

YENİ BİR KAVRAMSAL TASARIM İŞLEM MODELİ

Murat MAYDA, Hüseyin R. BÖRKLÜ*

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü
Makine Resmi ve Konstrüksiyonu Öğretmenliği Anabilim Dalı
06500 Teknikokullar, ANKARA

Özet

Tasarım işlemi, fonksiyonel uzayda tanımlanan ihtiyaçların fiziki çözüm uzayında optimum karşılanması için yürütülen faaliyetler bütünü olarak tanımlanabilir. Tasarımı bilimsel temellere oturtmayı amaçlayan ‘Sistemik Mühendislik Tasarımı’; amacın netleştirilmesi, kavramsal, şekillendirme ve ayrıntılı tasarım aşamalarından oluşmaktadır. Bunlardan çok kritik bir öneme sahip olan kavramsal tasarım aşaması, bazı farklı tasarım kavramları (tasarım alternatifleri) oluşturma ve aralarından en uygun bir veya birkaçını seçmeyi içerir. Burada belirlenen fikir ve kavramlar, bunu izleyen tüm tasarım aşamalarını ve geliştirilecek sistemi oldukça çok etkiler. Bu çalışmada, ‘Sistemik tasarım’ yaklaşımı temel alınarak bir kavramsal tasarım işlem modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen işlem modeli, bilgisayar destekli kavramsal tasarım sistemleri için bir alt yapı niteliği taşımaktadır. Bu işlem modeli ile hazırlanabilecek kavramsal tasarım yazılımları, geleneksel BDT sistemleri ile bütünleşik çalıştırılabilir ve böylece optimum tasarım çözümleri elde edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Sistemik tasarım, Kavramsal tasarım

A NEW CONCEPTUAL DESIGN PROCESS MODEL

Abstract

The design process can be described as the conducted all activities that embody an optimal description of a product in the physical solution space that satisfies the specification described in the functional requirement space. Systematic engineering design, which aims in providing scientific bases to design, consists of the clarification of task, conceptual design, embodiment design and detail design. The conceptual design has a very important effect among these states and includes the development of various design concepts and the selection of the best one or more. The ideas and solution principles generated during the conceptual design influences the whole following design activities and processes. In the scope of this research, a conceptual design process model based on ‘Systematic design’ approach was developed. Conceptual design softwares developing based on this model, which can be run integrated with traditional CAD systems, and so can find optimum design solutions.

Key Words: Systematic design, Conceptual design

* E-posta: rborklu@gazi.edu.tr

1. Giriş

Henüz tam anlaşılmamış olmakla birlikte tasarımın oldukça karmaşık ve yüksek düzeyli yaratıcılık gerektiren bir faaliyet olduğuna dair yaygın bir kanaat vardır. Tasarım alanındaki yayınlara bakıldığında, önce bunların çelişkili ve farklı görüşler oldukları düşünülebilir. Ancak konu daha ayrıntılı incelendiğinde, öyle olmadığı anlaşılabilir. Tasarım işlemi; “fonksiyonel uzayda tanımlanan ihtiyaçları fiziki çözüm uzayında optimum karşılamak için yürütülen faaliyetler bütünü” olarak tanımlanabilir [1, 2]. Diğer bir ifade ile tasarım, birçok bilim dalı ve / veya disiplinin bir arada uygulandığı yaratıcı bir faaliyet alanı olup, faydalı mamul geliştirmeyi amaçlar. Bu işlem, ihtiyaç belirleme ile başlar, çözüm amaçlı bir dizi faaliyet ile sürer ve ayrıntılı ürün tanımı ile son bulur [3]. Gerçekte her tasarım, soyuttan somuta döngüsel ve gittikçe ayrıntılaştıran bir şekilde değişir ve gelişir. Diğer taraftan bir tasarım amacına ulaşma stratejisi, iki grupta tasnif edilebilir [4]:

- **Çözüm uyarlı**, tasarım uzayı ve ihtiyaçlar birlikte incelenirken bir başlangıç çözümü önerilir, analiz edilir ve sürekli değiştirilir / geliştirilir.
- **Problem uyarlı**, olası çözüm alternatifleri oluşturma öncesi özleştirme / genelleştirme yapılır ve problem yapısı analiz edilir.

Yaklaşık yarım asırlık bir zaman dilimi öncesine kadar tasarım, mühendislik biliminden çok bir sanat dalı olarak kabul ediliyordu. Ancak genelde Alman bilim adamlarının çaba ve araştırmaları sonucu teknik bir süreç haline dönüşmüştür. Pahl ve Beitz, mühendislik tasarımı için sistematik bir yaklaşım önermiş [5] ve öğrencileri Feldhusen ve Grote bu yaklaşımı daha da geliştirmişlerdir [4]. ‘Sistematik Mühendislik Tasarımı (SMT)’ yaklaşımı, tasarımı bilimsel temeller ve izlenmesi gereken bazı kurallara bağlar. Bir başka ifade ile metodolojik teknikler kullanılarak tasarım işlemi, salt sezgi veya tasarımcı yeteneğinden bağımsız yapılabilmektedir. Böylece orta düzey tasarımcılar tarafından dahi iyi tasarımlar elde edilebilecektir. Tasarım amaçlı tüm kaynaklarda en çok atıfta bulunulan ‘Sistematik Mühendislik Tasarım’ yaklaşımı, şu dört ana aşamadan oluşmaktadır [4, 5]:

