

Bulanık aksiyomlarla tasarıma dayalı otomobil göstergesi tasarımı

Selçuk ÇEBİ*, Cengiz KAHRAMAN

İTÜ İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34365, Maçka, İstanbul

Özet

Aksiyomlarla Tasarım (AT) yöntemi, tasarım süreçleri için bilimsel ve sistematik bir temel oluşturmak amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntem “bağımsızlık aksiyomu” ve “bilgi aksiyomu” olmak üzere iki aksiyom içerir. Yöntemin ana amacı; tasarımcıları daha yaratıcı yapmak, rastsal tasarıma süreçlerini azaltmak, deneme yanılma süreçlerini minimize etmek ve en iyi tasarımın seçimine yardımcı olmaktır. Yöntem, literatürde ürün tasarımından sistem tasarımına kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada, tasarım aksiyomlarının bulanıklaştırılarak uygulama alanlarının genişletilmesi hedeflenmiştir. Bağımsızlık aksiyomunun bulanıklaştırılması tasarım matrisindeki zayıf ve güçlü ilişkilerin dikkate alınmasına, farklı tasarım parametreleriyle oluşturulan tasarımlardan iyi olanının seçimine ve tasarım parametrelerinin önem derecelerinin belirlenmesine yardımcı olur. Çalışmada ayrıca, sadece seçim amaçlı kullanılan bilgi aksiyomu, çeşitli karar verme problemlerinin çözümünü içerecek şekilde geliştirilmiştir. Karar verme problemleri, beklenen değer, kesin değer ve sıralama problemleri olarak çeşitli sınıflara ayrılmış ve bilgi aksiyomunun kullanımı için problem türlerine göre fonksiyonel gereksinim tanımları yapılmıştır. Böylece, geliştirilen bilgi aksiyomu, karar vericinin beklentisini dikkate alan ve çeşitli karar problemlerine uygulanabilen etkin bir karar verme aracı haline dönüştürülmüştür. Ayrıca yöntem, aynı problemde yer alan rasyonel değerlendirmeleri de dikkate alarak çözüm sunabilecek şekilde geliştirilmiştir. Bir diğer iyileştirme ise; sadece kıyaslama aracı olarak kullanılan tasarıma ait bilgi içeriği değeri çalışma kapsamında geliştirilerek tasarıma ait başarı oranı tanımı yapılmasıdır. Geliştirilen yöntem binek otomobiller için gösterge tasarımına uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aksiyomlarla tasarım, bulanık mantık, gösterge tasarımı.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Selçuk ÇEBİ. cebis@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 1300 / 2746.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Aksiyomlarla Tasarım Esaslı Karar Destek Sistemi Geliştirme ve Bir Uygulama" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 05.04.2010 tarihinde dergiye ulaşılmış, 27.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye “Çebi, S., Kahraman, C., (2011) ‘Bulanık aksiyomlarla tasarıma dayalı otomobil göstergesi tasarımı’, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 2, 27-38” şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Display design of passenger cars based on fuzzy axiomatic design

Extended abstract

Axiomatic Design (AD) has been proposed as a scientific and systematic basis providing structures to design processes for engineers. The primary goal of axiomatic design is to make designers more creative, to reduce the random search process, to minimize the iterative trial-and-error process, and to determine the best designs among the proposed designs. The essence of the axiomatic design involves a continuous interplay between what designers/customers want to achieve and how they want to achieve it.

The axiomatic approach uses two axioms named as “independence axiom” and “information axiom” to improve a design. The first axiom, independence axiom, states that the independence of functional requirements (FRs) must always be maintained, where FRs are defined as the minimum set of independent requirements that characterizes the design goals. Then, the second axiom, information axiom, states that the design having the smallest information content is the best design among those designs that satisfy the independence axiom (Suh, 2001).

Axiomatic design methodology has been applied to various application areas since it was proposed to literature. Some successful applications of AD methodology are as follows: Software Design, System Design, Manufacturing System Design, and Product Design. Besides of these application studies, there are some other studies including theoretical developments in the literature.

In the scope of this study, following contributions are presented;

The first contribution of the study is that the relation between functional requirements and design parameters in the independence axiom has been defined by the degree of the relation. However, in the conventional axiomatic design, the relation between functional requirements and design parameters is symbolized by 0 or 1 such that 1 represents a relation and 0 represents no relation. Therefore, the conventional axiomatic design methodology does not take into consideration the weak relations or the design is accepted as coupled design because of weak relations. The grading of the relations helps designers to

recognize design problems caused by weak relations since the developed methodology can take into consideration even weak relations. Hence, it is easily determined whether a design works properly. Moreover, the importances of the design parameters are put forward by using the developed independence axiom. Thus, the design parameters which mostly satisfy functional requirements are determined. Furthermore, the quality of a design is defined by the functional independences and dependences belonging to design matrix. Thus, the comparison of the design matrices which consist of different design parameters can be done.

The second contribution of the study is that the fuzzy information axiom has been improved to be used for the solution of all types of multicriteria decision making problems. In this perspective, multicriteria decision making problems have been classified as exact value problems, expect value problems, and ranking problems. The definition of functional requirements has been also defined based on the problem types. Hence, the developed information axiom has been used as an effective decision making tool which takes into consideration decision makers' expectations and can be used for the solution of all multicriteria decision making problems. Moreover, the information axiom has been developed to present a solution for the crisp evaluation symbolized by a real number. Furthermore, the definition of design satisfaction ratio has been proposed based on information content to explain the satisfaction level of a design while information content values obtained from information axiom have been used only as a comparison and selection tool.

The third contribution of the study is that the proposed algorithm is applied to display design of passenger cars in terms of ergonomics issues. In the application, the design parameters for display design are determined and importances of the design parameters are defined. Moreover, the characteristics for display design have been presented for Turkish people by a test study.

As a further aspect, the scope of the developed algorithm can be extended by using importances of the design parameters to optimize design dimensions. For instance, control buttons and air passages on the center of the dashboard can be evaluated based on their locations.

Keywords: Axiomatic design, fuzzy logic, display design.

Giriş

Aksiyomlarla Tasarım (AT) yöntemi son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve iki aksiyomdan oluşan bir tasarım aracıdır. AT, tasarım süreçlerini iyileştirmek amacıyla Suh (1990) tarafından önerilen bilimsel bir yöntemdir.

