

BULANIK MANTIK VE TAGUCHİ YAKLAŞIMLI MÜŞTERİ İSTEMLİ ÜRÜN BELİRLEME

Cevdet GÖLOĞLU ve Cihan MIZRAK

Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050, Karabük
cgologlu@karabuk.edu.tr, cihanmizrak@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 10.04.2008 ; Kabul/Accepted: 23.12.2009)

ÖZET

Günümüz piyasasındaki keskin rekabet koşulları ve yükselen müşteri memnuniyet seviyesini karşılama gereksinimi, firmaları ürünün tasarımı ve montajında müşteri odaklı bir yönelime gitmelerine neden olmuştur. *Kendin Yap* yaklaşımı ile son montajın müşteriye bırakılması, imalatçılar bakımından üretim maliyetinin azalması ve ürünün müşteriye ulaşma süresinin kısılması kazancımı da getirmektedir. Buna karşın tüketicinin biraz daha bilinçli olması istenmektedir. Karar verme sürecinde müşteriye yardım edecek, yön verecek uzmanlara gereksinim duyulabilmektedir. Fikir belirtecek uzmanların azlığı, müşterinin kendi isteğini ifade etmesindeki zorluk, ilgili ürün hakkında arzu edilen sonuca ulaşmada olumsuzluklar doğuracaktır. Müşterinin kendi isteklerini en iyi kendisinin bileceği ve bunu yaparken genelde dilsel ifadeler kullanması gerçeği, karar verme işlemi için yardımcı bir mekanizmaya ihtiyaç duyurmaktadır. Bu makalede *Kendin Yap* kapsamında değerlendirilen bir ürün için, Bulanık Mantık (BM) ve Taguchi deney tasarımı kullanılarak müşterinin kendi ihtiyacına göre ürün belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin etkinliğini göstermek amacıyla sayısal bir örnek verilmiş ve modelin başarımı %90'ın üzerinde saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Müşteri istemli ürün belirleme, bulanık mantık, Taguchi deney tasarımı.

CUSTOMER DRIVEN PRODUCT DETERMINATION WITH FUZZY LOGIC AND TAGUCHI APPROACHES

ABSTRACT

Severe competition conditions in today's market and the necessity of answering raised customer satisfaction level force firms to direct themselves into a customer oriented tendency in product design and assembly. *Do it yourself* approach, which requires customer involvement in final assembly, helps manufacturers in lessening production cost and also makes benefits in short product due time. However, it requires that the customer should be more conscious. Experts that help and direct customer at decision making process can be necessitated. Shortage on the experts that give idea and the difficulty on that customer express his/her requests cause negativities in obtaining customer's desired answer on the demanded product. The reality that customers best know what they desire and, in general, they use linguistic descriptions on the issue need an auxiliary mechanism for decision making process. Therefore, in this paper, a customer driven product determination process was realized for a product evaluated as *do it yourself* product. Due to demonstrate the effectiveness of the model a numeric example was given and its success was obtained above 90%.

Keywords: Customer driven product determination, fuzzy logic, Taguchi experiment design.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Benzer işleri yapan işletmeleri birbirinden ayıran en önemli farklardan birisi müşteri memnuniyetidir. Ürün ve sunulan servislerin kalite seviyelerindeki artış müşteriler tarafından aranan özelliklerdendir. Bu

sebeplerden dolayı, üretici firmalar müşterileri ürün tasarımı ve montajında merkeze alıp onlara rol vermede ve etkileşimli çözüm sağlamaya yönelmişlerdir. Birçok firma mobilya, oyuncak, bisiklet vb. ürünlerin son tüketiciye ulaşımında gerek maliyetin azaltılması gerekse müşterinin istediği ürün kombinasyonun

sağlanması bakımından, tamamıyla montaj yapılmamış bir şekilde *Kendin Yap* (Do It Yourself - DIY) mağazalarında ürünleri satışa sunmaktadırlar [1]. *Kendin Yap* kavramının gelişmiş toplumlarda daha çok yer bulduğu fikrine rağmen [2], günümüzde farklı sosyal gelişmişliklerin bulunduğu toplumlarda da işlevini sürdürmektedir. Son Montaja Müşteri Müdahalesi (SMMM) kavramı, firma yöneticilerini rekabet ortamında farklı maliyet yapılarını ortaya koyacak ve daha fazla müşteri müdahalesini gerektiren çekici ürünlerin araştırılması gereksinimine yöneltmiştir [3]. Son montajın müşteriye bırakılması, imalatçılar bakımından üretim maliyetinin azalması ve ürünün müşteriye ulaşma süresinin kısalması kazancını da getirmektedir. Buna karşın son tüketicinin biraz daha bilinçli olması istenmektedir. Müşterilerin ilgili ürün hakkında alan bilgisine sahip, kendi gereksinimlerinin ne olduğunu belirlemiş olması, ihtiyacına göre ürün tasarım ve montaj işlemlerine katkı vermesi gerekmektedir. Bu karar verme sürecinde müşteriye yardım edecek, yön verecek uzmanlara gereksinim duyulabilmektedir. Müşteriye bilgi verecek ve onu yönlendirecek teknik elemanların karşılanmasındaki güçlükler, bunun yanında müşterinin ihtiyaçlarını satıcıya tam olarak aktarmada yaşadığı zorluklar, istenilen ürünü belirlemede çeşitli sorunlar doğuracaktır. Ayrıca, müşterinin zihnindeki ürünü anlatırken çoğunlukla dilsel ifadeleri kullanması, ürünün belirlenmesinde karar verme eylemine yardımcı olabilecek bir destek mekanizmasının bulunmasını gerekli kılmaktadır. Kurniawan ve ark. [4] ürün tasarım ve geliştirme işlemlerine müşterileri dahil etmek amacıyla aksiyomatik tasarım tabanlı bir sistematik yaklaşım önermektedir. Bu nedenle müşterinin ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla farklı yöntemler kullanılarak, farklı müşteri istekleri ürün özelliklerinin şekillendirilmesinde yararlanılması için aynı seviyede soyutlandırılmış ve ilgili ihtiyaçlar öncelik sıralamasına tabi tutulmuştur. Khoo ve ark. [5], oluşturulan müşteri merkezli bir ürün kavramı geliştirme bilgi sistemi ile ürünün yeniden ve müşteri merkezli oluşumu arasında bir bağ oluşturulmağa çalışmıştır. Analitik hiyerarşik bir veritabanı yardımıyla gerçekleştirdikleri sistem, bir golf sopası örneği ile açıklanmıştır. Huang ve ark. [6] müşteri ve tedarikçi ilişki üzerinden çeşitli bilgi indeksleri (memnuniyet, esneklikli risk ve güven) yoluyla yeni ürün tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarını bir web tabanlı istem üzerinden desteklemişlerdir. Müşteri merkezli ürün tasarımı [6, 7, 8], satıcı ve tedarikçi ilişkilerini [9, 10, 11] araştıran birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar, genel olarak ürün müşteri ilişkileri üzerinde durmuş, sağlanan veritabanlarından faydalanmıştır. Mühendislik hesaplamalarını içeren sayısal örnekler ve zeki yaklaşımlar kullanmamışlardır. Bu makalede *Kendin Yap* kapsamında değerlendirilen bir ürün için, Bulanık Mantık (BM) ve Taguchi deney tasarımı kullanarak müşterinin kendi ihtiyacına göre ürün belirlemesi gerçekleştirilmiştir. Önerilen

modelin etkinliğini göstermek amacıyla sayısal bir örnek verilmiştir.