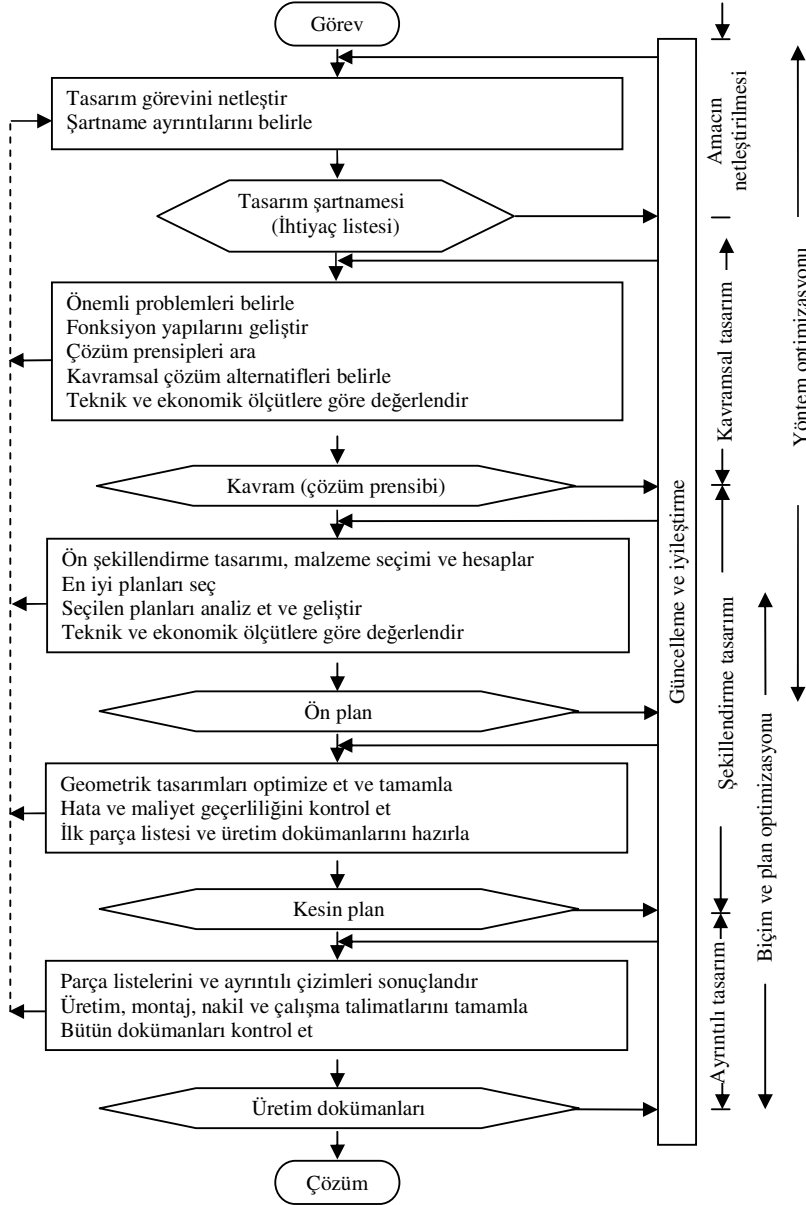
1. **Amacın netleştirilmesi:** iyi bir tasarım problem tanımının (ihtiyaç listesi veya tasarım şartnamesi) yapılabilmesi için gerekli tüm bilgilerin derlenmesi,
2. **Kavramsal tasarım:** bazı farklı tasarım çözüm kavramları (tasarım alternatifleri) oluşturma ve aralarından bir veya birkaçının seçilmesi,
3. **Şekillendirme tasarımı:** seçilen çözüm kavramların geliştirilmesi, tasarım oluşum ve ön imalat işlemlerinin belirlenmesi,
4. **Ayrıntılı tasarım:** geometrik şekil, boyutlar, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar ve parçalara ait diğer imalat özelliklerle birlikte genel montaj yapısının belirlenmesi.

Sistematik mühendislik tasarım işlem aşamalarının nasıl adım adım organize edildiği ve uygulandığı, Şekil 1’deki şemada açıkça görülmektedir.

Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), yukarıda tanıtılan genel tasarım işleminin bilgisayar yardımı ile yapılmasıdır. Geçmişte tasarım, müşterek çalışan bir tasarım grubu ile yapılırdı. Son ürün geliştirme paradigmaları, bu işlemlerin farklı yerlerde bulunan uzmanlarca yapılacağını göstermektedir [6]. Mevcut bilgisayar destekli mühendislik yazılım kuşağı, önceki metotlara göre devrim yaratmış ve teknolojiyi oldukça ileri taşımıştır. Ancak bu sistemlerin geleneksel ürün geliştirme işlemlerine dayanması, yeni endüstriyel paradigmaları yeterince desteklememektedir [7]. Tasarım, birçok uzmanın müşterek çalışması gereken bilgi yoğun bir işlemdir. Bu bilginin temin ve kullanımını koordine etmekten destek, rekabet gücü yüksek ürün tasarımında çok gereklidir. Modern tasarım problemleri, çeşitli uzmanlık gerektiren karmaşık bir düzeydedir ve bir tasarımcı ile çözülemez. Bunlar, çeşitli model veya simülasyon ve farklı tür veya düzeyde bilgi gerektirir. Böylece BDT sistemlerinde, dağıtık ve yayılmış bir modelleme yaklaşımına ihtiyaç vardır. İnternet tabanlı www, uzaktan web tabanlı tasarım sistem bağlantılarına izin verir. Burada çalışan BDT sistemleri, ağ üzerindeki birçok kullanıcı iletişimini destekler. Bu işlemde kullanıcı, normal donanım ve yazılıma ilave bir sisteme ihtiyaç duymaz. Bu tür bir sistem, şu avantajları sağlayabilir [6]: (1) web sunucusu, tasarım sistemine iyi bir ara birim sunar, (2) referanslı metin nakil protokolü (HTTP) tasarım sistemlerinde standart bir iletişim yolu olabilir, (3) internet üzerindeki donanım ve yazılım kaynaklarından faydalanılabilir.

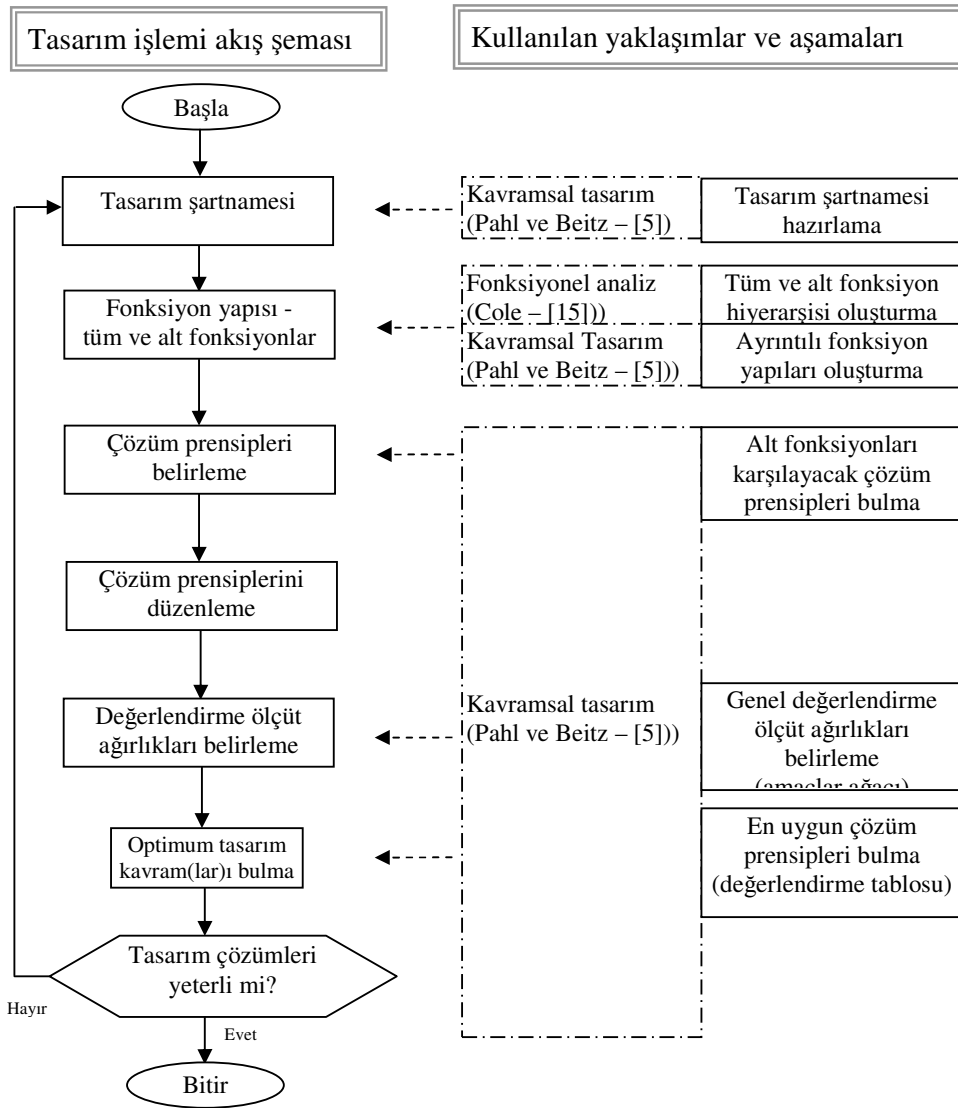
Tasarım işleminde en kritik aşama, tasarım ve çözüm prensipleri hakkında önemli ilk kararların verildiği kavramsal tasarım sürecidir. Burada verilen kararlar, ürün maliyetini %75–80 oranında etkiler [3]. Böylece kavramsal tasarım amaçlı etkin metot ve bilgisayar araçları, tasarımcı ve firmalar açısından hayati önem arz eder. Kavramsal tasarım