AT yaklaşımında bütün tasarımlar için dört farklı bilgi sahası tanımlanmıştır ve her bilgi sahası farklı tasarım elemanlarını içerir. Bunlar; (i) müşteri bilgi sahası, (ii) fonksiyonel bilgi sahası, (iii) fiziksel bilgi sahası ve (iv) süreç bilgi sahasıdır. Müşteri ihtiyaçları, müşteri alanında ortaya konulur ve sonrasında fonksiyonel alanda formüle edilir. Fonksiyonel alanda, çözüm için giderilmesi gereken ve birbirlerinden bağımsız olan fonksiyonel gereksinimler (Functional Requirements: FRs) seti tanımlanır. Tasarım, “ne yapmak istiyoruz?” sorusunu ortaya koyan fonksiyonel alan ile “bunu nasıl başarabiliriz?” sorusunu soran ve tasarım parametrelerinden oluşan fiziksel alan arasındaki ilişkilerin planlanması sürecinden oluşmaktadır. Tasarım parametreleri (Design Parameters: DPs) ise süreç alanındaki süreç değişkenleri (Process Variables: PVs) ile ilişkilendirilir. Burada “ne” sorusu ile “nasıl” sorusuna geçişler haritalandırma olarak tanımlanmaktadır (Suh, 2001; Kulak, 2003).

Aksiyomlarla Tasarım yönteminde tasarımın uygunluğunu ölçen bağımsızlık ve bilgi aksiyomu olmak üzere iki aksiyom vardır (Suh, 1990); (i) Bağımsızlık aksiyomu fonksiyonel gereksinimler kümesinin bağımsızlığının sağlanmasını gerekli kılar. (ii) Bilgi Aksiyomu, tasarımın bilgi içeriğinin en aza indirilmesini gerekli kılar. Bilgi aksiyomu, bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarımlardan en iyisinin seçimi için sunulan bir yöntemdir (Suh, 1990; 2001).

Klasik AT yönteminde fonksiyonel gereksinimlerle tasarım parametreleri arasındaki ilişki, ilişki var, ilişki yok şeklinde tanımlanmaktadır. Bazen tasarım parametreleri ile fonksiyonel gereksinimler arasında zayıf ilişkiler olabilmektedir. İlişki matrisi, ilişki var / ilişki yok şeklinde değerlendirildiğinde zayıf ilişkiler, tasarımı bağlı ya da ayrılmış tasarıma dönüştürmektedir (Su

vd., 2003). Bir tasarımın bağlı ya da ayrılmış tasarıma yüklenen toleranslarla ilişkilidir (Suh, 1990). Bu nedenle endüstride mevcut olan ve çalışan bir tasarım AT yöntemiyle ele alındığında bağlı tasarım olabilmektedir. Örneğin Bae ve diğerleri. (2002) çalışmalarında literatürde mevcut olan üç farklı süspansiyon sistemini incelemiştir. İnceleme sonucunda, *McPherson* ve *Double Whisbone* zayıf ilişkiler nedeniyle bağımsızlık aksiyomunu sağlamadığından bağlı tasarımlar olduğu ve *Multilink* tasarımının ise ayrılmış tasarım olduğu ortaya koyulmuştur. Bir diğer husus ise; bir ürünün farklı tasarım parametreleriyle tasarlanması sonucunda ele edilen tasarımlardan hangisinin iyi olduğunu mevcut yöntemle söylemenin zor olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada; fonksiyonel gereksinimlerle tasarım parametreleri arasındaki ilişkiler, her bir ilişkinin derecesi hesaba katılarak ilişki matrisi oluşturulacak ve tasarımın türü hesaplanan bağımsızlık katsayısına göre değerlendirilecektir.

Yöntemde, bilgi aksiyomu sadece mevcut alternatifler arasından en iyi olanının seçimi yapılabilmektedir. Birden fazla alternatifin bağımsızlık aksiyomunu tamamıyla sağlaması ya da hiç sağlayamaması durumunda mevcut tasarımlar arasından en iyi tasarımın seçimi zorlaşmaktadır. Çünkü tasarımların tümü ya en iyidir ya da en kötüdür. Bu nedenle çalışma kapsamında ikinci amacımız, daha önce bulanıklaştırılan bilgi aksiyomu yöntemini (Kulak ve Kahraman, 2005a; 2005b) tüm karar verme problemlerinin çözümüne kullanabilecek şekilde geliştirmektir.

Çalışmamızda hem bulanık bağımsızlık hem de bulanık bilgi aksiyomunu içeren tasarım algoritması sunulacak ve önerilen yöntem binek otomobiller için gösterge tasarımına uygulanacaktır. Çalışmanın anlatımında şu yol izlenecektir: Çalışmada ilk olarak aksiyomlara tasarım yönteminin temelleri verilecektir. Daha sonra, bulanık tasarım aksiyomlarını içeren tasarım algoritması sunulacaktır. Önerilen yöntem binek otomobiller için gösterge tasarımına uygulanarak tasarım parametreleri, tasarım parametrelerinin önem derecesi ve ideal tasarım özellikleri belirlenecektir.

AT yönteminin temelleri

Fonksiyonel gereksinimlerle (FRs) tasarım parametreleri (DPs) arasındaki ilişki, matris formatıyla tanımlanır. FRs ve DPs arasındaki ilişki Denklem (1)'le ifade edilir (Suh, 1990).

$$\{FR\} = [A]\{DP\}, \quad A = [A_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

Burada FR fonksiyonel gereksinim, DP tasarım parametresini ve A da FR ile DP arasındaki ilişkiyi tanımlayan ilişki matrisidir. Denklem (1) tasarım eşitliği olarak da adlandırılmaktadır (Suh, 2001). Tasarıma ait bir ilişki matrisi, FR-DP arasında ilişki olup olmadığını gösteren 1 ve 0 elemanlarından oluşan bir matristir. Ancak, ilişki matrisi, ilişkinin derecesini ve ilişkinin yönünü göstermemektedir. İlişki matrisinin genel görünümü Denklem (2) ile gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{m3} & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada n fonksiyonel gereksinimlerin sayısını gösterirken m de tasarım parametresinin sayısını göstermektedir. Denklem (2)'ye ait diferansiyel formda gösterim Denklem (3)'te verilmiştir.

$$A_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j} \quad (3)$$

Tasarım, ilişki matrisi elemanların aldığı değerlere göre ve tasarım matrisinin şekline göre iki farklı şekilde tanımlanır. Bunlardan biri, ilişki matrisinde yer alan elemanların değerlerine göre doğrusal ya da doğrusal olmayan tasarım; diğeri ise ilişki matrisinde yer alan elemanların oluşturduğu şekle göre ayırık, ayrılmış ve bağlı tasarım olarak tanımlanır.