2. KENDİN YAP ÜRÜNÜ: BİSİKLET KADROSU (DO IT YOURSELF PRODUCT: BICYCLE FRAME)

Müşteriler *Kendin Yap* ürünlerini seçerken fiyat, kullanım ve sağlamlık bakımlarından kendisine en uygununu aramaktadırlar. Makalede çalışılan bisiklet kadrosu örneği de bu kapsamda değerlendirilen bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Müşteri ilgili ürün üzerinde hem çok sağlam hem de iyi fiyat istemlerinin ikisini birlikte bulmada sıkıntı çekmektedir. Bunun nedeni, belirli bir malzeme için, bisiklet kadro inşasında kullanılan boru malzeme çaplarının arttıkça sağlamlığının artması, buna karşın boru çaplarının artmasının, kullanılan malzeme gereksinimi nedeniyle ürünün maliyetinin de artmasına yol açmasıdır. Böyle olunca en uygun ihtiyaçlara cevap verecek bisiklet gövdesinin sağlamlık durumunun (emniyet katsayı değerinin) müşteriye bildirilmesi ve müşterinin tatmin edilmesi gerekmektedir.

Mekanik sistemlerde bir elemanın çalışma ortamında maruz kaldığı gerilmeler, kullanılan malzemenin kalıcı deformasyon sınırına çok yaklaşırsa, o elemanın fazla uzun ömürlü olmayacağı anlamına gelmektedir [12]. Bu nedenle makine elemanları tasarım aşamasında, üzerlerine düşen bütün kuvvetler hesaba katılarak modellenmeli ve bu modellerin maksimum gerilme değerleri belirli bir aralık dâhilinde olmalıdır. Bir makine elemanının kalıcı deformasyon olmadan dayanabileceği maksimum gerilmenin (akma gerilmesi), çalışma anında üzerine düşen maksimum gerilmesine oranı, emniyet katsayısı olarak ifade edilmektedir ve mutlaka 1 den büyük olmak zorundadır. Statik çalışan makine elemanlarında 2 ile 5 gibi düşük değerlerde kabul edilebilirken, dinamik çalışan makine elemanlarında bu değer aralığının 5 ile 20 gibi yüksek değerlere sahip olması istenmektedir. Bunun amacı makine elemanının çalışma esnasında etki eden dalgalı kuvvetlerin meydana getirdiği gerilmelerden kaynaklanan metal yorulmasının bir şekilde önüne geçmektir [13]. Sürüş esnasında bisiklet kadro gövdesi üzerinde meydana gelecek dalgalı kuvvetler malzeme üzerinde yorulma etkisi bırakacağından, emniyet katsayısı mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır. Buna karşın, fazlasıyla yüksek tutulan emniyet katsayısı, aşırı malzeme kullanımını getireceğinden bu değer optimum değerde tutulması gerekmektedir. Bisiklet kadrosu için emniyet katsayısı minimum 5 maksimum 15 kabul edilmiştir. Emniyet faktörü gibi teknik kavramların *Kendin Yap* ürünlerinin alıcıları tarafından bilinmesi çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Bunun nedeni bu ve benzer terimlerin daha çok sayısal ifadeler içermesidir. Müşteriler bu katsayının dilsel ifadelerle sunulması müşterilerin daha kolay kavramasını sağlayacaktır [14].

Bisiklet kadrosuna etki eden kontrol edilebilir parametreler, gövde borusunun çap değeri ve kullanım

sırasında sürücünün kadroya uyguladığı kuvvetlerdir. Kadro inşasında kullanılan borunun et kalınlığı çalışmada sabit kabul edilmiştir. İlgili kuvvetler ise, sürücünün ağırlığından dolayı oturağa uygulanan kuvvet ile bisikletin manevra esnasında kadronun yana yatmasından dolayı oluşan yanal kuvvet neticesinde oluşan oturak bileşke kuvveti ve sürücünün kullanım sırasında oluşan pedal kuvvetidir. Sürücünün gidona uyguladığı kuvvet gerilime çok az miktarda etki ettiği için bu kuvvet hesaplamalara dâhil edilmemiştir (Şekil 1). İlgili kadro ve yüklemeler ANSYS sonlu elemanlar analiz yazılımında modellenmiştir. Yapılan analizde sonlu eleman tipi PIPE 16 olarak belirlenmiş ve malzeme olarak Alüminyum 5794 alaşımı (elastik modül: 70×10^3 MPa, poisson oranı: 0.33, akma gerilmesi: 125 MPa) seçilmiştir.

Tablo 1’de kontrol edilebilir parametrelerin (faktörlerin) aralık değerleri verilmiştir. Aralıkları belirlemede orta yaş grubu sürücüler dikkate alınarak bisiklete uygulayacakları maksimum ve minimum kuvvetler ortaya çıkartılmıştır. Kadro boru çaplarının alabileceği alt ve üst sınırlar belirlenmiştir.

3. TAGUCHİ DENEY TASARIMI (TAGUCHI EXPERIMENT DESIGN)

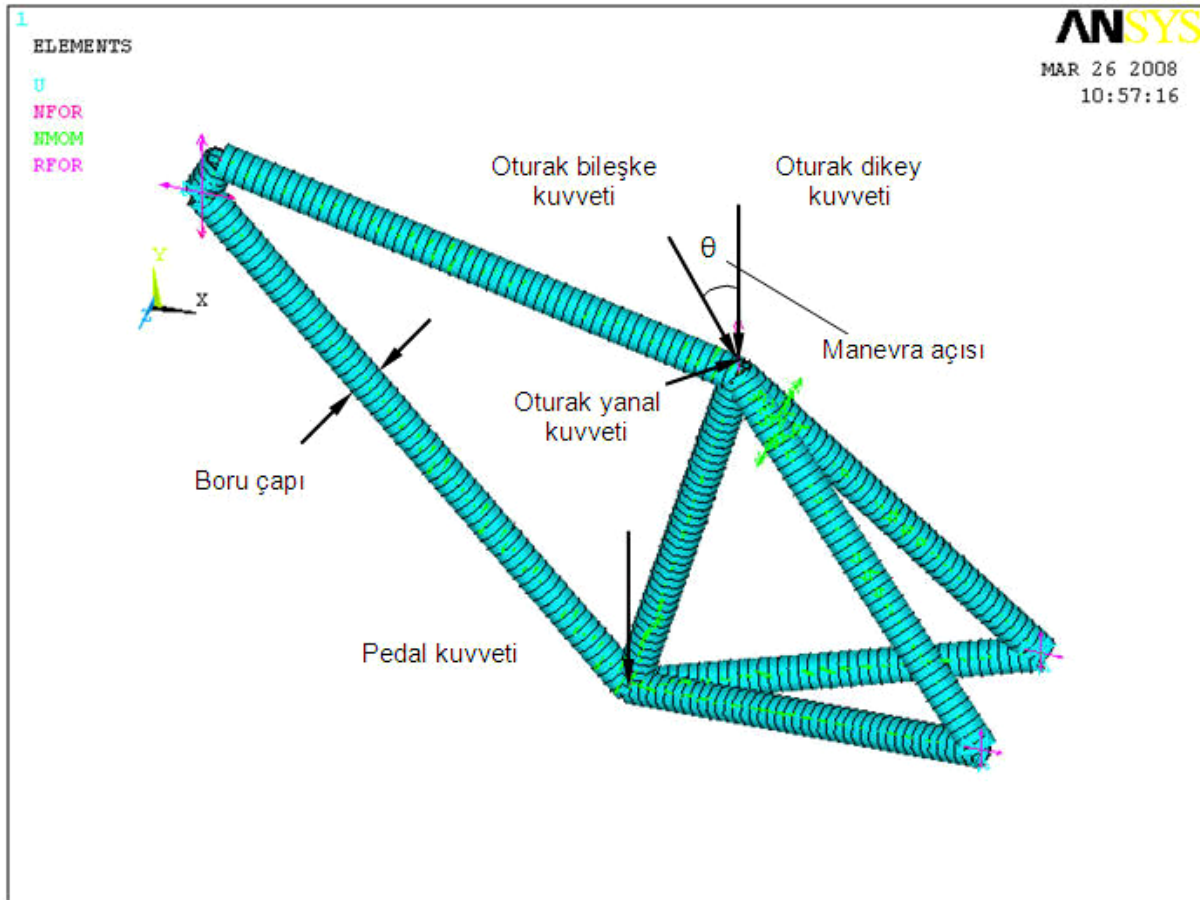
Bisiklet kadrosuna etki eden kontrol parametrelerinin hangi değer aralıklarında daha etkin olduklarını