sürecinde; önemli ve genel problemler tanımlanır, bu problemlere uygun fonksiyon yapıları geliştirilir ve çözüm prensipleri aranır, bunların optimum birleşimleri ile bazı tasarım seçenekleri (tasarım çözümleri) elde edilir ve çeşitli değerlendirme yöntemleri uygulanarak bir (veya daha fazla) kavramsal çözüm(ler) bulunur.



Şekil 1. Tasarım işlem basamakları [5].

Kavramsal tasarım amaçlı birçok araştırma yapılmıştır. Örneğin Guan ve arkadaşları [8] dört farklı tasarım metodunu birleştiren bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu dört tasarım metodu: benzer takım tezgâh temelli kavramsal tasarım, paralel mekanizma temelli kavramsal tasarım, bütünleşik kavramsal tasarım ve kavramsal tasarıma dayalı tür / sayı sentezidir. Campbell [9], makine kavramsal tasarım konulu bir doktora tezi hazırlamış ve bu işlemi otomatik yapacak bir metod geliştirmiştir. Geliştirilen bilgisayar sistemi, insanların yürüttüğü kavramsal tasarımı taklitler, şu alt sistemlerden oluşmaktadır: tasarım probleminin ucu açık temsili, problem tanım değiştirme yeteneği,



Şekil 3. Geliştirilen kavramsal tasarım işlem modeli

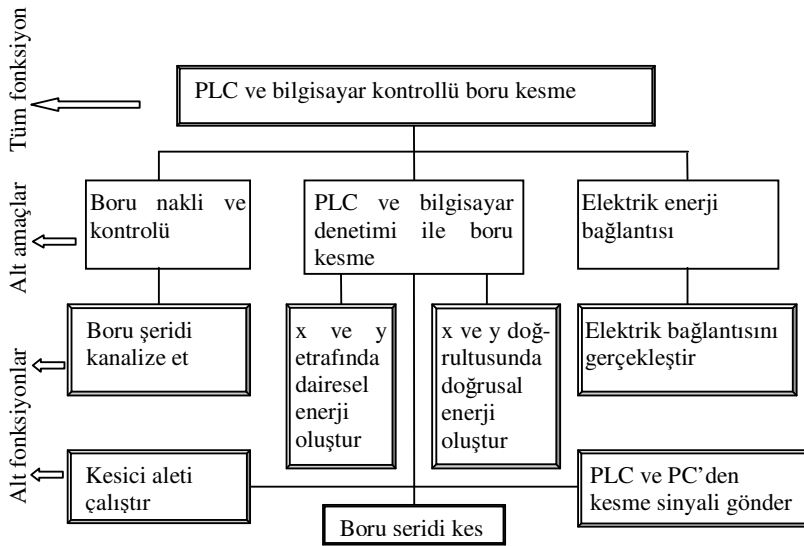
farklı fikir ve öncelikleri müşterek ele alma, iyi alternatiflere yinelemeli ve rehberlik altında çözüm bulma. Benzer kapsamlı diğer bir makale ise, yeni bir dört serbestlik dereceli modüler robotun kavramsal tasarımı tanıtılmaktadır [10]. Carl [11], bir su altı savaş aracının kavramsal tasarımını yapmıştır. Bu çalışmada; önce temel problem tespiti yapılmış, sonra tasarlanacak aracın iç ve dış şekillendirilmesinde malzeme, enerji, içinde bulunduracağı yük (insan, teçhizat gibi) ve diğer faktörler dikkate alınmıştır. Carl, kavramsal tasarım sürecini bağımsız ve sistematik yaklaşımdan farklı ele almıştır. Polychromatic set teorie (benzetim modelleme amaçlı bir teori) dayalı bir kavramsal tasarım işlem modeli, Gao ve Li [12] tarafından geliştirilmiştir. Bu yaklaşım: şema muhakemesi ve mekanizma yeniliği aşamaları içermektedir. Polychromatic set teorisine üzerine yapılan diğer bir araştırmada ise, araştırmacılar Polychromatic set teorisini takım tezgâhları kavramsal tasarımına uygulamış ve bilgisayar destekli bir sistem geliştirmişlerdir [13]. Ociepka ve Swider [14], kavramsal tasarımda, tasarım bilgisi ve uzman tecrübesinin birlikte kullanıldığı (tavsiyeci ve benzerlik tabanlı muhakeme içeren) bir bilgisayar sistemi geliştirmişlerdir.

2. Kavramsal Tasarım İşlem Modeli

Bu çalışmada, 'Sistematik tasarım' temel alınarak bir kavramsal tasarım işlem modeli geliştirilmiştir. Bu işlem modeli, tasarım şartnamesinden başlayarak alt fonksiyonları karşılayan en uygun çözüm prensiplerini bulmaya kadar geçen süreci kapsar. Geliştirilen işlem modeline ait akış şeması ve faydalanılan yaklaşımlar, Şekil 3'te verilmiştir.

