



Makale / Research Paper

Sızdırmaz Conta Malzemesinin Aksiyomatik Tasarım Medoduyla Seçilmesi

Ferhat GÜNGÖR

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Göztepe Kampüsü 34722 /Kadıköy
İstanbul / TÜRKİYE, fgungor@marmara.edu.tr

Received/Geliş: 11.02.2016

Revised/Düzelme: 21.10.2016

Accepted/Kabul: 19.12.2016

Özet: Bu yazımızda bir makine imalatçısının ihtiyaç duyduğu sızdırmaz conta malzemesinin seçimi ile ilgili problem ele alınmıştır. Problemin çözümünde AT-Aksiyomatik Tasarım (Axiomatic Design-AD) yöntemi kullanılmış ve çözüm aşama aşama gösterilmiştir. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan Aksiyomatik Tasarım yöntemi, karar verme süreçlerinde soyut ve somut değerlerin birlikte hesaplanmasında çözüme önemli katkılar sağlar. Çalışmada, önce çalışma yeri için gerekli conta malzemesinin minimum sınırları (tasarım Parametreleri-DP) belirlenmiştir. Sonra malzeme tablosunda oluşturulan bu sınırlar arasındaki araştırma alanı içinden olası conta malzemeleri seçilmiş, bu malzemelerin fonksiyonel ihtiyaçlara-FR göre sistem aralıkları belirlenmiş ve bunların arasından olasılık dağılım aralıklarına uygun, toplam en küçük bilgi aksiyonumuna sahip sızdırmaz conta malzemesinin seçimine karar verilmiştir. Sızdırmaz Conta malzemesi seçim sürecini etkileyen tasarım parametrelerine ait ölçütlerin verileri teorik analizlerden derlenmiş ve benzer uygulama yapacaklara AD karar verme süreci aşamaları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sızdırmaz conta, Çok ölçütlü karar verme, Aksiyomatik Tasarım

Selection of Seal Material By Axiomatic Design Method

Abstract: In this article, It was dealt with a problem related to the selection of seal material that needed by machine manufacturer. Axiomatic Design (AD) method was used for solving this problem and solution was showed step-by-step. Axiomatic Design method, is one of multiple criteria decision making method, contributes to the solution in combined calculation of abstract and concrete values during decision-making process. In this study, minimum limits of seal material required (design parameters–DP) were determined for working site. Then, possible seal materials were chosen from inside of research area between these limits created in material table. System intervals were determined according to the functional requirements (FR) of these materials. Among these, the selection of seal material that had smallest information axiom in total and that was suitable for probability distribution ranges was decided. Data of criteria dependent design parameters affecting selection process of seal material was compiled from theoretical analyses and the stages of AD decision-making process were presented to one who will make similar application.

Keywords: Seal, multiple criteria decision making, Axiomatic Design

1.Giriş

Makine montajında ve günümüzde üretilen Contalar; sızdırmazlık ve yalıtım sağlamak için yaygın kullanılırlar. Kullanım yerine ve malzemesine göre birçok conta çeşidi bulunmaktadır. Sızdırmazlık contaları makinaların veya alt montaj gruplarının içinde bulunan akışkanın dışarıya sızmasını ve dışarıda bulunan akışkanın, yabancı maddelerle içeriye sızmasını engellemek amacıyla kullanılan makina elemanları olup makinanın uygun çalışabilmesi için gerekli ve önemlidirler.

Sızdırmazlık elemanlarının malzemeleri arasında ise genelde deri, mantar, keçe, kurşun, plastik, asbest, kâğıt, kimyasal maddeler (Macun ve sıvı contalar) bulunmaktadır. Teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle, maliyeti yüksek, doğal çevreye, hayvan nesline ve insan sağlığına zarar veren, kurşun, asbest ve derinin conta kullanımında yeri gittikçe azalmaktadır. Sızdırmazlık elemanları, statik sızdırmazlık elemanları ve dinamik sızdırmazlık elemanları olarak iki ana sınıfa ayrılabilir.

- a) Statik sızdırmazlık elemanları hareketsiz makine elemanları arasında sızdırmayı önlemek amacıyla kullanılır.
- b) Dinamik sızdırmazlık elemanları ise birbirine göre hareketli olan makine elemanları arasında sızdırmayı önlemek için kullanılır.

Statik sızdırmazlık elemanlarını çalışma prensibine göre iki sınıfa ayırabiliriz.

- i) Sızdırmazlık etkisi sıkıştırma oranına bağlı olan Makine elemanları (contalar)
- ii) Basınç karşısında davranışı değişen makine elemanları; Bunlar basınç arttıkça yüzeye daha fazla baskı yaparlar (O-ring, U-ring) gibi. [1]

Contalar genellikle yassı sızdırmazlık elemanlarıdır, kesitleri değişik geometrik şekiller de, kare, dikdörtgen ve yuvarlak kesitli olabilirler.