oldukça az sayıda deney yaparak belirlemek amacıyla Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Belirli bir ürün veya işlem için değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinin en uygun kombinasyonlarını seçerek, ürün veya işlemdeki değişkenliği, belirlenen bir amaç fonksiyon ışığında (En Az En İyi, En Fazla En İyi, Hedef Değer En İyi) en aza indirmeyi amaçlayan bir deneysel tasarım yöntemidir [15, 16].

Tablo 1. Bisiklet kadrosu seçiminde kontrol edilebilen faktörler (Factors affect bicycle frame selection)

Parametreler	Alt sınır	Üst sınır
Boru Çapı (mm)	22	40
Pedal Kuvveti (N)	200	410
Manevra Eğim Açısı (°)	0	45
Oturak Dikey Kuvveti (N)	600	1200

Tablo 1’de alt ve üst sınır değerleri belirlenen parametreler dörder seviyeye ayrılmıştır (Tablo 2). Klasik tam faktöriyel kullanılarak deney yapılması durumunda $4^4=256$ adet deneye ihtiyaç duyulurken, seçilen L16 dikey (orthogonal) dizin (dört parametre ve her parametrede dörder seviye) ile 16 adet deney yapılması yeterli olmaktadır. Dikey dizin, parametreler ve seviyeler arasında dengeyi gözeterek az sayıda deney ile etkin parametre ve seviyelerin belirlenmesini sağlamaktadır [17]. Deneyde kullanılan parametre



Şekil 1. Bisiklet kadrosu ve yüklemeler (Bicycle frame and loads)

Tablo 2. Taguchi deney seviyeleri (Taguchi experiment levels)

Parametreler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
Boru Çapı, mm (A)	22	28	34	40
Pedal Kuvveti, N (B)	200	270	340	410
Manevra Eğim Açısı, ° (C)	0	15	30	45
Oturak Dikey Kuvveti, N (D)	600	800	1000	1200

sayısı dört olduğu için standart L16 tablosundaki deney seviye değerlerini gösteren ilk parametre sütunu boş bırakılmıştır. Dikey dizin ve ilgili parametre ile değer seviyelerinde ANSYS programı yardımıyla yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar Tablo 3’de sunulmaktadır. Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları Sinyal/Gürültü (S/G) oranına dönüştürülerek değerlendirilmeye alınmaktadır. S/G değerleri, bisiklet kadrosuna etkiyen parametreler nedeniyle oluşan gerilmelerin olabildiğince az olması arzu edildiğinden, “En Az En İyi” formülü (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Burada; Y performans karakteristik değeri (gerilme), n ise Y değerlerinin sayısıdır.

$$S/G = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

Deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri arasında en yüksek S/N oranına sahip olan değerler en iyi performansı oluşturur. Ayrıca, varyans analizi (ANOVA) ile hangi işlem üzerinde hangi faktörlerin ne kadar öneme sahip oldukları istatistiksel olarak araştırılır ve en iyi performansı elde edecek kombinasyon belirlenir [18].

Deneylerden elde edilen S/G değerleri ışığında ANOVA tablosu oluşturulmuş ve öne çıkan etkenler

belirlenmiştir. Üç önemli etken; % 38.84 ile boru çapı (A), %32.52 ile manevra eğim açısı (C) ve % 25.19 ile oturak dikey kuvveti (D) olarak yapılan analizde ortaya çıkmıştır (Tablo 4). Pedal kuvvetinin (B) kadroya etkisi diğer parametrelere göre sadece %2.36 olduğundan ileriki hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Şekil 2’de Taguchi deney tasarımı analizi sonucunda parametre seviyelerinin en uygun değerleri ile elde edilen kombinasyon ve ANSYS modeli ile ilgili seviyelerde elde edilen gerilme değeri verilmiştir. En yüksek S/G değerleri A4-B2-C1-D1 olarak belirlenmiştir. Bu S/G değerlerine karşılık gelen bisiklet kadro gerilme değerleri de ilgili tabloda en düşük gerilme değerleri olarak karşımıza çıkmaktadır. İlgili kombinasyon seviye değerlerine göre ANSYS ile yapılan ek deney neticesinde gerilme değeri 4.51 MPa olarak en küçük gerilme değeri elde edilmiştir (Tablo 5).

4. BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC)

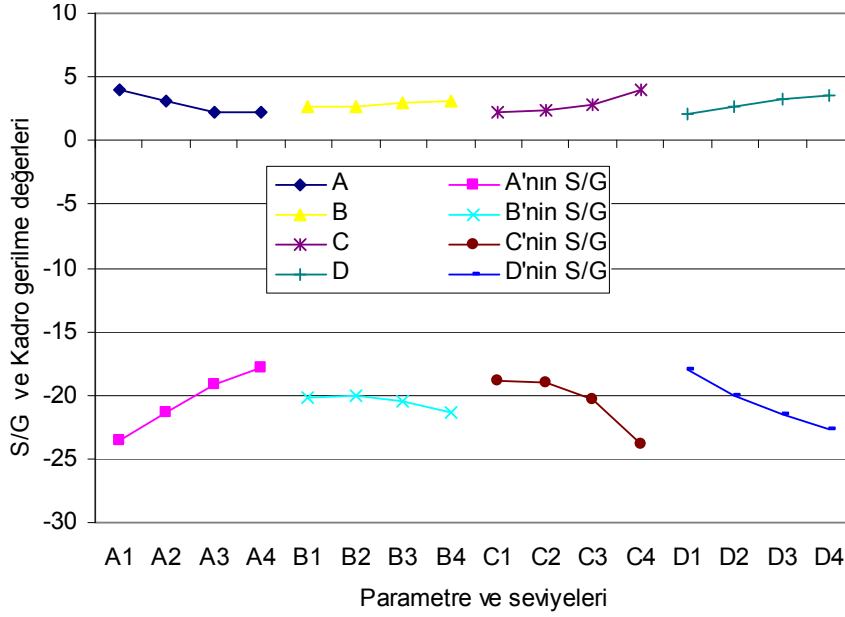
Bulanık mantık, dilsel ifadeleri kurallar ve üyelik fonksiyonları yardımıyla kural tabanına çeviren bir bilgi tabanlı sistemdir [19, 20]. Bir BM modelinin oluşturulması, girdi ve çıktı dilsel değişkenlerin tanımlanması ve bulanık kuralların şekillendirilmesi ile başlar [21, 22]. Dilsel değişkenlerin ifadelerinde kullanılan bulanık sayılar üçgensel, yamuk, çan şekilli, kıvrık gibi farklı biçimlerde olabilir. Uzman bilgisinin sunulmasındaki kolaylık, hesaplama işlemi oldukça