Bu işlem modeli, bilgisayar destekli ve web tabanlı bir kavramsal tasarım sistemine alt yapı olacak şekilde geliştirilmiştir. Kavramsal tasarım işleminin, bilgisayar desteğiyle gerçekleştirilmesi şu önemli avantajları sağlar:

- Tasarım süreci esnasında insan kaynaklı hataları azaltmak,
- Tasarım işlemi ve veri arşivlemeyi hızlandırmak,
- Güçlü ve ortak tasarım dilleri (UML gibi) oluşturularak uzman çözümlerini genel bir platformda buluşturmak. Böylece uzman görüşlerinden en yüksek düzeyde faydalanmak,
- Karar ve optimizasyon amaçlı işlemlerde yapay zeka desteğini kolaylaştırmak.



Şekil 4. Otomatik boru kesme tezgâhına ait hiyerarşik fonksiyon diyagramı

Bu kavramsal tasarım işlem modeli şu önemli aşamalarda incelenmiş ve geliştirilmiştir:

- Tasarım şartnamesinin belirlenmesi,
- Fonksiyon yapılarının (tüm ve alt fonksiyon) oluşturulması ve bunları karşılayan olası tüm çözümlerin (çözüm prensipleri) bulunması,
- Bu çözümleri ölçmede kullanılacak genel değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi,
- Her bir çözüm prensibine ait ölçüt ağırlıklarının hesaplanması,
- En uygun çözüm kavramlarının (çözüm varyantı) bulunması.

2.1. Tasarım Şartnamesi Belirleme

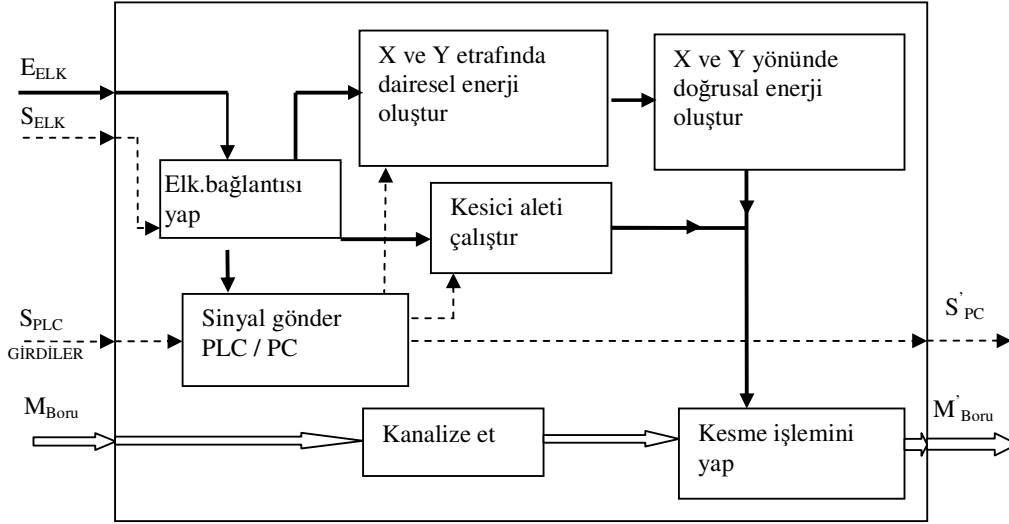
Tasarım şartnamesi, özel bir tasarım çözümünün karşılaması gereken ihtiyaçları içerir. Bu ihtiyaçlar, tasarım sürecine bağlı sürekli değiştirilir ve güncellenir. Burada ihtiyaçlar, istek ve arzular cinsinden belirtilmelidir. İstekler, tasarım çözümü tarafından mutlak surette; arzular ise, ekonomik ve teknolojik olanakların elverdiği ölçüde karşılanması gereken ihtiyaçlardır.

2.2. Fonksiyon Yapıları Oluşturma ve Çözümler Bulma

Teknik anlamda fonksiyon; bir sistemin (fabrika, makine veya montaj) girdi ve çıktıları arasındaki ilişkidir. Sistemin genel işlevi, tüm; alt kısım işlevleri ise, alt fonksiyonlar ile gösterilir. Tüm fonksiyon, sistemin içyapısı / ayrıntısını

göstermez ve sadece genel durumunu yansıtır. Alt fonksiyonların uyumlu / anlamlı birleşimi ile bir fonksiyon yapısı oluşturulur. Bu, normal programcılıktaki akış şeması benzeri bir yapıdır ve tasarımı formüle eder. Tüm fonksiyon ve fonksiyon yapısı, aynı tür enerji, sinyal ve malzeme girdi ve çıktılarına sahiptir.

'Fonksiyonel Analiz' yaklaşımı [12] esas alınarak genel problem veya tüm fonksiyon tanımı, alt amaç ve bunlara karşılık oluşturan alt fonksiyonlar cinsinden tekrar düzenlenir. Örnek olarak, otomatik boru kesme tezgâhının hiyerarşik fonksiyon diyagramı, Şekil 4'de gösterilmiştir. Elde edilen alt fonksiyonların her birisi için enerji, sinyal ve malzeme akışı esas alınarak girdi ve çıktılar belirlenir. Daha sonra bu fonksiyonlardan oluşan ve sistemin iç yapısı ve işleyişini gösteren fonksiyon yapısı geliştirilir (Şekil 5).



Şekil 5. Otomatik boru kesme tezgâhına ait fonksiyon yapısı

Bu alt fonksiyon yapılarını karşılayan çözüm prensiplerinin bulunmasında geleneksel yollar, sezgi ve sistematik temelli metotlar kullanılır. Böylece gerekli alt fonksiyonları karşılayan çözüm prensipleri belirlenebilir ve bir sınıflandırma şemasında gösterilebilir. Çizelge 2'de, otomatik boru kesme tezgâhına ait alt fonksiyonlar ve bunlara ait çeşitli çözümler içeren bir sınıflandırma şeması görülmektedir. Bu çözüm prensipleri farklı yöntemler kullanılarak artırılabilir.

2.3. Genel Değerlendirme Ölçüt Ağırlıkları Belirleme

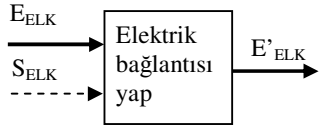
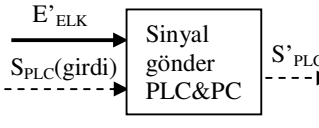
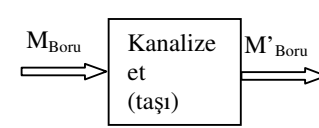
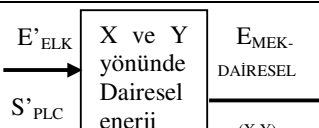

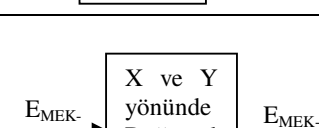
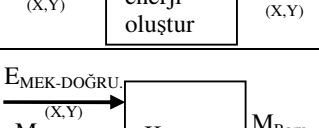
Bir önceki aşamada belirlenmiş olan çözüm prensiplerini değerlendirmek ve en uygunları seçebilmek için önce kullanılacak genel değerlendirme ölçütleri belirlenir. Tasarım şartnamesinde yer alan istek ve arzular, geliştirilecek tasarım amacına mesnet teşkil eder. Bu nedenle değerlendirme aşamasında kullanılacak temel ölçütlerin yüzde ağırlıkları, şartname istek ve arzularının nasıl ve hangi oranda karşılayacağı sorgulanır. Geliştirilen bu işlem modelinde sistemin genel değerlendirme ölçüt ağırlıkları belirlemede, Pahl ve Beitz'in amaçlar ağacı yapısı esas alınmıştır. Kavramsal tasarımların değerlendirmesinde kullanılacak olan bu amaçlar ağacı temel yapısı, Şekil 6'de gösterilmektedir.