Doğrusal tasarım ya da doğrusal olmayan tasarım şu şekilde tanımlanır (Suh, 2001); İlişki matrisi sabit elemanlardan oluşuyorsa tasarım doğrusal tasarım olarak adlandırılır. Eğer, ilişki matrisinin elemanlarından herhangi biri tasarım parametrelerine bağlı bir fonksiyondan oluşuyor

ise tasarım doğrusal olmayan tasarım olarak adlandırılır.

Ayrık/ayrılmış/bağlı tasarım ise; tanımlanan ilişki matrisinin elemanlarının oluşturduğu şekle göre tasarımın kabul edilebilir ya da kabul edilemez kararının verildiği tanımlama türüdür. Eğer tasarım ayırık tasarım olarak adlandırılıyorsa oluşturulan tasarım ideal tasarımdır. Eğer tasarım ayrılmış tasarım ise önerilen tasarım kabul edilebilirdir ve tasarım çalışır. Eğer tasarım bağlı tasarım ise tasarım kabul edilemezdir ve tasarım çalışmaz. Bu durumda tasarım süreci farklı tasarım parametreleri ile yeniden ele alınmalıdır. Tasarımın bağlı, ayırık ya da ayrılmış tasarım olduğuna tasarım matrisinin oluşturduğu matrise göre şu şekilde karar verilir (Suh, 1990); Eğer DP sayısı (n) FR sayısından (m) azsa tasarım Bağlı (ing.: Coupled) tasarımdır ($n < m$). Bu durumda, fonksiyonel gereksinimlerin sayısı tasarım parametresi sayısına eşit olacak şekilde tasarım yeniden yapılandırılır.

Eğer FR sayısı tanımlanan DP sayısından azsa tasarım gereksiz (ing.: Redundant) tasarım olarak adlandırılır ($m < n$). Bu tür tasarımlar tasarım parametresi sayısı indirgenerek yeniden yapılandırılmalıdır. Eğer Tasarım Parametresi sayısı Fonksiyonel Gereksinim sayısına eşitse tasarım şu şekilde sınıflandırılır;

Eğer ilişki matrisi köşegen formunda ise tasarım ayırık tasarım olarak adlandırılır ve ideal durumu gösterir. Eğer ilişki matrisi alt üçgen formunda ise tasarım ayrılmış tasarım olarak adlandırılır ve istenilmeyen durum da olsa kabul edilebilir tasarımdır. Bu tür tasarımlarda, fonksiyonel gereksinimler arasındaki bağımsızlık şartı tam olarak sağlanmaz fakat belirli bir sıralama izlenerek fonksiyonel gereksinimler arasındaki bağımsızlık sağlanabilir. Bu tasarımların dışındaki tasarımlar bağlı tasarım olarak adlandırılır (Suh, 1990).

AT yönteminin ikinci aksiyomu olan bilgi aksiyomu, geliştirilen tasarımları değerlendiren sayısal bir metot sunar. Bilgi aksiyomu bilgi içeriğiyle temsil edilir. Bilgi içeriği (I_j) tanımlanan bir fonksiyonel gereksinimi sağlama olasılığı

(p_j) ile ifade edilir. Bilgi içeriği Denklem (4)'de verilmiştir (Suh, 1990).

$$I_j = \log_2 \frac{1}{p_j} \quad (4)$$

Önerilen tasarım algoritması

Çalışmada önerilen yöntemin şu şekildedir;

Adım 1. Tasarım ekibinin oluşturulması: Tasarım ekibi problemin türü göz önünde bulundurularak farklı disiplinlerden ve alanında uzman kişilerden oluşturulur.

Adım 2. Uzman ağırlıklarının belirlenmesi: Ekte bulunan uzmanların her birinin sonuca etkisi farklı olacağından tasarım ekibinde yer alan uzmanların uzmanlık derecelerini gösteren ağırlıklar tanımlanır. Eğer uzmanların deneyim, bilgi ve sonuca etkilerinin birbirine eşit olduğu düşünülüyorsa uzman ağırlıkları eşit kabul edilir. Ağırlıklandırma işlemi için üç farklı yöntem kullanılabilir. Bunlar şu şekildedir (Çebi ve Kahraman, 2010b);

Adım 2.1. Ağırlıklandırma işlemi tarafsız bir başkan tarafından direk atama yöntemiyle yapılabilir. Bu aşamada uzmanların konu ile ilgili çalışmaları ya da tecrübeleri temel alınarak ağırlıklandırma yapılabilir. Uzmanlara ait önemin hesaplanması için Denklem (5) kullanılır.

$$w_{ei} = \frac{P_{ei}}{\sum_{i=1}^z P_{ei}}, \quad i = 1,2,3,\dots,z \quad (5)$$

burada e uzmanı P ise uzmanın uzmanlık derecesini göstermektedir.

Adım 2.2. Ağırlıklandırma işlemi tarafsız bir başkan tarafından Analitik Hiyerarşik Süreç (AHS) yöntemi kullanılarak yapılabilir.

Adım 2.3. Ağırlıklandırma işlemi her bir uzmanın kendinin dışındaki uzmanları değerlendirilmesiyle elde edilebilir. Bu işlem için, her uzman bir diğer uzmana [0-100] aralığında uzmanlık

puanı vererek (kendisi hariç) her bir uzmana ait önem derecesi Denklem (6)'yla hesaplanır.

$$w_{ei} = \frac{\sum_{j=1}^z P_{ej}^{ei}}{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1, j \neq i}^z P_{ej}^{ei}}, \quad i = 1,2,3,\dots,z \quad (6)$$

Adım 3. Fonksiyonel gereksinim kümesinin belirlenmesi: Tasarımı düşünülen ürüne ait müşteri beklentilerini karşılayacak fonksiyonel gereksinimler fonksiyonel bilgi sahasında tanımlanır. Fonksiyonel gereksinimler, pazar araştırması, müşteri memnuniyet anketleri, yüz yüze görüşme gibi çeşitli yollarla belirlenebilir.

Adım 4. Tasarım parametrelerinin belirlenmesi: Fonksiyonel bilgi sahasında tanımlanan fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak tasarım parametreleri tanımlanır.

Adım 5. Hiyerarşinin oluşturulması: Tanımlanan fonksiyonel gereksinimler ve tanımlanan tasarım parametreleri anlaşılabilir ya da uygulanabilir değilse tanımlanan fonksiyonel gereksinimler parçalanarak yeni tasarım parametreleri tanımlanır. Bu işlem için Ne?, Nasıl? soruları sorularak tasarım hiyerarşisi oluşturulur. Hiyerarşinin en alt seviyelerinde bulunan fonksiyonel gereksinimler ve bu gereksinimleri karşılayacak tasarım parametreleri tasarımı düşünülen ürünün en basit ve en temel bileşenleridir. Bu bileşenler anlaşılabilir ya da uygulanabilir ise bir sonraki aşamaya geçilir.

