



**MATEMATİKSEL MODELLEME İLE TÜRKÇE DİLİ
İÇİN ERGONOMİK KLAVYE TASARIMI**

Zeliha CEYLAN

Danışman: Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**MATEMATİKSEL MODELLEME İLE TÜRKÇE DİLİ İÇİN ERGONOMİK
KLAVYE TASARIMI**

(Ergonomic Keyboard Design for Turkish Language with Mathematical Modeling)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeliha CEYLAN

Danışman: Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN

Erzurum

Mayıs, 2023



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI**

**MATEMATİKSEL MODELLEME İLE TÜRKÇE DİLİ İÇİN ERGONOMİK KLAVYE
TASARIMI**

Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN danışmanlığında, Zeliha CEYLAN tarafından hazırlanan bu çalışma, 05/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Elif KILIÇ DELİCE
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Danışman: Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Şeyma EMEÇ
Erzurum Teknik Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN* danışmanlığında sunulan “Matematiksel Modelleme ile Türkçe Dili İçin Ergonomik Klavye Tasarımı” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	6	30
Kuramsal Temeller	5	30
Materyal ve Metot	6	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	3	20
Sonuçlar ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	6	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Zeliha CEYLAN	Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN
5.5.2023	5.5.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Danışmanlığımı yürüten ve çalışma sürecinin her aşamasında bilgisini, rehberliğini ve anlayışını esirgemeyen değerli Hocam Sayın Doç. Dr. MUHAMMED EMRE KESKİN'e,

Kıymetli zamanlarını esirgemeyerek bu çalışmaya her fırsatta katkıda bulunan değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Elif KILIÇ DELİCE'ye,

Her koşulda yanımda olan ve hayat boyu desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Zeliha CEYLAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ MATEMATİKSEL MODELLEME İLE TÜRKÇE DİLİ İÇİN ERGONOMİK KLAVYE TASARIMI

Zeliha CEYLAN

Danışman: Doç. Dr. Muhammet Emre KESKİN

Klavyelerde bulunan tuşlara, dikkate alınan dildeki harflerin yerleştirilmesine klavye düzeni denir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan klavye düzenlerine bağlı olarak özellikle el ve kol bölgesinde karpal tünel sendromu gibi kas iskelet sistemi rahatsızlıkları meydana gelmektedir. Klavye kullanıcıları ise söz konusu rahatsızlıklara bağlı olarak herhangi bir sağlık sorunu yaşamadan yüksek performanslı işler çıkarmak istemektedir. Bu sebeple ergonomik açıdan optimal klavye tasarım araştırmaları daktiloların kullanıldığı dönemlerden bu yana devam etmektedir. Bu bağlamda, Türkçe dili için ergonomik kriterleri de göz önünde bulunduran optimal klavye düzenine sahip iki klavye tasarımı önerilmiştir. Türkçe R ve Türkçe D klavye olarak isimlendirilen bu iki klavye için üç amacı olan çok amaçlı bir model geliştirilmiştir. Bu amaçlardan ilki parmağa binen yükü dengelemeyi amaçlarken diğer ikisi digraf ve trigraf cezalarını minimize ederek hızlı yazmayı desteklemektedirler. Modelde yer alan amaç fonksiyon değerlerinin önem ağırlıklarını belirlemek için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), SWARA (Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis), FUCOM(Full Consistency Method) ve SOWIA (Subjective and Objective Weight Integrated Approach) yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmada günlük gazetelerdeki metinlerin, Türkçe dilinde yazılmış güncel hikâye ve şiirlerin analizi, C# yazılımı kullanılarak oluşturulan Metin Analizi programında yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen monograf, digraf ve trigraf oranları ve ÇKKV yöntemlerinden elde edilen önem ağırlığı değerleri geliştirilen metodoloji için girdi verisi olarak kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, optimal klavye yerleşimi, matematiksel modelleme, ÇKKV

Mayıs 2023, 51 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

ERGONOMIC KEYBOARD DESIGN FOR TURKISH LANGUAGE WITH MATHEMATICAL MODELING

Zeliha CEYLAN

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muhammet Emre KESKİN

The placement of letters in the considered language on the keys on the keyboards is called the keyboard layout. Musculoskeletal disorders such as carpal tunnel syndrome occur, especially in the hand and arm region, depending on the keyboard layouts that are widely used today. Keyboard users, on the other hand, want to perform high-performance works without experiencing any health problems due to these ailments. For this reason, research on ergonomically optimal keyboard design has been going on since the era of typewriters. In this context, two keyboard designs with optimal keyboard layout for the Turkish language, which also take into account ergonomic criteria, are proposed. A multi-purpose model with three purposes has been developed for these two keyboards, called Turkish R and Turkish D keyboards. The first of these aims to balance the load on the finger, while the other two support fast typing by minimizing digraph and trigraph penalties. In order to determine the importance weights of the objective function values in the model, CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), SWARA (Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis), FUCOM (Full Consistency Method) and SOWIA (Subjective and Objective Weight) methods Integrated Approach) methods were used.

In the study, the analysis of the texts in the daily newspapers, the current stories and poems written in Turkish language was made in the Text Analysis program created using C# software. The monograph, digraph and trigraph ratios obtained as a result of the analysis and the importance weight values obtained from the MCDM methods were used as input data for the developed methodology.

Keywords: Ergonomics, optimal keyboard layout, mathematical modeling, MCDM

May 2023, 51 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Klavye Tasarımı	3
İkinci Dereceden Atama Problemi	7
Çok Kriterli Karar Verme ve Ağırlıklandırma Yöntemleri.....	8
MATERYAL VE METOT	11
Amaç Fonksiyonu	13
Parmağa binen yük.....	13
Digraf ceza puanı	15
Trigraf ceza puanı	15
Çok Kriterli Karar Verme Ağırlıklandırma Yöntemleri	16
CRITIC yöntemi	17
SWARA yöntemi	18
FUCOM yöntemi	19
SOWIA yöntemi	21
ARAŞTIRMA BULGULARI	22
Ağırlıklandırma Çalışmaları.....	22
CRITIC yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları	22
SWARA yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları.....	23
FUCOM yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları	25
SOWIA yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları	27
Sayısal Sonuçlar	30

SOWIA Yöntemi ile elde edilen CRITIC-SWARA bütünleşmiş sonuçlarına göre klavye yerleşimi	31
SOWIA Yöntemi elde edilen CRITIC-FUCOM bütünleşmiş sonuçlarına göre klavye yerleşimi	31
Tüm Klavyelerin Karşılaştırılması.....	32
SONUÇ.....	36
KAYNAKÇA	37
ÖZGEÇMİŞ.....	39