Genel değerlendirme ölçütleri; dokuz ana ve yirmi iki alt ölçütten oluşmaktadır [1]. Bütün ölçüt ağırlıkları yüz üzerinden belirlenir. Ölçüt ağırlıklarına sıfır ile yüz arası değer verilmesi, değerlendirme işleminin kolay ve hassas yapılmasını sağlar. Ana ölçüt ağırlıklarının yüzde olarak toplamı yüz olmalıdır. Benzer tarzda ana ölçütlere ait alt ölçütlerin toplamı da yüz olmalıdır. Bu amaçla uygulanan yöntem, Şekil 6'deki semboller esas alınarak şöyle açıklanır:

Ana ölçütlerin yüzde ağırlıkları toplamı:

$$A_{y1} + B_{y1} + C_{y1} + D_{y1} + E_{y1} + F_{y1} + G_{y1} + H_{y1} = 100 \quad (2a)$$

Çizelge 2. Otomatik boru kesme tezgâhına ait alt fonksiyonlar ve çözüm prensipleri

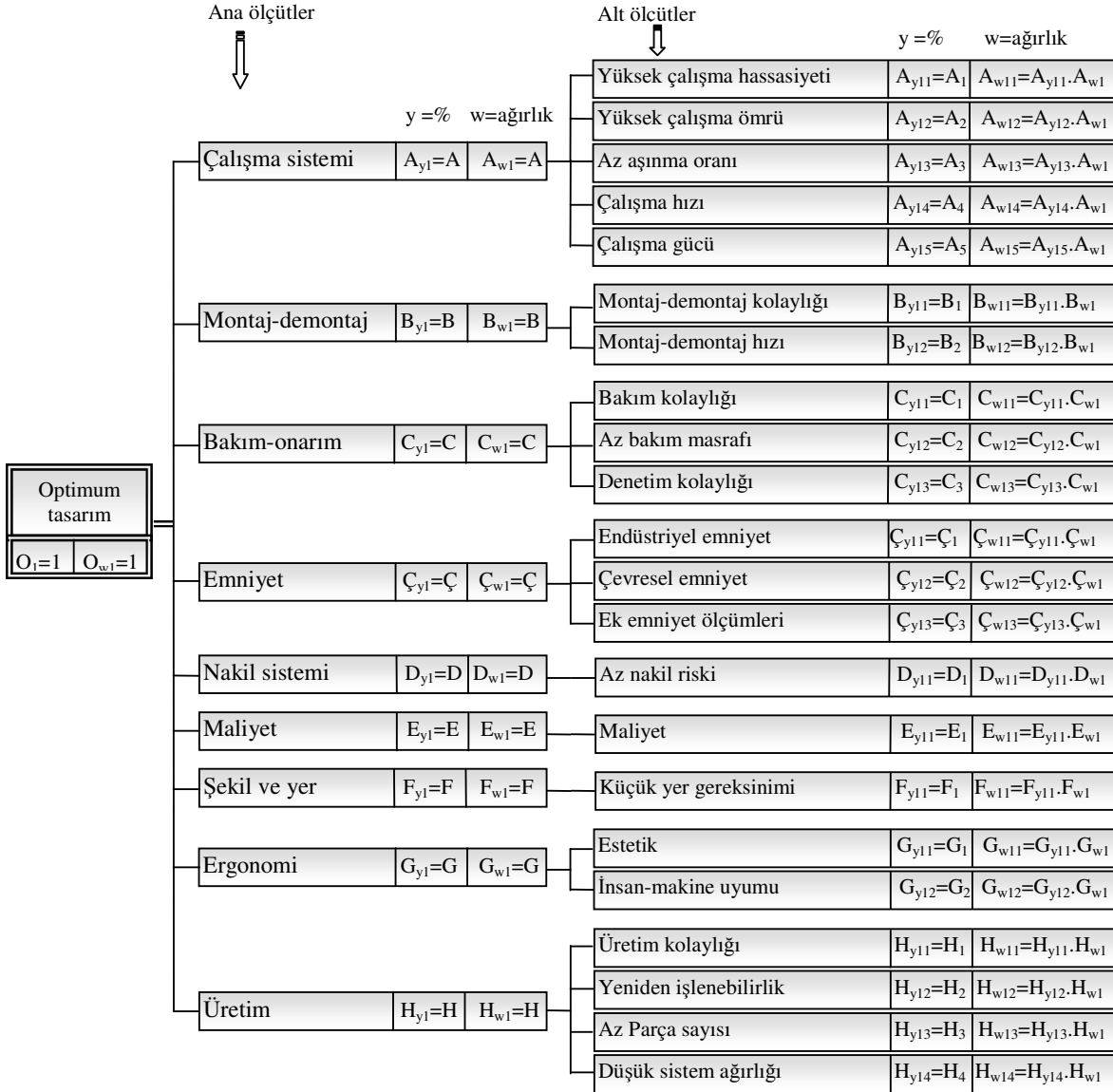
Çözüm prensibi Alt fonksiyon	1	2	3	4
	1 Elektrik butonu	Elektrik anahtarı	Kontaktör	Şalter
	2 PLC&PC			
	3 Profil-1	Profil-2	Profil-3	Profil-4
	4 Servo motor	Step motor		
	5 Servo motor	Step motor		
	6 Kam mekanizması	Krank-biyel mekanizması	Güç vidası	Bilyalı vida sistemi
	7 HSS freze testere	Krom vanadyum daire testere	Sert metal uçlu (elmas) testere	HSS profil testere

Aynı şekilde ana ölçütlere ait alt ölçütlerin yüzde ağırlıklarının toplamı, $A_{y11} + A_{y12} + A_{y13} + A_{y14} + A_{y15} = 100$ şeklinde olmalı ve diğer alt ölçütlerde bu şekilde hesaplanmalıdır.