Tablo 3. L16 Taguchi deney tasarımı (Taguchi experiment design)

Deney No	Boru Çapı, mm (A)	Pedal Kuvveti, N (B)	Manevra Eğim Açısı, ° (C)	Oturak Dikey Kuvveti, N (D)	Maksimum Gerilme (Mpa)	S/G Değeri	
1	1	22	200	0.0	600	9.10	-19.181
2	1	28	270	15.0	800	8.96	-19.046
3	1	34	340	30.0	1000	10.39	-20.332
4	1	40	410	45.0	1200	16.48	-24.339
5	2	22	270	30.0	1200	18.31	-25.254
6	2	28	200	45.0	1000	18.95	-25.552
7	2	34	410	0.0	800	8.00	-18.062
8	2	40	340	15.0	600	4.96	-13.910
9	3	22	340	45.0	800	19.39	-25.752
10	3	28	410	30.0	600	8.84	-18.929
11	3	34	200	15.0	1200	8.67	-18.760
12	3	40	270	0.0	1000	6.38	-16.096
13	4	22	410	15.0	1000	16.32	-24.254
14	4	28	340	0.0	1200	12.77	-22.124
15	4	34	270	45.0	600	9.68	-19.718
16	4	40	200	30.0	800	7.08	-17.001

Tablo 4. Bisiklet kadrosuna için ANOVA tablosu (ANOVA table for bicycle frame)

Parametreler (Etkenler)	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F Değeri	Yüzdellik katkı
Boru Çapı, mm (A)	3	76.97	25.66	35.6389	% 38.84
Pedal Kuvveti, N (B)	3	4.67	1.56	2.1667	% 2.36
Manevra Eğim Açısı, ° (C)	3	64.45	21.48	29.8333	% 32.52
Oturak Dikey Kuvveti, N (D)	3	49.92	16.64	23.1111	% 25.19
Hata	3	2.16	0.72		% 1.09
Toplam	15	198.17			%100.00

**Şekil 2.** S/G ve bisiklet kadrosu gerilme değerleri (S/N and stress values for bicycle frame)**Tablo 5.** Taguchi deney tasarımı analizi sonucunda elde edilen en uygun kombinasyon (The most optimum combination obtained by Taguchi experiment design)

Boru Çapı, mm (A4)	Pedal Kuvveti, N (B2)	Manevra Eğim Açısı, ° (C1)	Oturak Dikey Kuvveti, N (D1)	Gerilme (MPa)	S/G Değeri
40	270	0	600	4.51	-13.084

basitleştirmesi nedenleriyle üçgensel ve yamuk şekilli üyelik fonksiyonlarının kullanılması tercih edilmektedir [23, 24]. Özellikle üçgensel şekil bir bulanık ortamda değişkenlerin ifadesi ve bilgi işlemeye sağladığı kolaylıklardan dolayı önerilmektedir [14].

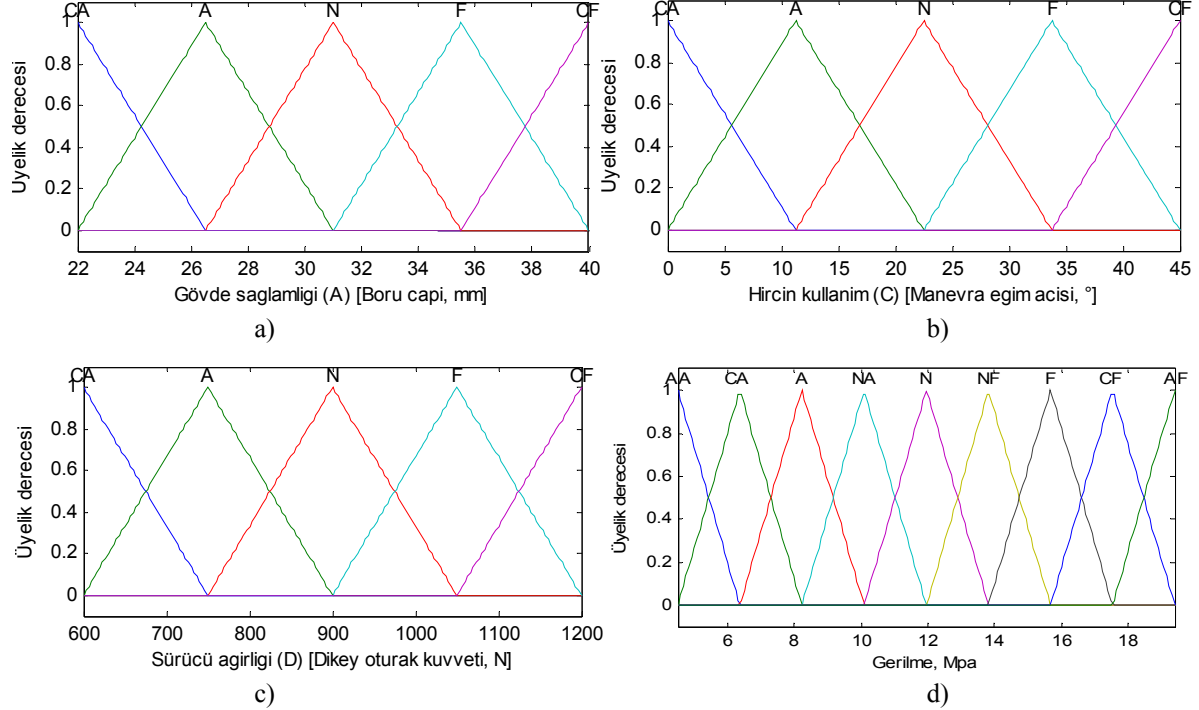
Bisiklet kadrosuna etki eden her bir faktör bulanık mantık için bir giriş değişkeni olarak değerlendirilir. Taguchi deney tasarımıyla belirlenen faktörler A, C ve D parametreleri giriş değişkenlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Müşteriden boru çapı, manevra eğim açısı ve uygulanan kuvvet gibi teknik terimler sorularak istenen giriş değişkenleri bilgilerinin yerine, müşteri tarafından daha anlaşılır dilsel ifadelerle sorular sorularak ilgili girdi değerleri belirlenmiştir. Bunlar, boru çapı yerine "Gövde Sağlamlığı", manevra eğim açısı yerine "Hırçım Kullanım" ve dikey oturak kuvveti yerine "Sürücü Ağırlığı"dır. Her bir giriş değişkeni beş adet değer aralığına eşit olarak bölünmüştür. Bunlar, CA (çok az), A (az), N