Sızdırmaz Conta seçiminin doğru yapılması için çalışma yeri ve şartları önemli rol oynar. Bunlar; Çalışma sıcaklığı, viskozite, tozlu ortam, rutubet, sıkıştırma kuvveti, işletme basıncı, buhar vb.'dir. İyi bir sızdırmaz conta, temas ettiği yüzeye tam bir uyum sağlamalı ve yük altında belirgin bir bozulma göstermemelidir. [2]

Bu çalışmada ele alınan ve Şekil 3'te gösterilen statik sızdırmazlık contası, makine elemanlarına ait iki yüzey arasına sıkıştırılan ve yeniden kullanılabilen yassı bir elastik contadır. Sızdırmaz conta, sıkıştırıldığında mümkün olan en büyük teması oluşturmalı ve bu esnada oluşan temas yüzeyi gerilimini (σ) bozulmadan korumalıdır. Birçok kez kullanılmasına rağmen, sızdırmazlık esnekliği bozulmamalı ve temas yüzeylerine zarar vermemelidir [3].

İyi sızdırmaz conta malzemesi hangisidir? Diye sorulursa yaygın bilineni Elastomer (Kauçuk benzeri) malzemelerdir.

Bu seçimi doğru yapabilmek için kullanım yerine ait fonksiyonları iyi etüt etmek gerekir. Bu aşamada üç fonksiyon etüt edilir.

1. **Kısıtlar:** Kısıtların neler olduğu belirlenmelidir. Sıkıştırma basıncı, conta maliyeti vb. Örneğin; temas için sıkıştırma basıncı limitleri nedir? Düşük maliyetin alt-üst sınırı nedir? Gibi.
2. **Amaçlar:** Objektif olarak contanın yüzeylerinin en yüksek kullanım uygunluğuna sahip olması
3. **Serbest değişkenler:** Serbest seçebileceğimiz değişkenlerin neler olduğu bilinmelidir. Örneğin; belirli bir malzemedenden mi olacak? Yoksa malzeme seçimi serbest mi olacak? gibi çoklu ölçütlere göre karar vermemiz gerekmektedir.

Sızdırmaz contaların montajında dikkat edilmesi gerekenler;

Montajdan Önce Ürünün üzerinde kir, toz birikintisi, çapak, depolama şartlarından dolayı deformasyon, yaşlanma (sertleşme) gibi kontroller mutlaka montajdan önce yapılmalı ve montaj alanı temiz olmalıdır.

Montaj Yapılırken Sızdırmazlık elemanlarının yuva ölçüleri standart olmalı, kullanım değerlerine uygun radyüs, pah ve yüzey kalitesinde olmalıdır. Monte etmeden önce kullanım yağıyla ılık olarak yağlanmalı, çünkü montaj ortam sıcaklığı düşük ise sertleşme olur. Bunun için 50~60 °C çalışma yağında bir süre bekletilmelidir. Montajda Delici ve kesici alet kullanılmamalıdır.

Montaj Sonrası İlk çalışmada ani ısı değişiminden conta korunmalıdır.

Literatürde Aksiyomatik tasarımıyla sızdırmaz conta malzemesi seçimi konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Aksiyomatik Tasarımla (AD) ilgili değişik alanlarda ve gittikçe sayıları artan çalışmalar bulunmaktadır.

Suh N.P. 1990'da "Tasarımın prensipleri" isimli yayınından sonra, Aksiyomatik tasarım konusunda kalite, üretim, ergonomi ve birçok alanda yazılara rastlamak mümkündür. Bahadır M.Ç [4] AD ile Robot kolu seçimi üzerinde YL tezi hazırlamış, Çebi ve diğerleri [5] Bulanık bilgi aksiyomu ile ticari gemilerde entegre bakım-onarım yönetimi ihtiyacı çalışmasını yapmışlardır. Yine Çebi ve diğerleri [6] Analitik Ağ Süreci Yöntemi Üzerine Bulanık Bilgi Aksiyomu Açılımı ile yeni yöntem önerisinde bulunmuşlardır.

2. Conta Malzemeleri İçin Seçim Sınırları Oluşturmak

Elastik sızdırmaz conta örneğimize ait veriler [2]