Adım 6. Tasarım matrisinin oluşturulması ve ilişkilerin tanımlanması: Elde edilen hiyerarşiye ait tasarım matrisi oluşturulur. Tasarım matrisinde belirtilen fonksiyonel gereksinimlerle tasarım parametreleri arasında yer alan ilişkiler tanımlanır. Hangi tasarım parametresinin hangi fonksiyonel gereksinimi ne kadar karşıladığı ya da karşılayacağı konuyla ilgili uzmanlardan yüz yüze görüşme yoluyla ya da anket yöntemiyle alınır. Bu aşamada uzmanlar görüşlerini doğrudan tasarım matrisine yansıtılabileceği gibi ikili

karşılaştırma yoluyla da ilişki matrisini oluşturabilir (Çebi ve Kahraman, 2010a).

Adım 7. Dilsel ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülmesi: Değerlendirme matrisleri için kullanılan dilsel ifadeler karar vericinin belirleyeceği ölçek yardımıyla bulanık sayılara dönüştürülür.

Adım 8. Ortak kararın elde edilmesi: Birden fazla uzmandan konuyla alakalı değerlendirme alınması durumunda grup kararını tatmin edecek ortak bir kararın ortaya konması gerekir. \tilde{D} bir tasarıma ait ilişki matrisi olsun;

$$\tilde{D}_M^k = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{m1} & \tilde{a}_{m2} & \dots & \tilde{a}_{mn} \end{bmatrix}, k=1,2,\dots,K \quad (7)$$

burada K çalışmada kullanılan uzman sayısı ve \tilde{D}_M^k ise k . uzamanın görüşünü temsil eden ilişki matrisidir. Literatürde ortak kararın elde edilmesinde genellikle kullanılan yöntem aritmetik ortalama yöntemidir. Ayrıca farklı kararların etkisini azaltan Chen (1998) tarafından sunulan yöntem de kullanılmaktadır (Ölçer ve Odabaşı, 2005). Eğer ikinci adımda uzman ağırlıkları atanmışsa ortak karar matrisi hesaplanan ağırlıklar Denklem (8) yardımıyla elde edilir.

$$\tilde{D}_M = w_{e1} \odot \tilde{D}_M^1 \oplus w_{e2} \odot \tilde{D}_M^2 \oplus \dots \oplus w_{eK} \odot \tilde{D}_M^K, \quad (8)$$

Eğer uzman ağırlıkları eşit olarak kabul edilir ve uç noktada kalan kararların sonuca etkisinin azaltılması istenirse Chen (1998) tarafından sunulan yöntemden faydalanılabilir.

Adım 9. Sıralama algoritması: FR ile DP'ler arasındaki ilişki matrisi tanımlandıktan sonra fonksiyonel bağımsızlığı en aza indirecek sıralama elde edilir. Uygun sıralama için aşağıda verilen adımlar önerilmektedir (Çebi ve Kahraman, 2010c).

Adım 9.1. FR ve DP'lere ait sıralama skorlarının hesaplanması: Bu adımda tanımlanan bir

FR'nin kaç farklı tasarım parametresi tarafından ne ölçüde karşılandığı ve aynı şekilde bir tasarım parametresinin kaç fonksiyonel gereksinimi ne ölçüde karşıladığı hesaplanır (Denklem (9) ve (10)).

$$S_{FRi} = \sum_{j=1}^n a_{ij}^m \quad (9)$$

$$S_{DPj} = \sum_{i=1}^m a_{ij}^m \quad (10)$$

denklemlerde verilen a_{ij}^m bulanık üçgensel sayı olarak tanımlanan ilişkinin orta değeridir. S_{FRi} ve S_{DPj} sırasıyla FR ve DP ye ait sıralama skorlarıdır.

Adım 9.2. Fonksiyonel gereksinimlere ait sıralama skorlarının değerine göre FR'ler küçükten büyüğe doğru sıralanır. En küçük FR ilişki matrisinin ilk satırına ve ilgili FR için tanımlanan DP de ilk sütuna yerleştirilir. Bu şekilde tüm FR'ler ve DP'ler yeniden sıralanır.

Adım 9.3. Eğer FR'lere ait sıralama skorlarında eşitlik söz konusu ise ilgili FR'ler için DP sıralama skorlarına bakılır. S_{DPj} değeri büyük olan DP'ye ait FR ilk satıra yerleştirilir.

Adım 9.4. Tasarım parametreleri arasında öncüllük ya da ardıllık ilişkisi varsa yeni elde edilen ilişki matrisinde tasarım parametreleri arasında öncüllük ve ardıllık ilişkisinin korunup korunmadığı kontrol edilir.

Adım 10. Fonksiyonel bağımsızlığın hesaplanması: Elde edilen tasarımın ilişki matrisine ait bağımsızlık katsayısı aşağıda önerilen formüller yardımıyla hesaplanır (Çebi ve Kahraman, 2010a; 2010c).

$$\tilde{C} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \tilde{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m 1} \quad (11)$$

Burada $\tilde{C}(C^a, C^o, C^u)$ tasarımın bağıllık katsayısı olarak adlandırılır. $\tilde{a}_{ij}(a^a, a^o, a^u)$ ise i .

fonksiyonel gereksinimle j . tasarım parametresi arasındaki ilişkiyi gösteren değerdir. Denklem (12)'nin değeri $[0,1]$ aralığında bir değer olup tasarımın bağıllık derecesini göstermektedir. Bu noktada fonksiyonel gereksinimle tasarım parametresi arasındaki ilişkinin önem düzeyi uzmanlık bilgisi gerektirir ve ilişkinin ihmal edilebilecek değeri γ ile gösterilir. Başka bir ifadeyle γ , Suh (1990) tarafından tanımlanan tolerans değerini göstermektedir. Bağıllık katsayısı değerinin 0'dan ya da tanımlanan tolerans değerinden büyük olması durumunda tasarım bağıllı tasarımdır. Bağıllık katsayısının sıfıra eşit olması ya da tolerans değerinden küçük ya da eşit olması durumunda tasarım ya ayrık ya da ayrılmış tasarımdır. Tasarımın ayrık ya da ayrılmış tasarım olduğunu söyleyebilmek için Denklem (12)'den faydalanılır (Çebi ve Kahraman, 2010a; 2010c).

$$\tilde{c} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{i-1} \tilde{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{i-1} 1} \quad (12)$$

\tilde{c} bağımsızlık katsayısı olarak adlandırılır. Eğer $\tilde{c} = 0$ ise tasarım ayrıktır. Diğer hallerde tasarım ayrılmış tasarım olarak adlandırılır.

