

**DOĞADAN ESİNLENEREK
SİSTEMATİK ÜRÜN TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Ahmet Fatih YURAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

OCAK, 2013

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

DOĞADAN ESİNLENEREK SİSTEMATİK ÜRÜN TASARIMI

Ahmet Fatih YURAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Ocak, 2013

TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet Fatih YURAN tarafından hazırlanan ‘‘Doğadan Esinlenerek Sistematik Ürün Tasarımı’’ adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 03/01/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Başkan : Doç. Dr. Ahmet GAYRETLİ İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN
Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

DOĞADAN ESİNLENEREK SİSTEMATİK ÜRÜN TASARIMI

Ahmet Fatih YURAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Tasarım; sistem, parça veya sürecin beklenen gereksinimlere göre planlanması ve bu gereksinimleri karşılayacak olan gerekli bilgi ve doğru teknolojiye sahip olacak olan ürüne karar verme sürecidir. Tasarımcının en büyük sorumluluğu karşılaştığı problem karşısında en uygun teknolojileri birleştirerek en düşük maliyete ve aynı zamanda en uygun çözüme sahip olan ürünü ortaya koymaktır. Problemler karşısında en iyi çözümü bulmak söz konusu olduğunda doğa ve canlıların sahip olduğu tasarım her zaman en iyi örnekleri sunmuştur.

Bu çalışmada sistematik ürün tasarımı metotları incelenmiştir. Tasarımcının kullanacağı sistematik ürün tasarımı metotlarına yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımı olarak isimlendirilmiştir. Önerilen yaklaşım örnek bir tasarıma uygulanmıştır. Tasarım için esin kaynağı olarak asma (*Vitis Vinifera*) bitkisi belirlenmiştir. Bitkideki özelliklerin tasarıma aktarılabilmesi için asma bitkisinin özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda asma filizlerine çekme testleri yapılmış ve filiz kesitleri incelenmiştir. Elde edilen bilgiler yenilikçi çözüm önerilerine dönüştürülmeye çalışılmıştır ve tasarım örneğinde kullanılmıştır. Doğadaki tasarım çözümlerinin yeni ürünlere kazandırılmasının faydalı olacağı görülmüştür.

2013, viii + 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sistematik Tasarım, Tasarım Metotları, Doğadan Esinlenerek Tasarım, Asma (*Vitis Vinifera*)

ABSTRACT
M.Sc Thesis

BIOINSPIRED SYSTEMATIC PRODUCT DESIGN

Ahmet Fatih YURAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Design is the process of deciding the product that has suitable components and functions based on expectations. The greatest responsibility for the designer is to decide the cheapest and the most appropriate product by combining the most appropriate technologies. Nature provides the best examples when it comes to finding the best solution to the design problems.

In this study, systematic product design methods are researched. A new approach is proposed to the systematic design methods which can help the designer. The proposed method is named as bio inspired systematic design. Contribution of the new method to the design process is observed on a sample. As a source of inspiration vine plant (*Vitis Vinifera*) is used. The remarkable mechanical properties of the plant were investigated to find a novel design solution. In this context, tensile tests were applied to the tendrils of vine. Also, tendrils cross section properties were analyzed. The information obtained from vine's mechanical properties transformed into innovative design solutions in a case study. It was concluded that, proposed method helps designer to find innovative design solutions.

2013, viii + 87 pages

Key Words: Systematic Design, Design Methods, Bio-inspired Design, Grape Vine (*Vitis Vinifera*)

TEŞEKKÜR

Beni bu konuda çalışmam için yönlendirerek, yaratılmış olan her canlıya ve yapacağım akademik çalışmalara bambaşka yönlerden bakmamı sağlayan, tez danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bitkilerle ilgili sahip olduğu geniş bilgileri benimle paylaşan, değerli fikirlerinden faydalandığım ve asma kesitlerinin incelenmesi konusunda yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEMEL'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Fikir ve desteklerini esirgemediği için Arş. Gör. Özgür VERİM'e, çekme testlerinde verdiği fikirler için Arş. Gör. Şükrü KARAKAYA'ya teşekkür ederim. Manevi desteklerini her zaman hissettiğim çalışma arkadaşlarım, Arş. Gör. Vedat DEMİRTAŞ ve Arş. Gör. İbrahim YAVUZ'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan aileme ve çalışmalarım sırasında gösterdiği özveriyle, sıkıntılarımı paylaşan sevgili eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet Fatih YURAN
AFYONKARAHİSAR, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
RESİMLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Tasarım ve Tasarım Metotları	4
2.2 Doğadan Esinlenerek Tasarım	6
2.3 Sistematik Tasarım.....	10
2.3.1 Tasarım Hedeflerinin Netleştirilmesi.....	10
2.3.2 Hedef Ağacı Metodu.....	12
2.3.3 Tasarım Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	16
2.3.4 Fonksiyon Analizi Metodu	17
2.3.5 Tasarım Gereksinimlerinin Belirlenmesi	22
2.3.6 Performans / Teknik Şartname Belirleme Metodu	23
2.3.7 Tasarım Karakteristiğinin Oluşturulması.....	27
2.3.8 Kalite Fonksiyonu Yayılımı.....	30
2.3.9 Tasarım Karakteristiğinin Oluşturulması.....	36
2.3.10 Morfoloji Tablosu Metodu.....	38
2.3.11 Alternatif Tasarım Önerilerinin Değerlendirilmesi	42
2.3.12 Ağırlıklı Hedefler Metodu	43
3. MATERYAL ve METOT	50
3.1 Giriş.....	50
3.2 Doğadan Esinlenerek Tasarım Yaklaşımıyla Hedef Ağacı Metodu	53
3.3 Doğadan Esinlenerek Tasarım Yaklaşımıyla Morfoloji Tablosu Metodu	55
3.4 Asma Bitkisinin Mekanik Olarak İncelenmesi	56
3.4.1 Asma Bitkisinin Organları	59
3.4.2 Asma Bitkisinde Dokular.....	61
3.4.3 Asma Filizlerinde Çekme Testleri	65

3.4.4 Asma Filizlerinde Kesitlerin İncelenmesi.....	66
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	68
4.1 Çekme Testi Sonuçları	68
4.2 Kesitlerin İncelenmesiyle Elde Edilen Sonuçlar	71
4.3 Doğadan Esinlenerek Tasarım Yaklaşımıyla Hedef Ağacı Metodu	73
4.3.1 Asmadan Edinilen Bilgilerin Örnek Uygulaması	76
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	80
6. KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Hedef ağacı metodu örneği	15
Şekil 2.2 Kapalı kutu modeli.....	18
Şekil 2.3 Şeffaf kutu modeli.....	20
Şekil 2.4 Ağırlıklı hedefler diyagramı.....	46
Şekil 3.1 DET yaklaşımıyla hedef ağacı metodunun uygulama adımları	54
Şekil 3.2 DET yaklaşımıyla morfoloji tablosu metodunun uygulama adımları.....	56
Şekil 4.1 Taze filizlerin çekme testi sonuçları	69
Şekil 4.2 Kuru filizlerin çekme testi sonuçları	70
Şekil 4.3 Asma için hazırlanmış olan hedef ağacı diyagramı	74
Şekil 4.4 DET yaklaşımıyla hazırlanmış olan hedef ağacı diyagramı	76
Şekil 4.5 Asma filizlerinden esinlenerek geliştirilen tasarım önerisi.....	77
Şekil 4.6 Örnek tasarımın asma filizine benzer hareketi.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Dizilim kombinasyonu	37
Çizelge 2.2 Hedef karşılaştırma tablosu.....	44
Çizelge 2.3 Hedef puanlama tablosu	45
Çizelge 2.4 Hedef parametreleri için bir örnek	47
Çizelge 3.1 Sistematik tasarım metotları ve yeni bir yaklaşım	52
Çizelge 4.1 Bitkinin öz bölgesinin farklı kesitlerdeki alanları	72

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 Bir demire sarılmış asma filizi.....	58
Resim 3.2 Asma filizinin el çizimi. A: Asma gövdesi, B ve C: Asma filizleri.	60
Resim 3.3 Asmanın gövde kesitinden bir görüntü	64
Resim 3.4 Asma filizin farklı mevsimlerde görünüşleri	65
Resim 3.5 Asma filizinin çekme testi cihazının çenelerine bağlanmış hali	66
Resim 4.1 a) Asma filizinin kesit alınan bölgeleri b) A-a bölgesinden alınan kesit görüntüsü c) B-b bölgesinden alınan kesit görüntüsü d) C-c bölgesinden alınan kesit görüntüsü	71
Resim 4.2 a) Asma filizinin sarılmasını gösteren bir çizim b) asma filizinin dokunma yüzeylerini gösteren bir resim	73
Resim 4.3 Örnek tasarımın prototipi ve farklı konumları	79

1. GİRİŞ

Tasarım; bilim ve matematiksel prensipleri, tecrübe ve yaratıcılığı kullanarak doğal kaynaklardan insana faydalı ürünler ortaya koyma eylemidir. Tasarımcılar günümüze kadar yaptıkları çalışmalarla var olan bilimsel ve matematiksel bilgiyi çeşitli tasarımlarla ürünlere dönüştürerek insanların kullanımına sunmuştur.

Tasarım; sistem, parça veya sürecin beklenen gereksinimlere göre planlanması ve bu gereksinimleri karşılayacak olan gerekli bilgi ve doğru teknolojiye sahip olacak olan ürüne karar verme sürecidir. Tasarımcının en büyük sorumluluğu karşılaştığı problem karşısında en uygun teknolojileri birleştirerek maliyeti en düşük ve aynı zamanda en uygun çözüme sahip olan ürünü ortaya koymaktır.

Tasarımcının teknolojiyi ilerletecek; yeni ve orijinal tasarımlar geliştirmesinde birçok esin kaynağı mevcuttur. Ancak doğa ve içindeki canlılar tasarımcının esin kaynakları arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Mevcut problemlere doğada sunulan çözüm şekilleri tasarımcıya yapacağı tasarımlarda önemli bir rehber niteliğinde yeni ufuklar açmıştır. Problemler karşısında en iyi çözümü bulmak söz konusu olduğunda doğa ve canlıların sahip olduğu tasarım her zaman en iyi örnekleri sunmuştur. Doğa yüzyıllar boyunca en az enerji gerektiren, en verimli ve en kullanışlı tasarımlarla hayatta kalmayı başarmış birçok canlı barındırmaktadır. Doğadaki birçok canlı sahip oldukları çok fonksiyonlu ve kusursuz tasarımlarıyla var olan minimum kaynaktan maksimum performans elde etmeyi başararak en zorlu şartlarda bile hayatta kalmayı başarmıştır. Bu nedenle doğada bulunan canlılardaki özelliklerin tasarımlara aktarılması daha iyi ürünler ortaya koyabilmek için önem arz etmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasının amacı yeni ürün tasarımındaki süreçleri incelemektir. Tasarımcının bu süreçte doğadan nasıl faydalanılabileceğine dair bilgiler edinmek ve tasarım sırasında kullanılacak sistematik metotları incelemektir. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için sistematik ürün tasarımı metotları ve bu metotların nasıl uygulandığı ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Ürün tasarımı sürecini kolaylaştırmayı hedefleyen ve tasarımcıya yardımcı olabilecek metotlar arasından altı tanesi seçilmiştir. Tez çalışmasında belirlenen sistematik tasarım metotlarının uygulama adımları

kapsamlı bir literatür çalışmasıyla belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında incelenen sistematik tasarım metotları şunlardır;

- Hedef Ağacı Metodu
- Fonksiyon Analizi Metodu
- Performans Belirleme Metodu
- Kalite fonksiyonu Yayılımı Metodu
- Morfoloji Tabloları Metodu
- Ağırlıklı Hedefler Metodu

Yapılan çalışmada sistematik ürün tasarımı metotlarının tasarım sürecini kolaylaştırdığı görülmüştür. Ancak bu metotlarda doğadan esinlenerek tasarımı kapsayan her hangi bir öneri bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında var olan bu metotların daha iyi hale getirilebilmesi için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Yeni öneriyle tasarım metotlarına doğadaki esin kaynaklarının daha aktif kullanılması amaçlanmıştır ve bu yaklaşım “Doğadan Esinlenerek Tasarım (DET) yaklaşımı olarak isimlendirilmiştir. Öne sürülen yeni yaklaşım, yeni bir metot olmamakla beraber sistematik tasarım sürecinde kullanılan hedef ağacı metodu ve morfoloji tabloları metotlarının yeniden düzenlenmiş halidir. Hedef ağacı metodu için önerilen yaklaşım; öncelikle doğadaki canlıların incelenmesini ve canlılardan elde edilen bilgilerle hedeflerin daha iyi hale getirilmesini temel almaktadır. Morfoloji tabloları metodu için önerilen yaklaşım ise doğadaki canlıların sahip olduğu yapısal benzerliklerin tasarıma kazandırılmasına yardımcı olmayı amaçlar. Doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımı tasarım sürecinde doğadaki örneklerin daha iyi anlaşılabilmesini ve bulunan özelliklerin tasarlanan ürüne yansıtılabilmesini hedeflenmektedir.

Önerilen yeni yaklaşımın tasarıma etkisinin gözlemlenebilmesi için örnek bir tasarım konusu ve bu tasarıma doğada bulunan bir canlıdan aktarılabilecek özellikler araştırılmıştır. Robot kolların oldukça güncel tasarım konularından biri olduğu görülmüştür. Robot kol tasarımında kullanılacak esin kaynağı olarak asma bitkisi seçilmiştir. Asma bitkisinin sahip olduğu özelliklerin tespit edilmesi için mekanik bakış açısıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Asma bitkisini diğer bitkilerden ayıran en

dikkat çekici özelliği sahip olduğu filizler yardımıyla başka yapılara tutunmasıdır. Asma filizlerindeki bu yeteneğin hangi prensiplerle çalıştığını öğrenebilmek için iki çalışma yapılmıştır. Bahsedilen çalışmalardan biri dayanımların tespit edilebilmesi için yapılan çekme testleridir. Diđeri ise asma filizlerinin kesitleri incelenmesi ile ilgilidir. Çekme testi ve kesit incelemelerinden elde edilen bilgiler robot kol tasarımına aktarılmaya çalışılmıştır. Yapılan bu tez çalışmasının esas amacı yeni bir robot kol tasarlamak değildir. Robot kol tasarımı sadece bir örnek olarak belirlenmiş ve bu örnek yardımıyla tasarım metotlarının ve doğadan esinlenerek tasarım sürecinin nasıl çalıştığını anlamak esas amaç olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak; asma bitkisinin filizlerinin mekanik özellikleri incelenerek tasarıma katkı sağlayabilecek yeni bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Asma filizlerine yapılan çekme testleri sonucunda kuru asma filizlerinin dayanımlarının taze filizlere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çekme testi sonuçları asma filizinin dayanımlarının mevsimlere göre değiştini göstermektedir. Bu değişimin filizin malzeme yapısıyla ilgili olduğu görülmüştür. Elde edilen bu bilgiler tez çalışmasında hazırlanan tasarıma herhangi bir katkı sağlamamıştır. Ancak filizlerin malzeme yapısına dair incelemeler diğer araştırmacılara esin kaynağı olabileceği düşünölmektedir. Çekme testlerinden elde edilen bilgilerden faydalanılamamış olsa da filizin kesit alanların incelenmesiyle elde edilen bilgiler alternatif ve yenilikçi sayılabilecek bir çözüm önerisi geliştirilmesine yardımcı olmuştur. Bulunan fikir örnek olarak seçilen bir tasarımda uygulanmış ve yeni öneri bilgisayar ortamında modellenmiştir. Tasarım önerisinin uygulanabilirliğinin daha net gözlemlenebilmesi için ön çalışma yapılmış ve tasarım bilgisayar ortamında modellenmiştir. Bunun yanı sıra yeni tasarım fikri basit bir prototip üzerinde incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda doğadaki örneklerin incelenmesiyle tasarıma farklı boyutlarda katkı sağlanabildiği görülmüştür. Doğadan esinlenerek tasarım sürecinin zorlukları tespit edilmiş ve sürecin daha iyi anlaşılabilmesi için referans olabilecek bir çalışma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Tasarım ve Tasarım Metotları

Tasarımın tanımlaması birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde yapılmıştır. Bu tanımlamalardan bazıları şunlardır;

Jones (1992)'a göre tasarım belirsizlik durumları arasında karar verme sürecidir. Alexander (1964)'a göre tasarım ortaya koyulacak olan ürün için doğru fiziksel bileşenlerin araştırılmasıdır. Newel *et al.* (1972) yaptıkları çalışmada; ortaya koyulması beklenen ürünü bir problem olarak tanımlanmış ve tasarımın tanımı problem çözme süreci olarak tanımlanmıştır. Anderson ve Crawford (1989) ise tasarımı; fonksiyon şartnameleri ve ihtiyaçlar grubunu, karşılaşılan fiziksel bir ürün veya sistemin tam bir tarifine dönüştürme işlemi olarak tarif etmişlerdir.

Tasarım'ın rasyonel ve belirgin süreçler olarak ele alınması 1960'larda İngiltere'de düzenlenen bir dizi konferans ve sempozyum ile başlamış ve bunu izleyen uluslararası yayınlar ile gelişmiştir. Bu çalışmaların başlangıç noktası olarak kabul edilebilecek ilk etkinlik 1962 yılı Eylül ayında Imperial College London'da, J. Christopher Jones ve Denis G. Thornley tarafından düzenlenmiş olan Tasarım Yöntemleri Konferansı'dır. Bu konferans bilim insanlarının ve mühendislerin, tasarımı özellikle bilimsel bir bakış açısı ile ele almaya başlayıp tasarım yöntemlerini bu yönden değerlendirdikleri ilk konferanstır.

Tasarım ve tasarım metotları üzerine yapılan araştırmalar endüstrileşen toplumlarda 1950 ve 1960'larda artarak görülmeye başlamış ve tasarım, bir eylem olarak çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Bu dönemden sonra tasarımın içeriği, bileşenleri, tasarımcının düşünsel süreci ve benzeri konularda sorgu ve tartışmalar giderek artmış ve bu bağlamda yeni kuram ve yöntemler ortaya konmuştur (Jones, 1992).

Tasarımcıların ve bilim adamlarının tasarım sürecine yaklaşımlarını gözlemlemek için yapılan bir çalışmada her iki gruptaki insanlardan aynı problemi çözmeleri istenmiştir (Lawson, 1984). Bu çalışmanın sonucunda tasarımcıların bulduğu iyi çözümleri önerilerini

sadece geçmişteki deneyimlerinden edindikleri sezgilerle, bilim adamlarının ise belirli stratejiler belirleyerek çözüm aradığını görülmüştür. Çalışmanın sonuçları tasarım sürecinin sistematik bir yapıya kazandırılmasının, tasarımcıların doğru çözüm önerilerini bulmasına katkı sağlayacağını göstermiştir. Böylece sistematik tasarım kavramı daha dikkat çekici hale gelmeye başlamıştır.

Birçok araştırmacı tasarım sürecini belirli metotlar kullanarak sistematik bir yapıya oturtmak ve daha iyi hale getirebilmek için çaba göstermiştir. French (1985) tasarım sürecini dört aşamadan oluştuğunu öne sürmüştür. Bu aşamalar; keşfetme, çözüm üretme, çözümlerin değerlendirilmesi ve son olarak iletişimidir. French (1985) 'e göre çözüm üretme ve çözümlerin değerlendirme aşaması iteratif bir yapıya sahiptir. Yani bir çözüm önerisi getirilir sonra değerlendirilir. Eğer çözüm istenen yeterliliğe sahip değilse yeni bir çözüm önerisi bulunur. En iyi çözüm önerisi bulunana kadar bu süreç sürekli kendini tekrar etmelidir.

Almanya'da bulunan Profesyonel Mühendisler Topluluğu (Verein Deutscher Ingenieure) "Teknik Ürün ve Sistemlerin Tasarımı için Sistematik Yaklaşım" başlığıyla bir kılavuz yayınlamıştır (VDI:2221, 1987). Bu kılavuzda tasarım süreci belirli alt çalışma konularına ayrılarak ülkede üretilen teknik ürünlerin kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu yaklaşım yedi bölümden oluşmaktadır. Tasarım sürecinde önerilen alt çalışma adımları sırasıyla şöyledir; görevin tanımlanması, fonksiyonların belirlenmesi, çözüm önerilerinin araştırılması, çözüm önerilerinin gruplanması, her bir çözüm grubunun geliştirilmesi, genel tasarım yapısına karar verilmesi, üretim aşamalarının kararlaştırılması. Kılavuzda tasarımcı veya tasarım ekibinin bahsedilen adımları uygulamasıyla daha iyi ürünler geliştirilmesinin kolaylaştırılacağı öne sürülmüştür.

Bir başka çalışmada sistematik tasarım metotlarının sahip olması gereken ortak özellikler belirlenmiştir (Pahl ve Beitz, 1996). Bu çalışmada sistematik tasarım metotlarında bulunması gerekli olan özellikler ana hatlarıyla ifade edilmiştir. Tasarım metotlarında bulunması gereken özelliklere dair yapılan öneri birkaç madde ile sıralanabilir;

- Sadece uzmanlık alanlarında değil, tasarım faaliyetlerinin her çeşidi için de uygulanabilmelidir,
- Yeni icat ortaya koymayı teşvik etmelidir,
- En iyi çözümler için araştırmayı kolaylaştırmalıdır,
- Diğer tasarım metot ve kavramlarıyla uyumlu olmalıdır,
- Bulunacak olan çözümler şans eseri ortaya çıkmamalıdır,
- Metodun öğrenilmesi ve öğretilmesi kolay olmalıdır.
- Disiplinler arası çalışmayı kolaylaştırmalıdır.

Tasarım metotlarının işleyişinde olması gereken bu özellikler kullanılarak yapılan bir tasarım işlemi sonucunda, klasik tasarım metotlarına göre çok daha çabuk ve doğrudan olarak mümkün olan çözüm önerilerinin bulunabilmesinde tasarımcıya yardımcı olacaktır (Bozdemir ve Toktaş, 2001).

Mayda ve Börklü (2011) yaptıkları çalışmada Pahl ve Beitz'in (1988) sistematik tasarım yaklaşımını tasarım amaçlı tüm kaynak ve araştırmalarda en çok atıfta bulunulan 'Sistematik Mühendislik Tasarım' yaklaşımı olduğunu öne sürmüşlerdir ve bu yaklaşımın dört ana aşamadan oluştuğunu aktarmışlardır:

1. Görevi belirleme: iyi bir tasarım tanımı (ihtiyaç listesi veya tasarım şartnamesi) yapabilmek için gerekli tüm bilgileri derleme,
2. Kavramsal tasarım: bazı tasarım kavramları (seçenekleri) oluşturma ve aralarından bir veya bir kaçını seçme,
3. Şekillendirme tasarımı: seçilen kavramları geliştirme, tasarım oluşum ve ön imalat işlemlerini belirleme,
4. Ayrıntılı tasarım: geometrik şekil, boyutlar, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar ve parçalara ait diğer imalat özelliklerle birlikte genel montaj yapısını belirleme.

2.2 Doğadan Esinlenerek Tasarım

Bu güne kadar yeni ve orijinal tasarımlar oluşturulmasında en önemli model doğa ve içinde barındırdığı canlılar olmuştur. Mevcut problemlere doğada sunulan çözüm şekilleri ve tasarımlar insanlara her zaman için iyi bir yol gösterici ve esin kaynağı

olmuştur (Yuran ve Taşgetiren 2010). Doğadan esinlenerek tasarımın esas amacı, doğanın dilini tasarımcıya tercüme eden bir araç olmaktır. Doğa her zaman, insanların yaşamını geliştirmek istemesi yüzünden ilham aldıkları ve taklit ettikleri bir model olarak hizmet vermiştir (Bar and Cohen 2006).

Leonardo da Vinci doğaya olan hayranlığını şöyle dile getirmiştir (Edwards, 2005): “İnsan ustalığı, bir icadı hiç bir zaman doğanınkinden daha güzel, basit ve direkt yapamayacaktır. Çünkü doğanın icatlarında hiçbir şey eksik ya da fazla değildir.” Leonardo da Vinci'nin eserlerinin başarısı, onun doğayı görme çabalarının bir sonucu olarak yorumlanmaktadır. Uçma amacına ulaşmasa da Leonardo da Vinci'nin uçuş makineleri geliştirebilmek için birçok canlıyı incelemiş ve karşılaştırmalarını yapmıştır (Laurenza, 2005).

Bu tez çalışmasının konusuna daha yakın olan bitkiler de bazı tasarımlara esin kaynağı olmuşlardır. 1940'larda, İsveçli mucit George de Mestral, köpeğiyle eve dönerken pantolonuna ve köpeğinin tüyelerine takılan pıtrak bitkilerini fark etmiştir. Bu bitkiyi mikroskopla inceleyince yüzlerce minik çengelden oluşan yapıya sahip olduğunu keşfetmiştir. Daha sonra bu yapıdan esinlenerek "Velcro" adı verilen ürünün tasarımını yapmıştır ve patentini almıştır (United States Patent Office, 1961).

Bitkilerin mekanik özellikleri üzerine oldukça kapsamlı ve çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarından birinde ağaç dallarının ağacın gövdesiyle birleştiği bölge incelenmiştir (Mattheck, 1998). Yapılan incelemeler sonucunda dalların ağaç gövdesiyle birleştiği bölgede oluşan eğim sayesinde o bölgedeki gerilme yığılmalarının azaltıldığını gözlemlenmiştir. Araştırmacı buradan edindiği bilgiyi çentikli parçaların tasarımlarının optimize edilmesi için kullanılabileceğini göstermiştir.

Aynı yazar bir başka çalışmasında ağaç gövdelerini incelemiştir (Mattheck ve Kubler, 1995). Ağaç gövdelerinde bulunan yaş halkalarının gelişiminin ağacın dallarına ve gövdesine etkiyen rüzgârla olan ilişkisini ortaya koymuştur. Ağaçların rüzgârın geldiği yönde daha fazla malzeme biriktirdiğini, aksi istikamette ise daha az malzeme biriktirdiğini ve böylece ağaç gövdelerinin mekanik olarak en iyi yapıya sahip olduğunu

göstermiştir. Yazar yaptığı çalışmaların birçoğunda ağaçlardaki yapıları inceleyerek elde ettiği bilgiyi makine tasarımlarının optimize edilmesinde nasıl kullanılacağını ortaya çıkarmıştır. Bir başka çalışmada ise ağaçlardaki hasarların oluşma mekanizmalarını incelemiştir (Mattheck ve Breloer, 1995).

Buğday gövdeleri üzerine yapılan bir çalışma, buğdayın sahip olduğu özellikler yeni bir kiriş tasarımına esin kaynağı olmuştur (Değer *et al.* 2010). Değer ve arkadaşları (2010) buğday gövdelerinin sahip olduğu kesit özellikleri üzerine incelemeler yapmıştır. İncelemeler sonucunda buğday kesitinin özel bir yapısı olduğu görülmüştür. Benzer bir yapı basitleştirilerek kiriş tasarımlarına uygulanmıştır. Böylece daha hafif, aynı zamanda dayanımı yüksek yeni bir kiriş tasarımı elde edilmiştir.

Buğday bitkisi üzerine yapılan bir başka çalışmada bitki başaklarının sürüklenme kuvvetleri ve sürüklenme katsayıları araştırılmıştır (Kırmacı, 2009). Unigraphics programında kılçıksız formu çizilen başakların; bilgisayar ortamında ANSYS 11,0 ile yapılan analizleri ile sayısal ve deneysel verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca başağın farklı açılardaki hareketinin türbülans oluşumu üzerine etkileri gözlemlenmiştir. Akım çizgileri görüntüleri araştırılmıştır. Buğday başaklarının sahip olduğu tasarımın üzerine etkiyen rüzgâr kuvvetini gövdeye yansıtmayacak şekilde olduğu görülmüştür. Ancak yapılan bu çalışma henüz her hangi bir mühendislik uygulamasına aktarılamamıştır.

Northeastern Üniversitesi'nden (ABD) araştırmacılar, akrelerin çöldeki manevra kabiliyetlerini yeni bir gezgin robotun tasarımı için kullanmışlardır (Graham ve Rowe 2001). Bunun için öncelikle bir akrebin nasıl hareket ettiğini incelemişlerdir. Bu maksatla akrebin hareketleri yüksek hızlı kameralarla filme alınmıştır. Gezgin robotun tasarımında akrebin model olarak seçilmesi, engebeli arazilerde kolaylıkla hareket edebilmesi ve bu hareket esnasında reflekslerini çok iyi kullanabilmesidir. Akrebin refleksleri memelilerin reflekslerine göre çok daha basit olduğu için, bu reflekslerin robota aktarılması daha basit algoritmalarla mümkün olabilmektedir. Çok karmaşık algoritmalar kullanan robotlar, bazen basit problemlerde hatalara sebep olmaktadır. 50 santimetre uzunluğa sahip bu yeni robottan istenen iş, çölde 40 km uzaklıktaki bir hedefe ulaşip şaşırmadan geri dönebilmesidir. Bu amaca uygun plânlanan akrep robota

bir pusula ve yolculuğunda yardımcı olmak üzere bir arazi haritası yerleştirilmiştir. Kuyruğundaki kamera vasıtası ile merkez üssüne görüntüler gönderebilecektir. Robot akrep bir problemle karşılaştığında gerçek akrepte olduğu gibi tamamıyla refleksleri ile karşılık verebilmektedir. Robotun ön tarafına yerleştirilen iki ultrasonik alıcı yol üzerindeki engelleri algılamakta, eğer akrebin yüksekliğinin yüzde ellisinden büyük bir cisim mevcutsa, robot cismin etrafını dolaşmaktadır. Soldaki alıcı yüksek bir cisimi algılayarsa, robot otomatik olarak sağa dönmektedir. Bu robotun daha çok askeri maksatlarla kullanılması düşünülmektedir. Savaşın devam ettiği darmadağın bir kasabada, bu tip bir robotun daha başarılı olarak hareket edeceği ve değişen şartlara daha kolay uyum göstereceği tahmin edilmektedir.

