

SEZGİSEL BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ KULLANILARAK ERGONOMİK ÜRÜN KONSEPT SEÇİMİ

Burak EFE*, Fatih Emre BORAN, Mustafa KURT

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Sezgisel bulanık küme,
TOPSIS,
Ergonomik ürün konsepti,
Çok kriterli karar verme*

Özet

Teknoloji hızla gelişmekte ve müşterilerin ürünlerden ergonomik beklentileri günümüzün rekabetçi piyasasında günden güne artmaktadır. Bu nedenle müşteri istekleri ve ergonomik kısıtlar ürün tasarımında önemli rol oynamaktadır. Müşteri isteklerinin sürekli değişmesi nedeniyle ergonomik ürün tasarımının önemi geçmiş yıllara göre önem kazanmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ve müşteri isteklerinin sürekli değişmesiyle ürün yaşam çevrim zamanı günümüzde kısalmaktadır. Ürün yaşam çevrim zamanının kısılması nedeniyle ergonomik ürün tasarım maliyetinin düşmesi ve ergonomik ürün tasarım zamanının kısılması önem kazanmaktadır. Ergonomik ürün tasarım maliyetini düşürmek ve zamanını kısaltmak için işletmeler en iyi konsepti alternatif konseptler arasından seçmeye odaklanmaları gerekmektedir. Bu nedenle en iyi ürün konseptini seçmek ürün tasarımının en önemli adımudur.

Müşterilerin ürün hakkındaki düşüncelerini dilsel olarak ifade etmeleri nedeniyle bu aşamada kesin değerleri kullanan yöntemlerle ergonomik ürün konseptlerini değerlendirmek oldukça güçtür. Sezgisel bulanık küme, üye olma, üye olmama fonksiyonları ve tereddütlik indeksi ile gösterildiğinden dolayı karar vericilerin dilsel tercihlerini yansıtmakta etkin bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, alternatifler arasından ergonomik olarak uygun olan telefon seçimi için çok kriterli grup karar verme literatüründe son zamanlarda popüler bir metot olan TOPSIS metodunun sezgisel bulanık ortama genişletilmesi önerilmiştir.

Elde edilen sonuç incelendiğinde önerilen yöntemin ergonomik ürün tasarımında kullanıcıların dilsel ifadeleri nedeniyle kaynaklanan belirsizliği etkin şekilde ele aldığı ve alternatif konseptler arasından en uygun konseptin seçimi için tasarımcıların kullanabileceği bir karar verme yöntemi olduğu görülmektedir.

ERGONOMIC PRODUCT CONCEPT SELECTION USING INTUITIONISTIC FUZZY TOPSIS METHOD

Keywords

*Intuitionistic fuzzy set,
TOPSIS,
Ergonomic product concept,
Multi-criteria decision making*

Abstract

The technology rapidly advances and the ergonomic expectations of customer from products are to increase day by day in competitive market. Therefore, the ergonomic constraints and the requirements of customers play key role in product design. The importance of ergonomic product design is to increase due to changes on the requirements of customers continuously according to the former years.

The product life cycle is getting shorten owing to the change on the requirements of customers and continuously advance of technology. The decrease in the time and cost of ergonomic product design has gained importance as shortening product life cycle. Firms should focus on selecting the most appropriate concept among alternative concepts in order to reduce cost and time of ergonomic product concept.

* İlgili yazar: burakefe@gazi.edu.tr, +90-312-582-3846

Therefore, the most important step in product design is the selection of most appropriate product concept.

Evaluating of ergonomic product concepts with methods using crisp values is difficult at this stage since customers linguistically expressed their thoughts on product. Intuitionistic fuzzy set which is characterized by membership function, non-membership function and hesitation margin, is an effective method to represent the preference of decision makers. In this study, The extension of TOPSIS method which is one of the most popular methods in multi criteria group decision making literature recently, to intuitionistic fuzzy environment is proposed to select appropriate mobile phone as ergonomic among alternatives.

The obtained results showed that the proposed method efficiently handles uncertainty arisen from expressions of users, and it is a decision making method, that can be used to select appropriate mobile phone as ergonomic among alternatives by the designers.