Adım 11. FR'lerin önem derecelerinin belirlenmesi: Müşteri nazarında tanımlanan fonksiyonel gereksinimlerin tümü eşit önem derecesine sahip olmayabilir. Bu durumda ağırlıklandırma işlemi uzman ağırlıklarının tayininde olduğu gibi iki şekilde yapılabilir; ya her uzman ayrı ayrı AHS yöntemini uygulayarak kendi ikili karşılaştırma matrisini elde eder ya da tasarım ekibi ortak bir karşılaştırma matrisini oluşturur. AHS ölçüt ağırlıklarının tayininde literatürde en sık kullanılan yöntemdir (Çebi ve Kahraman, 2010c).

Adım 12. Tasarım parametrelerinin öneminin tespiti: Müşteri nazarında tanımlanan fonksiyonel gereksinimlerin tümü eşit önem derecesine sahip olmadığında ya da bir tasarım parametresi birden fazla fonksiyonel gereksinimlerle ilişkilendirildiğinde beklentileri karşılayacak tasarım parametrelerinin önem derecesi farklılaşır. İdeal durumda her bir beklentinin tek bir tasarım pa-

rametresi tarafından karşılanması beklenir. Oysa pratikte ilişki matrisinin alt üçgen çıkması durumunda bir tasarım parametresi birden fazla fonksiyonel gereksinimle ilişkili olabilmektedir. Dolayısıyla tasarım açısından her bir tasarım parametresinin önem düzeyi farklıdır ve önem derecelerinin belirlenmesi gerekir. Tasarım parametrelerinin önem derecesinin tayininde tasarıma ait ilişki matrisi ve her bir FR'nin ağırlığı kullanılarak hesaplanır (Denklem (13)).

$$\tilde{w}_{DPj} = \frac{\sum_{i=1}^m \tilde{w}_{FRi} \otimes \tilde{a}_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \tilde{w}_{FRi} \otimes \tilde{a}_{ij}} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n, \quad (13)$$

Burada \tilde{w}_{DP} ve \tilde{w}_{FR} sembolleri sırasıyla tasarım parametresi ve fonksiyonel gereksinimler için bulanık ağırlıkları göstermektedir (Çebi ve Kahraman, 2010c).

Adım 13. Alternatiflerin tanımlanması: Bu adımda mevcut alternatifler tanımlanır.

Adım 14. Tasarım (karar) aralıklarının tanımlanması: Tasarım aralıkları çalışma kapsamında tanımlanan problem türlerine göre yapılır. Buna göre karar verme problemleri; kesin değer problemleri, beklenen değer problemleri, eşik değer problemleri ve sıralama problemleri olarak dörde ayrılır. Kesin değer problemleri alternatiften beklenenin değerler arasında olmasının istendiği durumdur. Bu tür problemlerde beklentiler kesin sınırlar ile tanımlanır. Beklenen değer problemlerinde alternatifin belirli bir ölçüt altında belirli bir değeri sağlaması istenir. Beklenen değer problemlerinde de kesin değer problemlerinde olduğu gibi tasarım aralığı iki sınırla tanımlanır. Ancak, değerlendirilen tasarımın, tanımlanan sınırların dışında kalması durumunda tasarımın kabulü ya da reddi sınırların tanımına yani ölçütün fayda mı maliyet mi tanımladığına bağlıdır. Sıralama problemleri, mevcut alternatifler arasında iyiden kötüye doğru sıralamanın yapıldığı problem türleridir. Uygulamada bağımsızlık aksiyomunu sağlayan birden fazla alternatif tanımlanan FR'yi tam olarak sağlayabilir ya da tam aksine önerilen alternatifler FR'lerin hiçbirini sağlayamayabilir. Bu tür durumlarda, eğer alternatif, FR'yi tam olarak sağlıyorsa bilgi içeriği 0

değerini alırken alternatifin tanımlanan FR'yi hiç sağlamadığı durumlarda ise bilgi içeriği sonsuz değerini alır. Bu tür durumlarda, alternatifler arasından seçim yapılamaz. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri genelde alternatifler arasında bir sıralama yapar ve iyilerin en iyisini ya da kötünün en iyisini seçmemizde yardımcı olur. Oysa bilgi aksiyomu, FR'nin sağlanması durumunda iyi alternatifler, sağlanmaması durumunda ise kötü alternatifler diye ayırım yapar. İyilerin en iyisini ve kötünün en iyisini sunmaz. Bu nedenle bilgi aksiyomunun alternatifler arasında bir sıralama sunması için bu çalışma kapsamında ideal FR tanımı yapılmıştır (Kahraman ve Çebi, 2009; Çebi vd., 2010).

$$FR = \left\{ \tilde{A} \mid A \left(\frac{0}{l = \delta_{\min}}, \frac{1}{m = \delta_{\max}}, \frac{0}{u = \delta_{\max}} \right) \right\} \quad (14a)$$

$$FR = \left\{ \tilde{A} \mid A \left(\frac{0}{l = \delta_{\min}}, \frac{1}{m = \delta_{\min}}, \frac{0}{u = \delta_{\max}} \right) \right\} \quad (14b)$$

Adım 15. Değerlendirme: Alternatifler tanımlanan ölçütler altında değerlendirilir ve her uzmana ait değerlendirme matrisi elde edilir.

Adım 16. Ortak kararın elde edilmesi: Her uzman değerlendirme matrisini oluşturduktan sonra ortak değerlendirme matrisi Adım 8'de verilen yöntemler kullanılarak ortak değerlendirme matrisi elde edilir.