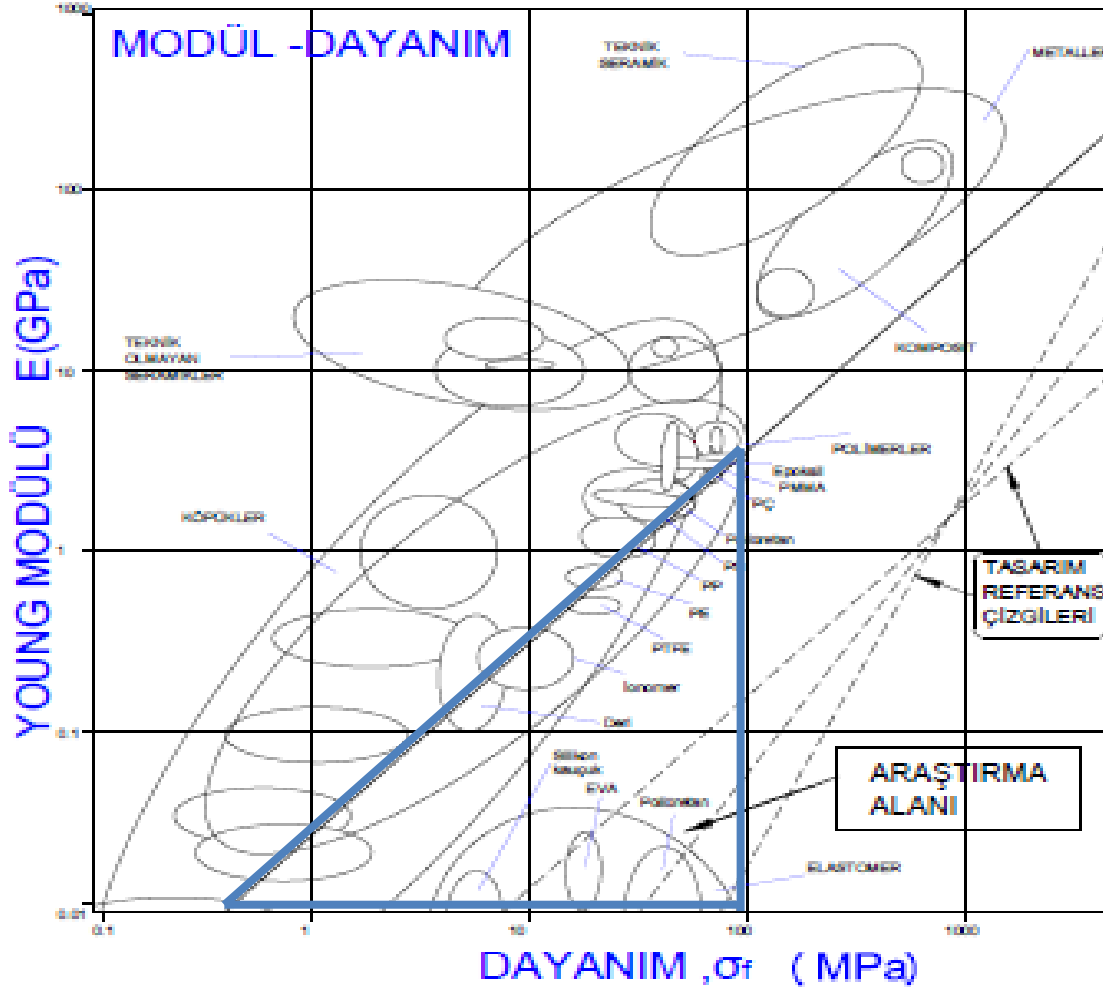
Hedef: Maksimum uyumluluk (contanın temas ettiği kısımlarla, fonksiyonel uyumu)

1. Kısıtlar: Sınırlı temas basıncı ve en düşük fiyat.
 - i. Düzlem yüzeyin, 100 MPa'dan daha fazla bir gerilme ile bozulacağını varsayalım.
 - ii. Bu durumda temas basıncı şu eşitlikle korunur. $M2 = \sigma k \leq 100 \text{ MPa}$
2. Amaçlar: Sızdırmaz contanın yüzeyle temas genişliği maksimum olmalı. Ölçüler montaj yüzeyine uygun Şekil 2'deki gibi ve Bu durum için; $M1 = \sigma k / E$ olmalı
3. Serbest Değişkenler: Uzun süre sökülmesi istenmiyor,

Şekil 1'e bakıldığında seçim alanında kalan malzemelerden uygun olanlar seçilmelidir:

 - i. **Elastomerik EVA**; Doğal seçim ancak bazı çözücüler ve ısı direncine karşı zayıftır, **Poliüretan**; Üstün Aşınma ve Kopma Direnci Nedeniyle Yüksek Basınçlarda Sızdırmazlık Elemanı olarak Çalışan Poliüretan Elastomer, Contalar için yaygın kullanılır,
 - ii. **Silikon kauçuk**; Kimyasal dayanıklılık, Elektrik yalıtma ve sıcaklıkta esnekliğini korumak gibi özellikleri bakımından ve nemli ortamlarda sızdırmazlıklarda çok önemlidir
 - iii. **PTFE(teflon)**; Isıya, kimyevî maddelere, neme, sürtünmeye dayanıklıdır, sürtünme katsayısı bütün katı cisimlerinkinden küçüktür ancak pahalıdır,
 - iv. **Polipropilen-PP**; Yorulma direnci yüksektir. İyi bir darbe dayanımı vardır. Düşük fiyatlıdır, Sürtünme katsayısı düşük olup, Kimyasallara karşı direnci iyidir.
 - v. **Polietilen-PE**; Dış ortam şartları ve neme karşı direnci yüksektir, esnektir, kimyasallara karşı direnci iyidir ve düşük fiyatlıdır.
 - vi. **PA (Naylon)**; Yüksek mukavemetli, düşük sürtünme katsayısına ve sıcaklık artışıyla sertliğini koruma özelliğine sahiptir. Pahalıdır.
 - vii. **Mantar (Cork)**; Düşük temas gerilimli ama kimyasal yönü stabil ve yüksek esneklikte, düşük yoğunluktadır.