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Dvorak ve Arkadaşlarına Göre El ve Parmaklarla Maksimum Vurma Hızı	14
Tablo 2. Maksimum Parmak İtme Kuvveti	14
Tablo 3. Parmaklarda İstenen Hedef Yükler.	14
Tablo 4. Mevcut Klavye Yerleşimlerine Göre Ağırlıklar	22
Tablo 5. Normalize Edilmiş Karar Matrisi Değerleri	23
Tablo 6. Kriterlere Ait Standart Sapma Değerleri	23
Tablo 7. İlişki Katsayı Matrisi Değerleri	23
Tablo 8. CRITIC Yönteme Göre Kriterlerin Önem Ağırlıkları	23
Tablo 9. Kriterlerin Karar Vericilere Göre Sıralaması	24
Tablo 10. Karar Verici 1'e Göre Kriter Önem Ağırlıkları.....	24
Tablo 11. Karar Verici 2'ye Göre Kriter Önem Ağırlıkları.....	24
Tablo 12. Karar Verici 3'e Göre Kriter Önem Ağırlıkları.....	24
Tablo 13. SWARA Yöntemine Göre Kriter Önem Ağırlıkları.....	25
Tablo 14. Karar Verici 1 İçin Kriter Önem Ağırlıkları.....	26
Tablo 15. Karar Verici 2 İçin Kriter Önem Ağırlıkları.....	26
Tablo 16. Karar Verici 3 İçin Kriter Önem Ağırlıkları	27
Tablo 17. FUCOM Yöntemine Göre Kriter Önem Ağırlıkları	27
Tablo 18. CRITIC-SWARA Bütünleşmesine Göre Kriter Önem Ağırlıkları.....	28
Tablo 19. CRITIC-FUCOM Bütünleşmesine Göre Kriter Önem Ağırlıkları.....	28
Tablo 20. Tüm Yöntemlere Göre Kriter Önem Ağırlıkları Özet Tablo.....	28
Tablo 21. Tüm Yöntemlere Göre Kriter Önem Ağırlıklarının Normalize Değerleri	31
Tablo 22. Önerilen Türkçe R Klavye 'ye Ait Model Sonucu	31
Tablo 23. Önerilen Türkçe D Klavyeye Ait Model Sonucu	32
Tablo 24. Mevcut Klavyelerin Önerilen Türkçe R Klavye ile Karşılaştırılması	32
Tablo 25. Mevcut Klavyelerin Önerilen Türkçe D Klavye İle Karşılaştırılması.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Q Klavye düzeni.....	4
Şekil 2. Dvorak Klavye düzeni	4
Şekil 3. Türkçe Q klavye düzeni	5
Şekil 4. Türkçe F klavye düzeni.....	6
Şekil 5. E klavye düzeni	6
Şekil 6. Dört konum, dört işletme ve işletmelerin departmanlara atanması.....	7
Şekil 7. Standart bir klavyede bulunan tuş konumları.....	12
Şekil 8. CRITIC yöntemi	17
Şekil 9. SWARA yöntemi	18
Şekil 10. FUCOM yöntemi	19
Şekil 11. Tüm yöntemlere göre kriter önem ağırlıkları grafiği	29
Şekil 12. Türkçe R Klavye yerleşimi	31
Şekil 13. Türkçe D Klavye yerleşimi	32
Şekil 14. Mevcut klavyelerin önerilen türkçe R klavye ile karşılaştırılması grafiği.....	33
Şekil 15. Mevcut klavyelerin önerilen türkçe D klavye ile Karşılaştırılması grafiği.....	34

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
CRITIC	Criteria Importance Through Intercriteria Correlation
SWARA	Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis
FUCOM	Full Consistency Method
SOWIA	Subjective and Objective Weight Integrated Approach
KAP	Klavye Atama Problemi
COPRAS	Complex Proportional Assessment Of Alternatives
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
WASPAS	Weighted Aggregated Sum Product Assessment
ROSA	Rank Order Similarity to Ideal Solution

GİRİŞ

Doğru ve hızlı bir şekilde yazı yazmak için uygun bir klavye yerleşimine sahip olmak önemlidir. Klavye yerleşimi, kullanılacağı ülkeye ve dile özgü farklılıkları da dikkate alarak karakterlerin tuşlara atandığı bir tasarım sürecidir. Kullanılan kelimeler dilden dile değiştiği için harflerin birleşim şekilleri de farklılık göstermektedir. Bu sebeple harfleri kolayca yazmak için kullanılan dil özellikleri dikkate alınarak klavye yerleşimi optimize edilmelidir.

Klavye düzeni optimizasyonu için daha önce yapılan çalışmalarda farklı birçok yöntem kullanılmıştır. Yapılan ilk çalışmalar incelendiğinde çoğu araştırmacının sezgisel yöntemleri kullandığı gözlemlenmiştir fakat bu yöntemin sonucun doğruluğunun kanıtlanabilir olmasını önemsememesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar, modelin doğruluğunu, hızını ve yorumlanabilirliğini etkileyebilir. Bu sebeple daha sonraki çalışmalarda atama formülasyonları ve çok amaçlı optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Bu modellerde tuşlar arasındaki mesafe yoğunlukla uzaklık matrisi olarak alınmıştır. Sanal klavyeler düşünüldüğünde tuşlar arası vuruş süresi ile tuşlar arasındaki mesafe oldukça ilişkilidir. Buna karşın dokunmatik klavyede tek parmak kullanılmadığından durum böyle değildir. Bu durumda harfler arasındaki akış, üzerinde çalışılan dildeki harf çiftlerinin frekansı olarak alınabilir. Klavye tasarımında yalnızca daha hızlı yazmak hedeflendiğinde mesafe matrisi olarak sadece zaman aralıkları kullanılabilir. Fakat klavye kullanımına bağlı sağlık sorunlarına bakıldığında (İnandı & Akyol, 2001), yazma hızının yanında kullanım kolaylığı ve ergonomik kriterlerin de dikkate alınması gerektiği gözlemlenmektedir.

Ergonomik klavye tasarımları, kullanıcı üretkenliği ve konforu için iyileştirilmiş bilgisayar klavyelerinin oluşturulma sürecidir. Ergonomik bir klavye tasarımında temel hedef, uzun süreli klavye kullanımında ellerin, bileklerin ve kolların maruz kaldığı yükü azaltmak olmalıdır. Sonuç olarak, klavye yerleşimi, kullanıcıların karakterleri hem hızlı hem de doğru yazmalarına olanak tanırken, ergonomik klavye tasarımı, kullanım kolaylığı ve kültürel farklılıkları da dikkate almaktadır.