Adım 17. Hesaplama: Problem türlerine göre aşağıdaki formüller kullanılarak bilgi içeriği hesaplanır. Kesin değer problemleri için Denklem (15), beklenen değer problemleri için Denklem (16) kullanılır (Kahraman ve Çebi, 2009).

$$I = \begin{cases} \infty, & \text{Eğer ortak alan mevcut değilse} \\ \log_2 \frac{A_x}{A_{cr}}, & \text{Eğer ortak alan mevcutsa} \end{cases} \quad (15)$$

$$I = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} 0, & a \geq \alpha, b \geq \beta \\ \infty, & c \leq \alpha \end{array} \right\} & \text{fayda ölçütleri için} \\ \left\{ \begin{array}{l} 0, & c \leq \theta, b \leq \beta \\ \infty, & a \geq \theta \end{array} \right\} & \text{maliyet ölçütleri için} \\ \log_2 \frac{A_x}{A_{cr}}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (16)$$

Değerlendirme ölçütleri içerisinde değeri kesin bir şekilde ifade edilebilen değerlerin mevcut olması durumunda, bilgi içeriğinin hesaplanması için Denklem (17) kullanılır (Kahraman ve Çebi, 2009; Çebi ve Kahraman, 2010b).

$$I = \log_2 \frac{1}{\mu(x_i)} \quad (17a)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x_i - l}{u - l}, & \text{fayda ölçütleri için} \\ \frac{u - x_i}{u - l}, & \text{maliyet ölçütleri için} \end{cases} \quad (17b)$$

Adım 18. Ağırlıklandırılmış bilgi içeriğinin hesabı: Bu bölümde tasarıma ait ağırlıklandırılmış toplam bilgi içeriği değeri için Denklem (18) kullanılır. Bilgi değeri en küçük olan alternatif en iyi alternatif olarak seçilir.

$$\{I_i^t\} = \sum_{j=1}^n w_j I_{ij} \quad (18)$$

Adım 19. Duyarlılık analizi: Duyarlılık analizinde FR'ler ve uzmanlar için tanımlanan ağırlıkların sonuca etkisi araştırılır. Hesaplama sonuçları ağırlıklar kullanılmadan yapılarak ağırlıklı ve ağırlıksız bilgi içeriği değerleri bir grafik yardımıyla kullanıcıya sunulur.

Binek otomobiller için gösterge tasarımı

İnsan-Makine Sistemlerinde makinelerle insanlar arasındaki etkileşimi sağlayan en önemli parçalardan biri göstergelerdir. Göstergeler, üzerinde buldukları makinelerin tercümanı olması nedeniyle kalorifer kazanı gibi en basit makineden uçak gibi en karmaşık makineye kadar birçok sistemde kullanılan ve sistemlerin vazgeçilmez bileşenlerindedir. Gösterge, makineye ait bilgileri, her an ve doğru bir şekilde kullanıcıya ulaştırabilen bir düzenektir. Bu nedenle gösterge tasarımı insan-makine sisteminin işleyişini etkileyen önemli bir faktördür (Su, 2001; Çebi ve diğ., 2010). Bu çalışma kapsamında binek otomobiller için gösterge tasarımı ele alınmaktadır.

Adım 1. Tasarım ekibi ergonomik tasarım üzerinde deneyimli iki makina mühendisi ve müşteri ilişkileri ve yönetimi üzerine deneyimli bir endüstri mühendisinden oluşmaktadır. Uzmanların tecrübesi sırasıyla 6, 10, ve 10 yıldır.

Adım 2. Uzman ağırlıklarının birbirine eşit olduğu düşünülmektedir.

Adım 3. Bir otomobil gösterge panelinden beklentiler üç ana başlıkta toplanabilir; (i) gösterge paneli sürücü tarafından görülebilmeli (FR1), (ii) algı yanılması olmadan doğru okuma sağlanabilmeli (FR2), (iii) estetik olmalı (FR3).

Adım 4. Gösterge paneline ait tasarım parametreleri şunlardır; (i) gösterge panelinin konumu (DP1), (ii) katranın tasarımı (DP2), (iii) gösterge tasarımı ile otomobil iç tasarımı arasındaki uyumu (DP3).

Adım 5. Sürücü tarafından gösterge panelinin rahat görülmesini sağlamak için gösterge paneli her türlü yansımanın engellenmesi (FR11) ve göstergenin önünü kapatan engellerin ortadan kaldırılması gerekir (FR12). Bu nedenle gösterge panelini güneş ışığı yansımalarından korumak için torpidoya açılı yerleştirilmelidir (DP11). Ayrıca direksiyon tasarımı da göstergenin görünmesini engellemeyecek bir tasarıma sahip olmalıdır (DP12).

Algı yanılmasının ortadan kaldırılma ihtiyacı, algılanabilirlik (FR21), ayırt edilebilirlik (FR22), uyum, anlamlılık ölçütlerinin karşılanmasını (FR23) ve standartların oluşturulmasını (FR24) gerektirir. Algılama için gösterge panelinde yeralan katran sayısı ve sıralaması tanımlanmalıdır (DP21). Ayırt edilebilirlik için gösterge paneli, ibre ve rakamlar için farklı renk tonlamalarının kullanılması gerekir (DP22). Uyumun sağlanması için gösterge panelinde bulunan ibrelerin hareket yönü birbiriyle ve insan mantığıyla uyumlu olmalıdır (DP23). Anlamlılık için gösterge panelinde katran tasarımlarının şekil ve boyutlarının tasarım amacına göre belirlenmesi gerekir (DP24). Panel tasarımında standartların sağlanması için kullanılan grafik, sembol ve uyarılar standart olmalıdır (DP25).

Adım 6. Tasarım ekibi tarafından ilişki matrisi değerlendirilir.

Adım 7. İlişki matrisinde yeralan dilsel ifadeler bulanık sayılar kullanılarak üçgensel bulanık sayılara çevrilir.

Adım 8. Tasarım ekibine ait karar matrisleri arasında çok aykırılık bulunmaması nedeniyle tasarıma ilişkin ortak tasarım matrisi aritmetik ortalama yöntemiyle hesaplanır.

Adım 9. Sıralama algoritması uygulanarak en az bağımsızlık katsayısının elde edileceği sıralama oluşturulur.

Adım 10. Tasarım matrisine ait fonksiyonel bağıllık değeri $\tilde{C} = (0.028, 0.042, 0.064)$ olarak elde edilir. Bu değer kullanılan dilsel ölçekte çok az olarak ifade edilen bölgede kalır.

Adım 11. Tablo 1’de AHS yöntemiyle hesaplanan ağırlıklar verilmektedir.

Tablo 1. FR ağırlıkları

FR	Genel Bulanık Ağırlıklar		
FR1			
FR11	0.17	0.31	0.49
FR12	0.07	0.25	0.85
FR2			
FR21	0.27	0.55	0.82
FR22	0.39	0.71	1.61
FR23	0.30	0.73	1.67
FR24	0.41	0.60	1.39
FR25	0.16	0.41	0.57
FR3	0.05	0.08	0.12

Adım 12. Denklem (13) yardımıyla hesaplanan tasarım parametrelerinin ağırlıklarına göre tasarım parametrelerinin önem sıralaması şu şekildedir; standart kodların kullanımı, grafiksel tasarım, katran sayısı, ibre hareketi, renk tonlaması, açılı yerleşim, direksiyon tasarımı ve estetik görünüş.