Akita Prefectural Üniversitesi'nden Japon bilim adamı Norihiko Saga tırtıl hareketini örnek olarak enkaz altındakilere yardım eden robotun tasarımını geliştirmiştir (Saga 2004). Robot, kamera ve ışığın yanı sıra radyoaktivite ve oksijen miktarlarını ölçebilecek alıcılar taşıyabilecektir. Bu alıcılar enkaz altındaki insanları kurtaranlara bölgenin güvenli olup olmadığını bildirecektir. Tırtıl robot bağırsaklarımızda yiyeceğin ritmik kasılmalarla ilerlemesine (peristalsis) benzer bir hareket tarzına sahiptir. Robot, içinde demir parçacıkları, su ve akışkanın yüzey gerilimini azaltacak deterjan benzeri bir madde içeren manyetik bir akışkanla doldurulmuş bir seri lastik kapsülden meydana gelmiştir. Her bir kapsül diğerine lastik çubuk çifti ile bağlanmıştır. Tırtıl robotun öne hareket edebilmesi için arkaya doğru bir manyetik alan oluşturulur. Baştaki kapsülün içindeki manyetik sıvı manyetik alanın tesiriyle şişkinleşir; manyetik alanın ikinci kapsüle kayması ile birlikte serbest kalarak öne doğru yaylanır. Bu hareket seri halde bütün kapsüller boyunca tekrarlanarak sonuçta 4 cm/s'lik bir sürünme hızı elde edilir. Tırtılın içerisine belli aralıklarla elektromıknatıslar yerleştirilerek hareketin otomatik hale gelmesi planlanmaktadır. Bu sayede tırtılın hareketi uzaktan kumanda ile kontrol edilebilecektir. Sürünme hareketi yürüme, yüzme ve uçuş ile karşılaştırıldığında çok fazla enerji gerektiren bir hareket tarzıdır. Bilhassa yürümede, her bir adımda enerjinin belli bir kısmı kas, kırıç ve kemiklerde depolanarak yeniden kullanılmakta böylece, verim artmaktadır. Sürünme hareketinin böyle bir dezavantajı olmakla beraber önemli bir avantajı vardır. Denge ve kararlılık sürünme hareketinde diğer hareketlere nazaran daha fazladır. Tekerlekli veya yürüyen robotlar düz zeminlere ihtiyaç duyup enkaz

altında dengeli bir şekilde çalışmazlar. Üstelik bu tip robotları yarık ve deliklerden geçebilecek çok küçük ölçeklerde imal etmek de zordur.

Bir başka çalışmada yılanların sert iskeletleri ve uzuvlarının olmaması, gövdelerinin çapını büyültüp küçültmeleri, dallara sarılabilir ve kayaların üstünden geçebilme yetenekleri taklit edilerek NASA Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen ve "snakebot" adı verilen bir insansız uzay aracı yapılmıştır (NASA, 2008).

2.3 Sistematik Tasarım

Sistematik açıdan tasarlama kısmen çelişen sınırlayıcılarla verilen amaçları optimize etmektir. Sistematik Tasarım; tasarım ve üretim işlemlerini rasyonelleştirebilmek için etkin bir yöntemler bütünü olarak tanımlanabilir. Bu konuda tasarımcının kullanabileceği birçok metot vardır (Shalizi 2006). Tasarımı sistematik bir yolla yapabilmek için tasarım sürecini belirli parçalara bölmek fayda sağlar. Böylece adım adım yapılan işlemler sayesinde tasarım sadece sezgisel yetenekler yerine rasyonel bilgiler bütünü halinde gerçekleştirilebilecektir. Tasarım sürecini alt bölümlere ayrılması gerekirse altı temel bölüm ortaya çıkabilir. Bu bölümler; tasarım hedeflerinin netleştirilmesi, fonksiyonların belirlenmesi, gereksinimlerin belirlenmesi, karakteristiğın oluşturulması, alternatif çözümlerin üretilmesi ve çözüm önerilerinin değerlendirilmesidir(Cross 2005).

2.3.1 Tasarım Hedeflerinin Netleştirilmesi

Bir müşteri veya şirket yeni bir ürün geliştirmek istediğinde bu görev tasarımcıya verilir. Böyle bir durumda tasarımcıdan beklenen esas görev istenen özelliklerde, düşük maliyette, üretilebilir ve yenilikçi bir ürün ortaya koymasıdır. Ancak tasarımcıdan yeni bir ürün istendiğinde; tasarımcının ortaya koyacağı ürünün hangi özelliklere sahip olacağı net olarak ortaya koyulmamış olma ihtimali yüksektir. Tasarımcıya gelen müşteri, tasarlanan ürünün hangi ihtiyaçları karşılayacağı konusunda net bilgiler veremeyebilir. Bunun yanında müşteri ürünün hangi ihtiyaçları karşılayacağını net olarak bilse bile ortaya çıkacak ürünün detaylarını veya aynı görevi yerine getirebilecek farklı ürün seçenekleri hakkında farklı alternatif fikirleri tasarımcıya sunamayabilir.

Müşterinin tasarımcıdan istediği ürünün özellikleri belki de üretilmesini imkânsız kılacak kadar karmaşık bir yapıya sahip olabilir. Bu açıdan düşünüldüğünde; tasarım çözüm bekleyen bir problem olarak tanımlanabilir. Hatta tasarım problemin iyi bir şekilde çözülebilmesi için gerekli ön bilgiler çoğunlukla yetersiz veya belirsiz olma ihtimali yüksektir. Tasarımcıya; tasarlayacağı ürün ile ilgili yeterli ve tam bir ihtiyaçlar listesi verilme olasılığı oldukça azdır (Cross 2005).

Her ne olursa olsun tasarımcı kendisine verilen tasarım problemine çözüm veya çözümler üretmek durumdadır. Aynı zamanda bu öneriler müşterinin ihtiyacını mümkün olan en iyi şekilde karşılayabilmelidir. Bu açıdan bakıldığında; istenen ürün için ortaya koyulan çözümün sadece bir tane olmadığını, aksine birden çok tasarım önerisinin olabileceğini göstermektedir. Aynı görevi yerine getirebilecek birden çok çözüm ortaya koyulabilir. Bu yönüyle tasarım; birden fazla çözümün önerilmesi ve önerilen çözümler arasından hangisinin daha iyi bir sonuç vereceğini keşfetme süreci olarak tanımlanabilir.

Ürün geliştirme çalışmalarında, başarılı tasarım sonuçları elde etmek ve toplam kalitede artış sağlamak genel tasarım hedefleri arasında yer almalıdır (Apak *et al.* 2012). Tasarımın başarılı bir ürün haline getirilebilmesi için her şeyden önce atılması gereken ilk ve en önemli adım; tasarım ile ulaşılmak istenen hedeflerin net olarak belirlenmesidir (Cross 2005).

Özellikle günümüzde farklı disiplinlerin bir arada çalışmasıyla oldukça karmaşık yapıda ürünler ortaya çıkmaktadır (Altan ve Gayretli 2008). Dolayısıyla tasarım süreci farklı disiplinler nedeniyle sürekli değişkenlik göstermektedir. Tasarımda ulaşılmak istenen hedefler tasarım süreci devam ederken çeşitli değişikliklerin yapılabilmesi ve yeniliklerin uygulanabilmesi gerekmektedir.

Tasarım sürecinde yerine getirilmesi gereken öncelikli hedefler veya süreç sırasında belirlenen veya ortaya çıkan çeşitli ara hedefler tasarımcının karşısına çıkmaktadır. Bunun yanı sıra tasarıma eklenen bir fonksiyon bir diğer tasarım hedefinin önemini kaybetmesine sebep olabilmektedir. Bu nedenle tasarım hedeflerinin netleştirilmesi için

ön bir çalışma yapılmalıdır. Tasarımda bir hedefin gerçekleştirilebilmesi için hangi çözüm fikirlerinin kullanılacağı net bir şekilde ortaya koyulmalıdır.

Tasarım sürecinin ilk adımı olan tasarımdaki hedeflerin belirlenmesi için sistematik tasarım metotlarından biri olan hedef ağacı metodu oldukça kullanışlı bir yardımcıdır. Hedef ağacı metodu; tasarımcı, tasarım ekibi veya müşterinin, tasarım sürecinde oluşan gelişmeleri ve değişimleri mümkün olan en açıklayıcı halde bir arada sunulmasını sağlar ve herkesin tasarım sürecinde zaman geçtikçe gelinen aşamayı kavramasını kolaylaştırır. Hedef ağacı metodu ile hem tasarımcı veya tasarım ekibinin her bir üyesi hem de müşteri için tasarımın bir özetini sunar. Bu nedenle metodun başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için tasarım ekibindeki her bir üyenin ve müşterinin anlayabileceği ortak bir dil kullanılması gerekir. Tasarım sürecindeki gelişmenin tasarım süresince ilgili kişiler tarafından rahatça anlaşılabilmesi için hedefler, amaçlar ve çözümler ortak belirlenen ifadelerle oluşturulması gerekir. Aynı tasarım üzerinde çalışan ekip üyeleri veya müşteri tasarımın bir fonksiyonunu, tasarımda bulunan bir özelliği farklı algılsa sorun ortaya çıkacaktır. Böyle bir sorunun ortaya çıkmasını engellemek için bu metod uygulanırken tasarımla ilgili olan herkesle görüşülmeli ve hem fikir olunan ortak bir dil kullanılmalıdır.

Hedef ağacı metodu tasarım hedeflerinin açık ve net olarak ifade edilmesini sağlar ve hangi hedefler gerçekleştiğinde hangi kazanımların elde edildiğini gösterir. Aynı zamanda hedefleri hiyerarşik bir düzende ve diyagramlarla ifade eder. Tasarım hedeflerini ana hedefler ve alt hedeflere ayırarak; tasarım sürecinin sistematik bir şekilde devam etmesine katkı sağlar.

2.3.2 Hedef Ağacı Metodu

Cross (2005) hedef ağacı metodunun tasarım sürecinde kullanımıyla ilgili kapsamlı bir çalışma hazırlamıştır. Hedef ağacı metodu başlığı altında verilen bilgiler bu çalışma temel alınarak hazırlanmıştır.

Tasarımcının ürünü tasarlamaya başlamadan önce elinde bulunan ön bilgiler tasarım özeti olarak ifade edilebilir. Bu bilgiler tasarımcının sahip olduğu fikirleri, müşterinin

tasarımcıya tarif ettiği özellikleri ya da tasarımcının kendi yaptığı araştırmalar sonucu elde edilir. Genellikle tasarım öncesi ürüne dair tasarımcının sahip olduğu tasarım özeti oldukça kısa ve belirsiz olabilmektedir. Tasarım özeti belirlenirken müşteri tasarımcıyı her hangi bir kısıtlama ya da öneri getirmeksizin kendi yeteneğini gösterebileceği şekilde tamamen özgür bırakabilir. Böyle bir durum tasarımcı açısından her ne kadar avantaj olarak görünse de; olumsuz sonuçlar doğurabilecek riskler de içermektedir. Tasarımcının karşılaşacağı en büyük risk tasarım hedefinin müşterinin beklentilerini tam olarak karşılamaması veya müşterinin beklentileriyle tamamen zıt bir sonuç ortaya çıkmasıdır.

Hangi şartlar ve hangi sebepler etkili olursa olsun tasarımcı ortaya koyacağı ürünün yerine getirmesi gereken hedefleri, ürünün özelliklerini ve fonksiyonlarını doğru, açık ve net bir şekilde tespit edebilmelidir. Aynı zamanda tasarım sürecinde tasarım değişkenleri farklılık gösterdikçe tespitler hedefe uygun şekilde yenilenebilmelidir.

Bir tasarımın hedefi; müşterinin talepleri, o ürünün kullanıcılarının ihtiyaçları ve ürünün yerine getirmesi gereken amaçların tamamı olarak tanımlanabilir. Tanımlaması her ne olursa olsun yapılan tasarımın yerine getirmesi gereken bazı hedefleri olacaktır. Bu hedefler tasarım özetinde net olarak ifade edilmemiş olsa da tasarımcının çözüm önerisi sunması beklenen durumlardır. Tasarlanması planlanan bir ürünün tasarım özetinde; ürünün “sağlam” ve “güvenilir” bir ürün olması istenebilir. Bu gibi ifadeler elden geldiği kadar daha net olarak ortaya koyulmalıdır. Belirsiz ifade veya tanımlamaların daha net hale getirilebilmesi için tasarımcının o ifade veya tanımlamanın neyi hedeflediğini doğru algılaması önemlidir. Tasarımcı belirsiz tanımlamalarla karşılaştığında “Bu tanımlamayla hedeflenen/kastedilen şey nedir?” sorusunun cevabını aramalıdır.

Örneğin tasarımcıdan bir makine tezgâhının tasarımı istendiğinde, tasarımcıya verilen tasarım özetinde “makinenin güvenli çalışması” ifadesi yer alsın. Tasarım özetinden elde edilen bu bilgi birkaç farklı anlamda algılanması mümkündür. Algılamadaki farklılıkları makine tezgâhı tasarımı örneğinde “güvenli çalışma” ifadesi için çeşitlendirebiliriz;

- Tezgâh operatörünün yaralanma riski az olmalı.
- Tezgâhta operatörden kaynaklanabilecek hatalarının oluşma riski az olmalı.
- Tezgâh iş parçasına veya takıma zarar verme riski az olmalı.
- Tezgâh üzerine gelen yük arttığında operasyon otomatik olarak durabilmeli.

Aynı konu üzerinde daha fazla düşünüldükçe tasarım özetindeki “tezgâhın güvenli çalışması” gibi bir ifadeden farklı anlamlar çıkarılarak bu liste daha da genişletilebilir. Eğer tek bir tasarımcı yerine bir tasarım ekibi söz konusu ise; ekipteki elemanlardan her birinin aynı ifadeden farklı anlamlar çıkararak farklı tasarım çözümleri üzerinde çalışmaları, ortaya çıkacak ürünün kalitesinde düşüşe sebep olabilecektir.

Tasarım hedeflerinin; tasarım sürecinden önce net olarak tanımlanması tasarımın başarısında hayati öneme sahiptir. Tasarım hedeflerini netleştirebilmek için “Ne? Nasıl? Neden?” gibi sorular her bir ifade için sorulmalıdır. Hedefleri daha da netleştirebilmek için “Bu tasarım hedefine neden ulaşmak istiyoruz?” veya “Bu tasarım hedefine nasıl ulaşabiliriz?” gibi sorular da eklenebilir. Böylece mümkün olan en net ifadelerle oluşturulan bir tasarım hedefi listesi tasarımın başarısını önemli derecede arttıracaktır.

Tasarım hedefleriyle ilgili tasarım özetinden faydalanarak oluşturulan liste genişledikçe tasarımcı bazı hedeflerin öncelikli ve çok önemli, bazılarının ise diğerlerine göre daha az öneme sahip olduğunu görecektir. Bunun yanında öncelikli hedeflere ulaşılabilmesi için bazı alt hedeflerin daha önce gerçekleştirilebilmesi şartının olduğu görülecektir. Tezgâh tasarımı örneğinde verilen “tezgâh üzerine gelen yük arttığında operasyon otomatik olarak durabilmeli” ifadesi ana hedef olarak verilen “tezgâhın güvenli olması” hedefinin bir alt hedefi halinde ifade edilebilir.

Tasarım hedefleri zamanla genişletildikçe kaçınılmaz olarak hiyerarşik bir yapı oluşacaktır (Dym 1995). Böylece tasarım sürecinde tasarımcının elinde tasarımın sahip olması gereken temel özellikler açık ve net olarak detaylandırılmış şekilde bir diyagram bulunacaktır. Bu diyagram tasarım sürecinde hem tasarımcı hem müşteri hem de kullanıcı için kullanışlı olacak olan temel bilgileri bir arada bulunduracaktır. Bu sayede değişen ihtiyaçlar doğrultusunda tasarımın gidişatını izleme olanağı sağlayacaktır.



Şekil 2.1 Hedef ağacı metodu örneği (Cross 2005)

Daha önce verilmiş olan tezgâh tasarımı için örnek bir hedef ağacı diyagramı Şekil 2.1’de görülmektedir. Tezgâh tasarımının başarılı sayılabilmesi “Tezgâhın Güvenli Olması” şartına bağlanmıştır. Burada görülmektedir ki “Tezgâhın Güvenli Olması” ifadesi ana hedef olarak ortaya çıkmıştır ve bu ana hedef üç alt hedef gerçekleştirildiğinde yerine getirilebilmektedir. Tezgâhın güvenli olarak kabul edilebilmesi için belirlenen alt hedefler tasarım sırasında çözüm bekleyen problemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarımcı başarılı bir sonuç elde edebilmek için; operatör yaralanma riskini azaltacak tasarım çözümleri, operatörün tezgâhı kullandığı sırada yapabileceği hataların azaltılabilmesi için tasarım çözümleri ve iş parçası/takım hasarlarını azaltacak tasarım çözümleri üretmek durumundadır. Hedef ağacı diyagramında yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe belirlenen hedefin nasıl gerçekleşeceğine dair cevaplar yani alt hedefler bulunur. Aynı diyagramda aşağıdan yukarı doğru gidildikçe hedefe neden ulaşılması gerektiğine ya da o alt hedefin hangi ana hedefe ulaşılmasını sağlayacağına dair cevaplar elde edilir.

Hedef ağacı oluşturulurken aynı tasarım probleminin çözümü için birden fazla diyagram hazırlanabilir. Farklı tasarımcılar aynı tasarım probleminin çözümü için farklı hedefler belirleyebilirler. Buna göre farklı diyagramlar elde etmeleri mümkün olacaktır. Aynı zamanda tasarımın bir ekiple birlikte yapıldığı durumlarda bu diyagram tasarım ekibindeki her bir eleman tarafından yeniden düzenlenebilir, ekleme veya çıkarma yapılabilir. Dolayısıyla tasarımın gidiş yönü ve ana hedefleri sapma olmaksızın

belirlenen çizgiler dâhilinde devam edecektir.

Kısaca hedef ağacı metodu tasarımın ana hedeflerini, alt hedeflerini ve bu hedefler arasındaki ilişkileri diyagramlar aracılığıyla net bir şekilde belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Metodun uygulanmasındaki ilk adım; tasarım hedefleriyle ilgili bir listenin hazırlanmasıdır. İkinci adımda; oluşturulan listede öncelikli hedefler ve alt hedefler hiyerarşik bir düzende sıralanır. Son adımda ise; elde edilen liste anlaşılabilir bir diyagram haline getirilir.

2.3.3 Tasarım Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Tasarım problemleri tasarımcının algıladığı yönüyle farklı seviyelerde incelenebilir. Tasarım süreci ilk başta algılamadaki bir takım belirsizliklerin giderilmesiyle başlar. İyi bir tasarım çözümü ortaya koyabilmek için tasarım probleminin her yönüyle iyi tanımlanması gerekir. Tasarımcıdan; bir telefon ahizesinin tasarımının istenmesiyle, bir telekomünikasyon sisteminin tasarımının istenmesi arasında büyük farklılıklar vardır (Cross 2005).

Bir tasarım problemi için öne sürülecek tasarım çözüm önerilerinin seviyeleri birbirlerinden farklı olacaktır. Tasarımcının o tasarım problemini algılama düzeyi çözüm önerilerinin seviyesini çeşitlendirecektir. Bu durumun daha net algılanabilmesi için kapı tasarımı verilebilir. Tasarımcıdan böyle bir tasarım problemi karşısında kullanıcılarının giriş çıkışını sağlayabilecek bir çözüm önerisi getirmesi beklenecektir. Tasarımcının önereceği tasarım çözümleri arasında; kapı kolu olmadan açılıp kapanabilen, üzerinde algılayıcılar barındıran bir sistem olabilir. Bunun yanında klasik bir kapı kolunun daha fonksiyonel bir tasarımı, kapı kilit sisteminin alternatif mekanizmalarının tasarımı ve hatta sadece kapı kolunun ergonomik tasarımı da tasarımcının sunacağı çözüm önerileri arasında bulunabilir.

Tasarımın başarısındaki temel etkenler; o tasarımın kullanıcılarının gereksinimleri, tasarımdan beklediği fonksiyonlar ve tasarımcının o problem karşısında algılama düzeyinin örtüşmesidir. Yani yapılan tasarımın sahip olması gereken fonksiyonlar kullanıcıların beklentilerini ve tasarım yapılmasını isteyen müşterinin isteklerini aynı

anda yerine getirebilmelidir. Tasarımcı, tasarım sürecinin her aşamasında tasarımın sahip olması gereken fonksiyonlara dair her beklentiye mutlaka göz önünde bulundurmalıdır (Erden *et al.* 2007). Böylece ortaya koyduğu çözüm önerilerinin seviyeleri kullanıcı beklentilerinin dışına çıkmayacak ve tasarımın başarısı olasılığı artacaktır.

Tasarımın fonksiyonlarının belirlenmesi sırasında ortaya koyulacak çözüm önerilerinin seviyeleri tasarım sürecini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle tasarım sürecinde öncelikli olarak tasarım fonksiyonları net bir şekilde belirlenmelidir. Tasarımın sahip olması gereken öncelikli fonksiyonlar ve tasarımda bulunması mutlaka zorunlu olan fonksiyonlar doğru bir şekilde belirlenmelidir (Hirtz *et al.* 2002). Tasarımda bulunması gereken zorunlu fonksiyonlar; üretilecek olan cihazda, üründe veya sistemde hangi malzeme kullanılırsa kullanılsın ya da hangi bileşen eklenirse eklensin o tasarımın mutlaka yerine getirmesi gereken fonksiyonları ifade eder.

Fonksiyon analizi metodu tasarımcının algılayış düzeyi ve müşteri beklentileri arasında ortak bir yol çizilmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda tasarım sürecinde yapılan her bir değişiklik sonrasında tasarım fonksiyonlarında ortaya çıkacak olan değişkenleri gözlemlene imkânı sağlayacak bir metottur. Bu metotla tasarımın sahip olması gereken fonksiyonların sınır şartları belirlenmiş olur.

2.3.4 Fonksiyon Analizi Metodu

Cross (2005) fonksiyon analizi metodunun tasarım sürecinde nasıl kullanılabileceğini temel adımlarla açıklamıştır. Fonksiyon analizi metodu başlığı altında verilen bilgiler bu çalışma temel alınarak hazırlanmıştır.

Birinci adımda tasarım fonksiyonları “Girdi-Çıktı” formatında ifade edilir. Fonksiyon analizi metodunun başlangıç noktası ortaya koyulacak tasarımın sahip olması gereken fonksiyonların belirlenmesi üzerinde çalışmaktır. Belirlenen fonksiyonların hangi yöntemlerle veya elemanlarla elde edileceği ilk aşamada dikkate alınmaz. Sadece hangi tasarımda fonksiyonların bulunması gerektiğine dikkat edilir. Tasarımdaki fonksiyonların açık bir şekilde görülebilmesi için “Kapalı Kutu” modeli oluşturulur.

“Kapalı kutu” modeli genel haliyle Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Kapalı kutu modeli (Cross 2005)

Bu model tasarımcının yaptığı tasarımın sahip olması gereken fonksiyonları girdi-çıkıtı şeklinde tanımlamasına yardımcı olur. “Kapalı kutu” modeli tasarımda belirli olan kesin bilgileri istenen çıktılarına dönüştürecek bir yapıda oluşturulmalıdır. Bu modelde temel olarak; girdiler tasarımın sahip olduğu belirli bir fonksiyon sayesinde kullanıcılarının gereksinimlerini karşılayacak çıktılar halinde gösterilir.

“Kapalı kutu” modeli oluşturulurken tasarımda bulunması gereken fonksiyonlar olabildiğince geniş tutulmalıdır ve ilerleyen süreçte daha dar anlamda özelleştirilmelidir. Eğer tasarım fonksiyonları ilk etapta sınırlandırılırsa tasarımın sahip olabileceği daha yenilikçi ve başarılı olabilecek çözüm önerileri dikkatten kaçabilir. Tasarımcı metodun uygulanması sırasında tasarımı sipariş eden müşteri ve tasarımı kullanacak olan hedef gruplarla iletişim kurarak fonksiyonları belirlerse tasarım sürecine olumlu katkılar sağlayacaktır. Özellikle gerekli olan girdilerin neler olduğu, çıktıların neden var olması gerektiği gibi bilgiler tasarımcıya faydalı olacaktır. Aynı zamanda bu tip bir iletişim tasarımcının, tasarımın hangi sınırlar dâhilinde çalışması gerektiğine dair sınır şartlarını daha geniş bir anlamda algılamasına yardımcı olur. Tasarımın sınır şartları; tasarımın veya ürünün sahip olması gereken fonksiyonlarının kavramsal olarak ifade edilmesidir. Tasarım sınır şartlarının dar tanımlanması tasarımda yapılacak sonraki değişikliklerin kısıtlı olmasına sebebiyet verebilir ve sıra dışı özgün çözüm önerilerinin öne sürülmesini engelleyebilir. Bu nedenle tasarım sınır şartları her faktör dikkate alınarak oluşturulmalıdır.

Fonksiyon analizi metodunun daha verimli kullanılabilmesi için tasarımla ilgili olan bütün girdi ve çıktıların listelenmesi önemlidir. Bu girdi ve çıktılar malzeme akışı,

enerji akışı ve bilgi akışı olarak üç temel kavram çerçevesinde sınıflandırılabilir.

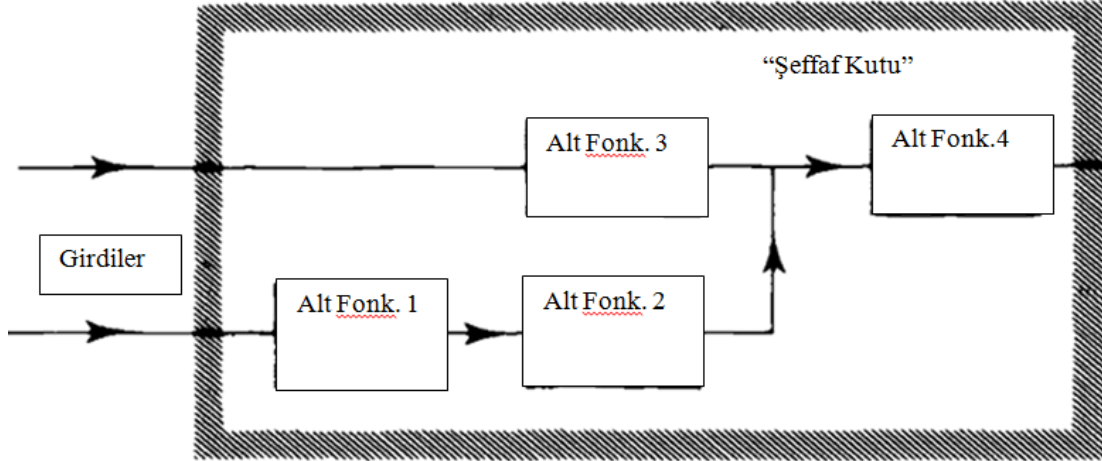
İkinci adımda fonksiyonlar; ana fonksiyonlar ve alt fonksiyonlar olarak sınıflandırılır. Kapalı kutu modelinde içine girişi yapılan bir girdinin belirli aşamalardan geçerek çıktı haline dönüştürülmesi karmaşık bir görev olarak görülebilir. Burada önemli olan “kapalı kutu” içinde oluşturulan ana fonksiyonların gerçekleştirilebilmesi için hangi alt fonksiyonların öncelikli olarak oluşturulması gerektiğidir. Ana fonksiyonun gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan alt fonksiyonların belirlenmesi karmaşık süreci kolaylaştıracaktır. Ancak yine de bu aşamada sistematik bir yaklaşım öne sürmek mümkün değildir ve alt fonksiyonların doğru ve amaca uygun şekilde belirlenebilmesi tasarımcının bu güne kadar edindiği deneyimleriyle alakalıdır.

Alt fonksiyonların kavramsal olarak tanımlanması sürecinde kullanılacak olan ifadelerin hepsi aynı özellikte olmalıdır. Bu süreçte fonksiyonları tanımlayan her ifade yüklem ve isim olarak anlatılmalıdır. Örneğin; “sinyali yükselt”, “parçaları say”, “tezgâhı durdur”, “yükü ölç” gibi ifadeler kullanılmalıdır. Tasarımcı alt fonksiyonları oluşturduğunda her alt fonksiyonun kendine ait bağımsız girdi ve çıktıları olduğunun farkına varacaktır. Ya da bazı alt fonksiyonların birbirleriyle ilişki içinde olduğunu anlayacaktır.

Üçüncü adımda alt fonksiyonların ilişkilerini gösteren blok diyagram yani “Şeffaf Kutu” çizilir. Fonksiyon analizi metodunun sonraki aşamasında tasarlanan ürünün temel fonksiyonlarının yerine getirilebilmesi için gerekli olan alt fonksiyonlarının her biri ayrı ayrı şeffaf kutularla gösterilir. Alt fonksiyonları içeren şeffaf kutular alt fonksiyonlara ait girdi-çıktıları ve birbirleri arasındaki ilişkileri tanımlamak için kullanılır.

“Şeffaf Kutu” olarak anılan bu modelin bir örneği Şekil 2.3’te görülmektedir. Bu model ile daha önce çizilen “Kapalı Kutu” modelinde tasarımın genel fonksiyonlarını gösterirken, “Şeffaf Kutu” genel fonksiyonların yerine getirilebilmesi için gerekli olan alt fonksiyonları ve ilişkilerini gösterir. Hazırlanan bu diyagramlar tasarımın uygulanabilir bir sistem haline getirilebilmesi için gerekli olan fonksiyonlara karar verilmesini kolaylaştırır.

Tasarımcı, tasarım sürecindeki değişimlere göre girdi ve çıktıların yerlerini değiştirebilir veya bazı alt fonksiyonları yeniden tanımlayabilir. Karmaşık tasarımlar söz konusu olduğunda farklı tipteki girdi ve çıktıları gösterebilmek için farklı renklerde çizgilerden faydalanmak sürecin gözlemlenmesini kolaylaştıracaktır.



Şekil 2.3 Şeffaf kutu modeli (Cross 2005)

Dördüncü adım tasarımın genel sınır şartlarının belirlenmesidir. Tasarımcı şeffaf kutu diyagramlarını oluşturduktan sonra tasarımın sınır şartlarına dair kesin ve son kararları almış olmalıdır. Yani hazırlanmış olan diyagramda hiçbir girdi veya çıktı boşta kalmamalıdır. Tasarımın genel fonksiyonlarını karşılayacak şekilde kutu içine giren her bir girdinin aynı şekilde çıktı haline dönüştürülmesi gereklidir. Bu aşamadan sonra tasarımın genel fonksiyonları ve bu fonksiyonlarla ilgili girdiler-çıktılar daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Tasarımın sınır şartları belirlenirken tasarımcı sadece kendi deneyimini kullanmanın yanı sıra müşteri gereksinimlerini de dikkate almalıdır.

Beşinci adım alt fonksiyonları yerine getirebilecek uygun bileşenlerin araştırılmasıdır. Eğer alt fonksiyonlar uygun seviyede ve yeterli netlikte tanımlanmışsa bir sonraki aşamada bu alt fonksiyonları yerine getirebilecek; uygun makine parçaları, sensör veya mekanizmalar gibi uygun bileşenler belirlenmeli ve tanımlanmalıdır. Bu bileşenler belirlenirken tasarlanan ürün, cihaz ya da sistemin doğasına uygun yani o görevi yerine getirebilecek en makul bileşen seçilmelidir. Örneğin o fonksiyonun yerine getirilmesini sağlayacak olan bileşen olarak; bir insan, mekanik bir sistem veya elektromekanik bir parça kullanım yerine göre uygun olarak seçilebilir.