(normal), F (fazla), CF (çok fazla) dır. Çıkış değişkeni dokuz eşit aralığa ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla AA (aşırı az), CA (çok az), A (az), NA (normalden az), N (normal), NF (normalden fazla), F (fazla), CF (çok fazla), AF (aşırı fazla) şeklindedir. Oluşturulan bulanık sistemde üyelik fonksiyon tipi ilk etapta üçgensel olarak belirlenmiştir. Giriş değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri aynen kalırken, çıkış değişkeninin alt değeri deneyler sonucu bulduğumuz değerlerin en düşüğü, üst değeri de en yükseği kabul edilmiştir (Tablo 6). Tablo 6'ya göre giriş ve çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyon grafikleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

Bulanık sistemin başlatılması için gerekli olan kurallar Taguchi deney sonuçları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Üç adet beşer seviye giriş değişkeni için, bisiklet kadrosu tercihi belirlemede toplam 125 adet kural oluşturulmuştur. Aşağıda bu kurallardan bazıları verilmiştir.

Tablo 6. Giriş ve çıkış dilsel değişkenleri ve aralıkları (Input and output linguistic variables and their levels)

Giriş Değişkenleri	Alt	Üst	Üyelik Fonksiyonu	Değer Aralıkları								
Gövde Sağlamlığı (A)	22	40	Üçgensel	CA	A	N	F	CF				
Hırçın Kullanım (C)	0	45	Üçgensel	CA	A	N	F	CF				
Sürücü Ağırlığı (D)	600	1200	Üçgensel	CA	A	N	F	CF				
Çıkış Değişkenleri												
Gerilme (MPa)	4.51	19.39	Üçgensel	AA	CA	A	NA	N	NF	F	CF	AF

**Şekil 3.** Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları (Gövde sağlamlığı a), Hırçın kullanım b), Sürücü ağırlığı c) ve Gerilme d)) (Input and output membership functions (Body rigidity (a), Aggressive usage (b), Biker weight (c) and Stress (d)))

Kural No.8: EĞER Gövde Sağlamlığı *çok az* VE Hırçın Kullanım *az* VE Sürücü Ağırlığı *normal* İSE Gerilme *normalden fazladır*.

Kural No. 106: EĞER Gövde Sağlamlığı *çok fazla* VE Hırçın Kullanım *az* VE Sürücü Ağırlığı *çok az* İSE Gerilme *aşırı azdır*.

Kural No.30: EĞER Gövde Sağlamlığı *az* VE Hırçın Kullanım *çok az* VE Sürücü Ağırlığı *çok fazla* İSE Gerilme *normaldir*.

Kural No. 107: EĞER Gövde Sağlamlığı *çok fazla* VE Hırçın Kullanım *az* VE Sürücü Ağırlığı *az* İSE Gerilme *aşırı azdır*.

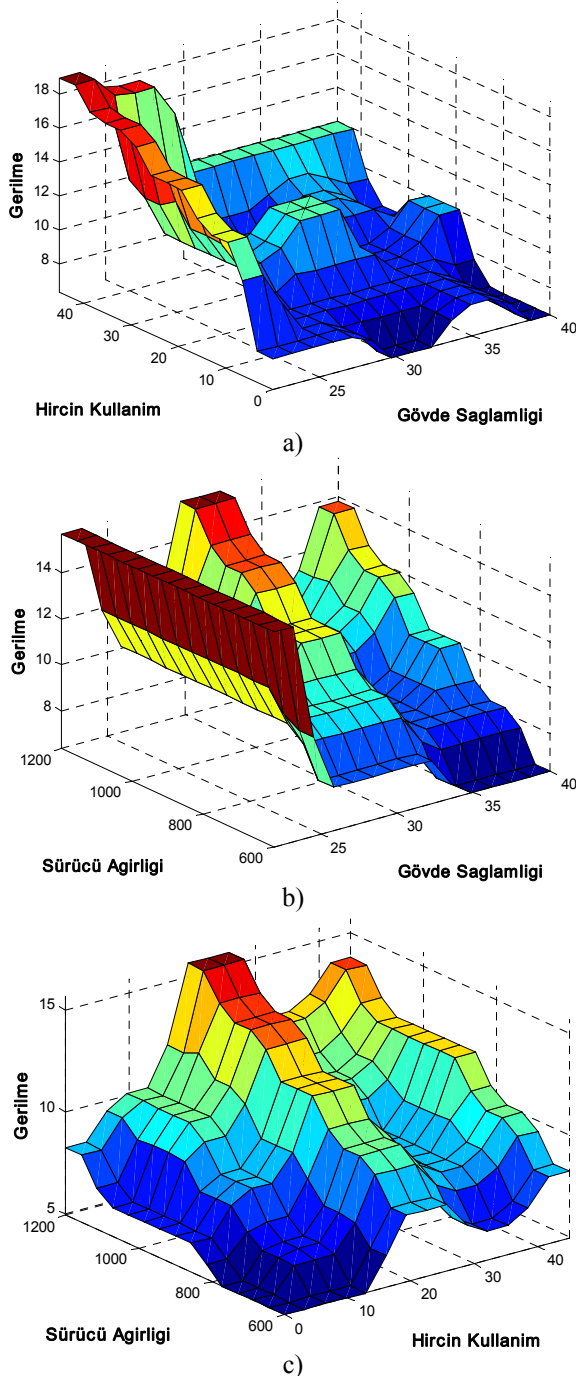
Kural No.45: EĞER Gövde Sağlamlığı *az* VE Hırçın Kullanım *fazla* VE Sürücü Ağırlığı *çok fazla* İSE Gerilme *normaldir*.

Kural No.68: EĞER Gövde Sağlamlığı *normal* VE Hırçın Kullanım *fazla* VE Sürücü Ağırlığı *fazla* İSE Gerilme *azdır*.

Kural No.96: EĞER Gövde Sağlamlığı *fazla* VE Hırçın Kullanım *çok fazla* VE Sürücü Ağırlığı *çok az* İSE Gerilme *normalden azdır*.

Kural No.120: EĞER Gövde Sağlamlığı *çok fazla* VE Hırçın Kullanım *fazla* VE Sürücü Ağırlığı *çok fazla* İSE Gerilme *normalden azdır*.

Bulanık sistemde çıkış değişkenini durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanılmıştır [25]. Üç adet giriş değişkeni sisteme dilsel ifade olarak girilmiş, Mamdani çıkarım mekanizması ile kurullar çalıştırılmış, çıkış üyelik fonksiyon değerleri bulunmuştur. Bulanık mantık sisteminin karakteristik yüzeyleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4a'da hırçın kullanımın artmasıyla gerilme değeri artmakta, gövde sağlamlığı (boru çapı) arttıkça bisiklet kadrosunda oluşan gerilme azaldığı görülmektedir. Bisiklet kadrosunda artan sürücü ağırlığı nedeniyle artan gerilme izlenmektedir. Buna karşın artan sürücü ağırlığına paralel olarak artan gövde sağlamlığı gerilme üzerinde doğru orantılı bir artışa sebep olmaktadır (Şekil 4b). Artan sürücü ağırlığı ve artan hırçın kullanım, gerilme (birim alana yapılan yükleme) üzerinde artan bir eğilim oluşturmaktadır (Şekil 4c).