Buradan bir ana veya alt ölçütün yüzde önem derecesi ayarlanabilir. Değerlendirme esnasında ana veya alt ölçütlerden önemi az olanlara daha küçük değerler atanmalıdır. Böylece karar sistemi, yüzde ağırlıkları önem derecesine göre işleme tabi tutar.

2.4. Çözüm Prensiplerine Ölçüt Ağırlıkları Belirleme

Bu kısımda, önceden belirlenmiş genel değerlendirme alt ölçütleri dikkate alınarak çözüm prensibi ölçüt ağırlıkları hesaplanır. Değerlendirme ölçüt ağırlık hesabı için önce her değerlendirme ölçütü nicel değerlere düşümlür. Bu işlemle ilgili örnekler, Çizelge 3’de verilmiştir. Örneğin yüksek çalışma ömrü alt ölçütünü ele alalım. Bu alt ölçüt herhangi bir çözüm prensibi için saat, ay, yıl gibi zaman birimlerine dönüştürülmesi gerekli nicel veri dönüşümü sağlayacaktır.



Şekil 6. Tasarım kavramlarını değerlendirmede kullanılacak amaçlar ağacı

Çözüm prensiplerini değerlendirmede kullanılacak bu tür nicel verilerin sistem tarafından doğru kullanılabilmesi için bütün alt ölçütlere yüz üzerinden sayısal değerler verilmelidir. Bu işlem, Şekil 7’de yer alan sembollerle açıklanmaktadır. Burada amaç; aynı alt fonksiyonu karşılayacak farklı çözüm prensiplerini karşılaştırarak belirli bir alt ölçütü karşılama yüzde oranı bulmaktır. Böylece sistemin değerlendirme aşamasında doğru bir karar verebilmesi için gerekli sayısal veriler sağlanır.

Çizelge 3. Alt değerlendirme ölçütlerini nicel değerlere dönüştürme örnekleri

Alt değerlendirme ölçütü	Örnekler
Yüksek çalışma hassasiyeti	Ölçü tamlığı (+- 0,05 gibi)
Yüksek çalışma ömrü	Gün, ay, yıl (2 yıl gibi)
Düşük aşınma oranı	Malzemeye uygun aşınma miktarları
Çalışma hızı	Devir sayısı(devir/dak), İlerleme miktarı(m/sn)
Çalışma gücü	Motor gücü (kW), j/s, BG, W
Montaj-demontaj kolaylığı	Montaj-demontaj için uygun serbestlik derecesi
Montaj-demontaj hızı	Montaj-demontaj edilme süresi
Bakım kolaylığı	Düşük bakım süresi
Düşük bakım masrafı	Düşük bakım maliyeti
Denetim kolaylığı	Denetim avantaj sayısı
Endüstriyel güvenlik	Üretim ortamında oluşabilecek risk sayısı
Çevresel güvenlik	Kullanım esnasındaki risk sayısı
Ek güvenlik ölçümleri	Ek güvenlik ölçüm sayısı
Düşük nakil risk oranı	Nakil risk sayısı / oranı
Maliyet	Ürün maliyeti
Düşük yer gereksinimi	Kullanılan alan (cm ² , m ²)
Estetik	Renk, şekil açısından kabul görme oranı
İnsan-makine uyumu	İnsan uyumu açısından kabul görme oranı
Üretim kolaylığı	Ürünün kaç farklı işleme üretilebileceği
Yeniden işlenebilirlik	Ürünün kaç defa yeniden işlenebileceği
Az Parça sayısı	Ürünün kaç parçadan oluştuğu
Düşük sistem ağırlığı	Ürünün ağırlığı (kg, ton)

Bu değer verme işlemi, sayısal ifadelerle şöyle anlatılabilir:

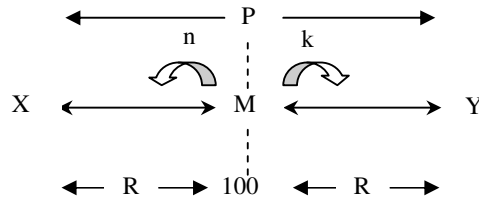
X: Başlangıç değeri (en düşük çözüm prensip değeri), M: Optimum kabul edilen değer (kabul edilen en uygun değer), Y: Bitiş değeri (en yüksek çözüm prensip değeri), k: Artış katsayısı (en yüksek değere yaklaşma katsayısı), n: Azalma katsayısı (en düşük değere yaklaşma katsayısı), P: En iyiye yaklaşma yüzdesi bulunacak değer ve R: Yüzde olarak en iyiye yaklaşma değeri .

$$X \leq P \leq M \text{ ise; } R = 100 - (n.(M - P).(\frac{100}{M - X})) \quad (2b)$$

$$M \leq P \leq Y \text{ ise; } R = 100 - (k.(P - M).(\frac{100}{Y - M})) \quad (2c)$$

k = 0 ve M ≤ P ≤ Y ise R = 100 olmalıdır.

n = 0 ve X ≤ P ≤ M ise R = 100 olmalıdır.



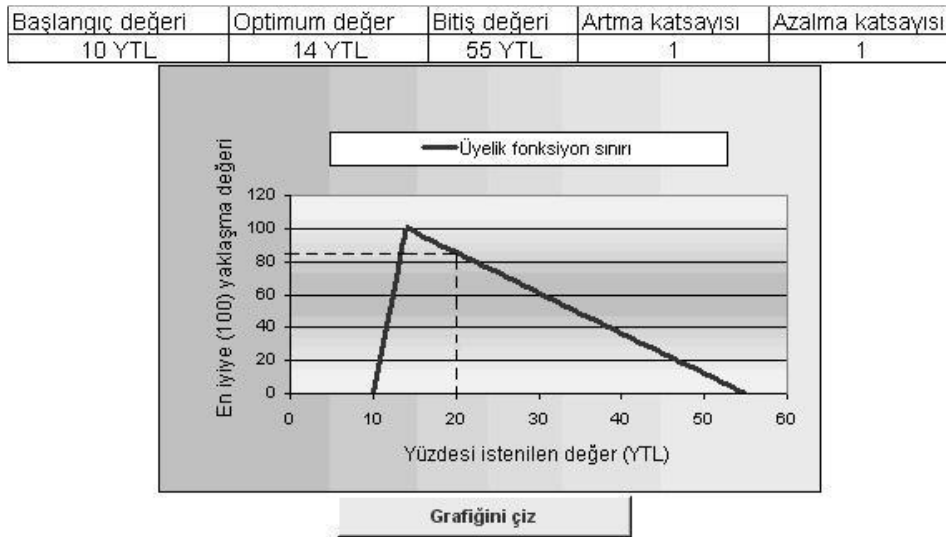
Şekil 7. Ölçüte değer verme işlemi

Ölçüte değer verme işlemi sonunda elde edilen sonuç değerlerinden yüz değeri, çözüm prensibinin istenilen ölçütü en iyi şekilde sağladığı anlamına gelir. Sıfıra yaklaştıkça durum istenilmeyen sonuçlara dönüşür. Sıfır veya sıfır altı kesinlikle istenilmeyen bir amaç anlamına gelir. Dolayısıyla sıfır değeri en kötüyü, yüz ise en iyiyi (ideali) belirtir.