- viii. **Polimer Köpükler**; hafiflik, ucuzluk ve daha az hammadde tüketim, yüksek darbe dayanımı, artan tokluk, artan termal kararlılık, azalan elektriksel ve ısısal yalıtım, Köpük ve sünger yapılı, Çok düşük temas basıncı ve narin conta olarak kullanılabilir



Şekil 1. Elastik sızdırmaz conta için malzeme seçim alanı [3]
(NOT: Resim üzerinden ölçü almayınız)

Tablo :1 Tercih edilen malzemeler, özellikleri ve birim fiyatları;

SEÇİLMİŞ MALZEME VERİ TABLOSU	Malzeme Adı	Malzeme Kısa adı	Deformasyon sıcaklığı °C	σ (Mpa)	E (Gpa)	ρ (g/cm ³)	COST \$/ton	Conta Birim maliyeti (\$)
A	Akrilonitril Bütadien Stiren	ABS	85	40 ila 75	2,45	1,05	2100	0,025
B	Teflon	PTFE	-50~210	15 ila 32	0,5	2,27	2500	0,064
C	Poli Propilen	PP	-27~176	20 ila 45	1,3	0,91	1150	0,012
D	Poli Etilen	PE	-127~137	15 ila 18	0,8	0,91	1150	0,012
E	Poli Vinil Klorür	PVC	80	50 ila 60	1,5	1,5	1350	0,023
F	PoliAmid (Naylon)	PA	265	52 ila 58	3	1,1	1850	0,023
G	Poliüretan (elastomer)	Poliüretan (elastomer)	-50~110	22 ila 50	0,025	1,2	3700	0,050
H	Polybütadin (elastomer)	Polybütadin (elastomer)	-20~120	2,0 ila 2,1	0,0016	1,2	3350	0,045

Seçilen malzemeler olarak ise Şekil 1’de; Elastomer malzemelerin $M1 = \sigma/E$ oranlarının oldukça yüksek olduğu görülür. Bu elastomerler sıklıkla sızdırmaz conta imalatında kullanılmaktadır. PTFE (teflon) kimyasal olarak kararlı ve yüksek sıcaklığa dayanıklı uygulamalar için kullanılabilir. PP ve PE polimerleri ise ucuzdur.

3.Aksiyomatik Tasarım Yöntemi;

3.1. Aksiyomatik Tasarımın Prensipleri

Aksiyomatik Tasarım, sistem, süreç ve ürünlerin tasarımının daha bilimsel yapılması için Suh tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Tasarım süreci için gerçekleştirmek istediğimiz sürece iki soru yöneltmeliyiz. İlk önce *neyi gerçekleştirmek istiyoruz?* Sorusunu yöneltip ve ikinci olarak *nasıl gerçekleştirebiliriz?* Cevabını arayarak çözüm bulabiliriz, şeklinde tanımlamıştır.

AD Yönteminin amacı, Suh tarafından önerilen, tasarımları bilimsel bir temele dayandırmaktır. Böylece tasarımcı;

- * Tasarımlar için bilimsel bir temel oluşturmak,
 - * Tasarımcıyı mantıklı düşünce süreçleri ve araçlarıyla desteklemek,
 - * Rastgele arama süreçlerini azaltmak,
 - * Tekrarlanan denemeleri ve süreç hatalarını minimize etmek,
 - * Önerilenler arasından en iyi tasarıma karar vermek, olarak belirlenmiştir [8].
- Böylece tasarım sistematik bir biçimde geliştirilip, gerçekleştirilmiş olacaktır.

3.2.Aksiyomlar

Yöntemin diğer öne çıkan özelliği tasarım aksiyomlarının varlığıdır. Aksiyom, ispatlanamayan ama doğruluğu kabul edilen önermelerdir[9] ve bunlar da sınırlı sayıdadır. Bu yöntemde İki aksiyom kullanılır. Bunlar; bağımsızlık ve bilgi aksiyomlarıdır. Tasarıma karar sürecinde önemli destek sağlar. Bu aksiyomlar, ürün tasarımlarını oluşturmak ve kurulan çözüm alternatiflerinden en iyisini seçmek için oransal bir temel sağlamaktadır [8] Bu aksiyomlar;

• *Aksiyom 1 (Bağımsızlık Aksiyomu):*

İki veya daha fazla fonksiyonel gereksinimin tanımlanacağı durumda, fonksiyonel gereksinimler birbirini etkilememeli ve bağımsız bir şekilde tanımlanmalıdır ve bu tasarımlar arasından bir tanesi diğerlerine göre daha iyidir. [4]