Adım 13. Yukarıda belirtilen fonksiyonel gereksinimleri sağlayan 18 adet gösterge paneli tasarımları arasından uygun tasarım belirlenecektir. Şekil 1’de verilen 18 alternatif otomobil

firmalarının kullandığı çeşitli tasarımlar dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Adım 14. Alternatifler arasında belirli bir sıralamanın elde edilebilmesi için ideal FR tanımı kullanılmıştır (Kahraman ve Çebi, 2009).

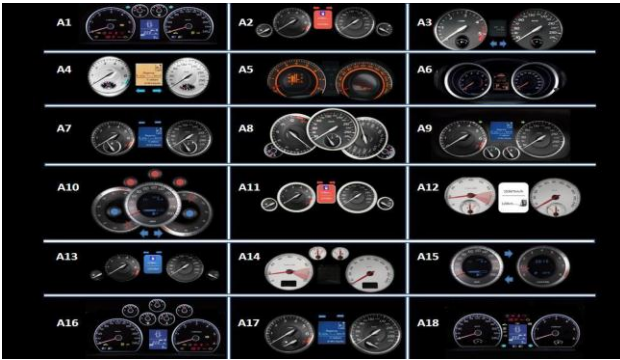
Adım 15. Uzmanlara, tanımlanan FR'ler hakkında bilgi verildikten sonra fotoğraf çıktısı olarak gösterge tasarımları uzmanlara sunulmuş ve değerlendirmeler alınmıştır.

Adım 16. Uzmanlara ait ortak karar matrisi değerlendirmelerin aritmetik ortalaması alınarak oluşturulmuştur.

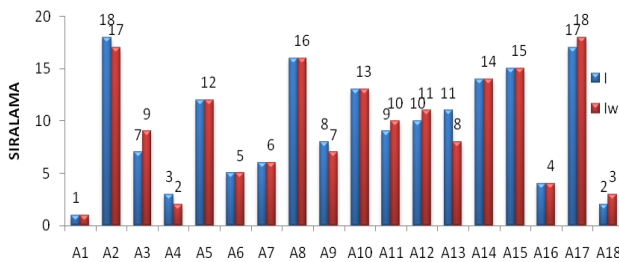
Adım 17. Denklem (14) kullanılarak her bir fonksiyonel gereksinimin bilgi içeriği değeri hesaplanır.

Adım 18. Denklem (18) kullanılarak her bir alternatif için ağırlıklandırılmış bilgi içeriği değerleri hesaplanır.

Adım 19. Ağırlıklı (I_w) ve ağırlıksız (I) bilgi içeriği için sıralama Şekil 2'de verilmiştir. Hem ağırlıklı hem de ağırlıksız durum için A1 en iyi tasarım olarak çıkmıştır.



Şekil 1. Gösterge tasarımları

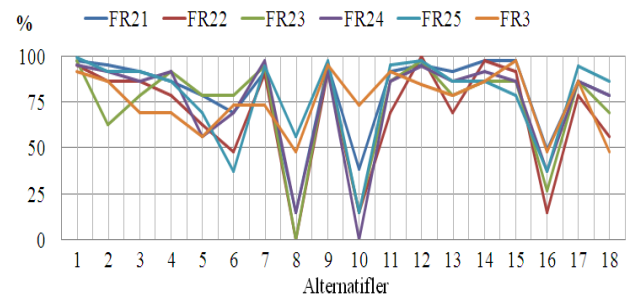


Şekil 2. Alternatiflere ait sıralama

Tasarım parametrelerinin analizi

Bu uygulamada gösterge tasarımı için gerekli olan fonksiyonel ihtiyaçlar ve tanımlanan fonksiyonel ihtiyaçları karşılayacak tasarım parametreleri belirlenmiştir. Gösterge tasarımında üç ana fonksiyonel gereksinim vardır. Bunlar; (i) göstergelerin rahat görünmesini sağlamak, (ii) doğru okumayı sağlamak ve (iii) estetik görünüşü sunmaktır. Tasarımların fonksiyonel gereksinimleri ne derece karşıladığı bilgi içeriği değerinden yola çıkılarak yorumlanmaktadır. Tasarım başarı değerleri Şekil 3'de verilmektedir.

Doğru okumayı sağlamak için *algılanabilirlik*, *ayırt edilebilirlik*, *uyum*, *anlamlılık* ve *standartlaşma* gerekmektedir. *Algılanabilirlik* için gösterge panelinde yer alan gösterge sayısı ve sıralaması önemlidir. Şekil 3'de görüldüğü üzere, çalışmamızda anlamlılık derecesi en yüksek çıkan A14'tür. A14'ün katran sayısı 4 olup, katranlar basit ve sade biçimde tasarlanmıştır. Bu nedenle tasarım rahat algılanabilir olarak değerlendirilmiştir. Benzer olarak katran sayısı dört ve dörtten az çıkan tasarımların algılanabilirliği yüksek çıkmıştır. Algılanabilirlik açısından en kötü çıkan tasarım ise A8'dir. Tasarım incelendiğinde, tasarımın çok sayıda ve birbiri içine geçmiş katrandan oluştuğu görülmektedir. A16 tasarımı A8'e nazaran daha fazla katran içermesine rağmen katranların birbiri içerisine geçmemiş olması A8'e göre tasarımı daha algılanabilir kılmıştır. Fakat A 16 da algılanabilirlik bakımından en kötü ikinci tasarımdır. Öyleyse bir gösterge tasarımı okuyucunun algısını yanıltmaması için olduğunca sade ve az katrandan oluşmalıdır. *Ayırt edilebilirlik* için gösterge tasarımında kullanılan renk ve rakam büyüklüklerine dikkat etmek gerekir. Çalışmamızda bu beklentiyi en iyi karşılayan tasarım A12'dir (Şekil 3).



