamlandıktan sonra en fazla (+)’sı bulunan tasarım ya da tasarımlar amacı gerçekleştiren çözümler olarak seçilebilir.

Seçim işlemi sonrasında, istenilen amacı gerçekleştirebilecek kavramsal tasarımların fonksiyonel uzayda alternatif çözümlerin fiziksel temsilleri Şekil 3a, b, c, d, e, f’de görülmektedir. Bu

şekillerdeki bütün makineler aynı amacı yerine getirmektedir. Fakat amacı gerçekleştirmek için kullanılan bazı temel hareket iletim ve çalışma

tekniklerinin birbirinden farklı biçimlerde olmasını tasarımcı belirlemiştir.



Şekil 3. a, b, c, d, e, f. Fonksiyonel uzayda alternatif çözümlerin fiziksel temsilleri

Tablo 4. On Beş Çözümün Değerlendirilmesi İçin Hazırlanmış Örnek Seçim Kartı

OTO SERVİS LİFTİ ÇÖZÜM DEĞERLENDİRME VE SEÇİM KARTI									
Çözüm Varyantları	SEÇİM KARTI (+) Evet (-) Hayır(?) Bilgi yetersiz (!) Kontrol et							KARAR (+) Çözümü sürdür (-) Çözümü ele(?) Bilgi topla	
	Tüm işlemler uyumlu								
	Şartname isteklerini karşıla								
	Prensipte gerçekleştirilebilirlik								
	Müsaade edilebilir maliyet								
	Emniyet şartlarını doğrudan karşılar								
	Tasarımcı şirketince tercih edilir								
	Yeterli bilgi								
Cv	A	B	C	D	E	F	G	İşaretler (Niyetler, sebepler)	Karar
Ç1	+	+	+	+	+	+	+	Uygun bir çözüm	+
Ç2	+	+	-	-	-	-	?	-	-
Ç3	+	+	+	+	-	-	?	-	-
Ç4	+	+	+	-	-	-	?	-	-
Ç5	+	+	+	+	+	?	+	Uygun bir çözüm	+
Ç6	+	+	+	+	?	+	+	Uygun bir çözüm	+
Ç7	+	+	+	+	+	?	-	-	-
Ç8	+	+	+	+	+	?	?	-	-
Ç9	+	+	+	+	-	+	+	Uygun bir çözüm	+
Ç10	+	+	+	-	-	-	?	-	-
Ç11	+	+	+	-	-	?	?	-	-

Ç12		+	+	+	+	+	+	+	Uygun bir çözüm	+
Ç13		+	+	+	-	+	-	-	-	-
Ç14		+	+	+	-	-	-	?	-	-
Ç15		+	+	+	+	?	?	+	Uygun bir çözüm	+
Tarih : .../.../ 2001										

4. SONUÇ

Pahl ve Beitz (1996) sistematik tasarım tekniği olarak bilinen yöntem kullanılarak, oto servis liftine ait hareket sistemlerinin alternatif çözümlerinin kavramsal tasarımı yapılmıştır. Kullanılan bu gibi sistematik tasarım teknikleri sayesinde, tasarımcılara yeni ufuklar açılabilir ve tasarım işlemine daha geniş bir açıdan bakmaları sağlanabilir. Yapılan bu çalışma ve kullanılan teknikler göstermiştir ki;

- Sistematik tasarım yaklaşımları kullanılarak, birden fazla yeni çözüm bulunabilmekte ve böylelikle mümkün olan çözümler arasından en iyisi seçilebilmektedir.
- Tasarım problemlerinin daha kolay anlaşılabilmesini sağlayarak, icat edilebilirliği teşvik eder.
- Bu yaklaşımla, sadece örnek bir oto servis liftinin hareket sistemlerinin tasarımının yanında, teorisi ve sistematik tasarım prensipleri de geliştirilmiştir.

Sistematik tasarım yaklaşımı, problemlerin çözümünde kullanılabilecek orijinal ve patent alınabilecek tasarımlara tasarımcıları yönlendirebilir. Zaman içerisinde tasarımcılar kendilerine özgü sistematik tasarım yöntemleri ve stratejileri de geliştirebilirler.

5. KAYNAKLAR

Anonymous, 1987. (VDI 87) N.N. Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products, VDI Guidelines, Beuth Verlag, Berlin.

Anderson D. C. and Crawford R. H. 1989. Knowledge Management for Preliminary Computer Aided Mechanical Design, in: Organization of Engineering Knowledge for Product Modelling in Computer Integrated Manufacturing, ed. Sata T., Elsevier, 15-34.

Bakerjian, R. 1992. Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Society of Manufacturing Engineers, 1 (9), 30-58.

Hoover, S. P. and Rinderle, J. R. 1989. "A Synthesis Strategy for Mechanical Devices", Research in

Engineering Design, (1), 87-103.

Koller, R. 1979. Konstruktionslehre für den Maschinen Geräte und Apparatebau, Springer Verlag, Berlin.

<http://www.wb.utwente.nl/staff/otto/thesis>

Kota, S. and Ward, A.C. 1990. "Functions, Structures and Constraints in Conceptual Design", Proceeding of the 2nd International Conference on Design Theory and Methodology, Rinderle, J., ed., Chicago, Illinois, pp. 239-250.

Kroonenberg, H. H. 1983. Methodisch Ontwerpen, course notes, in dutch, University of Twente, Enschede.

Kusiak A. and Szczerbicki, E. 1990. "A Formal Approach to Design Specifications" B.Ravani, ed., Advances in Design Automation (New York: ASME), pp. 311-316.

Pahl, G. and Beitz, W. 1977. Konstruktionslehre, Handbuch fer Studium und Praxis, Springer Verlag, Berlin.

Pahl G. and Beitz W. 1984. Engineering Design, A systematic approach, Springer Verlag.

Pahl G. and Beitz W. 1996. Engineering Design, New York: Springer-Verlag.

Pugh, S. 1990. Total Design; Integrated Methods for succesful Product Engineering, Reading, Addison-Wesley.

Rodenacker, W. G. 1970. Methodisches Konstruieren, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Roth, K. 1982. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Systematisierung und Zweckmassige Aufbereitung Technischen Sachverhalte fer das Methodische Konstruieren, Springer Verlag, Berlin.

Suh, N. P. 1990. The Principles of Design, Oxford University Press, New York.

Zwicky, F. 1976. Entdecken, Erfinden, Forshen im Morphologischen Weltbild. Munich, Zurich: Droemer-Knaur.