Belirlenen conta malzemelerine ait sistem (*FRi*-fonksiyonel ihtiyaçların) özelliklerinin birbirini etkilemeden bağımsızlığını korumasıdır. AD’de belirlenen tasarım parametreleri (*DPI*’ler), diğer seçilmiş conta malzemelerinin sistem ihtiyaçlarını (*FRi*’leri) olumlu, olumsuz etkilememelidir. İlgili fonksiyonel ihtiyacı karşılamak için seçilmiş olmalıdır.[10]

• *Aksiyom 2 (Bilgi Aksiyomu):*

Aksiyomlarla Tasarımın ilk aksiyomu olan bağımsızlık aksiyomu prensibi ile belirlenmiş fonksiyonel gereksinimlerin tanımladığı, aynı amacı gerçekleştiren birden fazla tasarım alternatifi olabilmektedir. Belirlenen fonksiyonel gereksinimleri karşılama olasılığı en yüksek olan tasarım, en iyi tasarımdır [4]

AD’de amaç, bilgi değerini en küçükleme [11]. Araştırma alanındaki conta malzemeleri arasından Bağımsızlık aksiyomuna sahip en iyi seçenek toplam bilgi değeri en küçük olan seçenektir.

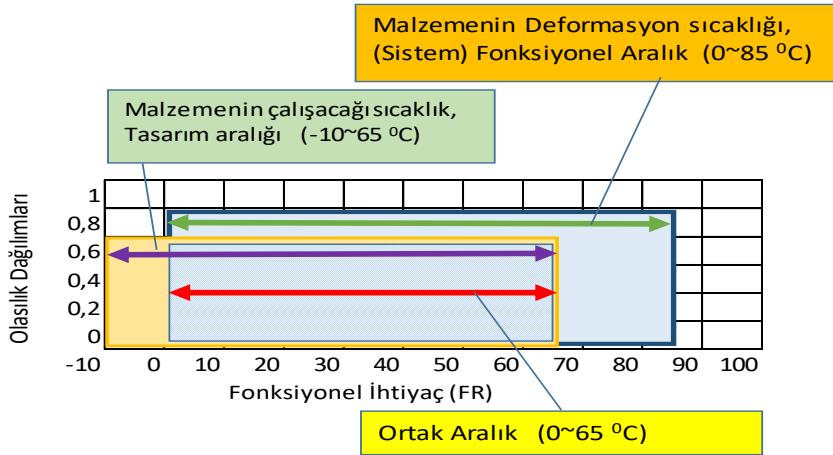
İkinci aksiyom olan **bilgi aksiyomu** olasılık değerleriyle açıklanır, yani gerçekleşme olasılığı en yüksek seçenek tasarım parametrelerine göre en iyi tasarımdır.

Bilgi değeri I , araştırma bölgesinden seçilen aday conta malzemesinin fonksiyonel ihtiyacı FR_i 'yi karşılayabilme olasılığı şeklinde açıklanır. Eğer belirlenen bir FR_i 'yi karşılayabilme olasılığı p_i ise, olasılığa ait bilgi değeri I , Eşitlik 1 ile ifade edilir:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right) \quad \text{Eşitlik 1}$$

Bilgi değeri küçük olmalıdır, eğer karşılanması gereken çok sayıda fonksiyonel ihtiyaç varsa bilgi değerinin kolay eklenebilmesi için 2 tabanına göre logaritmik fonksiyon tercih edilmiştir. FR_i ($i=1,2,\dots,n$) n tane ise toplam bilgi değeri bu n tane hesaplanan olasılıkların toplamıdır. Buradaki bilgi değerinin toplam olasılık hesaplarında, sonuç 1 ise, bilgi değeri sıfırdır. Bir yada daha fazla FR_i olasılık değeri sıfır ise logaritmik değeri sonsuzdur. Tasarım için daha fazla bilgiye ihtiyaç var demektir.

Şekil 2'ye bakarak FR için **Tasarım Aralığı** ($65-(-10)=$) 75 belirlenir ve FR 'nin gerçekleşme olasılığını sağlayacak tasarım için **Sistem Aralığı** ($85-0=$) 85 olarak hesaplanır. **Ortak Aralık** ($65-0=$) 65 kesişen değer olarak hesaplanır ve önce gerçekleşme olasılığı Eşitlik 3 ile $p=65/85=0,76$ bulunur. Bilgi değeri için $1/p_i=1,307$ ve sonra Eşitlik 4 ile $I=0,38$ olarak hesaplanır.