1. Giriş

Günümüzde teknoloji hızlı gelişmekte ve müşterilerin ürünlerden beklentileri artmaktadır. Bu nedenle müşteri isteklerinin ön plana çıkması ve sürekli değişmesi ürün tasarımını geçmişe göre daha önemli kılmaktadır. Firmaların günümüz piyasasında rekabet edip karlılığı koruyabilmeleri için yeni ürünler geliştirmeleri ve sunmaları zorunluluk haline gelmiştir (Vanegas ve Labib, 2001). Dünyanın küreselleşmesi ekonomik sınırların ortadan kalkmasıyla birlikte firmalar piyasaya yeni ürün sunabilecek birçok rakiple karşı karşıya kalmışlardır (Hammer ve Champy, 1993). Teknolojinin hızlı gelişimi ve müşteri isteklerinin sürekli değişimi ürün yaşam çevrim zamanını kısaltmaktadır. Ürün yaşam çevrim zamanının günümüzde kısaltılması ürün tasarım zamanı ve maliyetinin düşürülmesi önem kazanmaktadır (Wang,1997). Ürün yaşam çevrim süreci dört aşamadan oluşmakta olup bu aşamalar başlangıç, gelişme, olgunlaşma ve düşüştür. Ürün, başlangıç aşamasında tasarlanmaktadır. Firmalar piyasada rekabet edip karlılığı sürdürmek için ürünü kısa sürede pazara sunmalıdır. Başlangıç aşamasını kısaltmak için de firmalar ürün tasarımını çok kısa sürede gerçekleştirmelidir.

Ürün tasarım aşamasında yeni bir ürünün geliştirilmesi özellikle önemli bir konudur (Yung vd., 2006). Yeni ürün geliştirme prosesi, mühendislik, finans, pazarlama ve satış konularını içerdiği için araştırma geliştirme faaliyetleri içinde, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir (Soukhoroukava ve Spann, 2005). Yeni bir ürünün başarılı şekilde piyasaya sunulması iyi tanımlanmış bir ürün geliştirme prosesinin sonucudur. Ürün geliştirme prosesi; planlama, konsept geliştirme, sistem-düzye tasarımı, detaylı tasarım, deneme ve ayıklama, ve deneme üretimi aşamalarından oluşur. Ürün gelişim prosesi planlama aşaması ile başlar. Bu aşamanın çıktıları aynı zamanda konsept gelişim aşamasının girdisini oluşturmaktadır ve bu girdiler ürün geliştirme takımına yol göstermektedir. Ürün gelişim prosesinin son aşaması ürünün piyasaya sunulması ve satın alınması için ürünün hazır hale getirilmesidir.

Konsept gelişimi ürün gelişim prosesinin bir aşamasıdır. Konsept gelişim kararları sadece ürün spesifikasyonları ve ürünün temel konfigürasyonları olarak değil aynı zamanda ürün yaşam çevrim zamanı ve satış sonrası hizmetler gibi ürünün sağladığı diğer özellikleri de içermektedir (Krishan ve Ulrich, 2001). Konsept gelişim prosesi birbirini izleyen müşteri isteklerinin tanımlanması, hedef spesifikasyonlarının belirlenmesi, konsept üretme, konsept seçim, konsept deneme, son spesifikasyonların belirlenmesi, ve proje planlaması olmak üzere yedi aşamadan oluşmaktadır. Her bir aşamanın çıktısı bir sonraki aşamanın girdisini oluşturmaktadır.

Tasarım prosesinin ilk aşamasında müşteri istekleri belirlenmeli, bu müşteri istekleri baz alınarak ürün spesifikasyonlarının bir listesi geliştirilmelidir. Bu spesifikasyonlar ürün tarafından sağlanmalıdır. Konsept tasarımının sonraki aşaması tasarım prosesidir ve alt sistemlerin kurulmasını kapsar. Çeşitli konseptler belirlendikten sonra en yüksek performansı ve en düşük maliyeti veren alt kümelerden oluşan en iyi kombinasyon seçilir. Bu proses konsept seçimi olarak adlandırılır. Bu aşamadan sonra tasarım prosesi detaylı çözüme doğru ilerler. Konsept gelişim prosesinin aşamalarından biri olan konsept seçiminin amacı, prosesin başlangıcında en uygun olanı seçmektir. Ürün konsept seçim aşaması ürün geliştirme prosesinin en önemli adımıdır. Prosesin ilerleyen aşamalarında tasarımı değiştirmek maliyetli ve zor bir iştir. Maliyetlerin yaklaşık olarak %60-80'i bu aşamada ortaya çıkmaktadır (Duffy, vd., 1993). Detaylı tasarım önemli olmasına rağmen gelişim prosesindeki kararlar konsept seçim aşamasında alınır. Alınan bu kararlar gelişim prosesindeki tüm alt aşamaları etkiler (Simit ve Verma, 2004). Bu nedenle en iyi konsepti belirlemek oldukça önemlidir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde ürün konsept seçimiyle ilgili yazın taraması sunulmuştur. Üçüncü bölümde, sezgisel bulanık küme ve sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, alternatif konseptler arasından en iyi cep telefonu tasarım konseptinin seçimi sezgisel bulanık TOPSIS yöntemiyle ergonomik ürün tasarım kriterleri dikkate