Örnek olarak; girdileri: elektrik sinyali ve elektrik enerjisi, çıktısı: elektrik enerjisi olan bir alt fonksiyonu karşılayabilecek çözüm prensiplerinin elektrik butonu, elektrik anahtarı, elektrik şalteri ve kontaktör olduğu kabul edildiğinde:

Başlangıç değeri (en az maliyetli çözüm prensibi): 10 YTL,
Kabul edilen en uygun değer (kabul edilen en uygun maliyet): 14 YTL,
Bitiş değeri (en yüksek maliyetli çözüm prensibi): 55 YTL,
Azalma katsayısı (en az maliyete yaklaşma katsayısı): 1 ve
Artma katsayısı (en yüksek maliyete yaklaşma katsayısı): 1 ise,

Yapılan maliyet analizinde 10 ile 55 YTL arasındaki maliyetlerin, 14 YTL'ye yüzde yakınlık değerleri üyelik fonksiyonu ile belirlenmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Maliyet alt ölçütü için bir üyelik fonksiyon grafiği

Bu örnekte, maliyeti 20 YTL olan bir elektrik butonu için maliyet ölçüt ağırlığı (en iyiye yaklaşma değeri) şöyle hesaplanmaktadır:

$$R = 100 - (k \cdot (P - M) \cdot \left(\frac{100}{Y - M}\right)) = 100 - (1 \cdot (20 - 14) \cdot \left(\frac{100}{55 - 14}\right)) = 85$$

Bu durumda, maliyeti 20 YTL olan elektrik butonu, istenilen 14 YTL sınırını %85 oranında sağlamaktadır. Dolayısıyla elektrik butonunun maliyet alt ölçütü için değerlendirilmede kullanılacak alt ölçüt ağırlığı 85'tir. Her çözüm prensibi için bütün alt ölçütler aynı yöntemle hesaplanmaktadır.

2.5. En Uygun Çözüm Kavramları Bulma

Son aşamada 'amaçlar ağacı yapısı'na, çözüm prensipleri için bir önceki aşamada hesaplanan ölçüt ağırlıkları eklenerek bir değerlendirme tablosu (Çizelge 4) hazırlanır ve karar verme süreci başlatılır. İstenilen ölçüt değerleri, alt fonksiyon ve çözüm prensiplerine ait bilgiler, işlem modeline ait karar sistemi çalıştırılması öncesi yeniden düzenlenebilir.

Genel değerlendirme ve çözüm prensip ölçütlerine ait ağırlık oranları, gerekli aritmetik işlemler uygulanmak sureti ile bir çözüm prensibine ait tüm ağırlık değeri hesaplanır. Bu işlem Çizelge 4'te verilen sembollerle şöyle açıklanır:

Bir çözüm prensibine ait:

Çizelge 4. Son karar için değerlendirme tablosu

Ana ölçüt ve bu ölçütün toplam ağırlığı	Alt ölçüt	Ağırlık	Çözüm prensibi ağırlığı
Çalışma sistemi $A_T = \sum_{i=1}^5 A_{w1i} \cdot A_{w11i}$	Yüksek çalışma hassasiyeti	A_{w11}	A_{w111}
	Yüksek çalışma ömrü	A_{w12}	A_{w112}
	Düşük aşınma oranı	A_{w13}	A_{w113}
	Çalışma hızı	A_{w14}	A_{w114}
	Çalışma gücü	A_{w15}	A_{w115}
Montaj-demontaj $B_T = \sum_{i=1}^2 B_{w1i} \cdot B_{w11i}$	Montaj-demontaj kolaylığı	B_{w11}	B_{w111}
	Montaj-demontaj hızı	B_{w12}	B_{w112}
Bakım-onarım $C_T = \sum_{i=1}^3 C_{w1i} \cdot C_{w11i}$	Bakım kolaylığı	C_{w11}	C_{w111}
	Düşük bakım masrafı	C_{w12}	C_{w112}
	Denetim kolaylığı	C_{w13}	C_{w113}
Güvenlik $\zeta_T = \sum_{i=1}^3 \zeta_{w1i} \cdot \zeta_{w11i}$	Endüstriyel güvenlik	ζ_{w11}	ζ_{w111}
	Çevresel güvenlik	ζ_{w12}	ζ_{w112}
	Ek güvenlik ölçümleri	ζ_{w13}	ζ_{w113}
Nakil sistemi $D_T = \sum_{i=1}^1 D_{w1i} \cdot D_{w11i}$	Düşük nakil risk oranı	D_{w11}	D_{w111}
Maliyet $E_T = \sum_{i=1}^1 E_{w1i} \cdot E_{w11i}$	Maliyet	E_{w11}	E_{w111}
Şekil ve yer $F_T = \sum_{i=1}^1 F_{w1i} \cdot F_{w11i}$	Düşük yer gereksinimi	F_{w11}	F_{w111}
Ergonomiklik $G_T = \sum_{i=1}^2 G_{w1i} \cdot G_{w11i}$	Estetik	G_{w11}	G_{w111}
	İnsan-makine uyumu	G_{w12}	G_{w112}
Üretim $H_T = \sum_{i=1}^4 H_{w1i} \cdot H_{w11i}$	Parça üretim kolaylığı	H_{w11}	H_{w111}
	Parça yeniden işlenebilirliği	H_{w12}	H_{w112}
	Toplamda parça sayı azlığı	H_{w13}	H_{w113}
	Düşük sistem ağırlığı	H_{w14}	H_{w114}
Toplam Ağırlık ölçüt = $A_T + B_T + C_T + \zeta_T + D_T + E_T + F_T + G_T + H_T$			

Çalışma sistemi için toplam ölçüt ağırlığı: $A_T = \sum_{i=1}^5 A_{w1i} \cdot A_{w11i}$ (2d)

Üretim için toplam ölçüt ağırlığı : $H_T = \sum_{i=1}^4 H_{w1i} \cdot H_{w11i}$ (2e)

Bu çözüm prensibine ait toplam ölçüt ağırlığı:

$$\text{Ağırlık ölçüt} = A_T + B_T + C_T + \zeta_T + D_T + E_T + F_T + G_T + H_T \quad (2f)$$

Burada ‘Ağırlık ölçüt’ değeri bir çözüm prensibi için bulunmuştur. Bu işlem diğer çözüm prensipleri için de tekrarlanır. Herhangi bir alt fonksiyonu karşılayan çözüm prensipleri içinde, yukarıdaki hesap sonucu, ‘Ağırlık ölçüt’ değeri en büyük olan çözüm prensibi, bu alt fonksiyon için en uygun çözüm anlamına gelir. Böylece bütün alt fonksiyonlar için bu işlemler tekrarlanması ile her alt fonksiyonun en uygun çözüm prensibi bulunur. Alt fonksiyonlar birleştirildiğinde tüm fonksiyonu oluşturduğundan dolayı, alt fonksiyonları karşılayan çözüm prensiplerinin birleştirilmesiyle tasarlanmak istenen sistem kavramsal olarak ifade edilir. Kavramsal tasarım işleminin çıktısı olan bu çözüm, şekillendirme tasarım esnasında esas alınır ve geliştirilir.