Öyleyse; klavye kullanımına bağlı sağlık sorunlarını azaltmak ve klavye kullanıcıları arasında yazma rahatlığı ve konforunu artırmak için ergonomik kriterlerin de dikkate alındığı Türkçe için en uygun klavye düzenini geliştirmek verimlilik, sağlık ve rahatlık meselesidir. Bu nedenle, bu güncel çalışmada, Türkçe dilinin güncel analizi yapılarak; metin analizi yapmak için oluşturulan programda günlük gazetelerdeki haberler (spor, edebiyat, teknoloji vb.), güncel

kelimeler ile yazılmış şiir ve hikayeler incelenmiştir. Elde edilen verilerin çalışma içerisinde yer alan üç amaçlı matematiksel modelde kullanılması ile yükün parmaklara eşit oranda dağıtılması, digraf ve trigraf ceza maliyetlerini düşürerek el ve parmak yorulmasını önleyecek şekilde daha hızlı yazılması sağlanarak Türkçe dili için ergonomik ve optimal bir klavye tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan çok amaçlı matematiksel modelde amaç fonksiyonlarının ergonomik açıdan optimal klavye tasarımındaki ağırlıklarının hesaplanabilmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden objektif ağırlıklandırma yöntemi olan CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), subjektif ağırlıklandırma yöntemleri SWARA (Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis) ile FUCOM (Full Consistency Method) ve son olarak da hibrit bir ağırlıklandırma yöntemi olan SOWIA (Subjective and Objective Weight Integrated Approach) kullanılmıştır. Söz konusu ağırlıklandırma yöntemlerinin çok amaçlı matematiksel modelde kullanılması ile Türkçe R ve Türkçe D klavye tasarımları elde edilmiştir. Önerilen bu iki klavye tasarımının etkinliği literatürde yer alan Türkçe Q, Türkçe F ve E klavye tasarımları ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Bölüm 2 içerisinde çalışmada yer alan yöntemlere ait literatür taraması , Bölüm 3'te çalışma için kullanılan materyal ve yöntemler , Bölüm 4'te kriterlere ait önem ağırlıklarını belirlemek için kullanılan ağırlıklandırma yöntemleri ve çalışma için oluşturulan metodolojinin sayısal sonuçları, Bölüm 5'te çalışmanın sonuçları ve son olarak Bölüm 6'da kaynakça kısmı yer almaktadır.

KURAMSAL TEMELLER

Daktilolardan elektronik klavyelere dönüşümün başladığı zamanlardan bugüne kadar çok farklı klavye türleri ve alternatif giriş yöntemleri önerilmiştir. Ancak, şimdiye kadar geleneksel klavyelerin yerini alabilen olmamıştır. Dokunmatik klavyelerin en önemli veri giriş aracı olması sebebi ile mevcut klavye düzenlerinde bulunan eksikliklerin giderilmesi ve kullanıcıya rahat bir yazma deneyimi sunan optimal klavyenin tasarlanması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan araştırma sonuçları bu bölümde anlatılacaktır.

Klavye Tasarımı

1874 yılında Christopher Latham Sholes tarafından patenti alınan Q klavye herhangi bir dile uygun olarak geliştirilmemiştir. QWERTY klavye daktilolarda iki tuşa aynı anda basıldığında tuş kollarında meydana gelen sıkışmayı önlemek amacıyla kullanıcıyı yavaşlatacak şekilde tasarlanmıştır (Anonim, Q Klavye, 2023). Klavye düzeni Şekil 1’ de gösterilmiştir. Bilgisayarlar kullanılmaya başladıktan sonra ise on parmak kullanıcılarının yazma işini zorlaştırmamak için aynı düzen korunmuştur. Fakat bu düzen hem klavye kullanımını hem de klavye öğrenimini zorlaştırdığından Dvorak ve ekibi 1936 yılında İngilizcede en sık kullanılan harflerin orta sıraya dizildiği Şekil 2’de gösterilen klavye düzenini önermişlerdir (Dvorak, Merrick, Dealey, & Ford, 1936). Ancak piyasaya Q klavyenin hakim olması ve mevcut klavyelerin değiştirilme maliyetinin yüksek olması sebebi ile Dvorak klavyesi kullanılamamıştır. Fakat makalede bir klavyeyi değerlendirebilmek için yayınlanan kriterler günümüzde yapılan çalışmalarda da kullanılmaya devam etmektedir. Dvorak kriterleri aşağıda belirtilmiştir.

Dvorak Kriterleri:

1. Parmaklar üzerindeki yük ve kapasite dengeli olmalıdır.
2. Aynı parmakla yazmak hızı düşüreceğinden aynı parmakla yazma yüzdesi düşük olmalıdır.
3. Üst sıraya daha az kullanılan harfler yerleştirilmelidir.
4. Alt sıraya daha az kullanılan harfler yerleştirilmelidir.
5. Orta sıraya erişim kolay olduğundan en sık kullanılan harfler bu sırada olmalıdır.
6. Değişen ellerle yazmak hızı arttıracığından harf dağılımı buna göre yapılmalıdır.

7. Aynı parmakla yukarı-aşağı hareket ederek yazmak kullanıcıyı yavaşlatır. Harf dağılımı yapılırken bu durum dikkate alınmalıdır.
8. Aynı elin farklı parmakları ile yazmakta kullanıcıyı yavaşlatan bir diğer durumdur. Harfler bu durum dikkate alınarak yerleştirilmelidir.