Şekil 2. Sistem, tasarım ve ortak aralık ile FR 'nin Sistem Olasılık dağılım fonksiyonu

Bilgi küçük değerlerle verilir. Aynı zamanda karşılanması gereken birçok fonksiyonel ihtiyaç olduğunda bilgi içeriğinin eklenebilmesi için logaritmik fonksiyon seçilmiştir. n tane FR olduğundan toplam bilgi içeriği tüm bu olasılıkların toplamıdır. Tüm olasılıklar toplamı 1'e eşit olduğunda bilgi içeriği sıfırdır ve tersine bir ya da daha fazla olasılık sıfıra eşit olduğunda gerekli bilgi sonsuzdur. Bu olasılık düşük ise, tasarım için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğu anlaşılır.

Şekil 2'de bir FR 'nin sistem olasılık dağılım fonksiyonu olduğunda, tasarımcının belirlediği '**tasarım aralığı**' ve sistemin gerçekleştireceği '**sistem aralığı**'nın kesiştiği bölgenin '**Ortak Aralık**' kabul edilebilir çözümün bulunduğu alan olduğu görülmektedir. Sistem olasılık dağılım fonksiyonu FR 'nin gerçekleşme olasılığı Eşitlik 3 ile hesaplanır [4]:

$$p_i = \frac{\text{Ortak Aralık}}{\text{Sistem Aralığı}} \quad \text{Eşitlik 3}$$

Eşitlik 3'den yararlanarak bilgi içeriği şu şekilde Eşitlik 4 ile hesaplanır:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad \text{Eşitlik 4}$$

3.3. Aksiyomatik Tasarım aşamaları

- A. Verileri incele, tasarım ve sistem verileri kesin değil (bulanıksa), yada sayısal değerler yerine dilsel terimlerle tanımlanıyorsa (iyi, bozuk vb gibi) Eşitlik 2 ile BAT-Bulanık Aksiyomatik tasarımı uygula [11]

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{BAT sistem aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad \text{Eşitlik 2}$$

- B. Bulanık değilse, Aksiyomu belirle (Bilgi veya Bağımsızlık)
 C. Değerlendirme kriterleri fonksiyonel ihtiyaçlar (FR) ağırlıkları eşit mi? Farklı mı? Eğer ağırlık verilecekse önce ağırlık verme yöntemini ve ağırlıkları belirle. Ağırlıklar iyi belirlenmezse hesaplamalara toksit bilgi katmış oluruz ve sonuçlar önemli sapmalar göstererek karar yanlış olur.
 D. Eşitlik 1'i kullanarak Bilgi içeriklerini ve ihtiyaçların karşılanma olasılıklarını hesapla.
 E. Bilgi içeriklerini toplayarak, küçükten büyüğe göre sırala ve ilk sıradaki minimum bilgi düzeyindeki alternatifi seç.

4.Sızdırmaz Conta Malzemesinin Seçimi

Neyi gerçekleştirmek istiyoruz?

FR0: Sızdırmaz conta malzemesinin seçimi

Nasıl gerçekleştirebiliriz?

DP0: Alternatif conta malzemeleri arasında

(Fonksiyonel ihtiyacın) teknik özelliğinin Tasarım Parametreleri ile gerçekleşme olasılıklarını karşılaştırarak seçmek.

Problemimiz dış çapı 6,5 cm, iç ortadaki delik çapı 3,2 cm, çevrede 4 adet x 0,9 Cm çaplı delikler olan ve 0,5 cm kalınlığındaki sızdırmazlık contasının seri üretimi için malzeme seçimidir. Bu verilere göre conta hacmi 11,3025 cm³'tür. Şekil 3'de gösterilmiştir.

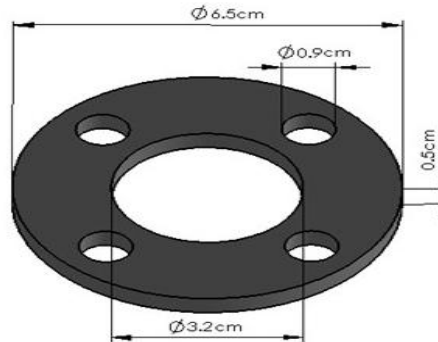
Fonksiyonel ihtiyaçlar olarak belirlenenler;

FR1: Deformasyon sıcaklığı, (Seçilen malzemelerin bozulma sıcaklıkları belirlendi)

FR2:Dayanım (Strength Mpa σ), (Malzemelerin σ değerleri belirlendi)

FR3: Esnekliği (Young modülü Gpa E) (Young modülü tablolardan belirlendi)

FR4: Hafif ve Düşük Birim maliyet (\$/ton fiyatları belirlendi, yoğunluk (ρ) x hacim (cm³) ile hesaplandı).



Şekil 3: Malzeme seçimi yapılacak conta ölçüleri

Tasarım aralığı olarak kabul ettiğimiz tasarım parametrelerinin sınırları belirlenir.

DP1: Seçilen contanın çalışma yeri sıcaklık Aralığı -10 °C ila 65 °C arası,

- DP2:** Sıkıştırma Dayanımı en çok 42 Mpa'a kadar,
DP3: Tekrar kullanımı ve maksimum temas yüzeyi esnekliği E=2 Gpa'dan küçük,
DP4: Contanın birim maliyeti minimum 0,012 \$ ve altında olması tasarlanmıştır.