Günümüzde elektromekanik parçaların ortaya çıkmasıyla tasarım çözümlerinin geliştirilmesinde yeni fırsatlar ortaya çıkmıştır. Yapılan tasarımlarda daha önceleri sadece mekanik sistemlerin ve hatta sadece insanların yerine getirebildiği bazı fonksiyonlar artık elektromekanik elemanlarla rahatça kontrol edilebilmektedir.

Teknolojik gelişmeler dikkate alınırrsa tasarımda yerine getirilmesi gereken bir fonksiyonun birbirinden farklı çok fazla sayıda bileşenle yerine getirilme imkânının olduğu görülecektir. Eğer tasarımcılar, tasarımda kullanacakları bileşenleri dikkate alarak tasarım sürecine başlarsa; çok fazla sayıda bileşen arasından doğru bileşeni araştırmak için odaklanacaktır (Cross 2004). Bu anlamda fonksiyon analizi metodu tasarımcıya yardımcı bir rol üstlenmektedir. Tasarımcıların bileşen seçme araştırmasına girmeden önce tasarımın önemli fonksiyonları üzerinde daha çok odaklanmasını sağlamaktadır. Böylece tasarım sürecinde ilerde oluşabilecek sorunların önceden önüne geçilmesi sağlanır. Tasarımın yerine getirmesi gereken fonksiyonu hangi bileşenler kullanılarak yerine getireceği tasarım sürecinde daha sonraki bir aşamada incelenecektir.

Özetle fonksiyon analizi metodu tasarımcının, gerekli olan fonksiyonları ve tasarım sınır şartlarını belirleyebilmesi için odaklanmasına yardımcı olmayı amaçlar. Metot kısaca beş adımda uygulanır;

1. Tasarımda bulunması gereken fonksiyonlar girdi-çıkıtı formunda ifade edilir. Tasarımın esas fonksiyonları Black Box modelinde gösterilir ve tasarım sınır şartları olabildiğince geniş tutulur.

2. Tasarımda bulunması gereken her bir ana fonksiyonu yerine getirilmesini sağlayacak alt fonksiyonlar belirlenir. Alt fonksiyonlar Black Box içinde gerçekleştirilmesi gereken bütün görevleri içerir.

3. Alt fonksiyonların birbirleri arasındaki ilişkileri gösteren Transparent Box çizilir. Böylece her bir alt fonksiyonun ayrıntıları ve diğer alt fonksiyonlarla ilişkileri belirlenir.

4. Tasarım sınır şartları tanımlanır. Bu sınırla birlikte tasarlanan ürün veya makinenin sahip olacağı fonksiyonların hangi sınırlar içinde olacağı tanımlanmış olur.

5. Alt fonksiyonların yerine getirilmesini sağlayacak bileşenler araştırılır. Araştırma sonucunda aynı fonksiyonun yerine getirilmesini sağlayabilecek alternatif çözümler belirlenir.

2.3.5 Tasarım Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Tasarımcının tasarım probleminin çözümü için öne sürdüğü fikirlerin bazı limitler içinde olması gerekir. Tasarım hiçbir zaman bu limitlerin üzerinde olmamalıdır. Bu durumu açıklayabilecek en güzel örneklerden biri maliyet sınırlamalarıdır (Cross 2005). Tasarım mutlaka müşterinin istediği yatırım maliyetlerini aşmamalıdır. Bunun yanı sıra ortaya çıkan ürünün kullanıcıları da ürünün maliyetine dikkat edeceklerdir. Yani yapılan tasarım hem onu üretilip pazara sunmayı hedefleyen kişinin hem de o ürünü kullanacak olan kişiler için cazip bir maliyete sahip olmalıdır. Tasarım gerçekleştirilirken maliyetin düşük olması elbette tek başına yeterli bir özellik değildir. Ürün kabul edilebilir bir boyutta veya fazla ağır olmaması gerektiği gibi benzer bir takım diğer sınırlar içinde tasarlanmalıdır. Ya da ortaya çıkacak olan ürün bir takım güvenlik şartlarını sağlayabilecek yeterlilikte olmalıdır. Bunlara benzer özelliklerin sayısı arttırılabilir ve her biri o tasarımın şartnamesini oluşturur.

Tasarıma dair belirlenen limitler ya da teknik şartname, ortaya çıkacak olan ürünün sahip olacağı performansı belirler (Tan *et al.* 2007). Daha önce belirlenmiş olan tasarım hedefleri ve tasarım fonksiyonları kontrol edilerek, tasarım şartnamesine uygun olmayanlara yeni sınırlar getirilebilir. Böylece önerilebilecek tasarım çözümleri teknik yeterliliklerine göre kısıtlanmış olur.

Tasarım şartnamesi hazırlanırken kısıtlamalar ve limitler dikkatle belirlenmelidir. Fazla ayrıntılı veya çok sayıda kısıt koyulursa problemin çözümü için uygun olabilecek bazı öneriler elenmiş olur. Bununla birlikte eğer tasarımda mutlaka var olması gereken bir kısıt verilmezse veya tasarımın limitleri doğru bir şekilde belirlenmezse görevini tam olarak yerine getirebilecek bir tasarım ortaya çıkmayacaktır. Buna benzer sorunların ortaya çıkmasını tasarım sürecinin başındayken azaltmayı hedeflemek çok doğru bir yaklaşım olacaktır. Tasarım için yapılan çözüm önerileri hazırlanan teknik şartnamede belirlenen bilgiler ışığında tekrar gözden geçirilmelidir. Teknik şartnamenin getirdiği

kısıtlar tasarımcının üzerinde çalıştığı çözümlerin sayısını azaltacak ya da çözüm önerileri arasından en doğru çözüm önerisini bulmasına yardımcı olacaktır.

Performans belirleme metodu tasarım şartnamesinin hazırlanması için tasarım gereksinimlerinin somut tanımlamalarının yapılmasına yardımcı olarak tasarımcının makul çözümler arasından seçim yapmasını sağlar. Performans belirleme metodu ile belirlenen tasarım gereksinimleri üründe bulunması gerekli niteliklerin hangi bileşen veya parçayla sağlanabileceği ile değil, süreç sonunda ortaya çıkan ürünün sahip olması gereken özelliklerle ilgilenir (Pugh 1991).

2.3.6 Performans / Teknik Şartname Belirleme Metodu

Tasarımda performansın ya da teknik şartnamenin doğru bir şekilde hazırlanması, ortaya çıkacak olan ürün veya cihazın kalitesini ve başarısını etkileyecektir. Cross (2005) performans belirleme metodunun tasarım sürecinde nasıl kullanılabileceğini temel adımlarla açıklamıştır.

İlk adımda uygulanabilir tasarım çözümlerinin genel düzeyleri değerlendirilir. Tasarımın sahip olacağı performans özellikleri teknik şartname ile belirlenir. Bu nedenle teknik şartname uygun düzeyde tanımlanmış olmalıdır. Genel ifadelerle hazırlanan bir şartname uygun olmayan tasarım çözümlerini eleyemeyebilir. Gereksiz tanımlamaları içeren bir şartname ise tasarımcının bulduğu alternatif çözüm önerilerini gereksiz yere kısıtlar ve tasarımcının özgürlüğünü kısıtlar. Bu nedenle ilk olarak teknik şartnamede bulunacak tanımlama ve kısıtların düzeyleri sınıflandırılmalıdır. Böyle bir sınıflandırma yapabilmek için genelden özele giden bir yapı oluşturulması faydalı olacaktır. Örnek bir sınıflandırma;

- Ürün alternatifleri
- Ürün tipi
- Ürün özellikleri

gibi üç aşamalı bir yapıya sahip olabilir. Teknik şartnamenin düzeylerini daha net açıklayabilmek için ev ısıtma sistemi tasarımı örnek olarak verilebilir. Ev ısıtma sistemi

için tasarımcı birçok çözüm önerisi sunabilir. Bu çözüm önerileri arasında; radyatör ile merkezi ısıtma, taşınabilir bir klima veya geleneksel soba sistemleri gibi birbirinden çok farklı çözümler bulunabilir. Hatta güneş enerjisi ile ısıtma fikriyle çok daha farklı bir alternatif öne sürülebilir. Tasarım şartnamesi en genel düzeyiyle irdelendiğinde ev ısıtma sistemi örneğinde olduğu gibi birbirinden çok farklı ve çok sayıda alternatif dikkate alınabilir. Orta düzey tanımlamalarda tasarımcının öne süreceği çözüm önerileri açısından özgürlüğü daha kısıtlıdır. Ev ısıtma sistemi örneğinde bu durumu inceleyecek olursak; tasarımcı belki de sadece radyatör veya klima gibi sistemler arasında seçim yapmak durumunda kalacaktır. Ya da farklı yakıt türleri arasındaki kararı bu düzeyde verir. En alt düzey tanımlamalarda ise belirli bir uygulamanın farklı özellikleri üzerinde durulur. Örneğin ısıtma sisteminde kullanılacak olan radyatörün kasa tipi veya boyutları gibi.

İkinci adımda teknik şartnamenin hangi düzeyde hazırlanacağına karar verilir. Teknik şartnamenin hazırlanacağı farklı düzeyler arasında verilen bir karar tasarım konseptinin tamamen değişmesine sebep olacaktır. Bu nedenle tasarımın hangi düzeyde çalışılacağına karar vermek gerekmektedir.

Genellikle tasarımcının üzerinde duracağı düzey o ürünün kullanıcıları veya o ürünün tasarlanmasını isteyen müşteri tarafından belirlenir. Daha önce verilen ev ısıtma sistemi örneğini ele alırsak; en genel düzeyde ele alınan tasarım önerileri ev ısıtma sistemlerinde tamamen yenilikçi çözümlerin incelenbilmesine olanak verir. Orta düzeyde ele alınan tasarım önerileri ise genellikle zaten var olan ürünlerin yerine aynı görevi yerine getirebilecek yeni ürünlerin geliştirilmesine olanak verir. En alt düzeyde ele alınan tasarım önerileri ise zaten piyasada var olan ürünler üzerinde yapılacak değişiklikler yardımıyla tasarımın gerçekleştirilmesini sağlar.

Verilen bu örnekten de anlaşıldığı üzere en dar anlamda hazırlanacak olan teknik şartnameden en genel düzeyde hazırlanacak olan teknik şartnameye doğru gidildikçe tasarımcının özgürlüğü artmakta ve kabul edilebilir tasarım çözümlerinin çeşitliliği artmaktadır.

Üçüncü adım tasarımda bulunması gerekli olan teknik niteliklerin belirlenmesidir. Tasarım çözümünde bulunması gereken düzeye karar verildikten sonra tasarımın sahip olması gereken teknik özelliklerin belirlenmesi gerekir. Tasarlanan her ürün veya cihaz bir takım teknik niteliklere sahip olması gerekir. Bu nitelikler teknik şartnamede eksiksiz olarak ifade edilmelidir. Bu nitelikleri örneklendirmek gerekirse; rahat kullanım, taşınabilir olma, sağlamlık gibi örnekler verilebilir. Bunların yanı sıra hız, güvenlik veya maliyetle ilgili bilgilerin de teknik şartname de yer alması fayda sağlayacaktır.

Tasarımın teknik nitelikleri ya da performansı tasarım hedeflerine veya tasarım fonksiyonlarına benzer ifadelerle sahip olacaktır. Zaten performans nitelikleri belirlenirken elde olan en ideal kaynak daha önce belirlenmiş olan tasarım hedefleri ve tasarım fonksiyonlarıdır. Tasarımcı daha önce hedef ağacı metodu ve fonksiyon analizi metodu kullanmışsa bu metotlardan elde edilen bilgiler teknik şartnamenin hazırlanmasına temel bir kaynak olacaktır.

Tasarımın sahip olması gereken performans nitelikleri ifade edilirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus; bu ifadelerin tasarım için öne sürülen çözüm önerilerinden bağımsız olarak ifade edilmesidir. Belirli bir çözüm önerisini temel alarak hazırlanan ifadeler performans niteliğini sadece o çözüm önerisinin doğru olduğu çözümlere yönlendirir. Dolayısıyla daha iyi bir çözüm getirecek tasarım önerileri kısıtlanmış olur. Bu durumun daha net anlaşılması için bir örnek verilmesi yerinde olacaktır. Bir müşteri tasarımcıdan istediği bir ürünün belirli bir yüzeyinin seramik fayans olmasını önerebilir. Bu önerinin altında yatan sebepler arasında o yüzeyin gözeneksiz yapısı veya kolay temizlenebilmesi olabilir. Ya da müşteri sadece parlak görünmesini istediği bir yüzey olduğu için bu öneriyi sunmuş olabilir. Aynı özelliği sağlayabilecek metal, plastik veya mermer gibi birçok farklı malzeme bulunmaktadır.

Müşterinin tasarımda bir özelliğin bulunmasını istemesi çok karmaşık sebeplere dayandırılabilir. Aynı örnekte seramik malzeme sadece renk seçenekleri nedeniyle bile tercih edilmiş olabilir. Bu nedenle tasarımın sahip olacağı performansa dair teknik nitelikler belirlenirken karşılaştırılabilir ve güvenilir bir liste hazırlanması faydalı

olacaktır. Bu liste hazırlanırken, ilgili tasarımın hazırlanmasını isteyen müşterinin beklentileri, tasarımı kullanacak olan kişilerin beklentileri ve hatta o tasarımı ürün hale getirilmesini sağlayacak olan üreticinin beklentileri dikkatle araştırılmalıdır.

Oluşturulan listenin son hali tasarımda bulunması gereken teknik performansla dair her durumu karşılayacak şekilde olmalıdır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus tasarımda mutlaka bulunması gereken şartlar (kesin özellikler, istekler) ve tasarımda eğer var olursa faydalı olacağı düşünülen şartlar arasındaki (arzular) ayrımın yapılmasıdır.

Faydalı olacağı düşünülen şartlar yani dilekler; eğer mümkünse ve gerçekleştirilebilirse tasarım daha iyi bir tasarım olacaktır. Ancak bu dilekler ilgili tasarımda yerine getirilmemiş olsa bile o tasarım yine de istenilen görevi yerine getirebilir durumda olacaktır. Tasarımda mutlaka bulunması gereken şartlar yani talepler; mutlaka yerine getirilmelidir ve taleplerin herhangi birinin eksikliğinde tasarlanan ürün geçerli ve iyi bir tasarım olarak değer kazanmayacaktır.

Seramik yüzey örneğinde; yüzeyin gözeneksiz bir yapıya sahip olması fonksiyonel bir niteliğin yerine getirilmesini sağlayacak ve mutlaka gerekli bir özellik olabilir. Buna rağmen sadece renk seçeneği için herhangi bir malzeme de kullanılabilir ve renk seçeneği ürünün ilgili yüzeyi gerekli fonksiyonlarını yerine getirdikten sonra sadece mümkünse uygulanabilir.

Dördüncü adımda tasarım niteliklerinin her birinin kısa ve öz tanımlamaları yapılır. Tasarımda bulunması gereken niteliklerin hepsinin ayrıntılı bir listesi oluşturulduktan sonra her bir niteliğin gerekli tanımlamaları kısa ve öz bir şekilde yapılır. Bu aşamada yapılan her tanımlama nicelik belirtmelidir. Örneğin bir makinenin teknik şartnamesinde makinenin ağırlığına dair yapılan tanımlama “olabildiğince hafif” gibi bir ifade yerine “en fazla 1200 kg” gibi bir ifade olmalıdır. Aynı şekilde eğer ilgili nitelikler belirli bir aralıkta olması gerekiyorsa o aralık şartnamede belirtilmelidir. Örneğin bir otomobilin teknik şartnamesinde koltuk yüksekliği 400mm – 500 mm aralığında olması gerekiyorsa tam olarak bu ifade belirtilmelidir. Bunun yerine 450 mm gibi ortalama bir değer kullanılmamalıdır. Teknik şartnamede bulunan ifadeler açık, net ve herkes

tarafından kolayca anlaşılabilir şekilde olmalıdır. Silindirik bir deponun hacmi küsuratlı olarak verilmek yerine çap ve boy ölçülerinin verilmesi daha kullanışlı olacaktır.

Özetle performans belirleme metodu tasarımın sahip olması gereken teknik özelliklerin anlaşılır bir listesinin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktadır. Metodun uygulama aşamaları 4 adımda incelenebilir;

1. Tasarımın hangi düzeyde olacağına karar verilir. Alternatif uygulamaların tamamı belirlenir.
2. Farklı düzeylerde belirlenen tasarım önerileri arasından bir seçim yapılır.
3. Tasarımın sahip olması gereken nitelikler açık, net ve herkes tarafından kolayca anlaşılabilir şekilde listelenmelidir. Her bir nitelik muhtemel tasarım çözümlerinden bağımsız olarak tanımlanır.
4. Her bir nitelik için teknik şartlar oluşturulur. Teknik şartnamede kullanılan tanımlamalar nicelik olarak ifade edilir.

2.3.7 Tasarım Karakteristiğinin Oluşturulması

Bir ürünün sahip olduğu teknik özellikler o tasarımın mühendislik karakteristiğini oluşturur. Tasarım sürecinin ilk aşamalarında ürün veya makinenin sahip olacağı mühendislik karakteristiği belirlenmelidir. Ortaya çıkacak olan ürün için belirlenecek olan mühendislik karakteristiği mutlaka müşteri taleplerini karşılayacak şekilde hazırlanmalıdır (Hales 1993).

Tasarım karakteristiği belirlenirken hem ürünün genel hatlarını oluşturacak olan tasarımcıyı hem de müşterilerin taleplerini araştıran pazarlama ekibinin ortak bir çalışmasını gerektirir. Aynı zamanda karmaşık özelliklere sahip olan ürünlerin geliştirilmesi sırasında tasarım ekibinde farklı mühendislik dallarından oluşan bir ekip çalışabilmektedir (Gayretli 2005). Tasarlanacak olan ürün veya makinenin teknik özellikleri hazırlanırken; ekipte görev yapan mühendislerin kendi aralarında ve ürünü pazarlayacak olan pazarlama birimi arasında bir takım anlaşmazlıklar veya yanlış anlaşılma gibi bazı durumlar meydana gelebilir (Gayretli 2005).

Ürün geliştirme veya tasarım sürecinde oluşabilecek anlaşmazlıklar genellikle farklı altyapıya sahip kişilerin tasarıma bakış açılarının farklı olmasından kaynaklanır. Ürün geliştirme süreci öncesinde pazar araştırmaları yapan ekip tasarıma daha çok müşterilerin gözüyle yaklaşır ve tasarımda müşterilerin beğeneceği özelliklere yoğunlaşırlar. Tasarımcı ya da mühendisler ise tasarıma daha teknik bilgiler ışığında yaklaşır. Bu nedenle tasarımcı için ürünün veya makinenin teknik özellikleri yani mühendislik karakteristiği daha ön plandadır.

Tasarımın mühendislik karakteristiği ile ortaya çıkacak olan ürün veya makinenin özellikleri arasında oldukça yakın bir ilişki vardır ve bu ilişkiler net olarak kavranırsa tasarım sürecinde oluşabilecek anlaşmazlıkların önüne geçilebilecektir. Tasarımın mühendislik karakteristiği tasarımcı tarafından alınan kararlar doğrultusunda oluşur ve ürünün özelliklerini de bu kararlar belirler. Ürünün özellikleri ise o ürünü kullanacak olan kişilerin ihtiyaçlarını ve beklentilerini uygun şekilde ve yeteri kadar karşılayabiliyor olmalıdır (Cross 2005). Örneğin; tasarımcı bir tezgâh tasarlarken kullanacağı, belirli bir ağırlığa sahip ve bir takım yüzey özelliklerini barındıran metal bir şase seçtiğinde ağırlık, rijitlik ve yüzey dokusu gibi özellikler o tasarımın mühendislik karakteristiğini oluşturur. Aynı zamanda mühendislik karakteristiği ile ortaya çıkan özellikler o tezgâhın kullanıcılarının taşınabilirlik, sağlamlık veya güzel görünüm gibi bazı beklentilerini etkileyecektir.

Günümüzde rekabetin artışı; tasarımda bulunan teknik özellikleri yani mühendislik karakteristiği ile ortaya çıkacak olan ürünün özellikleri arasındaki ilişkilerin iyi bir şekilde anlaşılmasını ve tasarımın bu ilişkiler göz önünde bulundurularak yapılmasını gerektirmektedir. Kullanıcıların üründen beklentilerini karşılayacak tasarım özelliklerinin uygun mühendislik karakteristiğini yansıtacak şekilde teknik şartnameye dönüştürülmesi gerekmektedir. Teknik şartname oluşturulurken ürünün sahip olacağı her bir teknik özellik, kullanıcıların beklentilerini tam olarak karşılamalıdır. Tasarımda müşteri beklentilerini dikkate alan bu yaklaşım “Müşterinin Sesi (Voice of the Customer)” olarak anılmaktadır ve ürün kalitesinin üzerinde yoğunlaşan bir yapıyı ön plana çıkarmaktadır (Hause ve Griffin 1993). Bu yapı kalite için tasarım kavramını ortaya çıkarmıştır.

Kalite Fonksiyonu Yayılımı metodu müşteri beklentileriyle üründe bulunması gereken mühendislik karakteristiği arasında bir takım eşleştirme ve karşılaştırmalar yaparak daha kaliteli ürünlerin tasarlanabilmesine yardımcı olur. Kalite Fonksiyonu Yayılımı kavramından ilk kez 1960'lı yılların sonlarında söz edilmeye başlanmıştır (Guinta ve Praizler 1993). 1960'lı yılların sonlarında Japonya; dünyanın düşük maliyetle çelik üreten ülkelerinden biri haline gelmiş ve bu avantajını; stratejik sanayileşme planlarını gemi endüstrisine odaklayarak kullanmaya karar vermiştir. 1970'lerin başında da bu sayede "dünyanın süper tanker kargo gemileri üretimindeki lideri" unvanını almıştır. Süper tanker üretimi önemsiz gibi görünmesine rağmen, aslında çok karmaşık motor, manevra ve denge sistemlerini gerektirdiğinden; sanıldığından daha güçtür. Boyut olarak da üç futbol sahası uzunluğuna varan tankerler vardır. Dolayısıyla tanker üretimi; pek çok ürünün tersine bir üretim hattı üzerinde imal edilemez. Genellikle her seferinde bir adet sipariş edilir ve her müşterinin farklı kargo taşıma ihtiyaç ve istekleri vardır. Aslında her seferinde üretilen bir "tanker" olmasına rağmen; her müşterinin istekleri ve ihtiyaçları farklılaştığından, her yeni tanker yeni ve farklı bir ürün anlamına gelmektedir. Dolayısıyla tasarım her seferinde bir ürün konseptinden bir diğer ürün konseptine doğru değişmektedir. Bütün bu nedenlerle bir süper tanker üretmek lojistik bir kâbus olabilir. Japonya'nın ürettiği bu süper tankerlerden bazıları da Mitsubishi Heavy Industries şirketinin Kobe tersanesinde üretilmekteydi. 1960'lı yılların sonunda Mitsubishi; bu karmaşık gemilerin üretim lojistiğinin geliştirilmesinde Japon hükümetinden yardım istemiştir. Hükümet; üretim sürecinin her aşamasının özel bir müşteri isteğini karşılamaya yönelik olmasını sağlayacak bir sistem geliştirmek için; çok sayıda üniversite profesörüyle bağlantı kurmuş ve böylece bugün Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) adı verilen yöntem ortaya çıkmıştır. 1972 yılında da Mitsubishi; yöntemi gemi üretiminde kullanmaya başlamıştır. Japon firmalarının imalat departmanlarında 1950'li ve 1960'lı yıllarda hızla yayılan Toplam Kalite düşüncesi; 1960'lı yılların sonunda müşteri isteklerinin öneminin anlaşılmasına kadar ulaşmıştır. Önceleri müşteri isteklerinin belirlenmesi ve tasarım kalitesinin oluşturulması için balık kılıcı diyagramları (neden-sonuç diyagramları) kullanılırken; 1966'larda yapılan bir çalışmada tasarım ve imalatta kalitenin güvence altına alınması için kritik noktaların belirlenmesi gerektiği görüşü açıklanmıştır (Akao 1990). Böylece Kalite Fonksiyon Yayılımı düşüncesi meyve vermeye başlamış ve ilk kez 1972 yılında, Kobe tersanesinde

ilk KFY matrisi uygulaması yapılmıştır (Shillito 1994).

"Hinshitsu KiNo TenKai" terimi İngilizceye "Quality Function Deployment" olarak yerleşmiştir. Japoncadaki "Hinshitsu KiNo TenKai" terimlerinin anlamı yaklaşık olarak "tasarım hedeflerinin (fonksiyonlar), uygun mühendislik karakteristiğinde (kalite) ve müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde stratejik olarak düzenlenmesi (yayılmı)" olarak ifade edilebilir. KFY bir ürünün ticari başarıya ulaşmasını sağlayan en önemli faktörün müşteriler olduğunu öne sürer. Ürün veya makine ne kadar iyi tasarlanmış olursa olsun eğer o ürün müşteriler tarafından satın alınmazsa hiçbir anlam kazanmaz. Hatta o ürün ticari olarak bir felakete dönüşebilir. Bu nedenle tasarım özelliklerinin ve tasarımın mühendislik karakteristiğinin belirlenmesinde öncelik müşterinin sesine yani beklentilerine dikkat verilmesidir.

Kısaca KFY metodu müşteri beklentilerini karşılamak için kullanılacak bir planlama aracı olarak da tanımlanabilir. Tasarım, mühendislik ve üretime sistematik ve oldukça kapsamlı bir yaklaşım sağlar. Bu nedenle diğer tasarım metodlarının bir takım uygulamalarını kendi içerisinde barındırabilir ve tasarımın farklı süreçlerinde kullanılabilir. KFY'yi doğru uygulayan bir kuruluş, kalite ve üretkenliği artırırken, maliyet, ürün geliştirme süresi ve mühendislik karakteristiğindeki değişimlerini azaltabilir.

2.3.8 Kalite Fonksiyonu Yayılmı

Metodun uygulanmasında en önemli adım müşteri ihtiyaçlarına göre ürün özelliklerinin tespit edilmesidir (Fariborz 1999). Metodun uygulanması tasarım sonucunda ortaya çıkacak olan ürünün muhtemel kullanıcılarının belirlenmesi ve bu kullanıcılardan kendi düşüncelerine göre üründe bulunması gerekli olabilecek olan özelliklere dair bilgilerinin alınmasıyla başlar. Müşterilerin gereksinimlerinin ve ürüne dair tercihlerinin belirlenebilmesi için birçok pazar araştırma tekniği vardır ve KYF metodunun etkili olarak kullanılabilmesi için bu tekniklerden yardım almak işe yarayacaktır. Bahsedilen araştırma teknikleri arasında belirli bir ürünle ilgili olarak kullanıcıların o ürüne dair neleri sevdiği veya sevmediğine dair yapılan anket çalışmaları olabileceği gibi, aynı işi yapmak için tasarlanmış birden fazla ürünü karşılaştırmalı olarak aralarından hangisinin

daha iyi olduğunu tespit etmeye yarayan testler de vardır.

Kullanıcılardan bilgi toplama çalışmalarında genellikle ürüne dair teknik bir bilgi yerine oldukça genel düzeyde bilgiler elde edilecektir (Cross 2005). Örneğin; bir ürünün özelliklerini kullanıcı “kullanımı kolay” gibi oldukça açık, belirsiz ve genel bir ifadeyle tanımlayabileceği gibi, “rengini beğenmedim” gibi somut tanımlamalar da yapabilir. Böyle durumlarda tasarımcı kullanıcılardan gelen bilgileri titizlikle incelemeli ve elde ettiği tanımlamaları daha kesin yargılara dönüştürmelidir. Ancak bilgilerin dönüştürülmesi sırasında kullanıcının tanımlamasında asıl olarak kastettiği anlamın dışına çıkmamak gerekir. Hatta anlam kaybı yaşanmaması için bu tip ifadeler olduğu gibi bırakılmalıdır.

İkinci adımda ürün özelliklerinin göreceli olarak önem değerlerinin belirlenmesi fayda sağlayacaktır (Hause ve Clausing 1995). Potansiyel kullanıcılardan pazar araştırma teknikleri yardımıyla ürün özelliklerine dair toplanan bilgiler elbette eşit öneme sahip olmayacaktır. Bazıları çok hayati önem taşıırken, diğerleri o kadar önem arz etmeyecektir. Örneğin bir ürünün özelliklerinden “kolay kullanılabilir olması” özelliği, “tamirinin daha kolay olması” gibi bir özellikten daha önemli olabilir. Elde edilen bilgilerden bazılarına göre üründe kesinlikle bulunması gereken bir takım özellikler olacaktır. Ya da bazı bilgilerden üründe bulunacak bazı özelliklerin var olması durumunda tasarımın daha çok tercih edileceği ancak o özellikler olmasa bile tasarımın görevini yerine getirebileceği ortaya çıkacaktır.

Pazar araştırmalarından elde edilen bilgilerin anlamlı bir hale dönüştürülebilmesi için tasarım öncesinde mutlaka kapsamlı bir değerlendirmeye tutulmalıdır. Tasarımcı, daha kaliteli veya daha iyi bir tasarım ortaya koyabilmek için; üründe bulunması gereken özelliklerinin önem düzeylerini, hangi özelliğin öncelikli, hangilerinin daha az gerekli olduğunu bilmek zorundadır. Tasarımın potansiyel kullanıcıları için öneme sahip özellikler birbirlerine göre göreceli olarak bir sıralamaya sokulmalıdır.

Ürün özelliklerinin önem sırasını belirleyebilecek birçok yöntem vardır. Bu yöntemler arasında daha profesyonel olan bazı pazar araştırma tekniklerinin yanı sıra oldukça basit yöntemler de bulunmaktadır. Bahsi geçen basit yöntemlerden bir tanesi potansiyel

kullanıcılara hangi ürün özelliklerinin daha öncelikli olduğuna dair yapılan anket çalışmalarıdır.