Şekil 1. Q Klavye düzeni



Şekil 2. Dvorak Klavye düzeni

Pollatschek ve arkadaşları 1976 yılında mevcut klavye düzeninin iyileştirilmesi için simülasyon modeli kullanılan bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada klavye düzeninde yazım hızı, parmak hareketi, yorgunluk seviyesi ve diğer faktörler üzerindeki etkilerini değerlendirerek alternatif düzenler önerilmiştir (Pollatschek, Gershoni, & Radday, 1976). 1986 yılında Cassingham, Dvorak klavyesinin QWERTY klavyeden farklılıklarını ve avantajlarını ayrıntılı bir şekilde açıklamak ve kullanıcıların hangi klavye düzeninin ihtiyaçlarına daha uygun olduğuna karar vermelerine yardımcı olması amacıyla bir çalışma ortaya koymuştur (RC., 1986). Yapılan araştırmalar klavye kullanımına bağlı sağlık sorunlarının ortaya çıktığını gösterince iyi bir klavye tasarımı için hızlı yazmanın tek kriter olamayacağı, iyi bir klavyenin aynı zamanda ergonomik kriterleri de yerine getirmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu sebeple Eggers ve ekibi 2003 yılında karınca kolonisi algoritması (Eggers, Feillet, Kehl, Wagner, & Yannou, 2003), Yin ve ekibi ise 2011 yılında siber sürü optimizasyonunu kullanarak ergonomik bir klavye tasarımı önermişlerdir (Yin & Su, 2010). Her iki çalışmada da kullanılan yöntem sezgisel algoritma olduğundan doğruluğu tam anlamıyla kanıtlanabilir değildir. Yapılan bu çalışmalar tek bir dil için klavye geliştirmeyi amaçlarken (İşeri & Ekşioğlu, 2015) ve (Onsorodi

& Korhan, 2020) ise herhangi bir dilde kullanılabilecek ergonomik ve optimal bir klavye düzeni tasarlamak amacıyla çok amaçlı bir Klavye Atama Problemi (KAP) kullanılmıştır. 2009 yılında Abbasov ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada, klavye düzenlemesi için istatistiksel bir model geliştirilmiştir. Model, farklı dillere ait harflerin konumları, bir harfin diğer harflerle olan ilişkileri ve bu harflerin sıklıkları gibi faktörlere dayanmaktadır (Abbasov, Hajiyeve, & Afandiyev, 2009). Ancak, harflerin ergonomik açıdan en uygun konumlarının belirlenmesinde, sadece sıklık değil, aynı zamanda parmak hareketleri ve el hareketleri gibi faktörler de dikkate alınmalıdır. 2020 Uluslararası Akıllı Veri Bilimi Teknolojileri ve Uygulamaları Konferansı'nda sunulan BZQ klavyenin, Q klavyeden daha verimli olduğu iddia edilmiştir. BZQ klavyenin, İngilizce dilinde en çok kullanılan harfler olan "ETAOIN SHRDLU" harflerinin yan yana yerleştirilmesiyle oluşan bir düzen olduğu belirtilmektedir (Fadel, Tuffaha, Al-Ayyoub, & Jararwch, 2020). Yapılan çalışmada yalnızca İngilizce dili özellikleri dikkate alınmıştır bu sebeple farklı diller için kullanıldığında verim sağlayıp sağlamayacağı hakkında herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. İngilizce dili özelliklerini dikkate alarak klavye tasarımını amaçlayan çalışmalardan bir diğeri ise 2021 yılında Nivasch ve Azaria tarafından gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları çalışmada genetik algoritma ile derin öğrenmenin kullanılmasını önermişlerdir (Nivasch & Azaria, 2021). Lee ve ekibi ise 2022 yılında derin öğrenme algoritmasını kullanarak el hareketlerinin gerçek zamanlı olarak tanınmasını amaçlayan bir çalışma ortaya koymuşlardır (Lee, Kim, Kim, & Lee, 2022). Çalışma sonucunda bu sistemlerin kullanılmasının yazma işlemini daha doğru ve hızlı hale getirdiği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde klavye tasarımının İngilizce dili üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla beraber Türkçe klavye yerleşimi için Türkçe karakterlerin eklenmesi ile özelleştirilmiş, Şekil 3'te gösterilen Türkçe Q Klavyenin yanında iki klavye düzeni daha tanıtılmıştır.



Şekil 3. Türkçe Q klavye düzeni

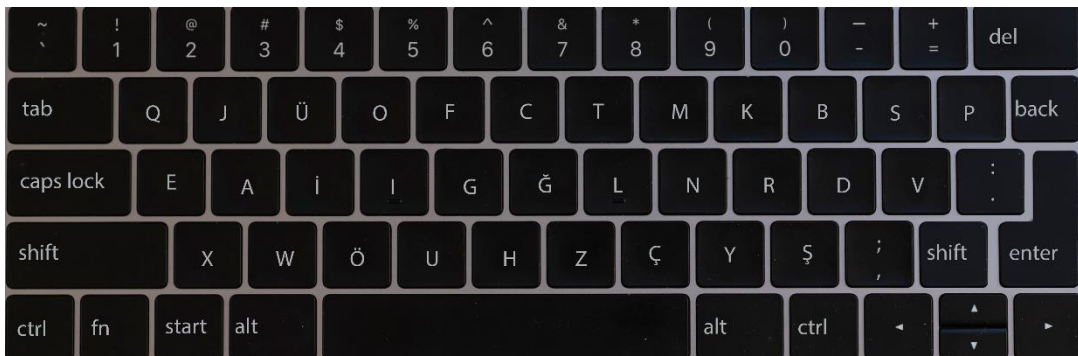
Bunlardan birincisi, ulusal bir klavye oluşturma gündeme gelmesi ile Millî Eğitim Bakanlığı ile bu alanda çalışmaya başlayan daktilo eğitmeni İhsan Sıtkı Yener tarafından 1955

yılında yapılmıştır. Türkçe dilinde sık kullanılan kelimelerin dikkate alınması ile oluşturulan F Klavyede en çok kullanılan sesli harfler sol ele, sessiz harfler ise sağ ele denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Tasarım yapılırken ergonomik kriterleri göz önünde bulunduran bir optimizasyon çalışması yapılmamış yalnızca harflerin kullanım sıklığı dikkate alınmıştır. Yapılan bu çalışma ile ortaya çıkan klavye düzenine “Türkçe F klavye düzeni” adı verilmiştir. Klavye düzeni Şekil 4’ te gösterilmiştir. F klavye çalışmaları tamamlandığında Devlet Malzeme Ofisine tanıtıldı. Bakanlıklar arası Standardizasyon Komitesi, 20 Ekim 1955 tarihinde klavyeyi onayladı (Anonim, F Klavye, 2023). Türk Standartları Enstitüsü’nün (TSE) 1991’de yayımladığı "Türk Standartları - Temel Klavye Düzeni" belgesi Türkçe F klavye düzenini önermektedir (Milli Eğitim Bakanlığı, 1991).



Şekil 4. Türkçe F klavye düzeni

F klavyenin ergonomik kriterleri dikkate almayan bir düzene sahip olması sebebi ile Türkçe dili için ergonomik klavye arayışı devam etmiştir ve Türkçe için ikinci geliştirilen klavye Ekşioğlu gözetiminde İşeri tarafından 2013 yılında literatüre “E Klavye” olarak tanıtılmıştır. E klavye Dvorak kriterlerinin dikkate alındığı doğrulama testlerine tabii tutularak Türkçe Q ve Türkçe F klavyeden daha başarılı bulunmuştur (İşeri & Ekşioğlu, 2015). E klavye düzeni Şekil 5’te olduğu gibidir. Çalışmada sezgisel yöntem kullanıldığı için çıkan sonucun en iyiği garanti etmediği bilinmektedir ve geliştirmeye açıktır.