alınarak gerçekleştirilmiştir. Son bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde ürün konsept seçimiyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Konsept seçim problemlerinin iki temel girdisi tasarım kriterleri (ürünün sağlamak zorunda olduğu fonksiyonlar) ve mevcut konseptlerdir. Böyle bir problemin çözümünde kullanılan en temel metod karar matrisine dayalı metottur. Pugh'un yöntemi karar matrisine dayalı ilk metottur (Pugh, 1981). Bu metotta karşılaştırmalar yapılırken nümerik bir hesaplama yapılmaz. Bir konsept referans konsept olarak seçilir ve diğer konseptler bu referans konsept ile karşılaştırılır. Karşılaştırılan konsept referans konseptten daha iyi ise '+', daha kötü ise '-' veya eşit ise 'S' skorları atanır. En yüksek skora sahip konsept en iyi konsept olarak seçilir. Bu metod oldukça basit ve kullanışlı olmasına rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Ürün konsept seçiminde çok kriterli karar verme yöntemleri de kullanılmıştır. Marsh vd. (1993) analitik hiyerarşi prosesi (AHP) metodundaki hesaplamaları en aza indirmek için hiyerarşik AHP metodunu kullanarak makine mühendisliği tasarımında en iyi tasarımı seçmişlerdir. Ayağ (2002) bilgisayar destekli sistemlerin analizi ve uygulanması için bulanık AHP metodunu kullanmışlardır. Ayağ (2004) bulanık AHP metodunu konsept seçiminde kullanmıştır. İki aşamalı çalışmanın ilk aşamasında uygun olmayan konsept alternatiflerini bulanık AHP metodunu kullanarak, önceden belirlenmiş sabit değerlere göre elemiştir. İkinci aşamada ise birinci aşamadan kalan konsept alternatiflerinin değerlendirilmesini bulanık AHP metodu ve simülasyon analizinden oluşan melez bir metodla yapmıştır. Ayağ ve Özdemir (2007) müşteri isteklerini ve üretici isteklerini tatmin eden konseptin seçilmesi konusunda analitik ağ prosesi (AAP) yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmada parça kalıplarına yüksek sıcaklık ve basınçla plastik enjeksiyon yapan bir sistem için üç farklı konseptten en iyi olanının seçimi yapılmıştır. AAP metodunun kullanılması ile gerçek hayatta karar verme sürecinde faktörler arasındaki ilişkileri dikkate alan ve problemin tek bir yöne bağlı kalarak modelleme zorunluluğunu ortadan kaldıran çözüm uygulanmıştır. Song vd. (2013) yeni ürün gelişiminin ilk aşaması olan ürün konsept seçimi için aralıklı AHP ve aralıklı TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Yan ve Ma (2015) çeşitli bulanık birleştirme operatörlerini kullanarak grup karar verme ortamında yeni bir ürün için alternatif ürün tasarımlarından en iyi konsept seçimini yapmışlardır.

Literatürde ürün konsept seçimiyle ilgili çalışmalar incelendiğinde ürün konsept seçiminde ergonomik özelliklerin dikkate alınmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, alternatifler arasında ergonomik olarak uygun olan cep telefonu konsept seçimi için, çok kriterli grup karar verme literatüründe son

zamanlarda popüler bir metod olan TOPSIS metodunun sezgisel bulanık ortama genişletilmesi önerilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde sezgisel bulanık küme ve sezgisel bulanık TOPSIS ile ilgili temel bilgiler verilmiştir.

3.1. Sezgisel Bulanık Küme

X boş olmayan bir küme olsun. X 'deki sezgisel bulanık A kümesi Eş.1'de tanımlanmıştır.