Çalışma kapsamında tasarımı yapılan otomatik boru kesme tezgâhı için tüm kavramsal tasarım adımları uygulandığında Çizelge 5’teki çözüm kavramları elde edilmiştir. Burada toplam olarak yedi alt fonksiyondan oluşan bir sistem için 1024 (4 x 1 x 4 x 2 x 2 x 4 x 4) adet çözüm olasılığı üzerinde çalışılmıştır. Geliştirilen kavramsal tasarım modeli ile bu olasılıklar bir veya birkaç çözüme kadar indirilebilmektedir.

Çizelge 5. Otomatik boru kesme tezgâhı için elde edilen çözüm kavramları

Alt fonksiyon adı	Alt fonksiyon tanımı	Bulunan çözüm prensibi / kavramı
Fonksiyon 1	Elektrik bağlantısı yap	Elektirik butonu
Fonksiyon 2	Sinyal gönder PLC&PC	PLC & PC
Fonksiyon 3	Kanalize et (taşı)	Ucu kapalı tüm daire profili
Fonksiyon 4	X ve Y yönünde Dairesel enerji oluştur	Step motor
Fonksiyon 5	Kesici aleti çalıştır	Servo motor
Fonksiyon 6	X ve Y yönünde Doğrusal enerji oluştur	Krank-Biyel mekanizması
Fonksiyon 7	Kesme işlemini yap	HSS profil testere

3. Sonuç

Bu çalışmada, ‘Sistematik tasarım’ yaklaşımı temel alınarak bir kavramsal tasarım işlem modeli geliştirilmiştir. Bu işlem modeli, kavramsal tasarımın başlangıcını temsil eden tasarım şartnamesinden başlayarak alt fonksiyonları karşılayan en uygun çözüm prensiplerini bulmaya kadar geçen süreci kapsamaktadır. Bilgisayar destekli kavramsal tasarım sistemleri için oldukça uygun ve kullanışlı bir işlem modelidir. Bu işlem modeli ile hazırlanabilecek kavramsal tasarım yazılımları, geleneksel BDT sistemleri ile bütünlük çalıştırılabilir ve optimum tasarım çözümleri elde edilebilir. Böylece sanayi kuruluşlarının AR-GE çalışmaları daha etkin hale gelebilir.

Yapılan bu çalışmada, diğer kavramsal tasarım işlem ve yaklaşımlarında da olduğu gibi, fonksiyon yapıları esas alınmış ve ayrıntılı fonksiyonel analizler yapılmıştır. Ayrıca alt fonksiyonlara aranacak çözüm prensipleri ve farklı kombinasyonları oldukça kapsamlı düşünülmüştür. Böylece geniş bir tasarım çözüm uzayı oluşturulabilir ve yeni teknolojilere paralel geliştirilebilir.

En uygun çözüm bulmada, karar mekanizması içinde yer alan ölçütlere değer verme işlemi için ‘Pahl ve Beitz’in amaçlar ağacı esas alınmıştır. Çözüm prensiplerinin bu ‘amaçlar ağacında’ objektif ve kesin çizgilerle değerlendirilebilmesi için bu çözüm prensiplerine ait ölçüt ağırlıkları hesaplamada kullanılacak bir işlem geliştirilmiştir. Genel değerlendirme ölçüt kapsamı, genişletilebilir olup böylece makine kavramsal tasarımında esneklik ve güvenilirlik sağlanabilir. Ayrıca bu kavramsal tasarım işlem modeline ürün planlama, şekillendirme tasarımı ve ayrıntılı tasarım aşamaları eklenerek ‘Sistematik Tasarım’ yaklaşımı bir bütün olarak bilgisayar destekli bir hale getirilebilir.

Referanslar

[1] Mayda , M., “Web tabanlı kavramsal tasarım” , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6, 2007.

[2] Börklü, H.,R., “Makine tasarım dili”, Mesleki ve Teknik Eğitim Sempozyumu, Elazığ, 1, 1995.

- [3] Börklü, H., R., “Computer-aided conceptual design based on design catalogues”, *Politeknik Dergisi*, 4 (3) : 77-78, 2001.
- [4] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. ve Grote, K. H., “Engineering Design – A Systematic Approach”, Springer Verlag, 3. Baskı, London, UK , 2007.
- [5] Pahl, G. ve Beitz, W., “Engineering Design”, The Design Council, Springer-Verlag, London, 1988.
- [6] Allen, R.H , v.d., “The Role of Standarts in Innovation”, *Technological Forecasting and Social Change*, 64, 171-181, 2000.
- [7] Kim, J. v.d., “Data Exchange of Parametric CAD Models Using ISO 10303-108”, Technical report, NISTIR 7433, USA , 2007.
- [8] Guan, L., Wang, J. And Wang, L., “Integrated approach for parallel machine tool conceptual design”, *Int. Conf. on Robotic, Intelligence Systems and Signal Processing*, China, 456–461, 2003.
- [9] Ira Campbell, M., “The a design invention machine: A means of automating and investigation conceptual design”, PhD Thesis, Carneige Mellon University, USA, 2000.
- [10] Li, M., Huang, T., Zhang, D., Zhao, X., Hu, S.J. And Chetwynd, D.G., “Conceptual design and dimensional synthesis of a reconfigurable hybrid robot”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 127: 647-653, 2005.
- [11] Carl, T.F., “A conceptual design of an underwater vehicle”, *Ocean Engineering*, 33: 2087-2104, 2006.
- [12] Gao, X., And Li, Z., “Computer-aided conceptual design of mechanical products using polychromatic sets”, *Int. Conf. on Mechatronics and Automation*, China, 25-28, 2006.
- [13] Xu, L., Li, Z., Li, S. And Tang, F., “A Polychromatic sets approach to the conceptual design of machine tools”, *International Journal of Production Research*, 43(12): 3397-2421, 2005.
- [14] Ociepka, P. And Swider, J., “Object-oriented system for computer aiding of the machines conceptual design process”, *Journal Materials of Processing Technology*, 157(158): 221-227, 2004.
- [15] Cole, E.L., “Functional analysis: A system conceptual design tool”, *IEEE Transactions on Aerspace and Electronic Systems*, 34(2): 354-365, 1998.