Şekil 5. E klavye düzeni

Yapılan başka bir çalışma ise Türkçe sanal klavyelerin yazma hızını ve kullanılabilirliğini artırmayı hedeflemektedir. Çalışma sonuçları, sanal klavyelerin verimliliğini

artırmak için farklı faktörlerin değiştirilmesinin faydalı olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda tuş yerleşimi, tuş boyutu ve tuş aralığı gibi parametrelerin değiştirilmesiyle daha hızlı ve doğru yazma sağlanabileceğini belirtmektedir (Uşşaklı, 2004).

İkinci Dereceden Atama Problemi

Aralarında malzeme akışı olan bölümlerin yerlerinin belirlenmesi problemi ilk olarak Koopmans ve Beckman tarafından 1957 yılında ikinci dereceden atama problemi olarak modellenmiştir (Heragu, 2008). Elimizdeki n adet konuma m adet işletmenin yerleşiminin yapılacağı bir tesis probleminde, atama terimi, her işletmeyi bir konumla eşleştirmek veya bunun tam tersi anlamına gelmektedir. İkinci dereceden atama problemi, eşit sayıda departman ve konum gerektirir. Örneğin n lokasyona atanacak m departman varsa ve m, n 'den daha az ise, o zaman ikinci dereceden atama formülasyonunu kullanmak için $n-m$ kukla departman oluşturulabilir. Ve bu kukla departmanların diğer departmanlar ile arasındaki akışı 0 olarak atayabiliriz. Şekil 6'da 4 işletmenin 4 konuma yerleştirildiği bir örnek bulunmaktadır.

KONUM		İŞLETME		ATAMA
1	2	x	y	z, 1 x, 2
3	4	z	w	w, 3 y, 4

Şekil 6. Dört konum, dört işletme ve işletmelerin departmanlara atanması.

Probleme ait parametreler, karar değişkenleri ve model aşağıda gösterilmiştir (Heragu, 2008).

Parametreler:

n : Toplam işletme ve konum sayısı.

a_{ij} : j konumunda i işletmeden elde edilen gelir.

f_{ik} : i 'den k 'ya malzeme akışı.

c_{jl} : j konumundan l konumuna malzeme taşıma maliyeti.

Karar Değişkenleri:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ işletmesi } j \text{ konumuna atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$Maks \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1, i \neq k}^n \sum_{l=1, l \neq k}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Modelde (1) numaralı denklemde gösterilen amaç fonksiyonu brüt geliri yani konumlar arasındaki malzeme akışını maksimize etmeyi hedefler. (2) ve (3) denklemleri ise her konuma bir işletme ve her işletmeye yalnızca bir konum atanması şartını sağlamaktadır.

İkinci dereceden atama problemi, amaç fonksiyonunun değişkenlerin ikinci dereceden bir fonksiyonu olduğu, yani iki değişkenin çarpımını içeren bir atama problemidir. M karakteri N tuşa tahsis etmeyi amaçlayan klavye yerleşim problemi bu yönüyle ikinci dereceden atama problemine benzerlik gösterir. Optimal klavye tasarımı için en iyi yaklaşımın ikinci dereceden atama problemi olduğu görülmektedir. Çünkü atama formülasyonları tüm kuralları dikkate almak için yetersiz kalırken, sezgisel yaklaşımlar optimal bir çözüm elde etmekten uzaktır. Bu sebeple yapılacak olan bu çalışmada ikinci dereceden atama problemi geliştirilerek, belirlenen hedefleri optimize eden bir klavye yerleşimi bulmak amaçlanmıştır.

Çok Kriterli Karar Verme ve Ağırlıklandırma Yöntemleri

ÇKKV, karar vericilerin sayılabilir sonlu ya da sayılamaz sayıda seçenekten oluşan bir küme içinde en az iki kriter kullanarak yaptığı seçim işlemi ya da diğer bir deyişle iki ya da daha çok kritere dayalı değerlendirme yaparak alternatifler arasından seçim yapma işlemi olarak tanımlanabilir. ÇKKV yöntemleri, farklı kriterlerin farklı ağırlıklara sahip olduğu durumlarda kullanılır. Ağırlıklandırma yöntemleri, kriterlerin önemini belirlemek için her bir kritere ağırlık atar. Nesnel veya öznel yapıya sahip birbirleri ile çelişebilen kriterlerin farklı önem seviyelerine sahip oldukları bir düzende; bu kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi için ağırlıklandırılmaları kaçınılmazdır. Ağırlıklandırma için öznel ve nesnel yöntemler kullanılmaktadır. Öznel ağırlık belirleme yöntemlerinde kriterlerin önem seviyeleri karar vericiler tarafından belirlenirken, nesnel ağırlık belirleme yöntemlerinde objektif sonuçlar için matematiksel modellerden faydalanılmaktadır (Keskin & Kılıç Delice, 2022). Bu bağlamda yapılan çalışmada nesnel ağırlıklandırma yöntemi olarak CRITIC, öznel ağırlıklandırma

yöntemi olarak SWARA ve FUCOM yöntemleri ile nesnel ve öznel ağırlıkları bütünleştirerek tek bir ağırlık elde edilmesini sağlayan SOWIA yöntemi kullanılmıştır.

Kriter ağırlıklarını bulmak amacıyla kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olan CRITIC yöntemi objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir. Yöntem 1995 yılında Diakoulaki tarafından literatüre tanıtılmıştır. CRITIC yöntemi değerlendirme kriterlerinde bulunan bilgileri ortaya çıkarmak için karar matrisinin analitik incelemesine dayanır (Ecer, 2020).

SWARA yöntemi diğer ağırlıklandırma yöntemleri ile kullanılarak birçok çalışmada kullanılmıştır. (Zolfani & Bahrami, 2014)'de COPRAS (Complex Proportional Assessment Of Alternatives) ile SWARA metotlarını kullanarak yüksek teknoloji sektörlerini önceliklendirmişlerdir. Shukla (Shukla, Mishra, Jain, & Yadav, 2016)'da SWARA ve PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemlerini kullanarak ERP (Enterprise Resource Planning) seçimi yapmıştır. Yazdani vd. (Yazdani, Zavadskas, Ignatius, & Abad, 2016) malzeme seçimi için SWARA yöntemini kullanmışlardır. (Delice, Can, & Kahya, 2020)'de SWARA, WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) ve ROSA (Rank Order Similarity to Ideal Solution) yöntemleri entegre edilerek çalışanların zorlanma düzeylerinin yüksek olduğu departmanların belirlenmesinde kullanılmıştır.