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X \} \quad (1)$$

Attonasov (1986) sezgisel bulanık küme teorisinde x elemanının A kümesine ait olma derecesini ($\mu_A(x)$), ait olmama derecesini ($\nu_A(x)$) ve tereddüt indeksini ($\pi_A(x)$) tanımlamıştır. Sezgisel bulanık küme teorisinde ait olma derecesi ve ait olmama derecesinin toplamı 1'den küçüktür.

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (2)$$

Tereddüt indeksi herhangi bir x elemanının A kümesine ait olup olmamasının tereddüt düzeyini belirtmektedir.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (3)$$

Eğer $\pi_A(x)$ değeri küçükse x elemanı hakkındaki bilgi göreceli olarak daha kesindir. Eğer $\pi_A(x)$ değeri büyükse x elemanı hakkındaki bilgi göreceli olarak daha belirsizdir. $\pi_A(x)$ değeri 0'a eşit olduğunda x elemanı hakkındaki bilgi kesindir. Bu durumda sezgisel bulanık küme bulanık küme olmaktadır.

3.2. Sezgisel Bulanık TOPSIS

Bu alt bölümde sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi açıklanmıştır. $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ alternatiflerin kümesi ve $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ kriterler kümesidir. Karar verme grubu özdeş olmayıp l tane farklı karar vericiden oluşmaktadır. Özdeş olmayan karar verme gruplarında karar vericilerin göreceli önem dereceleri birbirinden farklıdır. Bazı karar vericiler farklı tecrübe ve bilgi birikimleri nedeniyle önem dereceleri diğer karar vericilerden ya daha az ya da daha fazla olabilmektedir. $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$ karar vericilerin

ağırlık vektörü olup $\lambda_k \geq 0, k=1,2,\dots,l$, ve $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ dir.

$R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ k. karar vericinin karar matrisi olup, $r_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, \nu_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$ k. karar verici tarafından verilen i.alternatifin j. kriterden aldığı sezgisel bulanık değerdir. $\mu_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre i.alternatifin j. kriteri sağlama derecesi, $\nu_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre i.alternatifin j. kriteri sağlamama derecesi ve $\pi_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre belirsizlik düzeyini göstermektedir.

Verilen tanımlara bağlı olarak, Boran vd. (2009) tarafından önerilen sezgisel bulanık TOPSIS metodu, aşağıda verilen adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi.

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

$D_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$ k. karar vericinin önem derecesini gösteren bir sezgisel bulanık sayı olsun. k. karar vericinin ağırlığı Eş.4'te hesaplanmıştır.

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)} \quad (4)$$

$$\lambda_k \geq 0, k=1,2,\dots,l \text{ ve } \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$$

Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi.

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Xu tarafından önerilen IFWA kullanılmıştır (Xu, 2007).

$$r_{ij} = IFWA_{\lambda}(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) = r_{ij}^{(1)} \lambda_1 \oplus r_{ij}^{(2)} \lambda_2 \oplus \dots \oplus r_{ij}^{(l)} \lambda_l$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (5)$$

$r_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij})$ ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$), R birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, \nu_{12}, \pi_{12}) & \dots & (\mu_{1n}, \nu_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, \nu_{22}, \pi_{22}) & \dots & (\mu_{2n}, \nu_{2n}, \pi_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (\mu_{m1}, \nu_{m1}, \pi_{m1}) & (\mu_{m2}, \nu_{m2}, \pi_{m2}) & \dots & (\mu_{mn}, \nu_{mn}, \pi_{mn}) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi.

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir.

$w_j^{(k)} = (\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)})$ k. karar vericinin j. kriter için verdiği sezgisel bulanık sayı olup, kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak Eş.6'da hesaplanmıştır.

$$w_j = IFWA_{\lambda}(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \lambda_3 w_j^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)}$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (6)$$

$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_j\}$ kriterlerin ağırlıkları olup $w_j = (\mu_j, \nu_j, \pi_j)$ ($j=1,2,\dots,n$) dir.

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması.