Rakip ürünlerin özelliklerinin karşılaştırılması tasarıma katkı sağlayacaktır (Hause ve Clausing 1995). Rakip ürünlerin karşılaştırılma süreci KFY metodunun üçüncü adımıdır. Bir ürünü satın alacak olan müşteriler genellikle o ürünün özelliklerini benzer ürünlerle karşılaştırarak bazı yargılara varırlar ve hangi ürünü tercih edeceklerine buna göre karar verirler (Cross 2005). Örneğin “A marka araba B markaya göre daha güvenli” gibi karşılaştırma sonuçlarına göre hangi arabayı tercih edeceklerine karar verirler. Yapılan bu karşılaştırmalarda aslında kullanıcılar o ürün hakkında uzman değillerdir ve belki de doğru kararları vermekten aciz olabilirler. Ancak yine de burada kullanıcıların ne tür beklentilere sahip oldukları gözlemlenebilir. Pazar araştırma teknikleriyle elde edilen bilgilerin birçoğu da zaten farklı ürünlerde bulunan özelliklerin birbirleriyle karşılaştırılmasını sağlayan metotlar sayesinde elde edilir.

Oldukça rekabetçi bir pazarın olduğu bu günlerde tasarımcılar mutlaka müşteri beklentilerini en iyi şekilde karşılayacak bir ürün tasarlamalıdır. En azından piyasada bulunan rakip ürünlerden daha iyi bir tasarım ortaya koymalıdır. Farklı ürünlerin sahip olduğu hem niteliksel özellikleri hem de niceliksel özellikleri tespit etmek ve hangi özelliklerin daha büyük öneme sahip olduğunu analiz etmek tasarımcının daha iyi bir ürün ortaya koymasına yardımcı olacaktır.

Dördüncü adımda ürün özellikleri ve mühendislik karakteristiğini karşılaştırmayı kolaylaştıracak bir tablo hazırlanır (Cross 2005). Daha önce belirtildiği gibi müşteriler aslında tasarlanan ürüne dair bir uzman değildirlere ve o ürünün sahip olması gereken teknik özelliklere yani mühendislik karakteristiğine dair gerekli tanımlamaları yapamayabilirler. Örneğin müşteri sahip olmak istediği aracın hızlı olması gerektiğini ifade eder. Müşteri aracın hızlı olmasını sağlayacak olan teknik özelliğin motor torkunun yüksek olması anlamına geldiğini bilemez. Bu bilgi mühendislik bilgisidir. Örnekten de anlaşılacağı gibi müşterilerden elde edilen bilgiler aslında işlenmemiş, ham verilerdir. Tasarımcı bu bilgileri mühendislik bilgisine çevirmelidir. Müşterilerden alınan ham bilgiler mühendislik bilgilerine dönüştürüldükçe farklı tasarım çözümlerinin

üretilmesine yol açabilir. Araba örneğinde olduğu gibi aracın hızını etkileyen motor torku özelliğinin yanı sıra aracın hafifliği de etken faktörlerden biridir.

Müşterilerden elde edilen ham bilgiler mühendislik bilgisine çevrilirken gerçeği yansıtmalı ve ölçülebilir bir biçime getirilmelidir. Tasarım gereksinimlerine dair müşterilerden alınan bilgiler her ne kadar öznel ve bazen belirsiz olsa bile tasarımcının bir şekilde bu bilgileri ölçülebilir parametreler haline getirmesi gerekir.

Ortaya çıkacak olan ürünün temel özelliklerini etkileyen en önemli faktör o ürünün mühendislik karakteristiğidir. Elbette belirlenen temel mühendislik karakteristiği ortaya çıkacak olan ürünün bütün özelliklerini etkileyebilir. Her bir mühendislik bilgisinin ürünün belirli bir özelliğini etkileyebileceği gibi birden fazla ürün özelliğini de etkilemesi mümkündür. Tasarımcı bu noktada ortaya çıkabilecek olan karışıklığı giderebilmek ve tasarımın gidişatını daha net görebilmek için bir tablo hazırlamalıdır. Tasarımcı bu tablo yardımıyla hangi mühendislik karakteristiğinin hangi ürün özelliğini ne kadar etkilediğini ve üründe bulunması gereken özelliklerin birbirleriyle olan ilişkilerini kolayca görebilecektir.

Tablo hazırlanırken sol sütunda pazar araştırmalarından elde edilen bilgilere göre ürünün sahip olması gereken özellikler yer alacaktır. En üst satırda ise bu özelliklerin tasarıma kazandırılması için gerekli olan olası mühendislik çözümleri yer alacaktır. Tabloda bulunan özellikler ve mühendislik çözümlerinin kesiştiği hücreler o ürün özelliği ve mühendislik karakteristiği arasındaki ilişkilerin bir özetini gösterecektir.

Tablonun sağ tarafına ayrı bir bölüm eklenerek toplam sonuçlar belirtilebilir. Böylece rakip ürünler arasında veya tasarımcının öne sürdüğü farklı fikirler arasında sistematik bir karşılaştırma yapma imkânı sağlanmış olur. Matrisin en altında ilgili özelliklere dair birimlerin verilmesi faydalı olacaktır.

Beşinci adımda ürün özellikleri ve mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişkiler tanımlanmalıdır. Hazırlanan tablo incelendiğinde her bir hücredeki değerlere göre; hangi mühendislik karakterinin hangi ürün özelliğini etkilediği kolayca belirlenebilir

(Hause ve Clausing 1995). Mühendislik karakteristikleri ve ürün özellikleri arasındaki bu ilişkilerin hepsi eşit önemde olmayabilir. Bazı mühendislik karakteristikleri ürün özelliklerine oldukça güçlü bir etkiye sahipken, bazılarının etkisi daha zayıf kalabilir (Cross 2005).

Tasarımcı hazırlanan tablo üzerinde sistematik bir inceleme yapmalıdır. Her mühendislik karakteristiğinin ve her ürün özelliğinin kendi içlerinde ve birbirleri arasındaki ilişkileri tam olarak tespit etmelidir ve bu ilişkilerin ağırlıklı önemlerini ortaya çıkarmalıdır. Karakteristik ve özelliklerin ağırlıklı önemleri belirlenirken belirli bir değerlendirme puanı verilerek her bir madde ayrı ayrı puanlanabilir (Cross 2005). Örneğin daha güçlü olan ilişkiler için altı puan, orta düzeyde etkili olduğu düşünülen ilişkiler için üç puan, zayıf ilişkiye sahip olduğu düşünülen özellikler için bir puan verilebilir. Puanlama sisteminin yerine tasarımcının kendisinin belirleyeceği bir takım semboller de kullanılabilir. Bu noktada tasarımcı özgür bırakılmıştır.

Altıncı adım mühendislik karakteristiklerinin kendi aralarındaki etkileşimlerin belirlenmesi ve kalite evi diyagramının oluşturulmasıdır. Tasarımın farklı mühendislik karakteristikleri birbirleri arasında bir takım etkileşimler içinde bulunabilirler (Hause ve Clausing 1995). Arabalarda bulunan motor tasarımlarındaki mühendislik karakteristikleri bunun için güzel bir örnektir. Müşteri beklentilerinde elde edilen bilgilere göre motor gücüne dair mühendislik karakteristiği gücün yüksek olmasının gerektiğini gösterebilir. Motor gücünün daha yüksek olabilmesi motorun ağırlığını, dolayısıyla aracın toplam ağırlığını da artırmış olacaktır. Yani bu durumda motor gücüne dair belirlenen temel karakteristik aracın toplam ağırlığına dair belirlenen karakteristiği etkilemektedir. Örnek verilen durumda iki farklı mühendislik karakteristiği birbirleriyle doğru orantılı bir etkileşim içindedir. Bazı durumlarda bu etkileşimin ters orantılı olması mümkündür.

Karakteristiklerin kendi aralarındaki ilişkilerin daha rahat kontrol edilebilmesi için daha önce hazırlanmış olan tabloya bir bölüm daha eklenmesi faydalı olacaktır. Bu bölüm tablonun en üst kısmına çatıya benzer üçgen bir yapıda yerleştirilir. Böylece tablonun genel görünümü kabaca bir ev şekline benzeyecektir. Zaten görünüşü nedeniyle

hazırlanan tablo “Kalite Evi” olarak da anılmaktadır. Tablonun en üst kısmında ya da çatısında yapılacak olan çalışmalar tasarımın sahip olacağı mühendislik karakteristiklerinin birbirleriyle olan ilişki durumlarının pozitif veya negatif olduğunu gösterecektir. Böylece farklı karakteristik ilişkileri kolayca gözlemlenebilecektir. Tasarım süreci içerisinde bir takım mühendislik karakteristikleri veya ürün özellikleri değiştirilebilir. Bu nedenle oluşturulan “Kalite Evi” tasarım sürecindeki değişikliklere göre sürekli olarak güncel tutulmalıdır.

Yedinci adım mühendislik karakteristiklerinde ulaşılması gereken hedeflerin belirlenmesidir. Tasarımcı bu aşamaya kadar yapılan çalışmalarla tasarlanacak olan ürüne dair müşteri beklentilerini ve rakip ürünlerle ilgili bilgileri elde etmiş olacaktır. Bu bilgilerle birlikte kendi tasarımında müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde üründe bulunması gereken mühendislik karakteristiklerine dair temel bir öngörüye de sahip olacaktır. Tasarımcı bu aşamadan sonra tasarladığı ürünü piyasadaki rakiplerinden daha iyi hale getirmeye çalışmalıdır. Ürünün benzer diğer ürünlerden daha iyi hale getirilebilmesi o ürünün müşteri beklentilerini diğer ürünlerden daha iyi karşılaması anlamına gelmektedir. Yani tasarımcı müşteri beklentilerini yerine getirecek olan mühendislik karakteristiklerini en iyi düzeye getirmelidir. Belirlenen mühendislik karakteristikleri ölçülebilir parametrelerle tanımlanmalı ve her bir parametrenin rakip ürünlerden daha üstün nitelikte olması hedeflenmelidir.

Elbette daha iyi bir tasarım rakip ürünlerden daha üstün bir tasarım olmalıdır (Hause ve Clausing 1995). Bu nedenle rakip ürünlerin özellikleri ve mühendislik karakteristikleri mutlaka incelenmelidir. İncelemelerden elde edilen bilgiler yardımıyla daha üstün özellikler elde etme hedefi veya daha iyi mühendislik karakteristiklerini gerçekleştirme hedefi tasarımın başarısını artıracaktır. Eğer rekabetin söz konusu olmadığı bir ürün tasarımı gerçekleştiriliyorsa; tasarımcı hedefleri kendisi de belirleyebilir.

Özet olarak kalite fonksiyonu yayılımı metodu tasarlanacak olan ürünün müşteri beklentilerini karşılayabilmesi için ürünün hangi mühendislik karakteristiğine (teknik özelliklere) sahip olması gerektiğini belirlemek konusunda tasarımcıya yol gösterici bir yardımcı niteliğindedir (Cross 2005). Metodun uygulanmasında temel olarak yedi adım

vardır. Bu adımlar özetlenecek olursa;

1. Potansiyel müşterilerin beklentileri dikkate alınarak üründe bulunması gereken özellikler tespit edilir. (Voice Of The Customer – Müşterinin Sesi)
2. Üründe bulunması gereken özelliklerin önem dereceleri tespit edilir.
3. Rakip ürünlerin özellikleri incelenir. Bu incelemelere göre tasarımda bulunması gereken özelliklere dair hedefler belirlenir.
4. Üründe bulunacak olan özelliklerin hangi mühendislik karakteristiğinde olacağını gösteren bir tablo hazırlanır. Mühendislik karakteristiklerinin, hangi ürün özelliklerini etkilediği ölçülebilir birimlerle tanımlanır ve tabloda belirtilir.
5. Mühendislik karakteristikleriyle ürün özellikleri arasındaki ilişkiler tasarımcının belirlediği bir puanlama sistemiyle veya çeşitli sembollerle tabloya eklenir.
6. Her bir mühendislik karakteristiğinin kendi aralarındaki ilişkiler incelenir ve elde edilen sonuçlar tablonun üst kısmında gerekli hücrelerde gösterilir.
7. Tablo ayrıntılı bir şekilde incelenerek son değerlendirmeler yapılır. Tasarımda bulunması gereken ürün özellikleri ve mühendislik karakteristiklerine dair kararlar verilir.

2.3.9 Tasarım Karakteristiğinin Oluşturulması

Bir görevi yerine getirecek olan ürünün tasarımı için birbirinden farklı çok sayıda çözüm önerisi sunulabilir. Tasarımın en öncelikli amacı bir problemin çözülmesi için üretilen çözüm önerileri arasından en iyisinin seçilmesidir. Bir ürünün ortaya çıkması; tasarımcının sahip olduğu deneyimlerle kazanılan sezgilerin sonucunda olduğu ya da tasarımcının problem çözme yöntemlerini kullanarak mantıksal bir sonuca varması olarak düşünülebilir. Tasarım her ne şekilde gerçekleşirse gerçekleşsin bu süreçteki amaç ortak bir hedefe işaret etmektedir. Bu hedef; henüz var olmayan, yeni bir ürün ortaya koymak veya var olan ürünün daha iyi hale getirilmesi olabilir (Cross 2005).

Yenilikçi ve oldukça değişik olduğu kabul edilen tasarımları gerçekleştiren tasarımcılar çoğunlukla bu tasarım fikirlerinin bir anda akıllarına geldiğini ifade ederler. Ancak böyle bir ifade tasarlama süreçlerini tam olarak anlatmaya yetmemektedir. Çünkü dikkat edilecek olursa yeni bir tasarım olarak öne sürülen ürün veya makinelerin birçoğu

aslında var olan ürün ve makinelerin yeni bir versiyonu ya da sadece bir takım parçalarının değiştirilmiş analogilerinden oluşmaktadır. (Pugh 1991). Aynı şekilde tasarımın yapılmasını isteyen müşteri de ortaya çıkan ürün veya makineyi kullanacak olan kullanıcılar da yeni bir ürün yerine var olan ürünlerin daha iyilerinin beklentisi içinde olurlar. Bu nedenle ürün veya makine tasarımı sürecinde var olan benzer tasarım temaları üzerinde yeni değişiklikler yapmak tasarım aktivitelerinin önemli bir özelliği olarak karşımıza çıkar. Var olan ürün veya makineler üzerinde o ürünü veya makineyi daha iyi hale getirilmesini sağlayacak yeni ve farklı özellikler eklemeye çalışmak ya da var olan özellikleri daha fonksiyonel bir hale getirmek de yeni ürün tasarımı kavramının içinde sayılabilir (Pugh 1991). Buradan anlaşılmaktadır ki tasarım ifadesiyle kastedilen kavram tek başına hiç var olmayan bir ürün veya makine ortaya koymak anlamına gelmemektedir. Var olan tasarım çözümlerinin farklı şekillerde kullanılması yani analogik benzerleri veya tekrar birleştirilmesi de yeni tasarım olarak algılanabilir (Vattam *et al.* 2007). Dolayısıyla tasarımcı tamamen yeni bir ürün veya makine ortaya koymayı tek başına bir hedef olarak kabul etmek yerine var olan tasarım çözümlerinin daha iyi kombinasyonlarını oluşturmayı da hedefleyebilir.

Var olan ürün veya makinelerin tasarım çözümlerinin farklı kombinasyonlarının oluşturulması tasarımın sürekli olarak kendini tekrar eden sonuçlar çıkardığını düşünülmemelidir. Tasarım her ne kadar var olan çözümleri farklı şekillerde bir araya getirme işi olsa da bir birinden farklı çok sayıda kombinasyon oluşturabilme imkanı vardır. Bu durumu daha net olarak kavrayabilmek için kare şeklinde özdeş kutuların yan yana kaç farklı şekilde dizilebileceği incelenebilir. Kutu sayısı arttıkça birbirinden farklı dizilme olasılıkları daha da fazla artar. Bu durum çizelge 2.1’de daha net görülmektedir.

Çizelge 2.1 Dizilim kombinasyonu

Kutu Sayısı	Kombinasyon Sayısı
2	1
3	2
4	5
5	12
7	108
8	369
...	...
16	13079255

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi kutu sayısı arttıkça; kutuların farklı şekilde yan yana dizilebilme kombinasyonları katlanarak artmaktadır. Tasarımı kutuların farklı kombinasyonlarda dizilmesi olarak örneklendirmek mümkündür. Birbirinden farklı dizilimler tasarımı ifade ederken; kutu sayıları da ürünlerin özelliklerini ifade etmektedir. Açıkça görüldüğü gibi 16 farklı bileşen milyonlarca ifade edilecek kadar farklı tasarımın ortaya çıkmasını sağlayabilir. Yani var olan ürünlerin farklı kombinasyonlarını ortaya koymak bile oldukça değişik ve belki de daha iyi, daha yenilikçi çözüm önerilerinin ortaya koyulmasını sağlayabilir.

Morfoloji Tablosu Metodu bu olgudan yararlanarak tasarımcının var olan eleman veya parçaların yeni kombinasyonlarını bulmasına yardımcı olur. Metot uygulandığında tasarım çözümlerinin sayısı oldukça fazla olacaktır ve daha önce oluşturulmuş tasarımların yanı sıra tamamen yeni sayılabilecek tasarımların da ortaya çıkmasını sağlayabilir (Cross 2005).

Morfoloji Tabloları Metodunun temel amacı mümkün olan yeni tasarım çözümü sayısının artırılmasını sağlamak ve tasarımcının geniş bir çözüm aralığında seçim yapmasını sağlamaktır (Smith *et al.* 2000). Morfoloji şekil veya biçim bilimi olarak tanımlanabilir. Morfoloji tablosu metodu da ürün veya makinenin tasarımının sonucunda ortaya çıkacak olan ürünün sahip olacağı şekle dair sistematik bir analiz aracı olarak görülebilir. Oluşturulan tablo aracılığıyla tasarımın her bir alt problemine dair üretilen çözüm önerilerinin tamamı bir arada gösterilir. Bu alt çözüm önerilerinin farklı kombinasyonları belirlenerek değişik tasarım çözümleri ortaya çıkarılır. Böylece daha iyi bir tasarım ortaya koymak için bütün kombinasyonların genel bir değerlendirmesi yapılabilir.

2.3.10 Morfoloji Tablosu Metodu

Cross (2005) morfoloji tabloları metodunun uygulama adımlarını dört aşamada göstermiştir.

İlk adım üründe mutlaka bulunması gereken fonksiyon veya özelliklerin listelenmesidir. Morfoloji tablosu oluştururken yapılması gereken ilk işlem tasarlanan üründe kesinlikle

bulunması gereken fonksiyon veya özelliklerin listesinin oluşturulmasıdır. Böyle bir liste oluşturulmasında üründe bulunması gereken özelliklere dair hangilerinin daha uygulanabilir olduğunu rahatça görmektir. Liste kısa ve öz ifadeler kullanılarak hazırlanmalıdır. Bu ifadeler tasarlanan ürün veya makinede bulunması gereken fonksiyonları net olarak anlatmalıdır. Tasarımın hangi yönde ilerleyeceği buradaki ifadelerle göre belirlenecektir. Bu nedenle listedeki her bir madde tasarımın parametreleri olarak anılabilir. Diğer bazı tasarım metotlarında da olduğu gibi; bu metodun uygulanması sırasında tasarlanan ürünün sahip olması gereken belirli bir fiziksel bileşen dikkate alınmamalıdır. Bunun yerine o bileşenin yerine getireceği görev esas alınmalıdır.

Hazırlanan listede bulunan her madde aynı düzeyde ifade edilmelidir. Aynı zamanda listedeki her madde tasarlanan ürün veya makinede bulunması gerekli olan fonksiyonların karşılaştırmalarını yapmaya uygun şekilde hazırlanmalıdır. Listenin çok uzun olması farklı tasarım çözümlerinin sayısını değerlendirmeyi zorlaştıracak kadar arttırabilir. Bu nedenle listedeki madde sayısının dört ile sekiz arasında olması mantıklı ve üzerinde çalışılması kolay bir tablo elde edilmesini sağlayacaktır.

İkinci adımda her bir özelliği veya fonksiyonu yerine getirebilecek farklı çözüm önerileri (parçalar, mekanizmalar, sistemler, vb.) belirlenir. Ürünün sahip olması gereken özellikler veya fonksiyonlar alt problemler olarak tanımlanabilir ve her biri için çözüm önerileri oluşturulmalıdır. Morfoloji tablosu metodunun ikinci aşamasında her bir alt problemi çözmek için kullanılacak farklı önerilerin bir listesi hazırlanır. Bu listede bulunacak olan alt çözümler genel ifadelerle tanımlanması mümkündür. Ancak eğer mümkünse genel tanımlardan çok alt problemin çözümünü yerine getirmesi mümkün olan fiziksel bileşenlerin, parçaların, mekanizmaların veya sistemlerin belirtilmesi daha faydalı olacaktır. Örnek olarak bir araba tasarımı ele alınırsa arabanın sahip olması gereken motor gücü tasarımdaki fonksiyonlardan biridir. Motor gücüne dair teknik şartnamede belirlenen şartları yerine getirebilecek fiziksel bileşeni bulmak alt tasarım problemidir. Bu alt problemin çözüm önerileri arasında benzin, dizel veya LPG kullanan bir motor tasarlanabilir. Yakıt seçeneklerinin her biri oluşturulacak olan ikinci listenin maddelerini oluşturacaktır. Bu liste daha önce kullanılmış olan

bileşenlerin yanı sıra tasarımcının kendi ürettiği çözümleri de içerebilir.

Üçüncü adımda tasarım fonksiyonlarının her birini yerine getirmesi mümkün olabilecek bütün çözümler bir tablo ile bir araya getirilir. Daha önce tasarımda bulunması gereken fonksiyon veya özellikleri içeren bir liste ile birlikte fonksiyon ve özellikleri yerine getirilmesini sağlayan alternatif çözüm önerilerine dair bir liste hazırlanmıştı. Bir sonraki adımda her iki listedeki bilgiler ortak bir tablo içinde gösterilecektir. Oluşturulacak olan bu tabloda soldaki sütunda ilk listede bulunan tasarımda bulunması gereken fonksiyonlar sıralanır. Daha sonra her bir fonksiyonun yerine getirilmesi için ikinci listede belirlenmiş olan çözüm önerileri, ilgili fonksiyonun karşısındaki satıra yerleştirilir. Hazırlanan tabloda sütunlar arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Dolayısıyla her fonksiyon için kendine özgü sayıda çözüm önerisi olması mümkündür. Bu nedenle sütunlardaki bazı hücreler boş bırakılabilir.

Morfoloji tablosu bu haliyle tasarımda bulunması gereken fonksiyonlar için olası bütün çözüm önerilerini içerecektir. Aynı zamanda ürün veya makineye ait olan ve teorik olarak işe yarayabileceği düşünülen bütün çözüm önerilerini bir arada tasarımcıya sunacaktır. Tablo üzerinden her bir satırdan tek bir çözüm seçilerek tasarımın bütün farklı kombinasyonlarını görmek mümkün olacaktır. Birbirinden farklı tasarım kombinasyonlarının sayısının fazla olması normaldir. Örneğin sadece üç satırdan yani üç önemli fonksiyon barındıran ve her bir fonksiyon için farklı çözüm önerilerinin sayıları sırasıyla 3, 5 ve 2 olsun. Böyle bir durumda bu özellikler tasarımda $3 \times 5 \times 2 = 30$ farklı kombinasyonla bir araya getirilebilir. Dolayısıyla alternatif tasarım önerilerinin sayısı oldukça fazla çıkacaktır. Böyle bir durumda tasarım önerileri arasında seçim yapmak kolay olmayabilir. Bu nedenle fonksiyonlara dair önerilen çözüm önerilerinin sayısı mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Elbette farklı çözüm önerilerinin bulunması farklı alternatiflerin ortaya çıkarılması için faydalı olacaktır. Ancak değerlendirme zorluklarını giderebilmek için bazı sınırlamalar koymak gerekliliği hissedilebilir.

Dördüncü adımda alt çözüm önerilerinin uygun kombinasyonları belirlenir. Oldukça basit sayılabilecek bir ürünün tasarımında bile kullanılacak farklı kombinasyondaki tasarım önerilerinin fazla sayıda olacağı ve bir kısmının daha önce diğer ürünlerde

kullanılmış olması muhtemeldir. Tasarım için yapılan önerilerden bir kısmı az veya çok başka ürünlerde de kullanılmış olan çözümlerle aynı olacaktır. Bazı çözüm önerileri ise daha önce hiçbir üründe kullanılmamış olan, yenilikçi ve özgün öneriler olabilir. Bazı kombinasyonlarda ise bir arada kullanılması mümkün olmayan çözüm önerileri bir araya gelebilir ve o kombinasyon geçerliliğini kaybedebilir. Böylece tasarım kombinasyonlarının sayısı azaltılabilir.

Eğer toplam tasarım kombinasyonu sayısı çok fazla değilse her bir kombinasyon ayrı ayrı listelenerek tasarım önerilerinin tamamı, birbirlerine göre kıyaslanarak incelenebilir. Böylece her bir tasarım önerisi, yenilikçilik, maliyet, performans veya önemli olabilecek herhangi başka bir kriter üzerinden değerlendirilerek birbirlerine göre üstün olan yanları veya yetersiz kalan özellikleri ortaya çıkarılabilir.

Eğer toplam tasarım kombinasyonu sayısı üzerinde incelemeler yapmayı zorlaştıracak kadar fazlaysa bu sayı çeşitli kısıtlamalar yapılarak düşürülebilir ve böylece analiz yapma imkânı kolaylaşır. Bahsedilen kısıtlamalar her satırdaki çözüm önerilerinden verimli olmadığı düşünülen, uygulamasının kolay olmayacağı düşünülen veya herhangi bir şekilde yetersiz kabul edilebilecek olan çözüm önerilerinin elenmesiyle sağlanabilir. Aynı zamanda birlikte uygulanması mümkün olmayan çözüm önerileri tespit edilerek uygun kurallar koyulabilir ve böylece farklı kombinasyon sayısı azaltılmış olur.

Morfoloji tablosu oluşturulduktan sonra tasarımcı kendi sezgileriyle hareket ederek hangi kombinasyonun daha iyi olduğunu bulmak durumundadır. Zaten morfoloji tablosunun amacı bütün farklı çözümlerin dikkatten kaçmadan tasarımcının önüne serilmesidir. Bu noktadan sonra tasarımcı kendine göre belirli bir puanlama sistemi oluşturarak veya sadece sezgisel olarak tasarımın hangi elemanlardan oluşacağına kendisi karar verecektir.

Özet olarak morfoloji tablosu metodu tasarımcının mümkün olan bütün tasarım olasılıklarını bir arada görmesini sağlamaktır. Böylece yenilikçi veya daha iyi tasarım önerilerinin dikkatten kaçırılmadan farklı tasarım ihtimallerini artırmayı sağlar. Metod en basit yoluyla 4 adımda uygulanır:

1. Tasarımda mutlaka bulunması gereken zorunlu özellikler veya fonksiyonlar bir liste haline getirilir. Listenin çok uzun olmamasına dikkat edilmeli ve sadece zorunlu veya çok önemli fonksiyonlara yer verilmelidir.
2. Birinci adımda tespit edilen her bir fonksiyon veya özellik hangi bileşenlerle yerine getirilebileceği araştırılır. Her bir fonksiyon için farklı alt çözüm önerileri listelenir. Bu listede tamamen yeni çözümler bulunabileceği gibi daha önce başka ürünlerde kullanılmış olan çözüm önerilerine de yer verilebilir.
3. Her alt çözüm önerisini içerecek şekilde bir tablo hazırlanır. Bu tabloyla tasarımın mümkün olabilecek bütün çözüm önerileri bir araya getirilmiş olur.
4. Alternatif tasarım kombinasyonları gözden geçirilerek uygulanabilir olanları tespit edilir. Eğer kombinasyon sayısı üzerinde çalışmayı zorlaştıracak kadar fazla ise bir takım sınır şartları veya kriterler yardımıyla bu sayı azaltılır.

2.3.11 Alternatif Tasarım Önerilerinin Değerlendirilmesi

Tasarımcı tasarladığı ürün veya makine için birden çok alternatif tasarım önerisiyle karşılaştığında, bu alternatifler arasından en iyisini seçmek zorundadır. Tasarımcı zaten tasarım sürecinin en başından bu yana sürekli olarak bazı kararlar almış ve seçimler yapmıştır. Eğer tasarım sürecinin ilk aşamasından itibaren tasarımcı en doğru seçimleri yaparsa tasarım en iyi haline ulaşmış olacaktır (Cross 2005).

Farklı tasarım çözümleri arasında yapılan seçimler; varsayımlarla, sezgisel kararlarla, geçmişte kazanılmış olan deneyimlerin yardımıyla ya da sadece keyfi kararlarla yapılmış olabilir. Ancak farklı tasarım çözümleri arasından seçim yapılırken daha sistematik metotlar kullanılması tasarımcıya avantaj sağlayabilir (Pedersen *et al.* 2000). Tasarımcı sistematik bir metot yardımıyla seçimler yaparsa, verdiği kararların arkasında kendine daha fazla güvenerek durabilir. Sistematik bir yaklaşım sayesinde verilen kararların gerekçeleri kolayca diğer kişilere de somut olarak sunulabilir (Cross 2006).

Tasarım gerçekleştirilirken sistematik tasarım metotlarından yararlanılmışsa, bu metotlardan elde edilen bilgiler, alternatif tasarım önerileri arasından bir seçim yaparken, tasarımcıya rehber niteliği taşıyacaktır. Örneğin sistematik tasarım metotlarının ilk adımında uygulanan hedef ağacı metodu ile belirlenen hedeflere hangi tasarım çözümünün daha yakın olduğu karşılaştırılabilir (Pahl ve Beitz 1988). Böylece

tasarıma başlanan ilk aşamada ortaya koyulan hedeflere ulaşıp ulaşılamadığı veya ne kadar yaklaşıldığı belirlenebilir. Aynı şekilde teknik şartnamelerin hazırlandığı performans belirleme metodu veya fonksiyonlara dair analizlerin yapıldığı fonksiyon analizi metodu tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde tasarımcıya yardımcı olacaktır.

Alternatif tasarım önerileri arasından en doğru seçimi yapabilmek için en önemli yaklaşım o tasarım önerilerinden hangisinin; müşterinin tasarımdan beklediği görevleri daha iyi yerine getirdiğidir. Bu yaklaşıma göre tasarım alternatiflerinden hangisinin daha iyi sonuç vereceği tasarımdan beklenen görevlerin bir şekilde puanlanarak her tasarım alternatifinin ortak bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda ortaya çıkabilir.

Ağırlıklı hedefler metodu alternatif tasarım önerilerinden her birinin, yerine getirilmesi gereken görevleri ne kadar doğrulukta yerine getirdiğini karşılaştırmayı amaçlayan sistematik tasarım metotlarından birisidir. Metot tasarımın yerine getirmesi gereken görevlere önemlerine göre ağırlıklı olarak puanlar atanmasını ve buradan elde edilen puanlarla alternatif tasarım önerilerinin birbirleriyle karşılaştırılması esasına dayanır. Böylece alternatif tasarım önerileri arasından yapılacak olan seçim işlemini hem daha kolaylaştırır hem de daha somut verilerle yapılmasına yardımcı olur.