FUCOM yöntemi, çok kriterli karar verme problemlerinin çözümüne yönelik olarak birçok çalışmada kullanılmıştır. (Pamucar, Stevic, & Sremac, 2018)' de araştırmacılar söz konusu yöntemi kullanarak şehir su sistemlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmişlerdir. (Demirel, Akgül, & Alkan, 2019)' de ise FUCOM yöntemi kullanılarak biyokütle enerji santrallerinin seçimi yapılmıştır. Öztayşi vd. araç seçimi probleminin çözümünde de yine FUCOM yöntemini kullanmışlardır (Öztayşi & Kahraman, 2019).

Yapılan bu güncel çalışma ile literatürde bulunan klavye yerleşimi çalışmalarından farklı olarak;

- Dikkate alınan dildeki kelimelerin monograf (bir harfin kullanım miktarı) ve digraf (ikili harf tekrar miktarı, örn. Bir metindeki 'zc' ikilisinin tekrarı.) değerlerinin yanında trigraf (üçlü harf tekrar miktarı, örn. Bir metindeki 'bjk' üçlüsünün tekrarı.) değerleri de amaç fonksiyonuna katılarak yeni bir metodoloji oluşturulmuştur.
- Geliştirilen bu metodoloji ile parmakların yatay düzlemdeki hareketinin hafifletilmesinin yanında dikey düzlemdeki hareketi de hafifletilerek parmak ve el

yorgunluğunun azaltılması ve daha ergonomik bir klavye tasarlanması amaçlanmıştır.

- Parmaklara binen yüklerin dengeli biçimde dağıtılarak parmak yorgunluğunun en az seviyeye indirilmesi ve bu sayede daha verimli bir biçimde klavye kullanılması hedeflenmiştir.
- Dilinde tıpkı bir canlı gibi doğduğu, geliştiği ve öldüğü yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Ercilasun, 2021). Bu sebeple bir dilde kullanılan kelimelerde zamanla değişmektedir. Yapılan bu çalışmada günlük gazete haberleri, güncel şiir ve hikayelerden alınan metinler analiz edilerek Türkçe dilinin son on yıldaki istatistikleri oluşturulmuştur.
- Güncel Türkçe metinlerin analizinden elde edilen verilerin matematiksel modelde kullanılması ile Türkçe dili için ergonomik açıdan optimal klavye düzeninin oluşturulması amaçlanmıştır.
- Literatürdeki klavye çalışmaları incelendiğinde karşılaştırma çalışmalarının eksik kaldığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada elde edilen Türkçe R ve Türkçe D klavye tasarımları Türkçe Q, Türkçe F ve E klavye ile karşılaştırılmış ve önerilen klavyelerin diğerlerinden daha etkin oldukları ortaya çıkarılmıştır.

Bu araştırma, Türkçe dilinde yazılan günlük gazetelerdeki metinleri (spor, teknoloji, ekonomi vb.) ve edebi eserlerde bulunan metinleri dikkate almaktadır. Metin çeşitliliğinin sağlanması ile söz konusu dilde en sık kullanılan kelimelerin daha iyi analiz edilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak, metin analizi yapan program ile her harfin, harf çiftlerinin ve üçlü harf kümelerinin sıklığı hesaplanmıştır. Ardından, amaç fonksiyonu değerlerinin ağırlıkları hesaplanmış ve tüm bu değerleri dikkate alan, parmak hareketinin toplam mesafesini en aza indirmek için ergonomik olarak optimize edilmiş bir klavye tasarlamak için geliştirilen metodoloji uygulanması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Problem çözümü için geliştirilen model, bir ergonomik klavye tasarım problemidir. Geliştirilen modelde amaç fonksiyonunun üç amacı vardır, bunlardan ilki her parmağa binen yükü dengelemek, ikincisi digraf oranını düşürerek el değişimini engellemek ve el yorulmasını önlemek ve sonuncusu ise trigraf oranını düşürerek yazma esnasındaki dikey hareketi önleyerek parmak yorulmasını engellemektir. Model her harfi bir tuşa ve her tuşu bir harfe atamak gibi sıradan atama probleminin kısıtlamalarına ve parmağa binen yükü dengelemek için literatüre bu çalışma ile tanıtılan kısıta sahiptir. Buradan da anlaşılacağı üzere problem çözümü için önerilen bu matematiksel model literatürde yenidir. Bu çalışma için çeşitli türdeki güncel Türkçe metinlerden alınan 10.241 kelimenin analiz edilmesiyle elde edilen ve matematiksel modelde girdi olarak kullanılan monograf, digraf ve trigraf oranları modelde kullanılmıştır.

Kümeler:

p = Bilgisayar klavyesinde yazı yazmak için kullanılan 8 parmak kümesi.

Harf: 32 harfin tamamı ($a, b, \dots, w, x$).

Tuş: Tüm klavye tuşları kümesi. Şekil 7'de gösterilmiştir.

Parametreler:

m_i = Analizi yapılan dilde i harfinin monograf oranı.

d_{ik} = Analizi yapılan dilde i ve k harfleri arasındaki digraf oranı.

t_{ik} = Analizi yapılan dilde i ve k harfleri arasındaki trigraf oranı.

cd_{jl} : Art arda j ve l tuşlarına tıklayan parmak hareketinin digraf ceza puanı.

ct_{jl} : Art arda j ve l tuşlarına tıklayan parmak hareketinin trigraf ceza puanı.

y_p : p parmağına binmesi gereken yük.

$a_{pj} = \begin{cases} 1, & i. \text{ harf } j. \text{ tuşa atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

θ_1 : 1. amaç fonksiyonu ağırlık değeri.

θ_2 : 2. amaç fonksiyonu ağırlık değeri.

θ_3 : 3. amaç fonksiyonu ağırlık değeri.

Değişkenler:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ harf } j. \text{ tuşa atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$x_{kl} = \begin{cases} 1, & k. \text{ harf } l. \text{ tuşa atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

α_p : p parmağına binen yükün y_p 'den fazla olan miktarı.

β_p : p parmağına binen yükün y_p 'den az olan miktarı.