Şekil 4. Bulanık sistemin karakteristik yüzeyleri (Fuzzy system surface characteristics)

Bulanık sistem yamuk üyelik fonksiyonları kullanılarak ANSYS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Üçgen ve Yamuk üyelik fonksiyonları ile karşılaştırmaları ve bağıl hatalar Tablo 7’de verilmiştir. ANSYS analiz sonuçları ile üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar grafik üzerinde gösterilmiştir. Açıkça görüldüğü gibi yamuk üyelik fonksiyonu ile elde edilen sonuçlar ANSYS analiz sonuçlarına daha yakın çıkmıştır (Şekil 5).

5. DOĞRULAMA DENEYİ VE EMNİYET KATSAYISI (VERIFICATION TEST AND SAFETY FACTOR)

Oluşturulan bulanık mantık modelini test etmek amacıyla iki adet doğrulama deneyi yapılmıştır (Tablo 8). Test Deney No. 1 ve 2’de, sistemin maksimum gerilmeleri bulanık mantık ile sırasıyla 12.40 ve 8.12 MPa olarak bulunmuştur. ANSYS’de analiz yapılırken ilgili pedal kuvveti de hesaplamalara katılmıştır. Oluşturulan bulanık mantık modelinin sonucu, pedal kuvveti dikkate alınmış ANSYS sonucu ile karşılaştırılmış ve bisiklet kadrosunun malzeme çap boyutları ve yüklemeler altındaki davranışını % 90.05’lik bir başarı ile bulduğunu ortaya koymuştur.

Test Deney No. 1 için, dört üyelik fonksiyonu ve çalışan kurallar (kural 94 ve kural 99) Şekil 6’de görülmektedir. İlgili dilsel ifadeler karşılık gelen, gövde sağlamlığı (A) 36, hırcın kullanım (C) 40 ve sürücü ağırlığı (D) 1100 neticesinde, durulaştırılmış çıkış değişkeni (gerilme) değeri 12.4 MPa olarak bulunmuştur. Daha önce ifade edildiği gibi durulaştırmada ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanılmıştır [25]. ANSYS teorik hesaplama sonucunda gerilme değeri 13.94 MPa’dır (Şekil 7).

Seçilen alüminyum alaşımın özelliklerine göre akma gerilmesi daha önce ifade edildiği gibi 125 MPa’dır. Bu durumda sistemin emniyet katsayısı (2) nolu formül ile 10.08 olarak hesaplanmıştır.

$$E.K. = \frac{\text{Malzemenin Akma Gerilmesi}}{\text{Sistemin Maksimum Gerilmesi}} \quad (2)$$

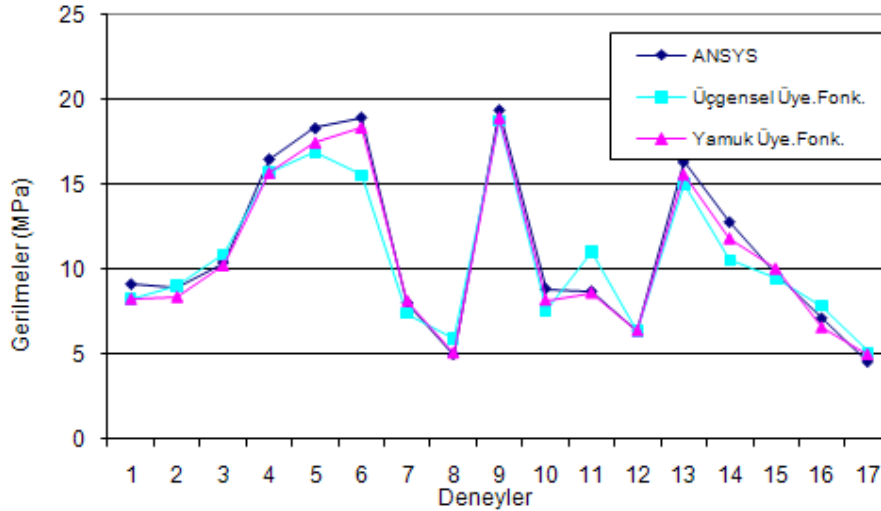
Çalışmada emniyet faktörünün (katsayısının) alt sınırı 5 ve üst sınırı 15 olarak kabul edilerek, beş adet dilsel sağlamlık ifadesi ile bisiklet kadrosunun durumu müşteriye ifade edilmiştir. İlgili dilsel sağlamlık ifadeleri simgesel olup, müşteriye sunulan S (Sağlam) karakterinin sayısı arttıkça sağlamlık durumunun artışı ifade etmektedir. Tablo 9’da oluşturulan bulanık sistemin çıkış değişkeninin (gerilme) aralık değerleri ve bunlara karşı gelen sağlamlık durumunu ifade eden S’ler verilmiştir. Burada gerilme değerlerinin azalması (örnek: AA) durumunda, sağlamlık değerleri (örnek: SSSSS) artmaktadır. İlgili değerler arasında zıt orantı mevcuttur. Müşteri bütün bu işlemlere “Kendin Yap: Bisiklet Kadrosu” arayüzünü kullanarak ulaşabilmektedir (Şekil 8).

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Müşterilerin ilgili ürün hakkında yeterli alan bilgisine sahip olmasındaki zorluk nedeniyle, gereksinimlerini dilsel ifadelerle belirtmeleri nedeniyle karar verme sürecinde müşteriye yardım edecek, yön verecek yardımcı bir mekanizmaya ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili ürün için giriş ve çıkış parametreleri arasındaki

Tablo 7. Bulanık mantık karşılaştırma tablosu (Fuzzy logic comparison table)

ANSYS	Sonuçlar (MPa)		Bağlı Hatalar (%)	
	Üçgensel Üyelik Fonksiyonu	Yamuk Üyelik Fonksiyonu	Üçgensel Üyelik Fonksiyonu	Yamuk Üyelik Fonksiyonu
9.10	8.23	8.23	9.56	9.56
8.96	9.00	8.35	0.42	6.77
10.39	10.85	10.20	4.47	1.83
16.48	15.67	15.67	4.92	4.92
18.31	16.85	17.46	7.96	4.65
18.95	15.52	18.35	18.08	3.19
8.00	7.40	8.12	7.49	1.56
4.96	5.91	5.06	19.08	1.95
19.39	18.76	18.94	3.26	2.33
8.84	7.56	8.17	14.53	7.62
8.67	11.02	8.59	27.10	0.88
6.38	6.37	6.37	0.16	0.16
16.32	15.00	15.59	8.10	4.45
12.77	10.52	11.81	17.61	7.55
9.68	9.42	10.02	2.72	3.52
7.08	7.84	6.56	10.68	7.37
4.51	5.08	4.96	12.69	9.94
	Ortalama Bağlı Hata (%)		9.76	4.27