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi elde edilir.

$$R' = R \otimes W = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}) = \{ \langle x, \mu_{ij}, \mu_j, \nu_{ij} + \nu_j - \nu_{ij}, \nu_j \rangle \mid x \in X \} \quad (7)$$

$$\pi'_{ij} = 1 - \nu_{ij} - \nu_j - \mu_{ij} \cdot \mu_j + \nu_{ij} \cdot \nu_j \quad (8)$$

Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu'_{11}, \nu'_{11}, \pi'_{11}) & (\mu'_{12}, \nu'_{12}, \pi'_{12}) & (\mu'_{1n}, \nu'_{1n}, \pi'_{1n}) \\ (\mu'_{21}, \nu'_{21}, \pi'_{21}) & (\mu'_{22}, \nu'_{22}, \pi'_{22}) & (\mu'_{2n}, \nu'_{2n}, \pi'_{2n}) \\ (\mu'_{m1}, \nu'_{m1}, \pi'_{m1}) & (\mu'_{m2}, \nu'_{m2}, \pi'_{m2}) & (\mu'_{mn}, \nu'_{mn}, \pi'_{mn}) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{2n} \\ r'_{m1} & r'_{m2} & r'_{mn} \end{bmatrix}$$

olup $r'_{ij} = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}, \pi'_{ij})$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi.

J_1 fayda kriterlerinin seti, J_2 maliyet kriterlerinin seti olmak üzere, A^+ pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve A^- negatif sezgisel bulanık ideal çözüm olup, A^+ ve A^- aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+), r_j^+ = (\mu_j^+, \nu_j^+, \pi_j^+), j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-), r_j^- = (\mu_j^-, \nu_j^-, \pi_j^-), j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\mu_j^+ = \left\{ \left(\max_i \{ \mu_{ij}^+ \} | j \in J_1 \right), \left(\min_i \{ \mu_{ij}^+ \} | j \in J_2 \right) \right\} \quad (11)$$

$$\nu_j^+ = \left\{ \left(\min_i \{ \nu_{ij}^+ \} | j \in J_1 \right), \left(\max_i \{ \nu_{ij}^+ \} | j \in J_2 \right) \right\} \quad (12)$$

$$\pi_j^+ = \left\{ \left(1 - \max_i \{ \mu_{ij}^+ \} - \min_i \{ \nu_{ij}^+ \} | j \in J_1 \right), \left(1 - \min_i \{ \mu_{ij}^+ \} - \max_i \{ \nu_{ij}^+ \} | j \in J_2 \right) \right\} \quad (13)$$

$$\mu_j^- = \left\{ \left(\min_i \{ \mu_{ij}^- \} | j \in J_1 \right), \left(\max_i \{ \mu_{ij}^- \} | j \in J_2 \right) \right\} \quad (14)$$

$$\nu_j^- = \left\{ \left(\max_i \{ \nu_{ij}^- \} | j \in J_1 \right), \left(\min_i \{ \nu_{ij}^- \} | j \in J_2 \right) \right\} \quad (15)$$

$$\pi_j^- = \left\{ \left(1 - \min_i \{ \mu_{ij}^- \} - \max_i \{ \nu_{ij}^- \} | j \in J_1 \right), \left(1 - \max_i \{ \mu_{ij}^- \} - \min_i \{ \nu_{ij}^- \} | j \in J_2 \right) \right\} \quad (16)$$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçümlerinin hesaplanması.

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırımın ölçülmesi için, Hamming uzaklık ölçümü, Euclidean uzaklık ölçümü ve bu uzaklık ölçümlerinin normalize edilmiş uzaklık ölçümleri kullanılabilir. Bu çalışmada, Hamming uzaklık ölçümü kullanılmıştır. Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve

negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırım ölçümleri (S_i^+ ve S_i^-) Eş.17 ve 18'de hesaplanmıştır.

$$S_i^+ = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left[|\mu'_{ij} - \mu_j^+| + |\nu'_{ij} - \nu_j^+| + |\pi'_{ij} - \pi_j^+| \right], i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left[|\mu'_{ij} - \mu_j^-| + |\nu'_{ij} - \nu_j^-| + |\pi'_{ij} - \pi_j^-| \right], i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması.

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre A_i için yakınlık katsayısı Eş. 19'daki gibi hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, 0 \leq C_i^* \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması.

Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüklerine göre sıralanırlar.






4. Uygulama

Bu çalışmada cep telefonu için ergonomik ürün konsept seçimi literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak beş ergonomik kriter (Tablo 1) ve beş farklı ürün konsepti (Tablo 2) belirlenerek gerçekleştirilmiştir (Lin ve ark.,2008; Fung ve ark., 2014). Üç kişiden oluşan bir uzman gruptan elde edilen bilgiler ışığında ergonomik tasarım kriterlerini en iyi derecede sağlayan ürün konsepti belirlenmiştir.