Şekil 7. Standart bir klavyede bulunan tuş konumları

$$\text{Min } \theta_1 \sum \alpha_p + \theta_2 \sum d_{ik} c d_{jl} x_{ij} x_{kl} + \theta_3 \sum t_{ik} c t_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (5)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall_i \in \text{Harf} \quad (6)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall_j \in \text{Tuş} \quad (7)$$

$$\sum m_i x_{ij} a_{pj} = y_p + \alpha_p - \beta_p \quad \forall_p \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (9)$$

Model ikili değişken çarpımı içerdiğinden bu haliyle doğrusal değildir. Modeli doğrusal hale getirmek için bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bunun için ikili değişken çarpımının, $x_{ij} \times x_{kl}$ değerini temsil eden yeni bir ikili değişken, z tanımlanmıştır. x_{ij} ve x_{kl} çarpımının sıfır olmaması için her ikisinin de bire eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle $x_{ij}=0$ ve/veya $x_{kl}=0$ z'nin de sıfıra eşit olmasını sağlar. (10) ve (11) denklemlerini model kısıtına ekleyerek bu şartı sağlamış oluruz.

$$z_{ijkl} \leq x_{ij} \quad (10)$$

$$z_{ijkl} \leq x_{kl} \quad (11)$$

Bu şartı sağladıktan sonra, x_{ij} ve x_{kl} 'nin çarpımı bire eşitse z 'yi bire eşitleme şartının sağlanması gerekmektedir. Bu şartta ancak her iki değişkende bire eşitse olur. Bunu sağlamak için (12) denklemi model kısıtına eklenmelidir.

$$z_{ijkl} \geq x_{ij} + x_{kl} - 1 \quad (12)$$

Doğrusal hale getirilen modelin kısıtlarına (10), (11) ve (12) denklemlerinin eklenmesi ile son hali aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } \theta_1 \sum \alpha_p + \theta_2 \sum d_{ik} c d_{jl} z_{ijkl} + \theta_3 \sum t_{ik} c t_{jl} z_{ijkl} \quad (13)$$

subject to

$$(6) (7) (8) (9)$$

$$(10) (11) (12)$$

$$z_{ijkl} \geq 0 \quad (14)$$

Amaç Fonksiyonu

Daha önceki kısımda da belirtildiği üzere amaç fonksiyonu 1. denklemde x_{ij} ve x_{kl} ikili değişkenlerinin çarpımını içerdiğinden doğrusal değildir. Yukarıda anlatılan dönüşüm ve eklemelerin yapılması ile doğrusal hale getirilen amaç fonksiyonu denklem (13)'de gösterilmiştir. Önerilen amaç fonksiyonu, üç amacı olan (parmağa binen yükü, digraf ve trigraf cezalarını en aza indiren) çok amaçlı bir fonksiyondur.

Öncelikle bu çalışmada yer alan ergonomik kriterleri ve bu kriterlerin amaç fonksiyonunda kullanılması için önerilen metodolojiyi açıklayalım.

Parmağa binen yük

Monograf, bir tuşa basıldığında ortaya çıkan karaktere denir. Yapılan bu çalışmada 'a', 'b' gibi harfler monograflar olarak kabul edilmiştir.

Klavye kullanımına bağlı kas-iskelet sistemi hastalıklarını önlemek için, harflerin tuşlara dağılımı, toplam yükü tüm parmakların kapasitelerine göre paylaştırılacak şekilde yapılmalıdır. Dokunma hızı ve kuvvet parmak kapasitesini belirlemek için önemli olan iki parametredir. Parmakların vuruş hızı Dvorak ve ekibinin 1936 yılındaki çalışması incelenebilir. Değerler Tablo 1'de verildiği gibidir (Dvorak, Merrick, Dealey, & Ford, 1936). 1963 yılında Haaland tarafından gerçekleştirilen çalışma ise parmakların gücü için incelenebilir (Haaland, Wingert, & Olson, 1963). Değerler Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 1. Dvorak ve Arkadaşlarına (1936) Göre El ve Parmaklarla Maksimum Vurma Hızı

	<i>Sol Küçük</i>	<i>Sol Yüzük</i>	<i>Sol Orta</i>	<i>Sol İşaret</i>	<i>Sağ İşaret</i>	<i>Sağ Orta</i>	<i>Sağ Yüzük</i>	<i>Sağ Küçük</i>
Dokunma Oranı	3.2	3.8	4.2	4.4	4.7	4.6	4.1	3.7

Tablo 2. Maksimum Parmak İtme Kuvveti (N) (Haaland ve ark., 1963)

	Parmak				
	Baş Parmak	İşaret	Orta	Yüzük	Küçük
Ortalama	165	107	98	80	53
Aralık	133-191	76-138	76-116	53-98	27-85

Yapılan bu çalışmada parmağa binmesi gereken hedef yük, y_p değerleri 2015 yılında Ekşioğlu ve ekibinin yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda ortaya çıkan dokunma oranı çalışması sonuçlarından alınmıştır ve değerler Tablo 3’ de gösterilmiştir (İşeri & Ekşioğlu, 2015).

Tablo 3. Parmaklarda İstenen Hedef Yükler (Parmakların Normalleştirilmiş Dokunma Hızları). *Sayıların toplamı %100'e kadardır.

Parmak	<i>Sol Küçük</i>	<i>Sol Yüzük</i>	<i>Sol Orta</i>	<i>Sol İşaret</i>	<i>Sağ İşaret</i>	<i>Sağ Orta</i>	<i>Sağ Yüzük</i>	<i>Sağ Küçük</i>
Normalleştirilmiş Dokunma Hızı (%)	10,7*	11,6	12,2	12,3	13,8	13,8	13,2	12,4

Denklem 8 kısıtı incelendiğinde monograf değerleri ve parmağa binmesi gereken hedef yük değerleri kullanılarak parmağa binen yükün dengeleme çalışması görülmektedir.

$$\sum m_i x_{ij} a_{pj} = y_p + \alpha_p - \beta_p \quad \forall_p \quad (8)$$

Burada;

- m_i , i harfinin analiz edilen metinde kaç kez tekrar ettiğini,
- x_{ij} , i harfinin j tuşuna atanıp atanmadığını,
- a_{pj} , p parmağının j tuşuna dokunup dokunmadığını,
- y_p , p parmağına atanması gereken hedef yükü (Tablo 3),
- α_p , p parmağına atanan yük, hedeflenenden az ise farkın atandığı değeri,
- β_p , p parmağına atanan yük, hedeflenenden fazla ise farkın atandığı değeri ifade etmektedir.