**Şekil 5.** Bulanık mantık ve sonlu elemanlar analiz sonuçlarının karşılaştırması (Comparison of fuzzy logic and finite element analysis results)

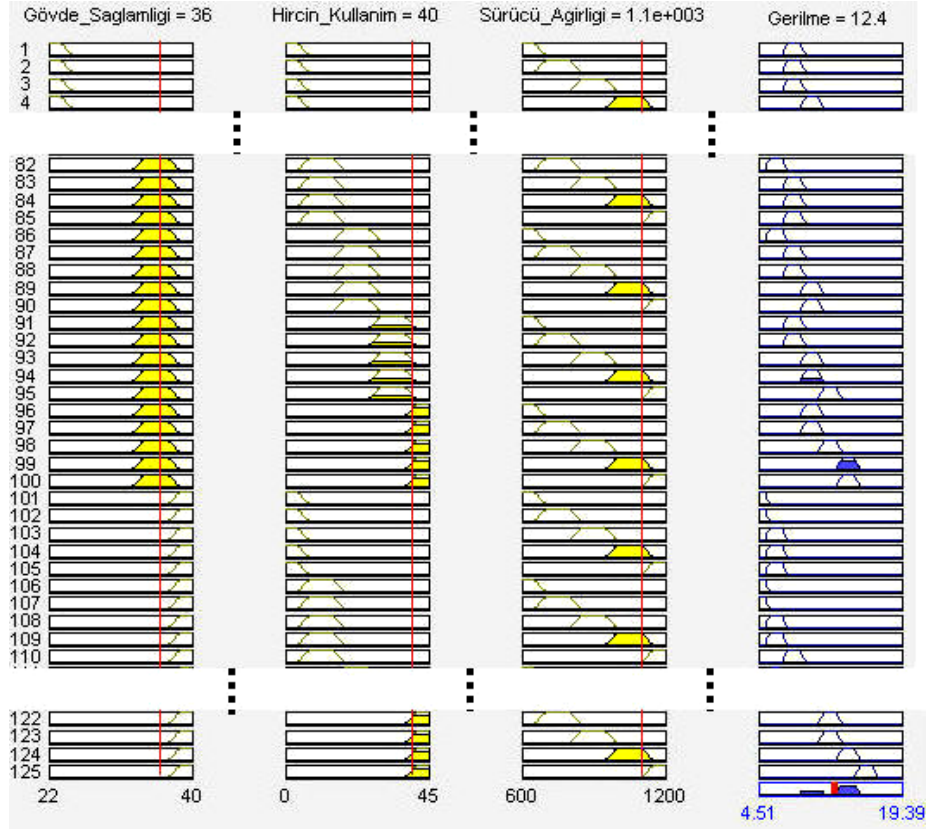
ilişkiyi kuracak bir sistematik modelin oluşturulması gereklidir. Bu çalışmada, Son Montaja Müşteri Müdahalesi (SMMM) kavramı kapsamında ele alınan müşteri istemli bisiklet kadrosunun belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda;

- Bisiklet kadrosuna etki eden kuvvetler ve aralıkları belirlendikten sonra Taguchi deney tasarımı

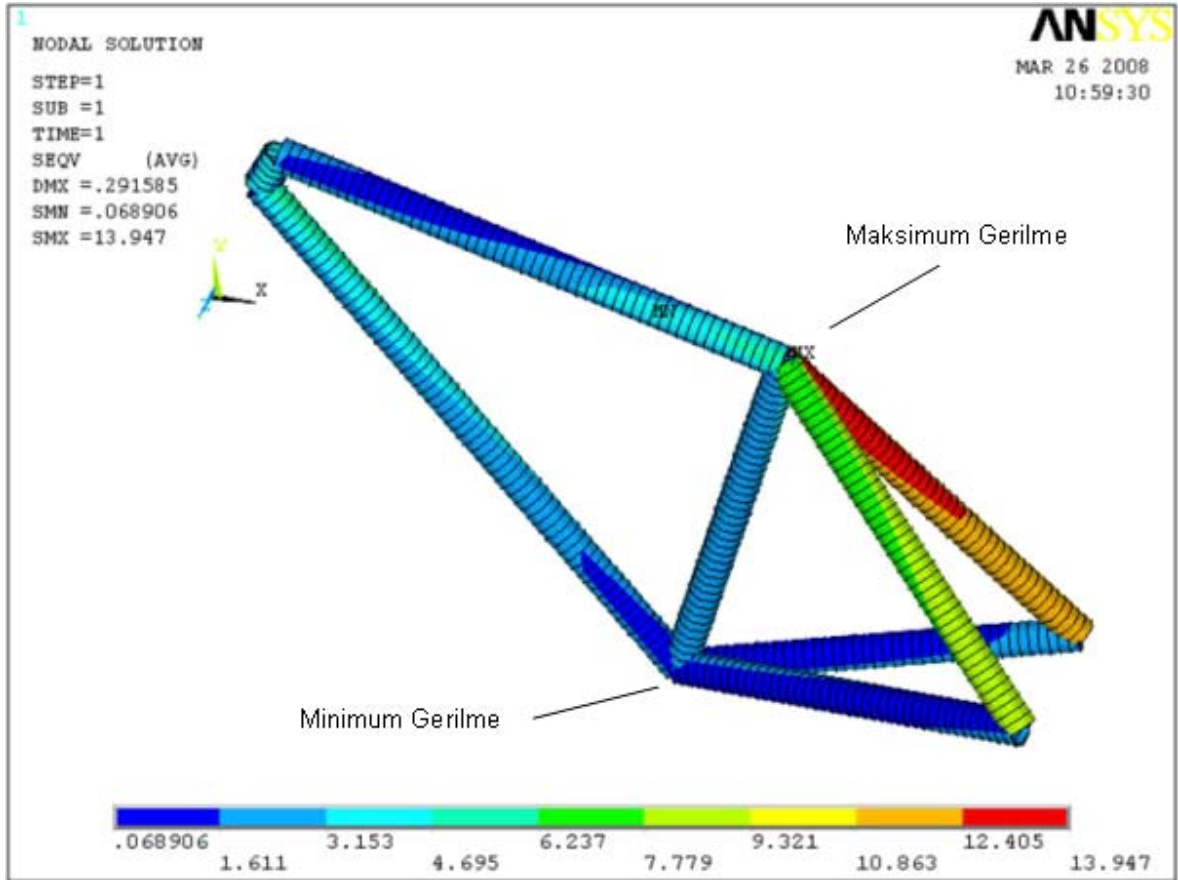
(L16 dikey dizin) kullanılarak sistemin karakteristik yapısı ve hangi etkenin hangi yüzdelerle etki ettikleri ortaya çıkartılmıştır. Bu etkenler, % 38.84 ile boru çapı (A), %32.52 ile manevra eğim açısı (C) ve % 25.19 ile oturak dikey kuvveti (D) dir. Pedal kuvvetinin (B) kadroya etkisi diğer parametrelere göre sadece %2.36 olduğundan ileriki hesaplamalarda dikkate alınmamıştır.