Bu veriler kullanılarak Aksiyomatik tasarım yöntemine göre işimize uygun **Şekil 1**'deki araştırma alanı içinde yer alan, amaca uygun, işlenmesi ve bulunması kolay malzemeler listelenerek **Şekil 3**'teki conta malzemesi seçilecektir.

Aşama A: Veriler incelendiğinde dilsel terim kullanılmadığı görülür. Bulanık Aksiyomatik tasarım çözüm için kullanılmaz.

Aşama B: *FRI* ve *DPI* 'ler için Fonksiyonel ve Tasarım aralıklarından oluşan Tablo 2 veri tablosu oluşturulur ve aksiyomlar belirlenir.

Tablo 2: Veri tablosu

VERİ TABLOSU	Malzeme Adı	Malzeme Kısa adı	Deformasyon sıcaklığı °C (FR1)	σ (Mpa) (FR2)	E (Gpa) (FR3)	Conta Birim maliyeti (\$) (FR4)
A	Akrilonitril Bütadien Stiren	ABS	85	40 ila 75	2,45	0,0249
B	Teflon	PTFE	-50~210	15 ila 32	0,5	0,0641
C	Poli Propilen	PP	-27~176	20 ila 45	1,3	0,0118
D	Poli Etilen	PE	-127~137	15 ila 18	0,8	0,0118
E	Poli Vinil Klorür	PVC	80	50 ila 60	1,5	0,0229
F	PoliAmid	PA	265	52 ila 58	3	0,0230
G	Poliüretan (elastomer)	Poliüretan (elastomer)	-50~110	22 ila 50	0,025	0,0502
H	Polybütadin (elastomer)	Polybütadin (elastomer)	-20~120	2,0 ila 2,1	0,0016	0,0454
TASARIM ARALIĞI			-10~65 °C (DP1)	<42 Mpa (DP2)	<2 Gpa (DP3)	>0,012 (DP4)

Aşama C: Kriterlere ağırlık uygulanmayacak, her kriter eşit kabul edilecektir.

Aşama D: Tablo 3'de, bilgi içeriği için gerekli olan $1/p_i$ değerleri için, FR'lerin gerçekleşme olasılıkları hesaplanmıştır.

Eşitlik 4 ile Tablo 3'deki hesaplamalar şu şekilde yapılmıştır.

$$\text{ABS-Akrilonitril Bütadien Stiren } FRI \text{ için (Şekil 1'den) } 1/p_i = \frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} = \frac{85-0}{65-0} = 1,3077$$

Tablo 3: $1/p_i$ değerleri tablosu

$\frac{1}{p_i}$ değerleri tablosu	FR1	FR2	FR3	FR4
Akrilonitril				
Bütadien Stiren	1,3077	17,5	1,225	2,077
Teflon	3,4667	1	1	5,345
Poli Propilen	2,7067	1,1364	1	0,986
Poli Etilen	3,5200	1	1	0,986
Poli Vinil Klorür	1,2308	∞	1	1,907
PoliAmid	4,0769	∞	1,5	1,917
Poliüretan (elastomer)	2,1333	1,4	1	4,182
Polybütadin (elastomer)	1,8667	1	1	3,786

Aşama E: Daha sonra bilgi içeriği Eşitlik 4'ten hesaplanarak, Tablo 4 oluşturulur. Satırlar toplanır ve minimumdan maksimuma doğru malzeme sıralanır. Tabloda en küçük değer olan sıralamanın 1.nci sırasında PP-PoliPropilen 1,60 ile en uygun conta malzemesi olarak bulunur.

Tablo 4: Bilgi içeriği tablosu ve sıralama

İi Bilgi içeriği Tablosu		FR1	FR2	FR3	FR4	Toplam	SIRALAMA
ABS	Akrilonitril						6
	Bütadien Stiren	0,387023	4,129283	0,292782	1,054386	5,863474	
PTFE-	Teflon	1,793549	0	0	2,418228	4,211777	5
PP	Poli Propilen	1,436517	0,184425	0	-0,020820	1,600122	1
PE	Poli Etilen	1,815575	0	0	-0,020820	1,794755	2
PVC	Poli Vinil Klorür	0,299560	∞	0	0,931529	∞	7
NYLON (PA)	PoliAmid	2,027481	∞	1	0,938636	∞	7
Poliüretan (elastomer)	Poliüretan (elastomer)	1,093109	0,485427	0	2,064167	3,642703	4
Polybütadin (elastomer)	Polybütadin (elastomer)	0,900464	0,000000	0	1,920803	2,821267	3

ABS-Akrilonitril Bütadien Stiren FR1 için Bilgi içeriği

$$I_i = \log_2\left(\frac{1}{p_i}\right) = \log_2(1,3077) = 0,387023 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Satırlar toplanır ve minimumdan maksimuma doğru değerler sıralanır. Tabloda en küçük değer olan sıralamanın 1.nci sırasında **PP-PoliPropilen** 1,600122 ile en uygun conta malzemesi olarak öne çıkar 2.nci sırada **PE-Poli Etilen** 1,794755 ile yerini alarak ardından diğer altı malzeme sıralanır. Toplamı ∞ değere sahip olanlar uygun değildir.