2.3.12 Ağırlıklı Hedefler Metodu

Cross (2005) ağırlıklı hedefler metodunun uygulama adımlarını dört aşamada göstermiştir.

Birinci adımda tasarım hedefleri listelenir. Farklı tasarım önerileri arasında bir değerlendirme yapılması gerektiğinde ilk yapılması gereken o önerilerin tasarım hedeflerini karşılayacak olan sınırların belirlenmesidir. Her ne kadar hedefler tasarım sürecinin başında belirlenmiş olsa da süreç boyunca bu hedeflerin bazılarında çeşitli değişiklikler meydana gelebilir. Bu nedenle daha önce belirlenmiş olan hedefler gözden geçirilmeli ve gerekli durumlarda hedefler yeniden düzenlenmelidir. Tasarım hedefleri; teknik ve ekonomik faktörleri, müşterilerin taleplerinden veya benzer şekilde gerekli olabilecek bütün etkenleri içermelidir. Tasarım hedefleri birbirleriyle karşılaştırılmayı

kolaylaştıracak şekilde listelenmelidir. Karşılaştırmayı kolaylaştırmak için listedeki hedefler mümkün olduğu kadar sayısal değer içeren ifadelerle verilmelidir. Ancak yine de bazı hedeflerin kaçınılmaz olarak sayısal değerlerle ifade edilmesi mümkün olmayabilir. Bu hedefler daha sonra belirli bir puanlama sistemi yardımıyla değerlendirmeye katılacaktır.

İkinci adımda tasarım hedefleri önemlerine göre sıralanır. Belirlenen tasarım hedeflerinin önemleri elbette birbirlerinden farklılıklar gösterecektir. Bazı hedeflerin yerine getirilmesi çok büyük önem taşıyarken bazı hedefler daha az önem taşıyacaktır. Tasarım hedeflerinin önemlerini ağırlıklarını belirlemek ve tasarımı buna göre yönlendirmek daha başarılı ürünler ortaya koymayı kolaylaştıracaktır. Bu nedenle tasarım hedeflerinin önemlerini ağırlıklı olarak derecelendirerek önem sırasına koyulması gerekir. Önem sırasının oluşturulmasında en kolay yöntemlerden biri listede bulunan her hedefi ayrı ayrı kartlara yazarak her kartı en önemliden başlayarak sıralamaktır. Bu işlem gerçekleştirilirken tasarım ekibinde bulunan her üye ve hatta tasarımın yapılmasını talep eden müşterinin fikirlerine de yer vermek fayda sağlayacaktır. Böylece kararlar ortak bir fikir sonucunda verilmiş olacaktır. Aynı zamanda yapılacak olan anket çalışmaları da değerlendirme sürecine katkı sağlayabilir.

Hedeflerin önem sırasını sistematik bir yolla belirlemek için basit yöntemler de vardır. Bu yöntemlerden biri her bir hedefin birbirleriyle tablo yardımıyla karşılaştırılmasıdır. Bu uygulamanın bir örneği Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.2 Hedef karşılaştırma tablosu (Cross 2005)

HEDEFLER	A	B	C	D	E	Toplam
A	-	0	0	0	1	1
B	1	-	1	1	1	4
C	1	0	-	1	1	3
D	1	0	0	-	1	2
E	0	0	0	0	-	0

Tablo hazırlanırken her bir hedef sırasıyla en sol sütunda ve en üst satırda sıralanır. Verilen örnekte beş farklı hedef belirlenmiş ve hedefler A, B, C, D, E gibi harflerle gösterilmiştir. Tablodaki hücelere hedeflerin birbirlerine göre hangisinin daha önemli olduğu bir ve sıfır puanlarıyla değerlendirilir. Her bir hedefin birbirleriyle karşılaştıkları hücelere önemli olan hedefe bir puan önemsiz olduğu düşünülen hedefe sıfır puan verilir. Verilen örnekte A hedefi ve B hedefi karşılaştırıldığında A hedefinin B'ye göre daha az önemli olduğu görülmektedir. Aynı şekilde A hedefi ile E hedefi karşılaştırıldığında ise A hedefinin E hedefinden daha önemli olduğu hücredeki bir puanından anlaşılmaktadır. Tablonun en sağ tarafına bir sütun daha eklenerek hedeflerin önemlerine dair toplam puanlara yer verilebilir. Böylece önemi en fazla olan hedef aynı zamanda en çok puanı alan hedef olacaktır. Verilen tablo incelenirse A,B,C,D ve E hedeflerinin önem sırasının; B,C,D,A,E şeklinde olduğu görülecektir. Kısaca B en önemli hedef olurken, E hedefinin önemi diğerlerine göre en düşük seviyede kalmıştır. Hedeflerin eşit öneme sahip olduğu durumlarda değerlendirmeye yarım puan ($\frac{1}{2}$) verilebilir.

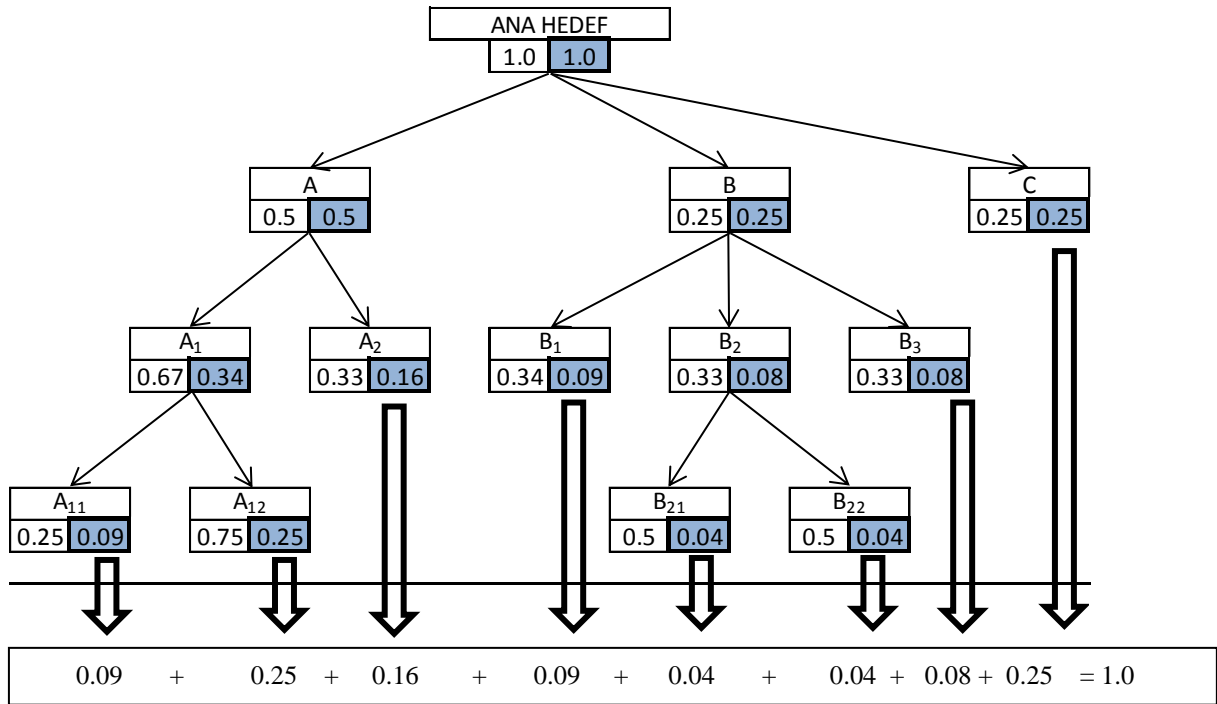
Üçüncü adım her hedefin bağıl ağırlıklarının belirlenmesidir. Hedefler önem sırasına göre sıralandıktan sonra her bir hedefin bağıl ağırlıklarının belirlenerek her bir hedefe sayısal bir değer atanır. Basit şekilde önem sırasına göre hazırlanan listedeki hedeflerin yanına belirli puanlar verilebilir. Puanlama toplamda 10 puan üzerinden yapılabilir. Ancak daha hassas bir değerlendirme yapılmak isteniyorsa 1-100 gibi daha geniş bir aralıkta yapılabilir. Daha önce Tablo 1a'da önem sıraları belirlenen A,B,C,D,E hedefleriyle örnek bir puanlama Çizelge 2,3'teki gibi olabilir.

Çizelge 2.3 Hedef puanlama tablosu

Puan:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hedef:	B			C		D	A		E	

Çizelge 2.3'te görüldüğü gibi B hedefi en önemli hedef olarak belirlenmiş ve 10 puan ile değerlendirilmiştir. Diğer hedefler ise B hedefine göre bağıl olarak puanlanmıştır. Bu puanlama sistemine göre C hedefi B hedefinin yaklaşık olarak %70'i kadar puan alarak ikinci sırada yer almıştır. A hedefinin ise E hedefinin iki katı kadar önemli olduğu

görülmektedir. Tasarımcı bu tablo ile hedeflerin önemlerine göre bağıl önemlerini kolayca gözlemleyebilir ve tasarım önerileri arasından yapacağı seçimi bu gözlemler sonucunda daha sistematik bir şekilde yapabilir. Değerlendirmeyi daha kolay yapabilmek için önem puanları elde edilen verilerin de yardımıyla eşit olarak paylaşılabilir. Paylaştırma işlemi hedeflerin aldığı puanların yüzde olarak dağıtılmasıyla yapılabilir. Hedeflerin hepsinin elde ettiği toplam puanın 28 (10+7+5+4+2=28) olduğu görülmektedir. B hedefinin önemini hesaplayacak olursak; $(10 \times 100) / 28 = 35$ yani %35'lik bir öneme sahip olduğu görülebilir. Aynı şekilde C hedefi %25, D hedefi %18, A hedefi %15, ve E hedefi %7 gibi bir öneme sahiptir. Yani A hedefi %15lik bir önemle tasarımı etkilerken, B hedefi %35'lik bir etkiye sahiptir. Tasarım hedeflerinin ağırlıklarının belirlenmesi için hedef ağacı diyagramı da kullanılabilir. Her hedef için toplamda 1,0 değerinde bir ağırlık verilir. Her bir alt hedefe de aynı şekilde 1,0 değerinde ağırlıklar verilir. Bu ağırlıklar her alt düzeye inildikçe alt hedeflere paylaşılır.



Şekil 2.4 Ağırlıklı hedefler diyagramı

Şekil 2.4'te örnek bir hedef ağacı metodu uygulamasında belirlenen hedeflerin ağırlıklarının paylaştırılmış hali görülmektedir. Tasarım örneği için ana bir hedef belirlenmiş ve bu hedefin yerine getirilebilmesi için üç alt hedef belirlenmiştir. Alt

hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan diğer alt hedefler dallara ayrılarak diyagramda gösterilmiştir. Diyagramdaki bütün hedeflerin altında iki farklı değer verilmiştir. Soldaki değerlerin toplamı bir üst hedefin gerçekleştirilmesini sağlayan alt hedeflerin katkılarını belirler. Sağdaki değerler ise her bir hedefin tasarıma toplamdaki katkısını verir. Sağda boşta kalan değerlerin toplamı 1,0'a eşit olmalıdır. Tasarımcı bu diyagram sayesinde her hedefin tasarıma katkısını kolayca gözlemleyebilir.

Dördüncü adım her bir tasarım hedefinin parametrelere dönüştürülmesidir. Tasarımın değerlendirilebilmesini kolaylaştırmak için her bir hedefin ölçülebilir, somut parametrelere çevrilmesi gereklidir. Örneğin tasarlanan bir makine için; makinenin uzun ömürlü olması bir hedef olarak belirlenmişse; “makine en az 10000 saat boyunca çalışabilir.” gibi somut bir parametre ile ifade edilmelidir. Parametreler belirlenirken benzer diğer ürünlerden elde edilen bilgiler örnek alınabilir.

Parametreler belirlenirken bazı hedeflerin kolayca sayısal verilerle ifade edilemeyeceği ortaya çıkabilir. Yine de böyle parametreler yapılacak olan sistematik bir yaklaşım ile değerlendirmeye katılması mümkündür. En basit haliyle; ortalamanın çok altında (1), ortalamanın altında (2), ortalama düzeyde (3), ortalamanın üstünde (4), ortalamanın çok üstünde (5), beş farklı düzeye sahip bir ölçek oluşturulabilir. Beş düzeyli ölçeğin değerlendirme açısından yetersiz olduğu düşünülürse daha fazla düzeye sahip ölçeklendirme yapılabilir. Hem niteliksel hem de niceliksel ifadelerin bir arada bulunduğu bir tablo oluşturulabilir. Böyle bir örnek Çizelge 2,4'te görülmektedir.

Çizelge 2.4 Hedef parametreleri için bir örnek

Puan	Yakıt Tüketimi (km/Lt)	Verim
0	<28	Kabul edilemez
1	29	Ortalamanın çok altında
2	33	Ortalamanın altında
3	37	Ortalama
4	41	Ortalamanın üstünde
5	45	Ortalamanın çok üstünde
6	>46	Mükemmel

Çizelge 2.4'te tasarlanan bir arabanın yakıt tüketimiyle ilgili bir takım teknik parametreler yer almaktadır. Tablonun sol sütununda değerlendirme ölçeğinin yedi düzeyden oluştuğu görülmektedir. Yani aracın tasarım hedefleriyle ilgili parametreler yedi farklı ölçeğe göre değerlendirilmektedir. Yakıt tüketimi ikinci sütunda aracın kaç litre yakıt ile kaç kilometre gideceği niceliksel olarak ifade edilmiştir. Üçüncü sütunda aracın yakıt tüketimine dair niteliksel ifadeler verimlilik başlığı altında toplanmıştır.

Beşinci adım alternatif tasarım önerilerine değerlendirme puanlarının atanması ve karşılaştırılmasıdır. Farklı tasarım önerilerinin değerlendirilebilmesi için uygulanacak olan son adım her alternatifin belirlenen parametrelere göre sahip oldukları performansların karşılaştırılmasıdır. Bu aşamada her bir tasarım hedefi ile ilgili belirlenen ağırlıklı puanlar bütün tasarım önerileri için ayrı ayrı hesaplanır. Hesaplama işlemi basit olarak her tasarım önerisindeki ilgili niteliklerin hedeflerle olan uygunluğunun sistematik olarak puanlanmasından ibarettir. Böylece farklı tasarım önerileri arasında somut bir değerlendirme yapma imkânı sağlanmış olur.

Özet olarak ağırlıklı hedefler metodu farklı tasarım önerilerinin tasarım hedeflerine uygunluk performanslarına göre sistematik olarak karşılaştırılarak, değerlendirilmelerini kolaylaştırmayı sağlar. Bu metot beş adımda uygulanır;

1. Tasarım hedefleri listelenir. Tasarım sürecinin başında hazırlanan hedef ağacı listenin hazırlanmasında kullanılabilir ama sonradan yapılan değişikliklere göre güncellenmiş olmalıdır.
2. Tasarım hedefleri önemlerine göre sıralanır. Hedefler çiftler halinde karşılaştırılarak sıralama işlemi gerçekleştirilebilir.
3. Tasarım hedeflerinin her birine ağırlıklı puanlamalar yapılır. Sistemin toplamında elde edilecek toplam puan değeri 1 olmalıdır.
4. Tasarım hedefleri parametrelere dönüştürülür. Dönüştürme sırasında sayısal değerlere yer verilir. Niteliksel hedefler belirlenecek bir puanlama sistemiyle sayısal değerlere dönüştürülebilir.

5. Her bir tasarım önerisi ayrı ayrı hedeflere uygunluklarına göre puanlanır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılır. Elde edilen sonuçlar arasından en çok puanı alan tasarım önerisi en iyi sonucu verecektir.

3. MATERYAL ve METOT

Tezin bu bölümünde sistematik ürün tasarımı metotlarının güçlendirilmesi için önerilen yeni yaklaşımlardan ve bu yaklaşımların kullanıldığı bir tasarım örneğinden bahsedilmektedir. Bu bölüm iki ana başlıktan oluşmaktadır. İlki tasarım metotlarına dair önerilen yeni yaklaşımları içerir. İkinci kısımda ise örnek uygulama için seçilen asma bitkisi üzerinde yapılan incelemelerden bahsedilmektedir.

3.1 Giriş

Hazırlanan bu tez çalışmasında ürün tasarımında kullanılan metotlar ile ilgili kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Ürün tasarımı sırasında tasarımcının faydalanabileceği altı adet metot tespit edilmiştir ve bu metotların tasarım sürecini kolaylaştırabileceği görülmüştür. Bahsedilen metotlar hâlihazırda tasarımcıya yardımcı olabilmektedir. Ancak yine de bu metotlar üzerinde yapılacak olan bir takım iyileştirmeler tasarımın çok daha iyi olmasına yardımcı olabilir.

Bu tez çalışmasında sistematik ürün tasarımında kullanılan altı metottan iki tanesine yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım doğada var olan tasarımların mükemmelliğinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Dünyanın var olduğu günden itibaren doğada bulunan her canlı mükemmel tasarımlara sahiptir. Her bir canlı yaşamak için gerekli olan en ideal fonksiyonlara sahiptirler. Bu olgunun daha iyi anlaşılabilmesi için doğadaki vahşi yaşamdan bir örnek vermek yerinde olacaktır. Çitalar yırtıcı hayvanlardır ve antiloplarla beslenirler. Her iki canlı da muhteşem tasarımlara sahiptirler. Çita sahip olduğu tasarımı sayesinde saatte 120 kilometre gibi muhteşem bir hızla avının peşinden koşabilir (Sharp 1997). Çitanın bu hıza ulaşabilmesi elbette sahip olduğu tasarım sayesinde. Çitanın iskelet yapısı ve bacakları onun bu hıza ulaşmasında etkili olurken aynı zamanda koşu esnasında kemikleri de bu hızı karşılayabilecek hafifliğe ve dayanıma sahiptir. Aynı şekilde çitanın avı konumunda olan antiloplar da benzer şekilde tasarımları sayesinde hayatta kalabilirler. Sadece zayıf, hastalıklı veya nispeten daha güçsüz olan antiloplar çitanın avı olurlar. Hem avcı hem de avın sahip oldukları tasarımlar öyle ince bir ustalıklı hazırlanmıştır ki kendi habitatları içinde denge halinde yaşamlarını sürdürürler. Aynı zamanda doğadaki

canlıların hepsinin sahip olduğu tasarım enerji verimliliği, ergonomi veya malzeme yapıları gibi konularda da mükemmeldir.

Doğada bulunan canlılarda, robotlarda da bulunması istenebilecek birçok yetenek vardır. Tasarımda kullanılması önerilen bu metotların tasarıma olan katkılarını gözlemlenebilmesi için bir tasarım örneği belirlenmiştir ve metotlar bu örnek üzerinde uygulanmıştır. Tasarım örneği günümüzde gün geçtikçe daha çok kendine yer bulan robot kollar üzerindedir. Günümüzde insanların ulaşmakta zorlandığı bölgelerde çeşitli robotlar yardımıyla ulaşmak oldukça güncel bir fikirdir. Tasarımı yapılacak olan robot NASA'nın (National Aeronautics and Space Administration/Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) belirlediği temel araştırma konuları arasından seçilmiştir. NASA uzay araçlarının hasarlarının tespit edilebilmesi için yenilikçi robot tasarımlarının yapılmasını desteklemektedir. Robotun yapabilmesi gereken en önemli görev uzay aracının dar bölgelerinde hareket kabiliyetine sahip olmasıdır. Girdiği dar alanlardaki hasara uğramış bölgenin görüntülerini küçük bir kamerayla kayıt altına almalıdır. Aynı zamanda bu robot uzaya gönderilirken hacim olarak mümkün olduğu kadar az yeri kaplamalıdır. Böyle bir robot sadece uzay araçlarının yanı sıra farklı alanlarda da insanların yardımcısı olabilir. Deprem yıkıntılarının arasında, insan sağlığını tehdit eden bölgelerde veya dar alanlarda hareket edebilecek bir robot arama kurtarma çalışmalarında insanlara yardımcı olabilecektir. Yine aynı özelliklere sahip daha küçük bir robot medikal uygulamalarda ya da çeşitli ameliyatlarda faydalı olabilecektir.

Örnek tasarım konusu olan bu robottan beklenen temel görev üç ana madde altında toplanabilir;

- Dar alanlarda hareket edebilme yeteneği
- Az yer kaplama
- Bir kamera yardımıyla görüntüler aktarma

Yapılan bu tez çalışmasında belirlenen öncelik yeni bir robot tasarımı yapmak değildir. Robot tasarımı sadece doğadan esinlenerek sistematik ürün tasarımı metotlarının etkisini gözlemleyebilmek amacıyla seçilmiş bir araçtır. Çalışmada doğada belirlenen bir canlının yapılacak olan tasarım için nasıl esin kaynağı olabileceği ve bu canlının

özelliklerinin başka bir ürüne aktarılırken yaşanacak olan zorluklar araştırılmıştır. Aynı zamanda tasarımcının benzer durumlarda doğadan nasıl yardım alacağına dair örnek bir çalışma olması amaçlanmıştır.

Gerçek hayatta insan yapımı olan hiçbir ürün doğadaki kadar kusursuz tasarıma sahip olamamıştır. Yine de doğada bulunan canlıların sahip olduğu bu tasarım özellikleri tasarımcıya örnek teşkil edebilir. Böylece tasarımlarını daha üstün bir hale getirebilir. Bu bakış açısından hareketle hazırlanan bu tez çalışmasında sistematik ürün tasarımı metotlarından iki tanesine doğadan esinlenerek bir takım kuralların eklenmesi önerilmiştir. Bu sayede tasarım metotlarının daha etkili bir hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmasında öne sürülen öneri “Doğadan Esinlenerek Tasarım” olarak isimlendirilmiştir ve kısaca kelimelerinin baş harflerinden oluşan “DET” harfleriyle ifade edilebilir. Sistematik ürün tasarımı metotları ve yeni yaklaşım önerisinde bulunan metotlar çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Çizelge 3.1’de tasarımda kullanılacak olan sistematik ürün tasarımı metotları ve bu metotlara dair açıklamalar bulunmaktadır. Tablodaki en sol sütunda sistematik tasarım sürecinde kullanılacak olan metotlar sıralanmıştır. Tablodaki en sol sütunda sistematik tasarım sürecinde kullanılacak olan metotlar sıralanmıştır.

Çizelge 3.1 Sistematik tasarım metotları ve yeni bir yaklaşım

Metot	Metodun Amacı	DET Yaklaşımı
Hedef Ağacı	Hedeflerin Belirlenmesi	+
Fonksiyon Analizi	Fonksiyonların Belirlenmesi	-
Performans Belirleme	Teknik Şartnamenin Belirlenmesi	-
Kalite Fonksiyon Yayılımı	Karakteristiğinin Oluşturulması	-
Morfoloji Tablosu	Alternatif Önerilerin Üretilmesi	+
Ağırlıklı Hedefler	Önerilerin Değerlendirilmesi	-

Tablodaki en sol sütunda sistematik tasarım sürecinde kullanılacak olan metotlar sıralanmıştır. Ortadaki sütunda ise bu metotların hangi amaçlarla kullanıldığına dair bilgiler yer almaktadır. En sağdaki sütunda “DET Yaklaşımı” altında bu tez

çalışmasında önerilen Doğadan Esinlenerek Tasarım Yaklaşımının hangi metotlara eklendiği gösterilmektedir. (+) işareti o metoda DET Yaklaşımının eklendiğini, (-) işareti ise metotta her hangi bir yaklaşım getirilmediğini ifade etmektedir.

3.2 Doğadan Esinlenerek Tasarım Yaklaşımıyla Hedef Ağacı Metodu

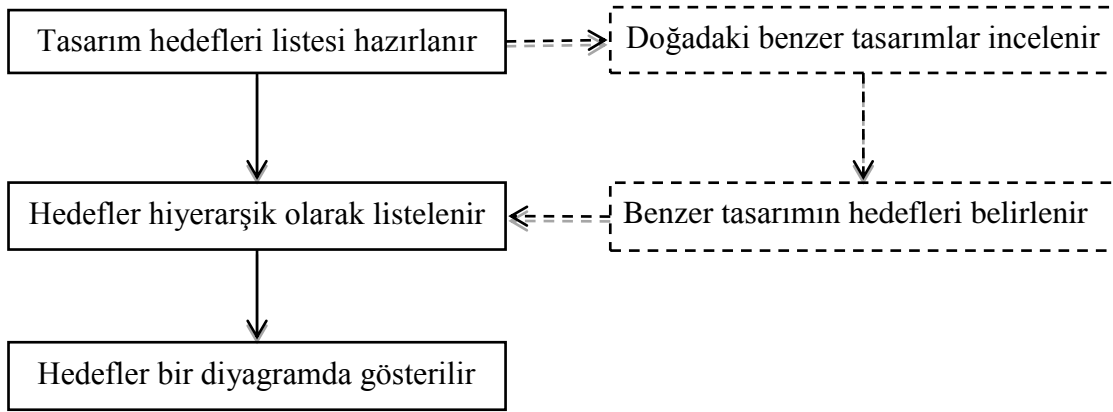
Tasarım süreci ortaya koyulacak ürüne dair temel hedeflerin ortaya koyulmasıyla birlikte başlar. Tasarımcı belirlediği hedefler doğrultusunda tasarıma yön verir. Ortaya çıkan tasarım, sürecin en başında verilen hedeflere dair kararlardan etkilenir. Tasarımın ne kadar iyi veya ne kadar kötü olacağı burada belirlenen hedeflerle alakalıdır. Dolayısıyla tasarım hedefleri o tasarımı en iyi, en kullanışlı veya en verimli hale getirecek şekilde belirlenmelidir.

Tasarımcının, tasarım hedeflerini belirlerken daha iyi tasarımları kendine örnek olarak alması daha tutarlı ve yenilikçi hedefler belirlemesi için ideal bir yöntem olabilir. Bu noktada tasarımcı en mükemmel tasarımları barındıran doğayı örnek alabilir. Tasarımı yapılan ürün veya makine için doğa birçok örnek barındırmaktadır. Doğada tasarımı yapılacak olan ürün veya makineye dair benzer örnekler incelenerek tasarımın daha iyi hale getirilmesi mümkün olabilir.

Metodun uygulanması bazı ürünler için zorlayıcı olabilir ancak yine de mümkündür. Örneğin tasarımcı yeni bir torna tezgâhı tasarımını yaparken doğada bulunan benzer örnekler bulunmadığı fikrine kapılabilir. Elbette doğada fiziksel olarak torna tezgâhına benzer çalışma yapısına sahip olan herhangi bir canlı bulunmamaktadır. Ancak yine de doğadaki canlılar tasarımcıya farklı yönleriyle esin kaynağı olabilir. Doğadaki her canlının enerji verimliliği mükemmel düzeydedir. Bu duruma en güzel örneklerden biri eklemeler arasındaki bağlantılar olabilir. Canlılarda bulunan her eklem sürtünmeyi azaltacak şekilde tasarlanmıştır ve bu sayede az bir kuvvetle kemikler hareket ettirilebilmekte ve hareket etmek için daha az bir enerji ihtiyacı gerekmektedir. Bu sistemler incelenerek tezgâhtaki enerji verimliliğini arttıracak sistemler geliştirilebilir. Benzer bir şekilde karınca gibi bazı canlılar yaprakları dallarından koparabilmek veya benzer başka görevler için başlarının ön kısmında kesici yapılara sahiptirler. Bu yapılar incelenerek tezgâhlarda yapılacak olan kesme işlemi daha iyi hale getirilebilir.

Tasarımcının doğadaki örnekleri inceleyerek tasarıma hedefler koyması; tasarımda mükemmelliği hedeflemek olarak kabul edilebilir. Tasarımcının doğadaki gibi mükemmel bir tasarım gerçekleştirmesi çeşitli sebepler nedeniyle mümkün olmayacaktır. Doğada bulunan bir kısım malzemelerin benzerlerinin üretilmesinin imkânsızlığı veya doğada bulunan canlıların sahip olduğu bazı özelliklerin hangi hedefe hizmet ettiğinin bilinmemesi gibi sebepler örnek olarak verilebilir. Ancak yine de elde olan imkânlar oranında tasarım hedefleri belirlenirken doğadaki canlıları gözlemlemek faydalı sonuçlar getirebilecektir.

Bu çalışmada tasarım hedeflerinin belirlenmesi için kullanılan hedef ağacı metodu yeni bir yaklaşımla ele alınmıştır. Metodun uygulanışı adımlarını açıklayan bir diyagram Şekil 3.1’te verilmiştir.



Şekil 3.1 DET yaklaşımıyla hedef ağacı metodunun uygulama adımları

Şekil 3.1’de geleneksel tasarım yaklaşımıyla hedef ağacı diyagramının hazırlanma adımlarıyla birlikte önerilen yeni yaklaşım adımları bir arada verilmiştir. Şekilde sol tarafta bulunan düz çizgiyle gösterilen maddeler geleneksel hedef ağacının işlem basamaklarını göstermektedir. Geleneksel metoda bu çalışmanın konusu olarak eklenen yeni yaklaşım kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Yeni yaklaşıma göre hedef ağacı hazırlama sürecinde geleneksel yöntemde olduğu gibi tasarım hedefleri listelenir. Yeni yaklaşım ek olarak bu listeye doğadaki benzer örneklerden elde edilen tasarım hedeflerin eklenmesini içerir. Böylece hedefler listesinin en iyi tasarımın elde edilmesine yardımcı olacak şekilde genişletilmesi amaçlanmıştır.