Tablo 8. Test deneyleri (Test experiments)

Test Deney No	Boru çapı, mm (A)	Manevra Eğim Açısı, ° (C)	Oturak Dikey Kuvveti, N (D)	ANSYS (MPa)	Bulanık Model (MPa)	Bağlı Hata (%)
1	36	40	1100	13.94	12.40	11.05
2	37	35	700	7.46	8.12	8.85
Bağlı Hata (%)						9.95



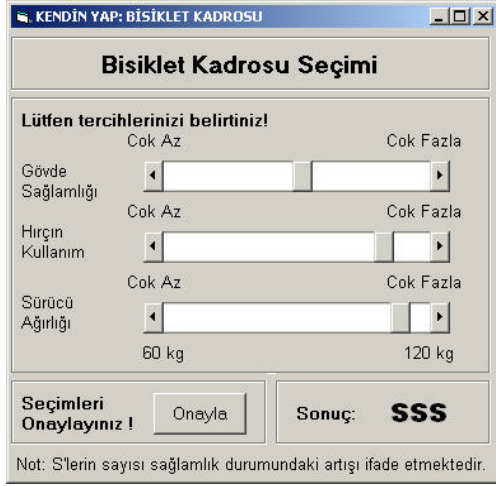
Şekil 6. Bulanık mantık kural sisteminde çalışan kurallar (Fired rules in fuzzy logic rule base)



Şekil 7. ANSYS deney sonucu (ANSYS experiment result)

Tablo 9. Gerilme ve emniyet katsayısı (sağlamlık durumu) dilsel aralıkları (Stress and safety factor (rigidity status) linguistic levels)

Dilsel Aralıklar									
Gerilme	AA	CA	A	NA	N	NF	F	CF	AF
Sağlamlık	SSSSS	SSSSS	SSSS	SSS	SSS	SSS	SS	S	S


Şekil 8. Kullanıcı arayüzü (User interface)

- Müşterinin gereksinime dönük girdi ve çıktı dilsel ifadelerin kullanıldığı Bulanık Mantık sistemi için, giriş değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri aynen kalırken, çıkış değişkeninin alt değeri Taguchi deneyleri sonucu bulduğumuz değerlerin en düşüğü, üst değeri de en yükseği kabul edilerek üçgensel üyelik fonksiyonlu bulanık sistem modellenmiştir.
- Üçgensel ve Yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmış, oluşturulan ANSYS teorik modelinden elde edilen sonuçlara göre üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonları sırasıyla 9.76 ve 4.27 bağıl hataları belirlenmiştir.
- Oluşturulan sistemin doğrulaması amacıyla yapılan iki deney neticesinde, yamuk üyelik fonksiyonlu bulanık mantık sistemi ortalama % 90.05'lik bir başarı oranı elde etmiştir.
- Bulanık sistem modelinden elde edilen çıktı (gerilme) dilsel değişkenleri ilgili dilsel sağlamlık ifadelerine dönüştürülerek, müşterinin ilgili giriş dilsel değişkenlerine karşılık gelen bisiklet kadrosu hakkındaki sağlamlık durumu (emniyet katsayısı) sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ho, J-W. ve Huang, Y-S., "A Study on Customer Involvement in Final Assembly for DIY Products", **Computers & Industrial Engineering**, Cilt 56, No. 1, 19-27., 2008.
2. Yelland, F., ve Varty, C., "DIY: Consumer-Driven Research", **Journal of the Market Research Society**, Cilt 39, No. 2, 297-315, 1997.
3. Song, J. H., ve Adams, C. R., "Differentiation through Customer Involvement in Production or

Delivery", **Journal of Consumer Marketing**, Cilt 10, No. 2, 4-12, 1993.

4. Kurniawan, S. H., Zhang, M., Tseng, M. M., "Connecting Customers in Axiomatic Design", **Proceedings of ICAD2004, The Third International Conference on Axiomatic Design**, Seoul, June 21-24, 2004.
5. Khoo, L.P., Chen, C.H. ve Yan, W., "An Investigation on a Prototype Customer-Oriented Information System for Product Concept Development", **Computers in Industry**, Cilt 49, 157-174, 2002.
6. Huang, G.Q., Mak, K.L. ve Humphreys, P.K., "A New Model of the Customer-Supplier Partnership in New Product Development", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 138, 301-305, 2003.
7. Finch, B.J., "Internet Discussions as a Source for Consumer Product Customer Involvement and Quality Information: an Exploratory Study", **Journal of Operations Management**, Cilt 17, 535-556, 1999.
8. Chen, C-H. ve Yan, W., "An In-Process Customer Utility Prediction System for Product Conceptualisation", **Expert Systems with Applications**, Cilt 34, 2555-2567, 2008.
9. Walter, A., "Relationship-Specific Factors Influencing Supplier Involvement in Customer New Product Development", **Journal of Business Research**, Cilt 56, 721- 733, 2003.
10. Pappas J.M. ve Flaherty K.E., "The Effect of Trust on Customer Contact Personnel Strategic Behavior and Sales Performance in a Service Environment", **Journal of Business Research**, Cilt 61, No. 9, 894-902, 2008.
11. Humphreys, P., Huang, G., Caddena, T. ve McIvor, R., "Integrating Design Metrics within the Early Supplier Selection Process", **Journal of Purchasing & Supply Management**, Cilt 13, 42-52, 2007.
12. Popov, P.E., **Mukavemet Katı Cisimlerin Mekanikine Giriş**, Çeviri: Demiray, H., Çağlayan Kitabevi, İstanbul, İkinci Baskı, 1990.
13. Spiegel, L. ve Limbrunner, G.F., **Applied Statics and Strength of Materials**, Prentice Hall, Third Edition, Ohio, USA, 1991.
14. Gologlu, C. ve Mizrak, C., "An Integrated Fuzzy Logic Approach to Customer Oriented Product Design", **Journal of Engineering Design**, doi: 10.1080/09544820903032519, 2009.
15. Taguchi, G., Elsayed, E., Hsiang, T., **Quality Engineering in Production Systems**, McGraw-Hill, New York, USA 1989

16. Canıyılmaz, E. ve Kutay, F., "Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 18, No 3, 51-63, 2003.
17. Gologlu, C. ve Sakarya, N., "The Effects of Cutter Path Strategies on Surface Roughness of Pocket Milling of 1.2738 Steel Based on Taguchi Method", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 206, No. 1-3, 7-15, 2008.
18. Taguchi, G., Chowdhury, S. ve Wu, Y., **Taguchi's Quality Engineering Handbook**, Wiley-Interscience, New Jersey, USA, 2004.
19. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, E., **Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları - I: Yapay Sinir Ağları**, Ufuk Yayıncılık, Kayseri, 2003.
20. Şen, Z., **Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modellenme Prensipleri**, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2004.
21. Zadeh, Z.A., 1965. "Fuzzy sets", **Information and Control**, Cilt 8, No. 3, 338-353.
22. Zimmermann, H.J., **Fuzzy set theory and its applications**, 3rd ed. Boston, MA: Kluwer, 1996.
23. Klir, G.R. and Yuan, B., 1995. **Fuzzy sets and fuzzy logic theory and applications**. New York: Prentice-Hall.
24. Shehab, E.M. and Abdalla, H.S., "Manufacturing cost modeling for product development", **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Cilt 17, No. 4, 341-353, 2001.
25. Cox, E., **The Fuzzy Systems Handbook**, AP Professional, Second Edition, New York, USA, 1999.