5.Sonuç (CONCLUSIONS)

Makine üretiminde çok sayıda parça değişik malzemeler arasından doğru ve ekonomik olarak seçilmek durumundadır. Aksiyomatik tasarım yöntemi bu alanda çalışma yapacaklara oldukça fazla yarar sağlar.

Bu çalışmada bağımsızlık aksiyomu ve bilgi aksiyomunu kullandık. Aksiyomatik tasarımda, fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametrelerine ait değerler burada olduğu gibi belirli bir aralıkla her zaman tanımlanmaz.

Çalışmamızda ki verilerde dilsel tanımlanan herhangi bir bulanık sayı ve değer yoktur, belli bir aralıkta ifade edilebilen bu değerler olsaydı o zaman üçgen ya da yamuk olarak bulanık sayılarla ifade edilirdi. Bunlar olmadığından Bulanık Aksiyomatik Tasarımı kullanmadık.

Karar verme aşamasında kullanılan kriterlere ağırlık da vermedik ve hepsini eşit olarak kabul ettik. En küçük bilgi değerine sahip conta malzemesini seçmek için, conta malzemesi için belirlenmiş her bir tasarım parametresi (DP_i) için gerçekleştirme olasılığı için sistem aralıkları (FR_i) tespit edilip, her conta malzemesine ait ortak aralıklar ile bilgi değerleri hesaplanmıştır. Minimum bilgi içeriğini veren sızdırmaz conta malzemesimiz Tablo 4'te gösterilen hesaplamada satır toplamlarında 1,6 en küçük toplam değeri ile **PP-PoliPropilen** olarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Belevi, M., Özes.Ç. “Makine Tasarımı II” ders notları, DEÜ Mühendislik Fakültesi Mak. Müh. Bölümü. (kisi.deu.edu.tr/cicek.ozes/MakTas_II_Sızdırmazlık%20Elemanları2.pdf) (Alıntı Tarihi: 19.06.2015)
- [2] Taktak, Ş. “Tasarımda Malzeme Seçimi” Ders notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi. file: ///C:/Users/%C3%BCpk-PC/Downloads/TASIMDA_MALZEME_SEYOM%20(1).pdf (Alıntı Tar:30.06.2015)
- [3] Michael, F.A. (2005) “Materials Selection in Mechanical Design” Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 30 Corporate Drive, Burlington, MA 01803 Third edition, jpkc.fudan.edu.cn/Picture/article/255/1c/8c/8a256...954.pdf (Alıntı tarihi:18.06.2015)
- [4] Bahadır, M. Ç., (2012) “ Aksiyomlarla Tasarım Yaklaşımı İle Robot Kolu Seçimi İçin Bir Karar Destek Sistemi” İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Müh. Yüksek Lisans Tezi., 45-49
- [5] Çebi, S., Çelik, M., Kahraman. C.; (2008) “ Gemi Sistemleri İçin Entegre Bakım-Onarım Yönetimi Gereksiniminin Analizi” Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi Cilt 3 Sayı 4, 17-24
- [6] Çebi, S., Çelik, M., Kahraman. C.; (2008) “Analitik Ağ Süreci Yöntemi Üzerine Bulanık Bilgi Aksiyomu Açılımı” Endüstri Mühendisliği Dergisi YA/EM Özel Sayısı Cilt: 20 Sayı: 1, 5-18
- [7] Özel, B., Özyörük, B. (2007)“Bulanık Aksiyomatik Tasarım ile Tedarikçi Firma Seçimi” Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt:22, No:3, 415-423,
- [8] Karata, M., Akman, G., (2009), “Makine İmalatı Yapan Firmaların Yenilikçi Kültür Yapılarının Aksiyomatik Tasarım İle Değerlendirilmesi” Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 20, ISSN: 1302-3055, 45-62
- [9] Dane, A. (2008). “İlköğretim Matematik 3. Sınıf Öğrencilerinin Tanım, Aksiyom ve Teorem Kavramlarını Anlama Düzeyleri”, Kastamonu Eğitim Dergisi, Cilt:16, No:2, 495-506
- [10] Vardarlier, P., Vural, Y., Birgün. S., (2014)” Modelling of the Strategic Recruitment Process by Axiomatic Design Principles” Procedia - Social and Behavioral Sciences 150 (2014) 374 – 383
- [11] Kulak, O., Cebi, S., Kahraman, C. (2010) “Applications of axiomatic design principles: A literature review” Expert systems with applications. No: 37, 6705-6717.