Tablo 1. Ergonomik ürün konsept seçimi için değerlendirme kriterleri

Kriter 1	Dokunmadaki rahatlık hissi
Kriter 2	Görsel çekicilik
Kriter 3	Rahat kavrama
Kriter 4	Menülerin kullanım kolaylığı
Kriter 5	Kapatma tuşunun dikkatsizce kullanımının önlenmesi

Tablo 2. Alternatif cep telefonu konseptleri

Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
				

Ergonomik ürün konseptine sahip cep telefonu seçimi için önerilen Sezgisel Bulanık TOPSIS metodu aşağıda verilen adımları kapsamaktadır:

Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi.

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla (SBS) ifade edilmiştir. Bu sayılar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Karar vericilerin ve kriterlerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler

Dilsel Terimler	SBS
Oldukça Önemli	(0,90 ; 0,10)
Önemli	(0,75 ; 0,20)
Orta	(0,50 ; 0,45)
Önemsiz	(0,35 ; 0,60)
Oldukça Önemsiz	(0,10 ; 0,90)

Karar vericilerin önem düzeyleri ve ağırlıkları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Karar vericilerin değerlendirilmesi

KV1	KV2	KV3
Oldukça önemli	Önemli	Orta
0.406	0.356	0.238

$$\lambda_{KV_1} = \frac{0,90}{0,90 + \left(0,75 + 0,05 \frac{0,75}{0,95}\right) + \left(0,5 + 0,05 \frac{0,5}{0,95}\right)} = 0,406$$

$$\lambda_{KV_2} = \frac{\left(0,75 + 0,05 \frac{0,75}{0,95}\right)}{0,90 + \left(0,75 + 0,05 \frac{0,75}{0,95}\right) + \left(0,5 + 0,05 \frac{0,5}{0,95}\right)} = 0,356$$

$$\lambda_{KV_3} = \frac{\left(0,5 + 0,05 \frac{0,5}{0,95}\right)}{0,90 + \left(0,75 + 0,05 \frac{0,75}{0,95}\right) + \left(0,5 + 0,05 \frac{0,5}{0,95}\right)} = 0,238$$

Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi.

Üç karar verici tarafından alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesi için dilsel terimler Tablo 5'te tanımlanmıştır. Alternatiflerin üç karar verici tarafından kriterler bazında aldıkları skorlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel terimler

Dilsel Terimler	SBS
Oldukça İyi	[0,75 ; 0,10 ; 0,15]
İyi	[0,60 ; 0,25 ; 0,15]
Orta	[0,50 ; 0,50 ; 0,00]
Kötü	[0,25 ; 0,60 ; 0,15]
Oldukça Kötü	[0,10 ; 0,75 ; 0,15]

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi gerekmektedir. IFWA kullanılarak üç karar verici tarafından verilen skorlar birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisi Tablo 7'de elde edilmiştir.

Tablo 6. Alternatiflerin kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

Karar Vericiler	Alternatifler	Kriterler				
		K1	K2	K3	K4	K5
KV1	A1	O	I	O	I	K
	A2	OK	I	I	OK	I
	A3	OI	O	O	OI	OI
	A4	I	O	I	O	K
	A5	K	O	O	K	OI
KV2	A1	I	O	O	O	K
	A2	OK	I	O	K	I
	A3	O	OI	O	OI	OI
	A4	I	I	I	O	K
	A5	O	O	O	K	OI
KV3	A1	O	O	O	K	I
	A2	OI	I	O	OI	OI
	A3	OK	I	K	O	I
	A4	I	I	I	O	K
	A5	O	K	O	K	O

Tablo 7. Birleştirilmiş karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	(0,538;0,391;0,071)	(0,543;0,377;0,079)	(0,500;0,500;0,000)	(0,497;0,394;0,109)	(0,354;0,487;0,159)
A2	(0,336;0,464;0,199)	(0,600;0,250;0,150)	(0,543;0,377;0,079)	(0,378;0,429;0,193)	(0,642;0,201;0,157)
A3	(0,566;0,286;0,148)	(0,630;0,239;0,131)	(0,449;0,522;0,028)	(0,705;0,147;0,148)	(0,720;0,124;0,155)
A4	(0,600;0,250;0,150)	(0,562;0,331;0,107)	(0,600;0,250;0,150)	(0,500;0,500;0,000)	(0,250;0,600;0,150)
A5	(0,411;0,538;0,051)	(0,449;0,522;0,028)	(0,500;0,500;0,000)	(0,250;0,600;0,150)	(0,705;0,147;0,148)

Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi.