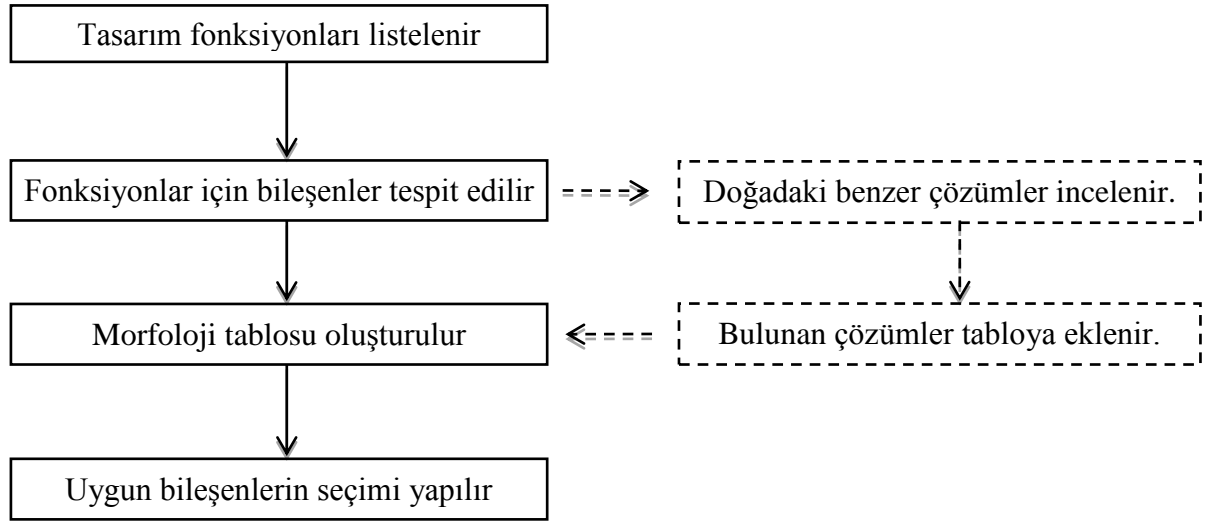
3.3 Doğadan Esinlenerek Tasarım Yaklaşımıyla Morfoloji Tablosu Metodu

Morfoloji tablosu metodu tasarımcının problemin çözüm önerilerine dair mümkün olabilecek bütün çözüm önerilerini bir arada görebilmesine yardımcı olacak bir metottur. Metodun uygulanışı; tasarımda bulunması gereken özelliklerin veya fonksiyonların listelenmesi ile başlar. Sonraki aşamada ise tespit edilen özellik veya fonksiyonun hangi yöntemlerle tasarıma kazandırılabilmesine dair çözüm önerileri belirlenir. Sonra elde edilen bilgilerin tamamı bir tablo yardımıyla incelenir. Yapılan işlemler ve hazırlanan tablo tasarımcıya vereceği kararlar için rehber olacaktır.

Tasarımda bulunması gereken özelliklerin veya fonksiyonların benzer örneklerini doğada aramak; ortaya çıkacak olan ürüne yenilikçi fonksiyonlar kazandırabilir. Tasarımı yapılacak olan ürün ile ilgili benzer fonksiyonları veya özellikleri olabilecek olan örnekler incelenerek tasarımın daha iyi hale getirilmesi mümkün olabilir. Bu tez çalışmasında tasarımcının daha yenilikçi ürünler ortaya çıkarabilmesi için fonksiyon analizi metoduna yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımıyla, tasarımda bulunması gereken fonksiyon veya özellikleri yerine getirecek olan bileşenlerin belirlenmesinde doğadaki örneklerin incelenerek yenilikçi çözümlere yer verilmesi amaçlanmıştır.

Öne sürülen yaklaşım, tasarımcıya yeni fikirler kazandırması için avantajlı olmasına rağmen tasarım sürecinin uzamasına sebep olabilecektir. Ancak yine de yenilikçi çözüm önerilerinin ortaya çıkarılabilmesi için büyük bir avantaj sağlayabilir. Doğada bulunan her canlı karşılaştıkları sorunların giderilebilmesini sağlayacak harika çözüm önerilerini de bünyelerinde barındırmaktadırlar. Örneğin ağaç yapraklarına gelen rüzgârlar moment etkisiyle gövdeye normalden daha çok yük getireceklerdir. Böyle bir durum karşısında yapraklar mükemmel bir adaptasyon ile kıvrılırlar ve rüzgâra maruz kalan yüzeyi azaltmaya çalışırlar. Ağaç yapraklarında bulunan bu fonksiyonun dikkate değer bir çözüm olduğu açıktır. Bu ve buna benzer örnekler tasarımcı için belki de yüzlerce sayıda örnek teşkil edebilecek kadar çoğaltılabilir. Dolayısıyla tasarım için aranan çözüm önerileri arasında doğaya da yer vermek yenilikçi çözümleri de beraberinde getirebilecektir. Doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımıyla morfoloji tablosu bu noktadan hareketle öne sürülmektedir.

Öne sürülen metodun uygulanış basamakları Şekil 3.2’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sol kısımda düz çizgilerle geleneksel yaklaşımla morfoloji tablosu metodunun uygulama adımları görülmektedir. Bu çalışmada ise metoda eklenen yeni yaklaşım kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Yeni yaklaşım sadece tasarımın fonksiyonlarını yerine getirilmesini sağlayacak olan çözüm önerilerine doğadaki örneklerden esinlenerek yeni önerilerin eklenmesini içerir.



Şekil 3.2 DET yaklaşımıyla morfoloji tablosu metodunun uygulama adımları

3.4 Asma Bitkisinin Mekanik Olarak İncelenmesi

Tasarımı yapılacak olan robot kol için doğada bulunan bitkilerle ilgili bir inceleme yapılmıştır. Bitkiler dünyada çeşitliliği en fazla olan canlı grubudur. Bitkiler gereksinimlerini karşılayabilmek için kendilerine özgü çeşitli özellikler geliştirmişlerdir. Bitkilerde görülen bu uyum yeteneği adaptasyon olarak tanımlanır. Adaptasyon, canlıların ortamlarında başarılı bir şekilde yaşamasını sağlayan kalıtsal değişiktir. Adaptasyon, yapısal, davranışsal veya fizyolojik olabilir. Çevrelerine yeterince uyum sağlayıcı adaptasyonlara sahip olmayan organizmalar ya buldukları ortamdaki gitmek zorunda kalırlar ya da soyları tükenir. Bu bağlamda soy tükenmesi terimi, ölüm hızının doğum hızından daha fazla olması sonucu, zaman içinde bu türün yok olması demektir.

Bitkilerin varlıklarını sürdürebilmek için ihtiyaç duyduğu en önemli varlıklardan biri güneş ışığıdır. Güneş ışığı yardımıyla fotosentez yaparlar ve besin üretirler. Bu nedenle dünyadaki tüm bitkiler varlıklarının ilk günlerinden bu yana güneş ışığına erişebilmek için birbirleriyle yarışma içindedirler. Sırf bu nedenle her bitkiye kendine göre çeşitli adaptasyon yetenekleri bulunmaktadır. Tırmanıcı bitkiler güneş ışığına erişebilmek için diğer bitkileri veya bulabildiği her hangi bir yapıyı destek olarak kullanan, gövde ve yapraklarını bu sayede daha yüksek bölgelere taşıyan bitkilerdir. Bu adaptasyonları sayesinde dünyanın geniş bölgelerine yayılmışlardır.

Ağaçlar geniş gövde ve derin kökleriyle çok uzun boylara sahiptirler. Bu sayede güneş ışığına erişmek için yeterli yapıya veya adaptasyon özelliklerine sahip oldukları söylenebilir. Ancak tırmanıcı bitkilerde durum biraz daha farklıdır. Tırmanıcı bitkilerin kök ve gövde sistemleri ağaçlar gibi odunsu bitkilerde olduğu kadar gelişmemiştir. Kökleri ağaçlarınkı kadar derine inemez ve gövde çapları ağaçlarınkı kadar geniş değildir. Bu nedenle boyları da çok yüksek olamayabilir. Ama yine de hayatta kalabilmek ve türlerini devam ettirebilmek için güneş ışığına muhtaçtırlar. Tırmanıcı bitkilerde ağaçlar gibi ihtiyaç duydukları güneş ışığına sahip olabilmek için çeşitli adaptasyon yetenekleri gelişmiştir.

Tırmanıcı bitkilerin sahip olduğu tırmanma özelliği güneş ışığına erişebilme yarışında bu bitkilere verilmiş en etkili adaptasyon yeteneklerinden biridir. Sahip oldukları tırmanma özelliği nedeniyle tırmanıcı bitkileri yapısal parazit olarak bilinirler. Yapısal parazit olarak anılan bu bitkiler kendilerinde var olmayan bazı temel özelliklerin eksikliğini diğer varlıklar üzerinden elde ederler. Örneğin tırmanıcı bitkiler güneş ışığına erişebilmek için yeterli dayanımda kök ve gövde yapısına sahip değildirler. Dolayısıyla bir ormanda bulunan yüksek ağaçların altında güneş ışığına yeteri kadar erişemeyebilirler. Ancak güneş ışığına erişim probleminin aşılabilmesi için tırmanma yetenekleri konusunda çok iyi adaptasyona sahiptirler. Bu bitkiler yapısal olarak bir parazit gibi davranır ve güneş ışığına erişebilmek için diğer bitkileri veya ortamda bulunan her hangi bir yapıyı destek olarak kullanırlar. Diğer yapılara çeşitli mekanizmalarla tutunurlar ve yapraklarını güneş ışığını daha iyi alabilecekleri daha yüksek bir bölgeye taşırlar. Tırmanıcı bitkiler daha yüksek yerlere ulaşabilmek için

çeşitli mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bir kısmı gövdelerini diğer yapıların etrafına sararak, bir kısmı çeşitli tutunma organları aracılığıyla amaçlarına ulaşabilirler.

Asma ve benzeri tırmanıcı bitkilerin tutunma yapıları dikkate alındığında; sürgünlerin basma ve bükülmeye karşı dayanımlarının zayıf olduğu ancak çok esnek bir yapıya sahip ve çekme gerilmelerine karşı dayanımlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yani tırmanıcı bitkiler dönme ve çekmeye yönelik yapısal özelliklere sahip bir karakterde yaratılmışlardır.



Resim 3.1 Bir demire sarılmış asma filizi

Robot tasarımı için asma bitkisinin seçilmesindeki en önemli etken; bu bitkinin filizlerinin dönerek bir başka yapıya mükemmel şekilde sarılabilmeleridir. Resim 3.1’de bir demire sarılmış asma filizi görülmektedir. Filizler sahip oldukları sarılma yeteneği sayesinde oldukça karmaşık yapıların her bölgesine girebilecek özelliklere sahiptirler. Eğer asma filizlerinin sahip olduğu bu hareket yeteneği bir robota kazandırılabilirse; robot karmaşık ve dar bölgelerde rahat hareket edebilmesi sağlanabilecektir. Eğer asma filizlerinin özellikleri mekanik olarak incelenirse tasarıma katkı sağlayacak fikirler bulunabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla asma bitkisinin filizlerinin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda asma filizlerine çekme testleri uygulanmıştır. Bunun yanı sıra filizlerin farklı bölgelerinden alınan kesitleri mikroskop ortamında incelenmiştir.

Asma, vantuzlu, tırmanıcı, çalı görünümünde sarılgan bitkileri içeren Vitaceae bitki familyasından bir bitkidir. Latince ismi Vitis Vinifera'dır. Karmaşık yapılı, kahverengi gövdesi olan yarı odunsu bir bitkilerdir. Parçalı, üzeri tüylerle kaplı yaprakları vardır. Küçük ve yeşil renkli çiçekleri salkım biçiminde olur. Sarı, yeşil, siyah meyveleri vardır. Güneşi çok seven, yağış alan yerlerde iyi gelişen bir bitkidir. Her türlü toprak koşulluna dayanıklıdır. İslah amaçlı olarak tohum ile genellikle çelikle üretilir. Asma, bahçe duvarına sardırılabilir ya da çardak oluşturulabilir.

3.4.1 Asma Bitkisinin Organları

Gövde: Asmanın toprak yüzeyinde başlayıp taçlandığı yere kadar olan ana eksenidir. Kök gövdesinin uzanımı gibi görünür. Gövdenin dış kısmı yaşlı kabuk ile kaplıdır. Her yıl enine doğru biraz gelişerek kalınlaşır. Sürgün, yaprak ve ürünün ağırlığını taşıyabilmesi için 3-5 yıl geçmelidir. Gövde üst aksama desteklik eder, yapraklarda üretilen özümleme maddelerinin köklere, köklerle alınan su ve mineral maddelerin yapraklara taşınmasına köprü görevi yapar. Ayrıca depo besin maddelerini bulundurur.

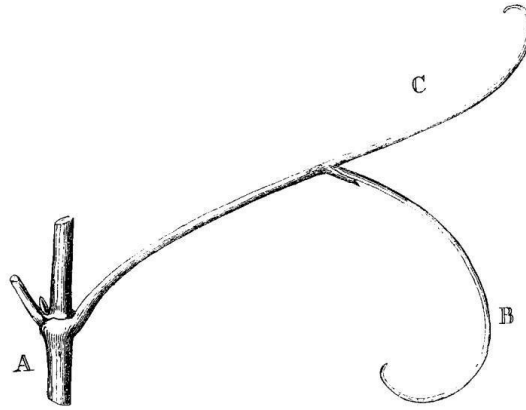
Kollar: Taç kısmında iki ve daha yaşlı organlardır. Yapıları, görünümü, gelişmesi ve görevleri gövdeye benzer. Her yıl genişliğine gelişir. Terbiye şekli ve budama yöntemine göre kolların yer ve sayıları değişir.

Yıllık Çubuk: İki veya daha fazla yaşlı kısımdan çıkan yeşil sürgünün odunlaşmış hali çubuktur. Diğer bir deyişle gözün sürmesinden başlayarak 5 veya daha çok ay geçmiş, sürgünün normal olarak yaprağını dökmüş durumudur. Çubuklar boğum ve boğum aralarına ayrılmıştır. Boğum arası uzunlukları ve rengi çeşide özgüdür. Çubuğun dip kısmında veya vegetasyon süresinin başları ile sonlarında oluşan boğum araları daha kısadır. Boğum araları 5-15 cm. uzunluğunda olur. Boğumlardan köklenme olur. Odunlaşmış çubuklar köklü fidan (asma anaçları), yerli köklü fidan çeşitleri veya aşılı-köklü fidan (anaç ve kalem) üretiminde kullanılırlar.

Gözler: Boğumlar üzerinde bulunur. Gözler (kış gözleri veya uyur gözler) çiçeklenme veya öncesinden oluşmaya- olgunlaşmaya başlarlar. Olgunlaşma devrelerinde gözlerin

beslenmesi ve güneşlenme verimliliklerini etkiler. Bu nedenle, gözlerdeki salkım sayısı ve irilikleri bir önceki yılda beslenme durumuna bağlıdır. Sonbahar veya kış içinde gözlerdeki salkım sayısı, hatta irilikleri belirlenebilir. Bu yolla verim tahmini yapılarak budama seviyeleri önerilir. Gözlerin çubuk üzerindeki yerlerine göre verimlilikleri, çeşide göre değişiklik gösterir. Bazı çeşitlerde dip gözler az verimli olur. Genellikle çubukların ortalarında bulunan gözler daha verimlidir.

Filizler (Sülükler): Asma filizleri ile tutunur ve tırmanıcı bir bitki olur. Filizler salkımlarla aynı kökenlidirler. Hatta ilkbaharda iyi oluşmamış zayıf salkımlar filize dönüşebilir. Filizler herhangi bir desteğe (tel, çubuk, herek) sarılarak tutunurlar. Böylece sürgünler uygun durumda tutulur ve rüzgârdan kırılmaları önlenmiş olur. Sürgünlerin dip kısımlarında ve salkımdan önce filiz bulunmaz. Filizlerin örnek bir çizimi Resim 3,2’de görülmektedir.



Resim 3.2 Asma filizinin el çizimi. **A:** Asma gövdesi, **B** ve **C:** Asma filizleri (Darwin 1888).

Resim 3,2’de görülen bu çizim Charles Darwin’in 1865 yılında yayınladığı “On The Movements and Habits of Climbing Plants” kitabından alınmıştır. Bu kitap tırmanıcı bitkilerle ilgili yapılmış ilk çalışmalardan biridir ve oldukça kapsamlı bir içeriğe sahiptir. Yapılan el çiziminde asma gövdesi A harfiyle gösterilmiştir. Asmanın filizleri önce tek bir gövdeyle ilerlerken daha sonra ikiye bölünürler. Çizimde B ve C harfleriyle ikiye ayrılmış olan filiz sürgünleri görülmektedir.

Yaprak: Ürün gelişmesi ve vegetatif gelişmeyi sağlayan özümleme maddeleri yapraklarda üretilir. Yaprak denilince çoğunlukla yaprak ayası düşünülür. Ancak yaprak sapı ve yaprak kını da yaprağın parçalarıdır. Olgun yaprağın yapısı (sap cebi, lopları,

dişlilik, tüylülük, renk) çeşitlere göre değişiklik gösterir. Yaprakların alt yüzünde stoma denilen açıklıklar vardır. Havadan gaz alış verişi buralardan olur. Belirli yaprak alanı belli bir miktar ürün besleyebilir. Örneğin, çekirdeksiz üzümde 1 gr ürünün oluşabilmesi için 5-10 cm² yaprak alanının, ortalama salkımı ise 22-26 yaprağın beslemesi gerektiği bildirilmektedir. Sürgündeki salkım sayısı ve büyüklüğü arttıkça sürgündeki yaprak sayısının da artması gereklidir.

3.4.2 Asma Bitkisinde Dokular

Doku, bitki, hayvan ve insan organlarını meydana getiren, şekil ve yapı bakımından benzer olup, aynı vazifeyi gören, birbirleriyle sıkı alâkaları olan aynı kökten gelen hücrelerin topluluğu. İlkel canlılar bütün hayatları boyunca bir tek hücre olarak kaldıkları halde yüksek organizmalar çok sayıda hücrelerin bir araya gelmesi ile meydana gelmiştir. Bitkilerin yapısını meydana getiren dokulara bitkisel dokular denir. İleri bitkilerin hücrelerinde dokular halinde organize olarak farklılaşmışlardır. Meristem doku ve sürekli doku olarak iki temel grup halinde toplanabilirler.

Meristem Doku: Meristem dokular; bölünür, sürekli, sürgen, değişken doku olarak da adlandırılabilirler. Meristem hücreleri, çekirdekleri büyük hücre arası boşlukları olmayan, genellikle çok küçük ve çok sayıda vakuole malik hücrelerden yapılmıştır. Bu hücrelerin esas özelliği sık sık bölünerek (mitoz bölünmeyle) yeni hücreler meydana getirmesidir. Meydana gelen hücreler farklılaşarak sürekli doku hücreleri halini alır. Meristemler buldukları yerlere göre isim alırlar. Kök, gövde veya bunların yan organlarının uçlarında bulunan meristem dokuları apiteal meristem adını alır. Kök veya gövdenin uzanmasını sağlarlar. İnterkalar meristemler ise sürekli dokular arasında kalan meristemlerdir.

İnterkalar meristemin de görevi organın boyuna büyümesini sağlamaktır. Çevreye paralel bölünmelerle organın enine büyümesini sağlayan meristematik doku ve kambiyumdaki meristem lateral meristemdir. Meristemlerin salgıladığı madde olan oksin hormonu karanlık ortamda çalışarak bitkinin uzayıp gelişmesini sağlar.

Primer Meristem: Bitkinin tüm yaşamı süresince bölünme yeteneğini devam ettiren meristemlerdir. Bunlar kök ve gövde uçları ile yanal organlarının uç kısımlarında bulunmaktadır. Bu meristemin bulunduğu bölgelere “büyüme noktaları” veya “vegetasyon bölgeleri” adı verilmektedir. Kök ve gövde de büyüme noktalarında dıştan içe doğru üç bölge ayırt edilmektedir. Bu bölgeler ise sürekli dokulardan epidermisi oluşturan “dermatogen”, korteksi oluşturan “periblem”, merkezi silindiri verecek olan pleuromdur.

Sekonder Meristem: Sürekli doku haline dönüşmüş hücrelerin yeniden bölünme yeteneği kazanması ile sekonder meristemler oluşur. Bunların etkinliği ile de yeni hücre ve dokular meydana gelir. Örneğin ağaç gövdelerini örten mantar kambiyumu bu tip meristemlerden birisidir. Bitkilerde bulunuş yerlerine göre üç çeşit meristem gözlenir.

Apikal meristemler kök ve gövde ile bunların yanal organlarının uç kısımlarında bulunan meristemlerdir. Apikal meristemlerin bulunduğu bölgelere büyüme noktaları adı verilmektedir. İnterkalar Meristemler sürekli dokular arasında kalan ve bu dokuların arasında bölünme gösteren hücrelerin oluşturduğu meristemlerdir. Bu meristemler tipik olarak atkuyrukları ve buğdaygillerin yapraklarının çıktığı bölgelerde bulunurlar. Apikal ve interkalar meristemler buldukları organın boyca uzamalarını sağlarlar. Lateral Meristemler meristemler yalnızca çevreye paralel bölünme gösterdiklerinden buldukları organın çapça artışını (kalınlaşmasını) sağlamaktadır.

Sürekli doku (Yetkin doku) bölünme özelliği göstermeyen sürekli doku hücreleri meristem hücrelerinden geniş vakuollere sahip olup, daha az protoplazma taşımaları, hatta bazen büsbütün protoplastlarını kaybedip ölü hale getirmeleriyle ayrılırlar. Çeperleri kalın olup, farklı dokularda kalınlıkları ve kimyasal yapıları farklıdır. Sürekli doku, morfolojik ve fizyolojik özellikleri göz önüne alınarak sınıflandırılırsa beş kısımda incelenebilir.

Koruyucu doku organların dışında bulunan ve iç kısımdaki dokuları her bakımdan, mesela; kuraklığa, çok fazla su kaybına, dış tesirlere karşı koruyan dokudur. Bu dokuyu teşkil eden hücreler genellikle tabakalar halinde organların üstünü kaplamaktadır. Yapraklardaki epiderma, kök ve gövdelerin mantar tabakaları koruyucu dokuya misal

olarak gösterilir. Yapraklardaki epiderma üzerinde kütin denilen mumsu bir tabaka vardır. Yaprak yüzeyinden su kaybını azaltır, ayrıca dış ortamdaki gazlar ile epiderma altındaki hücre arası boşluklarında bitkinin fizyolojik faaliyeti sonucu toplanan bazı gaz ve su buharının alış verişini sağlamak amacıyla epidermada stoma adı verilen gözenekler bulunur. Yine epiderma üzerinde epidermanın dışa doğru meydana getirdiği tüy, kabartı gibi çıkıntılar bulunur.

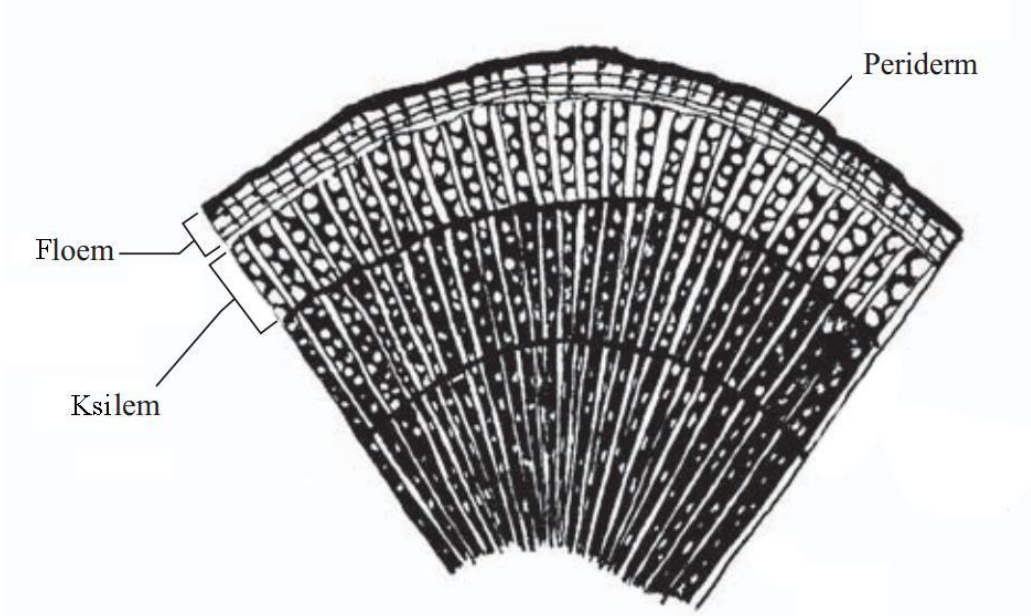
Parankima (Temel doku) asıl dokular olup, bitki bünyesinin büyük bir kısmını kaplayan, ince çeperli canlı hücrelerdir. Besin maddesi bakımından zengin özsu ile dolu vakuoller ihtiva ederler. Bitkinin tüm bölümlerinde bulunduğu için bu ismi almıştır. Vazifelerine göre farklı isimler alırlar.

Destek doku dayanıklılığı sağlar. Bitkiler hem kendi ağırlıklarına, hem de dış tesirlere karşı özelliklerini koruyabilmek, dayanıklı olabilmek için bazı doku elementlerini gerekli bölgelere koyarak direnç, destek ve esneklik sağlarlar. Çeperleri fazla kalınlaşmış böyle dayanıklı hücrelerden meydana gelmiş dokuya destek doku denir. Sklerankima ve kollenkima olmak üzere iki kısımda incelenir. Sklerankimayı meydana getiren hücreler olgunlukta hücre çeperleri hem kalın hem de çoğunluk odunlaşmıştır. Protoplastlarını kaybetmiş ölü hücrelerdir. Uzaması sona ermiş organlarda bulunur. Kollenkima ise çeperleri selülozdan yapılmış olduğundan esnek, canlı hücrelerden ibaret olduğu için uzamakta olan organlarda, özellikle genç gövdelerde, yaprakların orta damarlarında, çiçek ve yaprak saplarında bulunur. Köşe kollenkiması, levha kollenkiması gibi çeşitleri vardır.

İletim doku kara hayatına uymuş yüksek bitkilerde topraktaki su ve suda erimiş maddelerin topraktan uzak bulunan organlara asimileme (özümleme) organlarında meydana gelen organik maddelerin de kullanılmaya veya depo edilmek üzere organik madde yapma yeteneğinde olmayan, organlara iletimini sağlayan dokudur. Bitkilerde birbirinden farklı yapı ve vazifede iki tip iletken doku vardır. Bu iki dokudan biri topraktan aldığı su ve suda erimiş inorganik maddeleri topraktan uzak organlara ileten hücrelere sahip ksilemdir. Diğer özümlenme organlarında meydana gelen organik

bileşikleri harcanacakları ve saklanacakları organlara ileten hücrelerin bulunduğu floem'dir.

Ksilem aşağıdan yukarı, floem yukarıdan aşağı doğru iletimin vukua geldiği dokulardır. Ksilem su ileten borular, ksilem lifleri ve ksilem parankimasından yapılmıştır. Floem, kalburlu borular, arkadaş hücreleri, floem sklerankiması ve floem parankiması olmak üzere farklı doku elementlerinden meydana gelir. Asma bitkisinde bahsi geçen ksilem, periderm ve floem yapıları Resim 3.3'te görülmektedir.



Resim 3.3 Asmanın gövde kesitinden bir görüntü

Salgı doku bitkilerde metabolizma sonunda meydana gelip tekrar metabolizmaya girmeyen maddeler salgı maddeleridir. Salgı maddeleri sıvı veya katı haldedir. Salgı maddeleri arasında su, ferment, alkaloid, glikozit, balözü, müsilaj, lateks, reçine, eterik yağ ve kristaller sayılabilir. Bu maddeler her ne kadar metabolizma artışı iseler de, bitki için değişik yönlerde fayda sağlamakta rol oynarlar. Salgı maddeleri ya hücre içinde depo edilir. Böyle salgıya hücre içi salgı denir. Ya da hücreden dışarı atılır. Böyle salgı ise hücre dışı salgıyı teşkil eder. Salgı hücreleri ve bu hücrelerin bir araya gelerek meydana getirdikleri salgı bezlerinin belli bir kökeni yoktur. Bitkinin herhangi bir organında, herhangi bir doku içinde bulunabilirler.

3.4.3 Asma Filizlerinde Çekme Testleri

Asmalar mevsimlere göre farklı özellikler göstermektedirler. Ülkemizde Mart-Nisan aylarında asmalar hızla büyüme sürecine girerler. Bu süreçte asma filizlerinin oluşumları başlar. Filizler Ağustos ayına kadar büyümelerini sürdürürler. Bu süreçte filizler yeşil renkte ve daha esnektirler. Eylül-Ekim aylarında asmaların verdiği üzümlerin hasadı yapılır. Bu sırada asma filizleri büyümelerini tamamlamış ve yavaş yavaş kurumaya başlamışlardır.

Asma filizleri mevsime göre önce yeşil haldeyken bir süre sonra meyveler olgunlaştığında kurumaya başlamaktadır. Bu durum Resim 3.4'te görülmektedir. Resim 3.4 A'da filizlerin taze olduğu durum görülmektedir. Fotoğraf Temmuz ayında çekilmiştir. Resim 3.4B'de ise meyvelerin olgunlaştığı dönemde filizin durumu görülmektedir. Fotoğraf Eylül ayında çekilmiştir. Resim 3.4C'de ise kış aylarındaki bir filizin durumu gösterilmiştir. Fotoğraf Ocak ayında çekilmiştir.

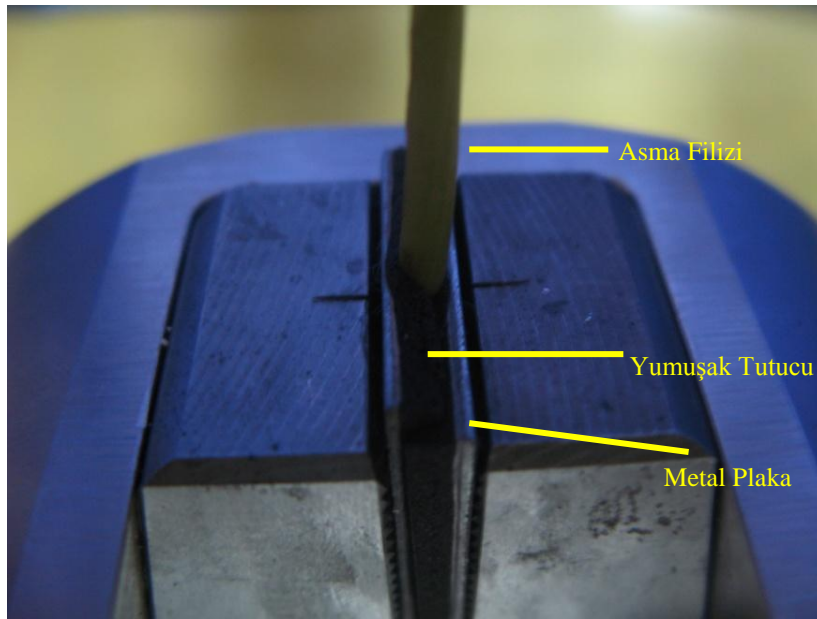


Resim 3.4 Asma filizinin farklı mevsimlerde görünüşleri

Asma filizlerindeki adaptasyonun meyvelerin ağırlığını daha iyi taşıyabilmek için olduğu düşünülmektedir. Asma filizlerinin farklı mevsimlerdeki farklı dayanım

özelliklerine sahip olduğu yapılan çekme testleriyle kanıtlanmıştır. Aynı asma üzerindeki filizlerden Temmuz ayında alınan ve Eylül ayında alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır.