Şekil 3. Tasarım başarı değeri

İkinci sırada ise A14'tür. Tasarımlar incelendiğinde alt tabanın beyaz seçilmesi ve beyaz üzerinde kırmızı ibre ile siyah renkli karakter kullanımının okuma işlevini kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır. Bu ölçütte en kötü tasarımlar sırasıyla A8 ve A10'dur. A8'de katran tasarımların birbiri içerisine geçmesi, karakterlerin yan olarak katran içine yazılması ve siyah zemin üzerine mavi renkli karakter seçimi okuma işlevini zorlaştırmaktadır. *Uyumluluk* açısından en iyi tasarım A1 olmakla beraber tasarımların hemen hepsinin insan mantığıyla uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 3). Ancak bu ölçütün en başarısız tasarımları yine A8 ve A10'dur. A8'de birbirinin zıttı hareket eden ibreler (kimi saat ibresi yönünde kimi ise saat ibresi tersi yönünde) ve A10'da yer alan farklı bir ibre tasarımı alışılmadık dışında olması nedeniyle *uyumluluk* ölçütünden istenilen performansı gösterememişlerdir. Şekil 3'de *anlamlılık* ölçütüne göre en başarılı tasarım A7 ve en başarısız tasarımın A10 olduğu görülmektedir. A10'da alışılmadık dışında semboller kullanılmaktadır. Örneğin ekranda yakıt doluluk seviyesi bir barla simgelenirken bu barın yakıt seviyesini mi yoksa harareti mi gösterdiği anlaşılamamaktadır. Diğer tasarımlarda ise yakıt seviyesi klasik bir ibre ve basit bir resim aracılığıyla gösterilmektedir. *Standart sembol ve simgelerin* kullanımı açısından sırasıyla A10, A6 ve A16 en kötü tasarımlardır (Şekil 3). A6 ve A10 alışılmadık dışında simgelerin kullanılması nedeniyle beğenilmemiştir. A16'da ise hararet ve yakıt göstergesine benzer tasarımın motor yağ göstergesi, hava sıcaklığı gibi farklı parametrelerin gösteriminde kullanılmaktadır. Dolayısıyla alışılmadık dışında bir gösterim mevcuttur. Standartlara uyum açısından çoğu tasarımın beğeni kazanmasına rağmen en başarılı tasarım A1'dir. Şekil 3'de *estetik* açıdan en beğenilen tasarımın A15 olduğu görülmektedir. En kötü tasarımlar ise A10 ve A8'dir. A15 estetik açıdan en beğenilen tasarım olmasına rağmen standartlara uyum açısından başarılı değildir.

Sonuçlar

Çalışmada AT yönteminin bağımsızlık aksiyomunun bulanıklaştırılması ve bulanık bilgi aksiyomunun iyileştirilmesi yapılmıştır.

Bağımsızlık aksiyomunun bulanıklaştırılması şu avantajları sunmuştur; (i) FR-DP arasındaki ilişkiler derecelendirilerek zayıf ilişkilerin dikkate alınması sağlanmıştır (ii) Tasarım parametrelerinin önem dereceleri tasarım matrisinden hesaplanabilmiştir. (iii) Farklı tasarım parametrelerinden oluşturulan tasarımlardan hangisinin ideal tasarıma yakın olduğu fonksiyonel bağlılık derecesinden yorumlanabilmiştir.

Bilgi aksiyomunda yapılan iyileştirmelerin üstünlükleri şunlardır; (i) Bulanık bilgi aksiyomunun çeşitli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilirliği sağlanmıştır. Bunun için karar verme problemleri sınıflandırılmış ve problem türlerine göre FR tanımları yapılmıştır. (ii) Rasyonel sayılarla ifade edilen değerlerin bilgi aksiyomu yöntemiyle ele alınması sağlanmıştır. (iii) Bilgi içeriği değerine bağlı olarak tasarımlara ait başarımların değerlerinin yorumlanması sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen tasarım aksiyomları binek otomobiller için gösterge tasarımına uygulanmıştır. İlk olarak bağımsızlık aksiyomu kullanılarak tasarımın bağlılık dereceleri tanımlanmış ve alternatif tasarımlar arasından uygun olanının seçimi yapılmış ve tasarım parametrelerine ilişkin karakteristik özellikler vurgulanmıştır.

Gelecek çalışmada, elde edilen tasarım parametrelerine ait önem dereceleri kullanılarak bir tasarıma ait boyutların optimizasyonu yapılabilir.

Kaynaklar

- Bae, S., Lee, J.M., ve Chu C.N., (2002). Axiomatic Design of Automotive Suspension Systems, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, **51**, 1, 115-118.
- Chen, S. M. (1998). Aggregating fuzzy opinions in the group decisionmaking environment. *Cybernetics and Systems*, **29**, 363-376.
- Çebi S., Çelik M., Kahraman C., (2010). Structuring ship design project approval mechanism towards installation of operator system interfaces via fuzzy axiomatic design, *Information Sciences*, **180**, 6, 886-895.
- Çebi S., Kahraman C., (2010a). Extension of Axiomatic Design Principles Under Fuzzy Environ-

- ment, *Expert Systems with Applications*, **37**, 3, 2682–2689.
- Çebi, S., Kahraman C., (2010b). Developing a Group Decision Support System Based on Fuzzy Information Axiom, *Knowledge-Based Systems*, **23**, 1, 3-16.
- Çebi, S., Kahraman C., (2010c). Determining design characteristics of automobile seats based on fuzzy axiomatic design, *International Journal of Computational Intelligence*, **3**,1, 43-55.
- Çebi, S., Kahraman, C., (2010d) Indicator design for passenger car using fuzzy axiomatic design principles, *Expert Systems with Applications*, doi:10.1016/j.eswa.2010.02.138.
- Kahraman, C. ve Çebi, S., (2009). A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design, *Expert Systems with Applications*, **36**,3-1, 4848-4861.
- Kulak, O. ve Kahraman, C., (2005a). Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process. *Information Sciences*, **170**, 191-210.
- Kulak, O. ve Kahraman, C., (2005b). Multi-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design approach, *International Journal of Production Economics*, **95**, 415-424.
- Kulak, O., (2003). Hücresel üretim sistemleri tasarımı için aksiyomlarla tasarım prensiplerine dayalı bütünsel bir yöntem, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Su, B.A., (2001). *Ergonomi*, Atılım Üniversitesi, Ankara.
- Su, J. C.-Y., Chen, S.J.,Lin, L. (2003), A structured approach to measuring functional dependency and sequencing of coupled tasks in engineering design, *Computers & Industrial Engineering*, **45**, 1, 195-214.
- Suh, N.P., (1990). *The Principles of Design*, Oxford University Press Inc., NY.
- Suh, N.P., (2001). *Axiomatic design: Advance and applications*, Oxford University Press, 2001.
- Ölçer, A.İ. ve Odabaşı, A.Y, (2005). A new fuzzy multiple attributive group decision making methodology and its application to propulsion/maneuvering system selection problem, *European Journal of Operational Research*, **166**, 93-114.