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir.

Üç karar verici tarafından kriterlerin önem derecelerinin değerlendirilmesi için dilsel terimler Tablo 3'te tanımlanmıştır. Kriterlerin üç karar verici tarafından verilen skorlar Tablo 8'de verilmiştir.

Kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak Eş. 20'de hesaplanmıştır.

$$W = \left\{ (0,855;0,133;0,013), (0,876;0,118;0,006), (0,623;0,324;0,054), (0,799;0,170;0,031), (0,369;0,588;0,043) \right\} \quad (20)$$

Tablo 8. Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	Önemli	Oldukça Önemli	Oldukça Önemli
K2	Oldukça Önemli	Oldukça Önemli	Önemli
K3	Önemli	Orta	Orta
K4	Önemli	Önemli	Oldukça Önemli
K5	Orta	Önemsiz	Oldukça Önemsiz

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması.

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra sezgisel bulanık kümelerde tanımlanan çarpım operatörü kullanılarak ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi Tablo 9'da elde edilmiştir.

Tablo 9. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	(0,46;0,47 1;0,068)	(0,476; 0,451;0,073)	(0,311; 0,662;0,027)	(0,397; 0,497;0,106)	(0,131; 0,789;0,081)
A2	(0,288; 0,535;0,17 7)	(0,525; 0,338;0,136)	(0,338; 0,579;0,083)	(0,302; 0,526;0,172)	(0,237; 0,671;0,092)
A3	(0,484; 0,381;0,13 5)	(0,551; 0,329;0,12)	(0,28; 0,677;0,043)	(0,563; 0,291;0,145)	(0,266; 0,639;0,095)
A4	(0,513; 0,349;0,13 8)	(0,492; 0,41;0,098)	(0,374; 0,493;0,134)	(0,399; 0,585;0,016)	(0,092; 0,835;0,073)
A5	(0,351; 0,6;0,049)	(0,393; 0,579;0,028)	(0,311; 0,662;0,027)	(0,2; 0,668;0,132)	(0,26; 0,648;0,092)

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi.

Problemde ele alınan tüm kriterler fayda kriteridir. A^+ pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve A^- negatif sezgisel bulanık ideal çözümler aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$r_1^{**} = (0,513; 0,349;0,138) \quad r_2^{**} = (0,551; 0,329;0,12)$$

$$r_3^{**} = (0,374; 0,493;0,134) \quad r_4^{**} = (0,563; 0,291;0,145)$$

$$r_5^{**} = (0,266; 0,639;0,095)$$

$$r_1'^- = (0,288; 0,6;0,113) \quad r_2'^- = (0,393; 0,579;0,028)$$

$$r_3'^- = (0,28; 0,677;0,043) \quad r_4'^- = (0,2; 0,668;0,132)$$

$$r_5'^- = (0,092; 0,835;0,073)$$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçümlerinin hesaplanması.

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırım ölçümleri Tablo 10'da verilmiştir.

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması.

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre alternatiflerin yakınlık katsayıları hesaplanmış ve Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Alternatiflerin ayırım ölçüleri ve yakınlık katsayıları

Alternatifler	S_i^*	S_i^-	C_i^*
A ₁	1,014	0,749	0,425
A ₂	0,836	0,928	0,526
A ₃	0,277	1,486	0,843
A ₄	0,769	0,994	0,564
A ₅	1,430	0,333	0,189

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması.

Alternatiflerin skorları anlamına da gelen yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. En yüksek yakınlık katsayısına sahip olan alternatif en yüksek puanı alarak en başarılı olan alternatif, en düşük yakınlık katsayısına sahip olan alternatif ise en düşük puanı alarak en başarısız olan alternatif anlamına gelir. Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüğüne göre; A_3 A_4 A_2 A_1 A_5 şeklinde sıralanmıştır.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında cep telefonu için ergonomik kriterleri sağlayan en iyi ürün konsept seçimi gerçekleştirilmiştir. Karar vericilerden elde edilen bilgilere göre 5 değerlendirme kriteri dikkate alınarak en uygun alternatifin seçimi sezgisel bulanık TOPSIS metoduyla gerçekleştirilmiştir. Sezgisel bulanık TOPSIS metodunda, karar vericilerin önem dereceleri dilsel terimlerle, dilsel terimler ise sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Daha sonra karar vericiler tarafından kriterlerin önem derecelerini ve alternatiflerin kriterler bazında aldıkları değerler de dilsel terimlerle, dilsel terimler ise sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Sezgisel bulanık sayıların birleştirilmesi için IFWA kullanılmıştır. Sezgisel bulanık pozitif ideal çözüm ve sezgisel bulanık negatif ideal çözümler elde edilmiş, alternatiflerle ideal çözümler arasında pozitif ve negatif ayırım ölçümleri hesaplanmıştır. Daha sonra alternatifler için yakınlık katsayıları hesaplanarak alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