Çekme testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Eğitimi Laboratuvarlarında bulunan bilgisayar kontrollü Instron-8501 marka cihazda yapılmıştır. Taze filizlere çekme testi uygulanabilmesi için çenelere bağlanması gerekmiştir. Ancak taze filizler sıkma kuvveti nedeniyle çeneler birleştiği anda kopmaya başlamışlardır. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi ve taze filizlerin çekme testinin başarılı bir şekilde yapılabilmesi için çekme test cihazının çenelerinde kullanılmak üzere özel bir aparat tasarlanmıştır. Bu aparat sayesinde filizlerin ezilmeden çenelerde tutulabilmesi ve aynı zamanda sıyrılmayı engelleyerek çekme testinin yapılması sağlanmıştır. Bu aparat iki plakanın arasına yerleştirilmiş olan yumuşak bir malzemeden oluşmaktadır (Resim 3.5).



Resim 3.5 Asma filizinin çekme testi cihazının çenelerine bağlanmış hali

3.4.4 Asma Filizlerinde Kesitlerin İncelenmesi

Asma filizlerinin tutunma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için filizlerin kesit alanları incelenmiştir. Aynı filiz üzerinden üç farklı bölgeden kesit alanlar alınmıştır. Filiz üzerinden toplamda üç farklı bölge belirlenerek kesit alınmıştır. Bu bölgelerdeki kesitteki değişimin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Aynı filizin üç farklı bölgesinden kesitler alınmıştır. Bu bölgeler düz, eğimli ve çok eğimli bölgelerdir. Filizin eğimli

bölgesinden alınan kesitleri filizin bir başka cisme tutunmaya başladığı ilk bölgedir. Filizin en eğimli bölgesinden alınan kesiti ise filizin cisme tamamen sarılmasını ve o bölgeye tam olarak tutunmayı sağlayan bölgedir. Filizin tutunma mekanizmasının bu üç bölgedeki kesit alanlarla ilişkisinin gözlemlenebilmesi amaçlanmıştır.

Filizler üzerinden kesit alma işlemi el ile gerçekleştirilmiştir. Kesitler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalografi Laboratuvarında bulunan Olympus marka BX60 model alttan ve üstten aydınlatmalı otomatik fotoğraf sistemli optik mikroskop ile incelenmiştir. Kesit fotoğrafları alttan aydınlatma ile gözlemlenmiş ve resim dosyası olarak bilgisayara aktarılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

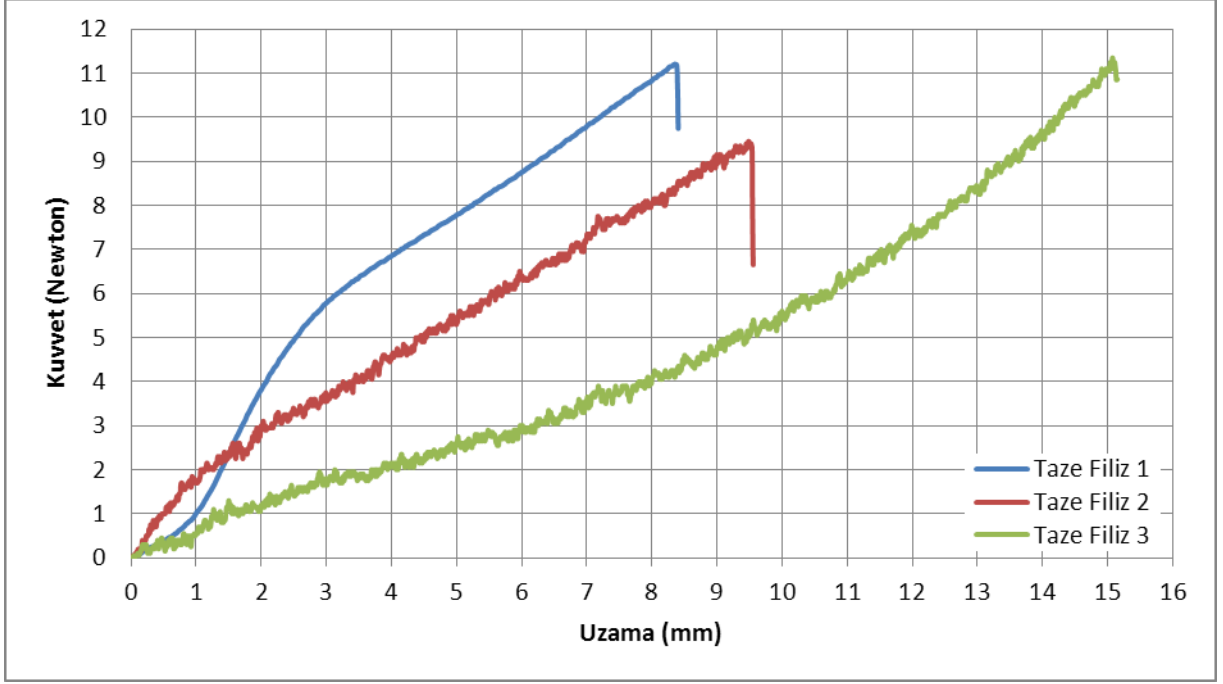
Tezin bu kısmında asma bitkisinin filizleri üzerinde yapılan çekme testlerinden elde edilen bulguların yorumlarına ve kesit özelliklerine dair yapılan çalışmaların sonuçlarına yer verilecektir. Asma bitkisinin mekanik özelliklerinin incelenmesiyle elde edilen bilgiler robot tasarımında kullanılabilir çözümlerin elde edilmesinde kullanılacaktır. Bu bilgiler yardımıyla doğadan esinlenerek sistematik ürün tasarımı metodlarının uygulanması ve bu uygulamalar sonucunda ortaya çıkan örnek tasarım çalışmasından bahsedilecektir.

4.1 Çekme Testi Sonuçları

Bu kısımda farklı dönemlerde toplanmış olan asma filizlerine uygulanan çekme testlerinin sonuçları ve bu sonuçların yorumlarına yer verilmiştir. Şekil 4.1’de aynı asmadan Eylül ayında toplanmış olan taze filizlerin çekme testi sonuçlarına yer verilmiştir. Çekme testi 17 numune üzerinde uygulanmıştır. Ancak testlerin uygulanması sırasında yaklaşık olarak 10 numuneyi sağlıklı sonuç verecek şekilde çekme testine tabi tutmak mümkün olmamıştır.

Çekme testlerinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilememesinin bir kaç sebebi vardır. Bunlardan en önemlisi taze asma filizlerinin çekme testi yapılacak olan cihazın çenelerine bağlanma sorunudur. Filizler taze olduğu için çenelerin sıkma kuvveti nedeniyle bazı numuneler ezilerek testin sonuçlarının yanlış çıkmasına sebep olmuştur. Bazı numuneler ise filizlerin test cihazının çenelerinden sıyrılması nedeniyle doğru sonuçların elde edilmesini engellemiştir. Aynı şekilde diğer bir sorun ise numuneler toplanırken taze filizler asma üzerinden koparılır koparılmaz özelliklerini kaybetmeye başlamaktadırlar. Örneğin asmadan koparılan bir filiz en fazla on beş saat içinde gözle görülür bozulmalara uğramaktadır. Bu sorunun giderilebilmesi için asma filizleri gövdeden koparılır koparılmaz mümkün olan en çabuk şekilde test edilmeye çalışılmıştır.

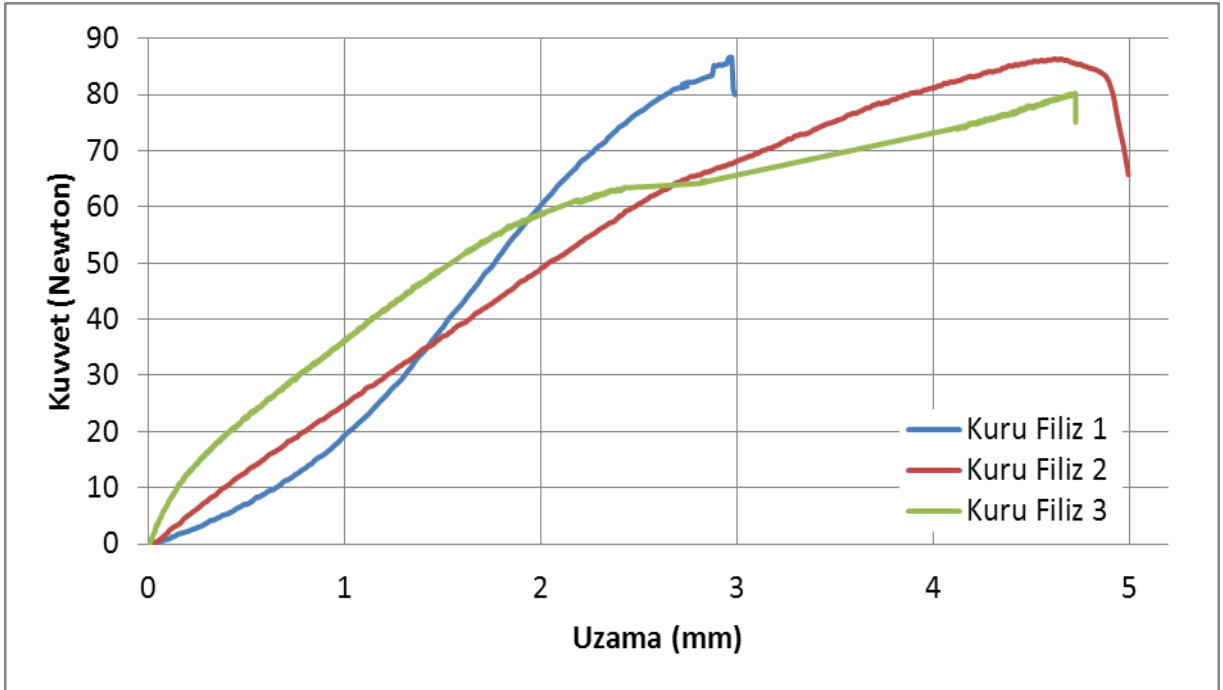
Bu nedenle Şekil 4.1’de doğruluklarının daha güvenilir olduğu düşünülen üç numunenin sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 4.1 Taze filizlerin çekme testi sonuçları

Şekil 4.1’de görülen grafiğin (X) eksenini uzama değerlerini milimetre olarak göstermektedir. (Y) eksenini ise kuvvet değerlerini Newton biriminde göstermektedir. Taze asma filizlerinin hepsinin maksimum dayanımının 12 Newton kuvvetin altında olduğu görülmektedir. Mavi çizgiyle gösterilmiş olan “Taze Filiz 1” olarak isimlendirilmiş olan numunenin maksimum dayanımını 11,15 Newton’dur. Yeşil çizgiyle gösterilen “Taze Filiz 3” isimli numunenin maksimum dayanımı 11,25 Newton’dur. Görüldüğü üzere her iki numunenin maksimum dayanımları oldukça yakındır. Kırmızı çizgiyle gösterilen ve “Taze Filiz 2” olarak isimlendirilmiş numunenin maksimum dayanımı 9,45 Newton olarak ölçülmüştür. Yine de her üç numunenin de maksimum dayanımlarının birbirlerine yakın olduğu söylenebilir. Numunelerin test esnasındaki uzama miktarlarına dikkat edilecek olursa 1 ve 2 numaralı filiz numunelerinin 8,55 mm ve 9,40 mm olan uzama miktarlarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. 3 numaralı numune ise 10,80 mm uzama ile diğerlerinden daha fazla uzama göstermiştir. Çekme testi sonuçları her ne kadar her numune de yakın özellikler gösterse de bazı değerlerde farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu durum aynı asma üzerinden alınmış olmasına rağmen bazı filizlerin farklı mekanik özelliklere sahip olduklarını göstermektedir.

Şekil 4.2’de ise aynı asma üzerinden Ocak ayında toplanmış olan kuru filizlerin çekme testi sonuçlarına yer verilmiştir. Kuru filizlere yapılan çekme testleri taze filizlere yapılan testlere göre daha kolay gerçekleştirilebilmiştir. Kuru numunelerin çekme test cihazının çenelerine bağlanması sırasında çok fazla sorun yaşanmamıştır. Bu nedenle kuru numunelerle yapılmış olan testler taze filizlere göre sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Çizelge 4.2’de (X) eksenini milimetre olarak uzama değerlerini göstermektedir. (Y) eksenini ise Newton biriminde kuvvet verilerini göstermektedir.



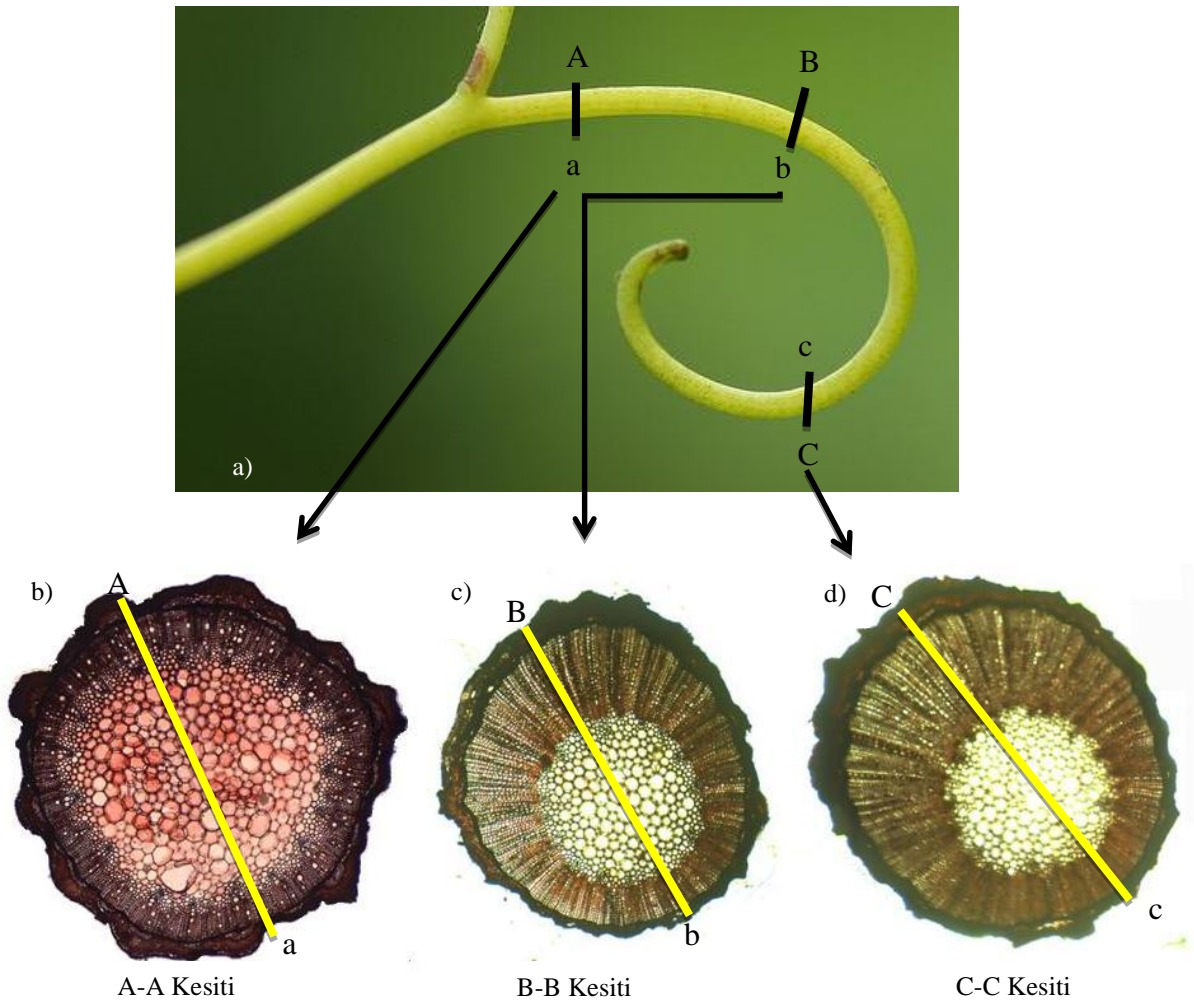
Şekil 4.2 Kuru filizlerin çekme testi sonuçları

Çizelge 4.2’den de görülebileceği gibi kuru asma filizlerinin dayanımları 80 Newton’ın üzerindedir. Kuru Filiz 1,2 ve 3 olarak isimlendirilmiş olan numunelerden elde edilen maksimum dayanımlar sırasıyla 85,35 Newton, 86,32 Newton ve 80,54 Newton olarak ölçülmüştür. Kuru asma filizlerinin uzama miktarları incelendiğinde “Kuru Filiz 2” olarak isimlendirilmiş numunenin yaklaşık olarak 5 milimetre ve “Kuru Filiz 3” olarak isimlendirilmiş numunenin 4,5 milimetre uzayarak birbirlerine yakın uzama sonuçlarının elde edildiği görülmektedir. “Kuru Filiz 3” ismiyle anılan numune ise yaklaşık olarak 3 milimetre uzama göstermiştir. Taze asma filizlerinden elde edilen test sonuçlarından yapılan yorumları destekler şekilde, kuru asma filizlerinden elde edilen test sonuçları da aynı asma üzerinde bulunan filizlerin farklı mekanik özellikler

gösterebileceğini ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak filizlerin dayanımları mevsimlere göre farklılıklar göstermektedir.

4.2 Kesitlerin İncelenmesiyle Elde Edilen Sonuçlar

Aynı asma filizinin üzerinde 3 farklı bölgeden alınan kesitler incelenmiştir. Kesitler asma filizinin üzerindeki eğimli bölgenin artışı dikkate alınarak incelenmiştir. Kesit alınan bölge Resim 6a'da görülmektedir.

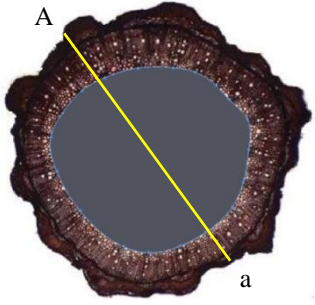
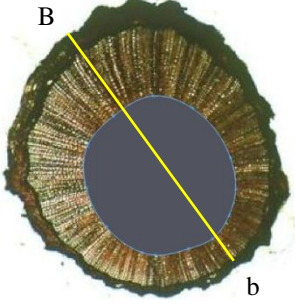
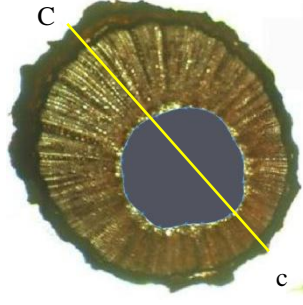


Resim 4.1 a) Asma filizinin kesit alınan bölgeleri b) A-a bölgesinden alınan kesit görüntüsü c) B-b bölgesinden alınan kesit görüntüsü d) C-c bölgesinden alınan kesit görüntüsü

A-a kesiti filizin en düz olduğu kısımdır. B-b kesitin olduğu bölge asmanın başka bir cisme sarılmaya başladığı ve eğimin oluşmaya başladığı ilk bölgedir. C-c kesiti ise

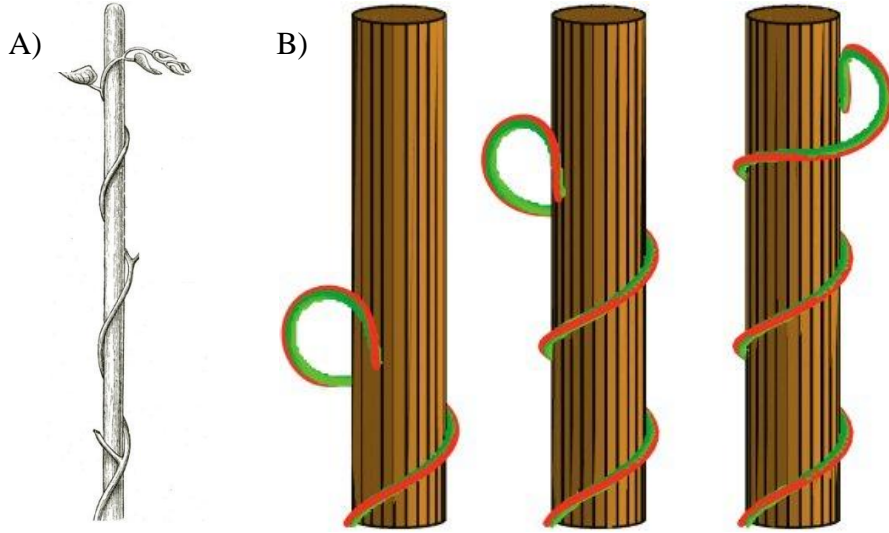
filizin bir başka cisme tam olarak sarıldığı en eğimli bölgeden alınan kesittir. Resim 4.1 b, 4.1 c ve 4.1 d’de bu üç bölgeden alınan mikroskop görüntüleri görülmektedir. Mikroskop görüntüleri 200 µm ölçeğindedir. Aynı asma filizi üzerinden alınan kesit görüntüleri incelendiğinde her bölgenin farklı özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Filizlerin kesitlerinde görülen en büyük değişiklik bitki özünün boyutlarındaki değişikliklerdir. Farklı kesitlerde özde gözlemlenen bu değişikliği daha iyi inceleyebilmek için kesit alanları Solid Works 2012 programında katı model haline getirilmiştir. Program yardımıyla kesitlerdeki bitki özlerinin alanları her kesit için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Filizden alınan kesitler ve alanları Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Bitkinin öz bölgesinin farklı kesitlerdeki alanları

Kesit Görünümleri			
Kesit	A-a	B-b	C-c
Alan	1.15 mm ²	0.65 mm ²	0.42 mm ²

A-a kesitinin alanı 1.15 mm² ile en büyük alanı gösterirken B-b kesitinin alanı 0.65 mm²’ye düşmektedir. C-c kesiti ise 0.42 mm² ile en düşük alana sahip olan kesittir. Asma filizinin kesit alanlarında oluşan bu değişim; asmanın tutunma mekanizmasıyla alakalıdır. A-a kesitinin bulunduğu bölge herhangi bir cisimle temas halinde değildir. B-b kesitinin olduğu bölgede ise cisme temasın ilk gerçekleştiği bölgedir. Temas noktası b ile gösterilen kısımdadır. C-c kesitin olduğu bölgede ise filiz bir cisme tamamen dolanmış durumdadır. Temas noktası “c” ile gösterilen bölgedir. Dolayısıyla bitki özünün yer değişimi ve alanlarındaki bu değişim filizin yaptığı bu dönüş hareketiyle alakalıdır. Bitki özünün konumundaki bu değişiklikte altında kalan ince alanlardaki hücre büyümelerinin daha az olduğu anlaşılmaktadır. Özün üstünde kalan kısımda ise hücreler gelişimlerini hızla devam ettirmişlerdir. Asma filizinin yaptığı dönüş hareketi Resim 4.2’de görülmektedir.

Resim 4.2 A'da görülen çizim asma bitkisiyle ilgili yapılan ilk çalışmalardan biridir (Darwin 1865). Resim 4.2 B'de ise asma filizlerinin bir cisme tırmanmasını gösteren resim vardır (Goriely 2006).



Resim 4.2 a) Asma filizinin sarılmasını gösteren bir çizim **b)** asma filizinin dokunma yüzeylerini gösteren bir resim

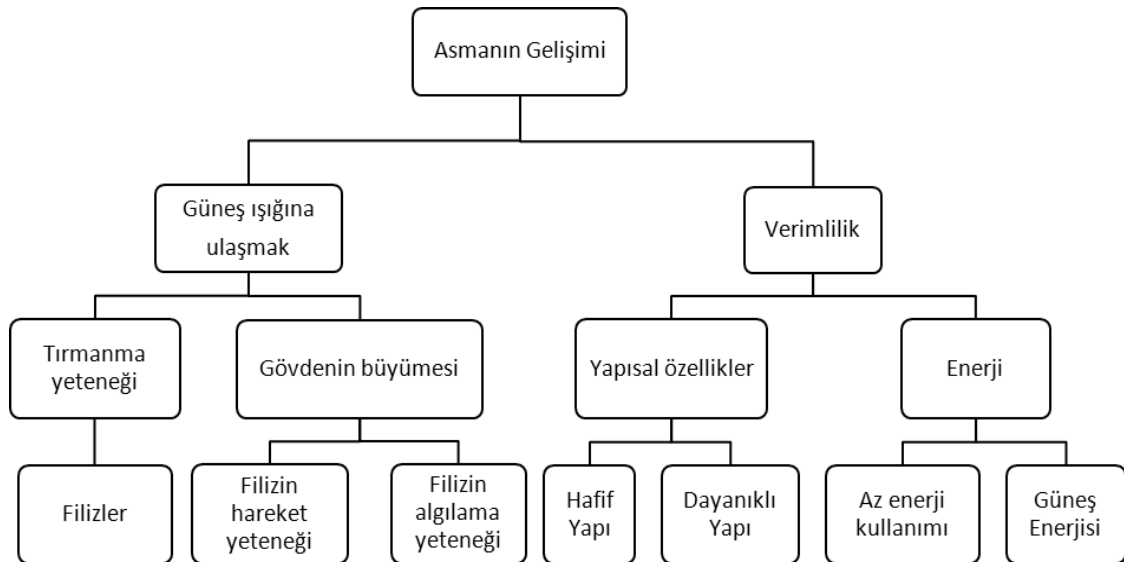
Asma filizinin bir cisim etrafında dönüş hareketi yapabilmesi ve sağlam bir şekilde tutunabilmesi için filizin uzamasını belirli kurallar dâhilinde yapması gerekir. İlk kural cismin tanımlanmasıyla ilgilidir. Asma filizi bir cisme dokunduğu zaman filizin hangi tarafının cisme dokunduğunu algılar. Daha sonra cisme dokunan bölgedeki hücrelerin gelişimi durur veya yavaşlar. Bu bölge Resim 4.2 b'de görülen yeşil kısımlardır. Cisme dokunmayan kısımdaki hücrelerin büyümeleri aynı hızda devam eder. Büyüme hızının normal devam ettiği bölgeler Resim 4.2 b'de kırmızı renkle ifade edilmiştir. Böylece filiz tam bir dolanma hareketini gerçekleştirerek dokunduğu cisme sarılabilir. Filizin dokunduğu bölgelerdeki kesit alanın değişimi bu nedenle oluştuğu düşünülmektedir.

4.3 Doğadan Esinlenerek Tasarım Yaklaşımıyla Hedef Ağacı Metodu

Tasarım sürecinde ilk adım ortaya koyulacak ürüne dair temel hedeflerin belirlenmesidir. Tasarımcının belirlediği hedefler bu açıdan önem kazanmaktadır. Tasarımcının, tasarım hedeflerini belirlerken daha iyi tasarımları kendine örnek olarak alması daha tutarlı ve yenilikçi hedefler belirlemesi için ideal bir yöntem olabilir. Bu noktada tasarımcı en mükemmel tasarımları barındıran doğayı örnek alabilir. Tasarımı

yapılan ürün veya makine için doğa birçok örnek barındırmaktadır. Doğada tasarımı yapılacak olan ürün veya makineye dair benzer örnekler incelenerek tasarımın daha iyi hale getirilmesi mümkün olabilir. Doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımıyla hedef ağacı metodu; doğadaki benzer örneklerin incelenerek tasarım hedeflerinin bu sayede daha iyi hale getirilebilmesini amaçlamaktadır. Öne sürülen metodun etkisini gözlemleyebilmek için örnek bir çalışma yapılmıştır.

Örnek tasarım konusu olarak robot kol tasarımı seçilmiştir. Robottan beklenen temel görevler Dar alanlarda hareket edebilme yeteneği, az yer kaplama ve görüntü aktarma olarak üç ana madde altında toplanabilir. Tasarıma katkı sağlayabileceği düşünülen asma filizleri örnek olarak seçilmiştir. Asma filizleri mükemmel bir sarılma mekanizmasıyla hareket ederler ve bu sayede karmaşık geometrili cisimlere tutunabilirler. Asma filizlerinin sarılma hareketi bir takım prensiplerle gerçekleşmektedir. Asma filizlerindeki hareket prensiplerinin öğrenilerek tasarıma aktarılmasının yenilikçi bir çözüm önerisi getirebileceği düşünülmüştür. Bu amaçla asmanın gelişimini ortaya çıkarabilmek için geleneksel hedef ağacı metodu uygulanmıştır. Asma bitkisi için hedef ağacı metodunun uygulamasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 4.3’de diyagram halinde gösterilmiştir.

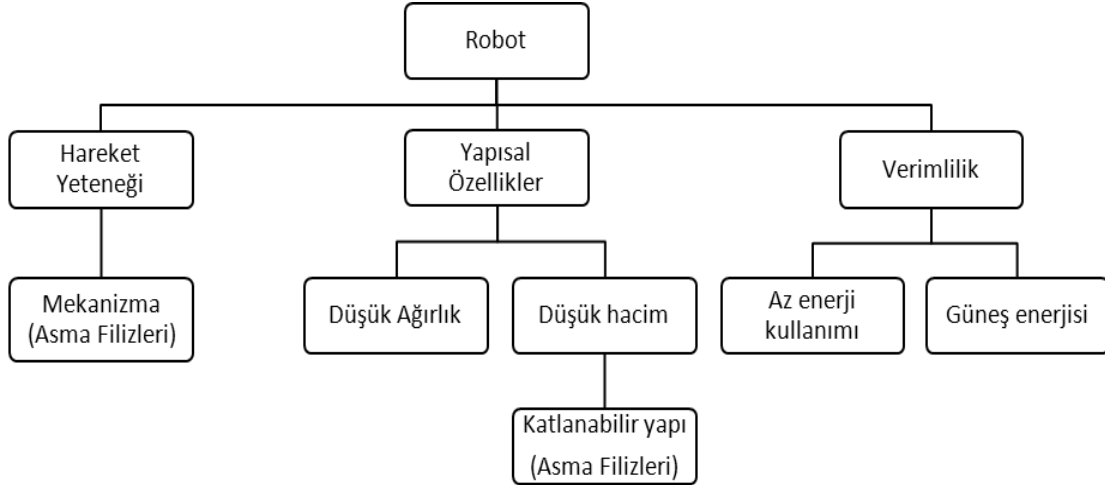


Şekil 4.3 Asma için hazırlanmış olan hedef ağacı diyagramı

Asma bitkisinin, gelişimini tamamlayabilmesi için sahip olduğu mükemmel tasarım özellikleri vardır. Bu özellikler hedef ağacı metoduyla belirlenerek Şekil 4.3’de özet halinde bir diyagram yardımıyla sunulmuştur. Şekil 4.3’de görülebileceği gibi asmanın gelişebilmesi için ihtiyaç duyduğu en temel gereksinim güneş ışığıdır. Güneş ışığına ulaşabilmek için bulunduğu bölgeden daha yüksek yerlere ulaşabilmesi gerekmektedir. Bu süreç sırasında gelişimini verimli bir şekilde devam ettirebilmelidir. Asma bitkisinin gövdesi, yapraklarını ve daha sonra oluşacak olan meyvelerini taşıyabilecek dayanıma sahip olmalıdır. Yeterli dayanıma sahip olan bu gövde aynı zamanda hafif bir yapıya sahip olmalıdır. Çünkü yapraklarını güneş ışığını daha kolay alabileceği yüksek bölgelere ulaştırması gerekmektedir. Asma bitkisinin büyüme sürecini kolaylaştıracak ve hem verimli hem de az enerji kullanmasını sağlayacak adaptasyonlara sahip olduğu görülmüştür. Asmanın sahip olduğu adaptasyonlara benzer yeteneklerin tasarlanacak olan makinelere aktarılabilmesi az enerji kullanabilen, daha dayanıklı ve hafif ürünler ortaya koyulabilmesine yardımcı olabilecektir.