Yapılan çalışmayla sezgisel bulanık küme teorisi grup karar verme problemlerine uygulanmıştır. Önerilen yöntem, insan düşüncelerinden kaynaklanan belirsizliği ele almada etkin bir yöntem olduğu için gelecekte yatırım problemi, yazılım seçimi, üretim sistemi seçimi gibi diğer seçim problemlerine uygulanması öngörülmektedir.

6. Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

7. Kaynaklar

- Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic Fuzzy-Sets. Fuzzy Sets and Systems, 20 (1), 87-96.
- Ayağ, Z., 2002. An analytic-hierarchy-process based simulation model for implementation and analysis of computer-aided systems. International Journal of Production Research, 40 (13), 3053-3073.
- Ayağ, Z., 2004. A Fuzzy AHP-based Simulation approach to Concept Evaluation in a NPD Environment. 2004 IIE Transactions, 37, 827-842.
- Ayağ, Z., Özdemir, R.G., 2007. An analytic network process-based approach to concept evaluation in a new product development environment. Journal of Engineering Design, 18 (3), 209-226.
- Boran, F.E., Genç, S., Kurt, M., Akay, D., 2009. A Multi Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method. Expert Systems with Applications, 36 (8), 11363-11368.
- Duffy, A.H.B., Andreasen, M.M., Maccallum, K.J., Reijers L.N., 1993. Design co-ordination for concurrent engineering, Journal of Engineering Design, 4, 251-265.
- Fung, C.K.Y., Kwong, C.K., Chan, K.Y., Jiang, H.A., 2014. A guided search genetic algorithm using mined rules for optimal affective product design. Engineering Optimization, 46 (8), 1094-1108.
- Hammer, M., Champy, J., 1993. Değişim Mühendisliği: İş İdaresinde Devrim İçin Bir Manifesto, Çev: Sinem Gül; Sabah Yayınları; İstanbul
- Krishnan, V., Ulrich, K.T., 2001. Product Development Decisions: A Review of The Literature. Management and Science, 47 (1), 1-21
- Lin, M.-C., Wang, C.-C., Chen, M.-S., Chang, C.A., 2008. Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process. Computers in Industry, 59 (1), 17-31.
- Marsh, E. R., Slocum, A. H., Otto, K. N., 1993. Hierarchical decisionmaking in machine design. Technical Report,. (Cambridge, MA, MIT Precision Engineering Research Center)
- Pugh, S., 1981. Concept Selection – A method that works. International Conference on Engineering Design, 497-506.
- Smith, C., Verma, D., 2004. Conceptual System Design Evaluation: Rating and Ranking Versus Compliance. Analysis system Engineering 7 (4), 338-351
- Song, W., Ming, X., Wu, Z., 2013. An Integrated Rough Number-based Approach to Design Concept Evaluation Under Subjective Environments. Journal of Engineering Design 24 (5), 320-341.
- Soukhoroukova, A., Spann, M., 2005. New Product Development with Internet-based Information Markets: Theory and Empirical Application. In 13th European Conference on Information Systems (ECIS), Regensburg
- Vanegas, L.V., Labib, A.W., 2001. Application of new fuzzy-weighted average (NFWA) method to engineering design evaluation. International Journal of Production Research, 39 (6), 1147-1162
- Wang, J., 1997. A fuzzy outranking method for conceptual design evaluation. International Journal of Production Research , 35 (4), 995-1010
- Xu, Z.H., 2007. Intuitionistic fuzzy aggregation operators. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 15 (6), 1179-1187
- Yan, H.B., Ma, T., 2015. A fuzzy group decision making approach to new product concept screening at the fuzzy front end. International Journal of Production Research, 53 (13), 4021-4049.
- Yung, K.L., Ko, S.M., Kwan, H.K., Tam, C., Lam, W., Ng, H.P., Lau, K.S., 2006. Application of Function Deployment Model in Decision Making for New Product Development, Concurrent Engineering : Research and Applications, 14 (3), 257-267