Asma bitkisi yaşamını bir takım hedefler doğrultusunda devam ettirir. Asmanın gelişimini sağlayabilmesi için ortaya çıkan hedefleri aslında yeni ürün tasarımlarının hedefleriyle örtüşmektedir. Bu tez çalışmasında örnek konu olarak seçilen robot kol tasarımı için doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımıyla hedef ağacı metodunun hazırlanmasında asma bitkisinin hedeflerinden yararlanılmıştır. Örnek tasarım çalışması için doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımıyla hazırlanan hedef ağacı metodunun sonuçları Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Dikkat edilecek olursa bu tabloda bulunan hedeflerin bazıları asma bitkisinin hedefleriyle örtüşmektedir. Verimlilik başlığı altında bulunan az enerji kullanımıyla ilgili hedef doğada bulunan bütün canlıların ortak bir hedefi olmakla beraber insanların tasarlamaya çalıştığı her cihaz ya da ürün de aynı hedefi taşımaktadır. Benzer şekilde doğada bulunan farklı canlıların tasarımları incelenirse benzer örnekler çoğaltılabilir. Doğadaki canlıların bu açıdan incelenmesiyle tasarımcının daha iyi ürünler ortaya koyabilmesi için doğru hedefleri ve doğru örnekleri seçmesi kolaylaştırılabilir.



Şekil 4.4 DET yaklaşımıyla hazırlanmış olan hedef ağacı diyagramı

4.3.1 Asmadan Edinilen Bilgilerin Örnek Uygulaması

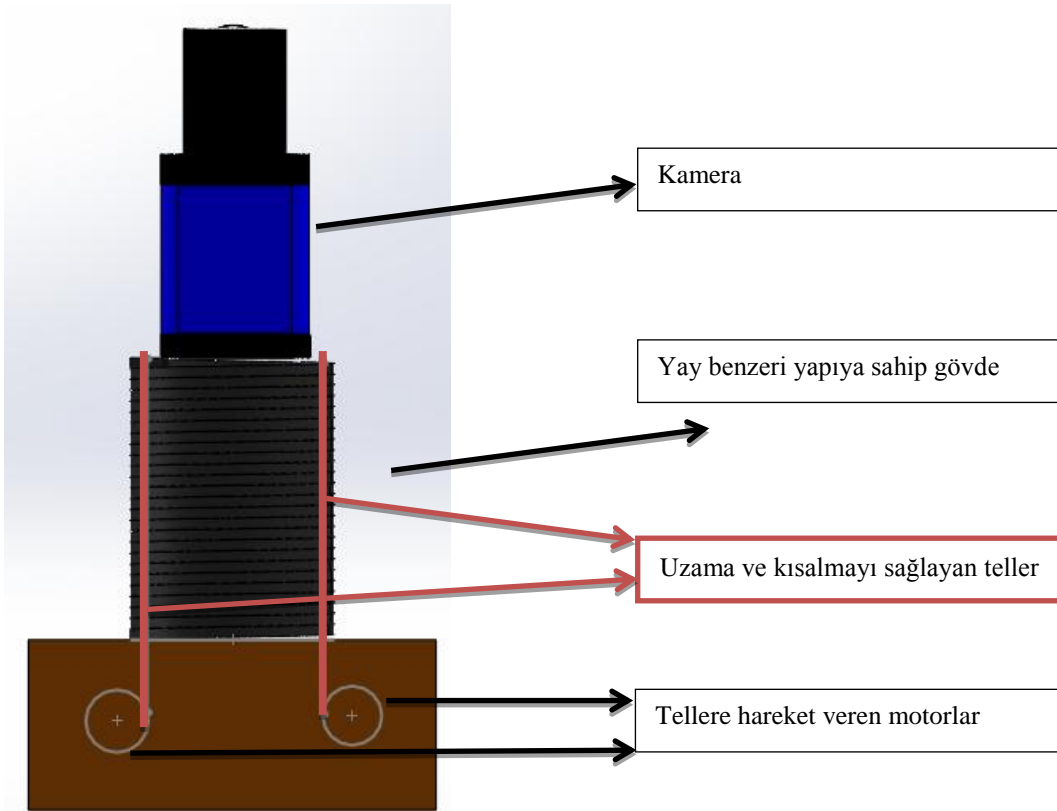
Asma filizlerinin mekanik olarak incelenmesi sonrasında elde edilen bilgilerin robot kol tasarımında nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır. Çekme testi sonuçları değerlendirildiğinde; asma filizinin farklı mevsimlerde farklı dayanım özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Asma için mevsim şartlarının daha zor olduğu dönemlerde filizlerin dayanımının daha fazla olduğu görülmektedir. Buna benzer bir yeteneğin robot tasarımlarında kullanılması faydalı olabilecektir.

Robot kol asma filizlerinde olduğu gibi ortam şartlarının gerektirdiği şekilde malzeme özelliklerini daha iyi hale getirebilecek yeteneğe sahip olması tasarım açısından oldukça parlak bir fikirdir. Ancak bu fikri gerçek hayata geçirmek kolay olmayacaktır. Böyle bir tasarım için özel malzemelerin geliştirilmesi gerekebilir. Bu nedenle filizlerin çekme testleri sonuçlarından elde edilen bilgiler bu tez çalışması için örnek konu olan robot kol tasarımına her hangi bir şekilde katkı sağlamamıştır.

Asma filizlerinin kesit alanlarının incelenmesiyle elde edilen bilgiler robot kol tasarımı için yeni bir tasarım önerisi getirilmesine yardımcı olmuştur. Asma filizleri hareketlerini dokundukları yüzeydeki hücrelerin büyüme hızının yavaşlaması ve tam zıt olan yüzeydeki hücrelerin büyümelerine normal şekilde devam etmeleri sayesinde gerçekleştirmektedirler.

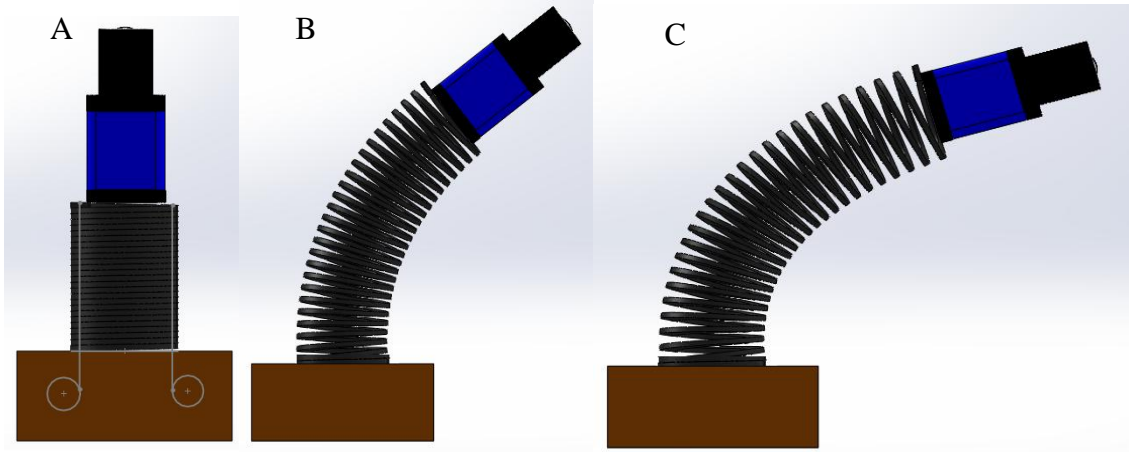
Asma filizlerinin sahip olduğu bu hareket yeteneği benzer prensiplere sahip olan bir tasarım yardımıyla robot kola kazandırılabilirliği görülmüştür. Robot kolun asma filizi gibi bir hareket yeteneğine sahip olabilmesi için robot gövdesi bir yay ile modellenmiştir. Yay açılıp kapanabilir bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla istendiği zaman az yer kaplayabilecek şekilde kapatılabilir ve istendiği zaman açılarak uzayabilecek bir yapıya sahip olabilecektir. Bu mekanizma asma filizlerinin büyüme dönemindeki davranışlarıyla benzer bir karakteristiğe sahip şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Yapılan örnek tasarım Şekil 4.5'te görülmektedir.

Örnek tasarım az yer kaplaması ve geniş hareket kabiliyetine sahip olan asma filizlerinin kullandığı mekanizmaya benzer şekilde çalışmaktadır. Bu hareket yeteneğinin robota aktarılabilmesi yay benzeri bir gövde kullanılmıştır. Yayın uzayıp kısalabilme hareketi yaya bağlanmış olan iki adet tel ile mümkün olmaktadır. Bu tellerin hareketi bir gövde içinde bulunan iki adet motor ile sağlanmaktadır.



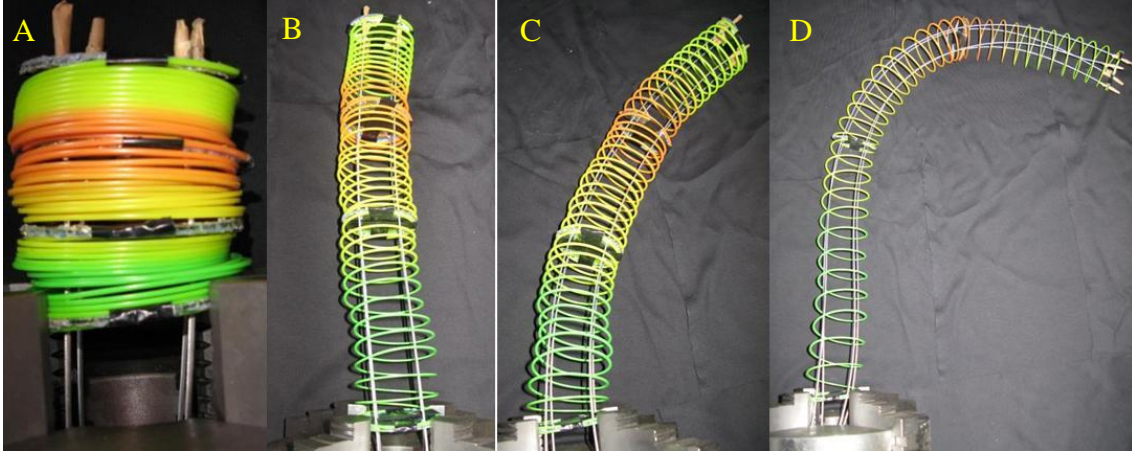
Şekil 4.5 Asma filizlerinden esinlenerek geliştirilen tasarım önerisi

Şekil 4.6’da örnek tasarımın üç farklı durumu görülmektedir. İlk resimde görülen durumda mekanizma en az yer kaplayacak şekilde kapalı durumdadır. Her iki motor yayları hareket ettirmeye başladığında, yayın uzunluğu kadar bir mesafede kamerayı yukarı doğru hareket ettirecektir. Eğer bir engelle karşılaşırsa bu engeli aşabilmek için motorlardan biri durdurularak, kameranın başka bir yöne doğru hareket ettirilebilmesi sağlanabilir. İkinci resimde bu durum görülmektedir. İlk durumda yaylar henüz hiç hareket etmemiş durumdadır. İkinci durumda ise gövde kamerayı sağ tarafa doğru hareket edecek şekilde hareket etmiştir. Bu durumun sağlanabilmesi için sağ taraftaki teli kontrol eden motor durdurulmuş, sol taraftaki motor ise teli hareket ettirmeye devam etmiştir. Kameranın son pozisyonu üçüncü resimde görülmektedir. Şekil 4.6’da görülen çizimler Solid Works 2012 katı modelleme programında hazırlanmıştır.



Şekil 4.6 Örnek tasarımın asma filizine benzer hareketi

Bilgisayar destekli modelleme programlarıyla modellenen robot kola ait basit bir prototip üretilmiştir. Üretilen prototip sadece asma filizlerinden esinlenen prensiplerin uygulama örneğini içermektedir. Bu nedenle prototip sahip olması gereken bütün özellikleri içermemektedir. Örneğin tellere hareketini verecek olan motorlar veya görüntü aktarması gereken kamera bu prototipte yer verilmemiştir. Sadece asma filizine benzer bir hareketin basit bir uygulamasıdır.



Resim 4.3 Örnek tasarımın prototipi ve farklı konumları

Resim 4.3 A’da prototip kolun tamamen kapalı hali görülmektedir. Bu haliyle yaklaşık olarak 10 cm uzunluğundadır. Resim 4.3 B’de ise her iki telin eş zamanlı olarak ilerletilmesiyle robot kolun uzamış hali görülmektedir. Bu haliyle prototipin ulaşabildiği uzaklık yaklaşık olarak 100 cm kadardır. Bu uzaklığa ulaşıldıktan sonra sağdaki tellerin ilerlemesi durdurulup sağdaki tellere ilerleme verilince Resim 4.3 C ve sonrasında Resim 4.3 D’de görüldüğü gibi bir durum oluşmaktadır. Prototipin sahip olduğu hareket yeteneği mesafe uzadıkça azalmaktadır. Ancak yine de prensip olarak tasarıma katkı sağlayabilecek yenilikçi bir fikir olduğu görülmüştür. Üzerinde yapılacak ayrıntılı çalışmalar robot kolun daha verimli çalışmasını sağlayabilir.

Verilen bu örnek tasarım ve oluşturulan prototip sadece doğada bulunan bir özelliğin her hangi bir ürüne nasıl aktarılacağına dair hangi süreçlerin gerektiğini göstermek için hazırlanmıştır. Bu örnekte asma filizlerinin hareketini sağlayan hücre yapılarının tasarıma nasıl aktarılacağı gösterilmiştir. Böylece tasarıma alternatif ve yenilikçi bir çözüm önerisi getirilmeye çalışılmıştır. Elbette asma filizlerinden esinlenilerek önerilen bu tasarım çözümünün en doğru çözüm olduğuna dair kesin bir kanıt öne sürülemez. Ancak yine de yenilikçi ve farklı bir çözüm önerisidir. Tez çalışmasının esas amacı yeni bir robot kol tasarımı yapmak değildir. Bunun aksine bu tez çalışmasındaki temel amaç; tasarım sürecinde doğadaki örneklerin makinelere aktarılması için kullanılacak sistematik tasarım yöntemlerini inceleyebilmek için örnek teşkil etmesidir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tasarım, insan hayatını kolaylaştıracak yeni ürünlerin ortaya koyulması sürecidir. Tasarım sürecinin daha verimli hale getirilebilmesi için bir takım sistematik tasarım metotlarından faydalanılabilir. Bu metotlardan önemli sayılabilecek olan altı tanesi; hedef ağacı metodu, fonksiyon analizi metodu, performans belirleme metodu, kalite fonksiyonu yayılımı, morfoloji tabloları ve ağırlıklı hedefler metodudur. Bu çalışmada tasarım sürecinde kullanılan metotların daha iyi hale getirilmesi ortaya çıkacak olan cihaz veya makinenin daha üstün olmasını sağlayacağı görülmüştür.

Doğada bulunan canlıların sahip olduğu tasarım özellikleri, en mükemmel örnekleri barındırmaktadır. Doğadaki tasarım zenginliğinin örnek alınarak daha kaliteli ve üstün ürün geliştirilmesi mümkündür. Doğadaki tasarım özelliklerinin incelenebilmesi ve bu özelliklerin yeni bir ürüne aktarılması oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu tez çalışmasında doğadan esinlenerek ürün tasarımı süreci incelenmiştir. Doğadaki tasarım özelliklerinin tasarlanacak ürünlere nasıl aktarılacağı ve bu süreçte ortaya çıkan sorunların neler olduğu örnek bir tasarım uygulamasında gözlemlenmiştir. Bu sürecin kolaylaştırılabilmesi için sistematik ürün tasarımı metotlarından faydalanılmıştır.

Çalışmanın sonucunda doğadaki tasarımların incelenmesiyle yenilikçi tasarım fikirlerinin elde edilebileceği görülmüştür. Doğadaki canlılar en az enerji ile en çok işi yapacak şekilde tasarlanmışlardır. Aynı zamanda kullandıkları yapılar hem hafif hem de en yüksek dayanıma sahip olacak şekilde yaratılmıştır. Bu özelliklerin veya benzerlerinin insan yapımı tasarımlara başarıyla aktarılması çok daha iyi ürünlerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

Doğadaki özelliklerin tasarıma aktarılması sürecinin oldukça karmaşık olduğu tespit edilmiştir. Doğadaki işleyişin tasarımcı tarafından anlaşılabilmesi kolay olmamaktadır. Bu nedenle doğadan esinlenerek tasarım süreci disiplinler arası bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu süreçte farklı disiplinlerde çalışan insanların ortak bir dile sahip olmaması ve birbirlerinden farklı bakış açılarına sahip olmaları ayrı bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle disiplinler arası çalışmayı kolaylaştıracak yeni tasarım metotlarının geliştirilmesi faydalı olacaktır. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın tasarım

hedefleri belirlenirken ve alternatif tasarım çözümleri üretmek konusunda tasarımcıya yardımcı olabildiği görülmüştür.

Doğadan esinlenerek sistematik ürün tasarımı yapabilmek için öncelikle örnek alınan canlıyla ilgili özelliklerin tespit edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Esin kaynağı olarak belirlenen canlının özelliklerinin tespit edilmesi ve elde edilen bilgilerin makine veya cihaza aktarılması kolay olmamaktadır. Bunun için uzun süren kapsamlı çalışmaların yapılması gerekebilmektedir. Bu çalışmaların bir kısmını mekanik özelliklerin belirlenmesini sağlayacak bazı testler oluşturmaktadır. Testlerin her canlıya uygulanması mümkün olmamaktadır. Bazı durumlarda ise mekanik testlerden elde edilen bilgilerin tasarıma aktarılması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle tasarımcı esin kaynağı olarak belirlediği canlının özelliklerini kendisi tespit etmek yerine; o canlıyla ilgili disiplinde çalışan araştırmacıların çalışmalarını ve o konudaki literatürde bulunan çalışmaları incelemesi faydalı olabilir.

Tasarımcının esin kaynağı olarak belirlediği canlının özelliklerini tespit etmek için yapacağı literatür çalışmasının yeterli faydayı sağlamadığı durumlar olabilir. Çünkü biyologlarla mühendislerin yaklaşımları ve kullandıkları akademik diller farklıdır. Örneğin asma filizinin sağlam olduğunu bir biyolog “asma filizi sağlıklıdır” kelimesiyle ifade ederken, bir mühendis “yeterli dayanıma sahip” olarak ifade edebilmektedir. Buna benzer farklı telaffuzlar literatür çalışmalarını tasarımcı için zorlaştıracaktır. Bu sorunu giderebilmek için bilgisayar ortamında bir veri tabanı oluşturulması faydalı olabilir. Böylece farklı disiplinlerdeki uzmanların ortak bir dil geliştirerek tasarıma katkı sağlamaları kolaylaşabilir.

Doğadaki bir canlı esin kaynağı olarak belirlendikten sonra yapılan incelemeler sayesinde oldukça yenilikçi ve güzel fikirler elde edilebilir. Ancak hiçbir bilgi elde edilememesi gibi bir durum da söz konusudur. Ya da örnek incelendikçe farklı boyutlarda ve farklı yönlerde fikirler geliştirilmesine yardımcı olabilir. Örneğin asma filizlerinin çekme testiyle elde edilen bilgilerin tasarımda kullanılabileceği öngörülürken bu bilginin kullanılması mümkün olmamıştır. Yine de bu bilgi sonuç vermemiş olsa da farklı bir tasarımcıya esin kaynağı olabilir. Benzer şekilde tek bir

canlı tasarımcının birçok tasarım fikrine aynı anda sahip olmasını da sağlayabilir. Asma filizleri bir şekilde tasarıma katkı sağlarken, asma gövdesi bir başka açıdan katkı sağlayabilir. Bu durum yapılan çalışmanın kapsamıyla alakalıdır.

Doğadan esinlenerek yapılan tasarımların bilinçli ve tesadüfi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Bilinçli olarak yapılan doğadan esinlenerek tasarım; yapılan bir ürün için doğada bulunan esin kaynaklarını belirli bir amaç için araştırılması esastır. Doğadan esinlenerek tesadüfi tasarım ise bir canlıda rastgele keşfedilen bir özelliğin tasarıma dönüştürülmesiyle gerçekleşmektedir. Mestral (1961)'in yaptığı çalışma tesadüfi sürece iyi bir örnektir. Mestral bulduğu Velcro tasarımını geliştirmek için daha önce herhangi bir çaba göstermemiş olsa da tesadüf eseri doğadan edindiği bilgiyi başarılı bir tasarımla ürüne çevirmiştir. Saga (2004) ise yapacağı robot tasarımı için özellikle doğadaki örnekleri araştırmış ve tasarımda kullanabileceği bilgileri bilinçli olarak aramıştır. Yapılan bu tez çalışmasında robot kol için asmadan esinlenilerek önerilen tasarım çözümü Velcro örneğinde olduğu gibi tesadüf eseri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın başında ilk olarak asma bitkisiyle ilgili bilgiler toplanmış ve bir takım testler ile elde edilen bilgiler genişletilmiştir. Daha sonra elde edilen her bilginin hangi konuda fayda sağlayabileceği araştırılmıştır. Bu süreçte doğadaki canlıların incelenmesinden elde edilen bilgilerin tasarıma aktarılması için uzun süren araştırmaların gerekebileceği anlaşılmıştır. Bu durum tasarım sürecini oldukça uzatmaktadır. Bu nedenle tasarımcı ilk başta doğadan bilgi edinme yolunu tercih ederek tasarıma başlarsa, tasarım sürecinin normalden çok daha fazla uzayabileceğini göz önünde bulundurmalıdır.

Sonuç olarak belirli bir tasarım probleminin çözümü için doğadaki canlıları inceleme yaklaşımı tasarımcının yenilikçi fikirler elde etmesi için yardımcı olacağı görülmüştür. Doğadan esinlenerek tasarım yaklaşımıyla yapılan tasarımlar, tasarım sürecini uzamasına sebep olarak dezavantaj oluşturmalarına rağmen günümüzde önem kazanan yenilikçi fikirlerin üretilmesine büyük katkı sağlayabilecek potansiyeli barındırmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Akao, Y. (1990). Quality Function Deployment- Integrating Customer Requirement In to Product Design. Productivity Press, Massachusetts.
- Alexander, C. (1964). Notes on the Synthesis of Form. Harvard University Press, Oxford.
- Altan, N., Gayretli, A., (2008). Elektromekanik Ürünler İçin Nesne Tabanlı Bir Tasarım Sistemi Geliştirilmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2008-1**: 33-39.
- Anderson, D.C., Crawford, R. H. (1989). Knowledge Management for Preliminary Computer Aided Mechanical Design. Organization of Engineering Knowledge for Product Modelling in Computer Integrated Manufacturing, Elsevier, 15-34.
- Apak, S., Özüğür, B., Tezcan, M.H., (2012). Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Robust Tasarım Yaklaşımının İncelenmesi. 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 29-30 Kasım, 27-35.
- Bar Cohen, Y., (2006). Biomimetics - Biologically Inspired Technologies. Taylor & Francis Group, New York.
- Bozdemir, M., Toktaş, İ. (2001). Mekanik Sistemlerin Kavramsal Tasarımına Sistematik Bir Yaklaşım. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **7(2)**: 165-171.
- Cross, N. (2004). Expertise in Design : An Overview. *Design Studies*, **Vol. 25, No. 5**, 427-441.
- Cross, N. (2005). Engineering Design Methods. Springer-Verlag, London.
- Cross, N. (2006). Designerly Ways of Knowing. Wiley, San Francisco, USA.
- Darwin, C., (1888). The movements and habits of climbing plants. Appleton, New York.
- Değer, G., Pakdemirli M., Candan F., Akgün S., Boyacı H., (2010). Strength of Wheat and Barley Stems and Design of New Beams. *Mathematical and Computational Applications*, **Vol. 15, No. 1**, pp. 1-13.
- Dym, C.L., (1995). Engineering Design – A Synthesis of Views. Cambridge University Press, 2. Edition, New York, USA.

- Edwards, A. R., (2005). *The Sustainability Revolution Portrait of a Paradigm Shift*. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada.
- Erden, M. S., Komoto, H., Beek, T. J. V., D'Amelio, V., Echavarria, E., Tomiyama, T. (2007) A Review of Functional Modeling: Approaches and Applications. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, **22(02)**, 147-169.
- Fariborz, Y. P. (1999). A Quality Function Deployment Approach to Strategic Capital Budgeting. *The Engineering Economist*. **Volume: 44-3**: 239-260.
- French, M. J. (1985). *Conceptual Design for Engineers*, Design Council, London.
- Gayretli, A. (2005). Constraint-Based Conflict Management In A Cooperative Design Environment. *Electronic Journal of Machine Technologies*, **(3)**: 1-9.
- Goriely, A., Tabor, M. (2006). Spontaneous helix-hand reversal and tendril perversion in climbing plants. *Physics Review Letter*, **80**: 1564–1567.
- Graham, R. (2001). *Walk Like a Scorpion*. *New Scientist*.
- Guinta, L.R., Praizler, N.C. (1993). *The QFD Book, The Team Approach to Solving Problems and Satisfying Customers Through Quality Function Deployment*. Amacom, New York, USA.
- Hales, C. (1993). *Managing engineering design*. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, England.
- Hause, J., Clausing, D., (1995). "The House of Quality" - The Product Development Challenge. A Harvard Business Review Book: USA.
- Hause, J.R., Griffin, A. (1993). The Voice of the Customer. *Marketing Science*, **12 (Winter)**, 1-27.
- Hirtz, J., Stone, R. B., McAdams, D. A., Szykman, S., Wood, K. L. (2002). A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. *Journal of Research in Engineering Design*, **13(2)**, pp. 65-82.
- Jones, C. J. (1992). *Design Methods*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Kırmacı S. (2009). *Narin Saplı Tahıl Bitki Başaklarında Akış Analizi Ve Teknolojiye Aktarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Manisa.

Lawson B., (1984). Cognitive strategies in architectural design. Developments in design methodology, Wiley, New York.

Laurenza, D. (2005). Leonardo'nun Makineleri. Pegasus Yayıncılık, İstanbul.

Mattheck, C. (1998). Design in nature: learning from trees. Springer-Verlag, Berlin, New York, p. xiv, 276 p.

Mattheck, C., Kubler, H. (1995). The internal optimization of trees. Berlin, Springer Verlag.

Mattheck, C., Breloer, H. (1995). The body language of trees. London: HMSO.

Mayda, M., Börklü, H.R. (2011). Erken Tasarım Bilgisini Temsil ve Modelleme. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, **8(4)**, 29-43.

Mestral, G.D. (1961). Seperable Fastening Device. United States Patent Office, Patent No: 3009205, 1961.

Newell, A., Simon, H.A. (1972). Human problem solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Pahl, G., Beitz, W. (1996). Engineering Design, A Systematic Approach. Springer-Verlag, New York, 1-200.

Pahl, G., Beitz, W. (1988). Engineering Design. The Design Council, Springer-Verlag, London.

Pedersen, K., Emblemvag, J., Bailey, R., Allen, J. K., and Mistree, F., (2000). Validating Design Methods & Research: The Validation Square. DTM-14579, ASME Design Engineering Technical Conferences, Baltimore, Maryland.

Pugh, S. (1991). Total design: integrated methods for successful product engineering. Addison-Wesley Pub. Co., Wokingham, England.

Stokes, A., Mattheck, C., (1996). Variation of wood strength in tree roots. *Journal of Experimental Botany*, **47**: 693–699.

Saga, N. (2004). Development of a peristaltic crawling robot using magnetic fluid on the basis of the locomotion mechanism of the earthworm. *Smart Materials and*

Structures, **13**: 566.

Sharp, N.C. (1997). Timed running speed of a cheetah (*Acinonyx jubatus*). *Journal of Zoology*, London **241** (3): 493–494.

Shalizi, C.R. (2006). Methods and Techniques of Complex Systems Science: An Overview. *Complex Systems Science in Biomedicine*, Springer, New York, pp.33-114.

Shillito, M. L., (1994). Advanced QFD - Linking Technology to Market and Company Needs, Wiley Inter-Science, New York, USA.

Smith, G., Troy, T., ve Summers, J. (2006) "Concept Exploration through Morphological Charts: An Experimental Study," ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, September 10–13, pp 495-504.

Tan, C.F., Chen, W., Rauterberg, G.W.M., (2010). Total Design Of Low Cost Aircraft Cabin Simulator. International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 1721-1728.

Vattam, S., Helms, M., and Goel, A. K. (2007). Biologically-Inspired Innovation in Engineering Design: A Cognitive Study. Technical Report, Graphics, Visualization and Usability Center, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.

VDI 2221, (1987). Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products. Düsseldorf.

Yuran, A. F., Taşgetiren, S., (2010). Biologically Inspired Design. *Electronic Journal of BioTechnology*, **1**(2): 23-30.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Fatih YURAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar - 22.10.1983
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : +90 541 782 49 82 / fatihyuran@aku.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gazi Anadolu Teknik Lisesi, Bilgisayar Bölümü,
Afyonkarahisar (2001).
Lisans : Mersin Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tasarım
ve Konstrüksiyon, Mersin (2009).
Yüksek Lisans : -

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Araştırma Görevlisi (2 Yıl)

Yayımları (SCI ve diğer) :

Verim, Ö., Taşgetiren, S., Er, S., Timur, M. (2012). Anatomical comparison and evaluation of human proximal femurs modeling via different devices and FEM analysis. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, **10**, 1442.

Yuran, A. F., Taşgetiren, S., (2010). Biologically Inspired Design. *Electronic Journal of BioTechnology*, **1(2)**: 23-30.