Buradan elde edilen α_p değeri, ağırlıklandırma çalışmalarından elde edilen θ_1 değeri ile çarpılarak amaç fonksiyonun ilk değerini oluşturur. Amaç fonksiyonumuz en küçükleme problemi olduğundan parmağa binen yükü bu şekilde optimize etmeyi amaçlamaktayız.

Digraf ceza puanı

Digraf art arda tuşlanan iki karakterden oluşur, örneğin ‘zc’ gibi. Digraf ceza puanı, tuşlara art arda basmanın ne kadar çaba gerektirdiğini göstermek için kullanılır. Önceki bölümlerde anlatılan Dvorak kriterlerinden 2, 3, 4, 5, 6 ve 8’in yerine getirilmesi için amaç fonksiyonunun ikinci teriminde digraf ceza puanına yer verilmiştir. Ceza puanı, parmakların ardışık hareketlerinden kaynaklanır ve formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$\sum d_{ik}cd_{jl}z_{ijkl}$$

Burada;

- d_{ik} , incelenen metinde i harfinden sonra k harfinin kaç kez tekrar ettiğini,
- cd_{jl} , j tuşundan l tuşuna geçişin ne kadar zaman aldığını göstermektedir ve bu değerler de yine Ekşioğlu ve ekibinin yaptığı deneysel çalışmaların sonucundan alınmıştır.
- z_{ijkl} , $x_{ij} \times x_{kl}$ değerini ifade etmektedir.

Birbirini takip eden harfleri yani digrafları değişen eller ile yazmak, tuşa basma hazırlık süresini azalttığından daha hızlı yazmayı sağlar. Bu formülasyondan elde edilen değeri, ağırlıklandırma çalışmalarından elde edilen θ_2 değeri ile çarparak amaç fonksiyonun ikinci değerini elde etmiş oluruz. Amaç fonksiyonumuz en küçükleme problemi olduğundan hızlı yazmayı engelleyen aynı elle art arda yazmayı, yatay hareketi ve el yorulmasını bu şekilde optimize etmeyi amaçlamaktayız.

Trigraf ceza puanı

Trigraf ‘bjk’ gibi art arda tuşlanan üç karaktere verilen isimdir. Önceki bölümlerde anlatılan Dvorak kriterlerinden 2, 3, 4, 5, 7 ve 8’in yerine getirilmesi için amaç fonksiyonunun son teriminde trigraf ceza puanına yer verilmiştir. Ceza puanı, formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$\sum t_{ik}ct_{jl}z_{ijkl}$$

Burada;

- t_{ik} , incelenen metinde i harfinden sonra üçüncü karakter olarak k harfinin kaç kez tekrar ettiğini,

- ct_{jl} , j tuşundan l tuşuna geçişin ne kadar zaman aldığını göstermektedir ve bu değerler cd_{jl} matrisinin sağ el için sol elle dokunulan tuş değerleri 0, sol el içinse tam tersi şekilde değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Bunun sebebi değişen eller ile yazarken yatay hareket yapılması ve sağ el ile yazarken sonraki monografa sol elin önceden hazırlanarak hazırlık süresini ortadan kaldırmasıdır.
- z_{ijkl} , $x_{ij \times l} x_{kl}$ değerini ifade etmektedir.

Bu formülasyondan elde edilen değeri, ağırlıklandırma çalışmalarından elde edilen θ_3 değeri ile çarparak amaç fonksiyonun son değerini elde etmiş oluruz. Amaç fonksiyonumuz en küçükleme problemi olduğundan hızlı yazmayı engelleyen aynı parmakla art arda yazmayı, dikey hareketi ve parmak yorulmasını bu şekilde optimize etmeyi amaçlamaktayız.

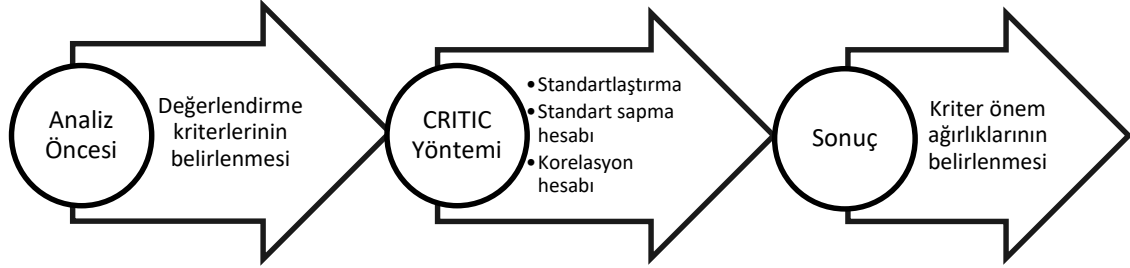
Oluşturulan modeli özetleyecek olursak, (13) numaralı denklem amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Amaç fonksiyonunda parmağa binen yük, yatay hareket ve dikey hareket minimize edilmeye çalışılmaktadır. θ_1 , θ_2 ve θ_3 sırasıyla; parmağa binen yükün, digraf ceza maliyetinin -klavye üzerindeki yatay hareketin yani değişen ellerle yazmanın- ve trigraf ceza maliyetinin -klavye üzerindeki dikey hareketin yani aynı el ile yazmanın- ergonomik klavye üzerindeki etkisini göstermek için kullanılan ağırlık katsayılarıdır. (6) numaralı denklem her harfin en fazla bir tuşa atanmasını, (7) numaralı denklem ise her tuşa bir harf atanmasını sağlamaktadır. (8) numaralı denklem ise parmağa binen yükü ve parmağın hedef yükünü dengelemek, (9) ve (14) numaralı denklemler ise modelin işaret ve ikili değişken kısıtlarını oluşturmada kullanılmaktadır. (10), (11) ve (12) numaralı denklemler ise ikili değişken çarpımını doğrusallaştırmada kullanılmaktadır.

Çok Kriterli Karar Verme Ağırlıklandırma Yöntemleri

ÇKKV ağırlıklandırma yöntemleri, karar vericiye yardımcı olmak için farklı kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılır. Ağırlıklandırma, karar vericinin görüşleri yerine istatistiksel veya matematiksel yöntemlerin kullanıldığı objektif yöntemlerle (CRITIC, TOPSIS, MOORA vb.) veya karar vericinin/uzman görüşlerine yer veren subjektif yöntemler (SWARA, FUCOM, BWM vb.) ile yapılabilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada objektif yöntemlerden CRITIC, subjektif yöntemlerden SWARA ve FUCOM kullanılmıştır. Çalışma sonucunun sayısal değerler ile desteklenmesi için hibrit yöntem olan SOWIA' da çalışma içerisinde yer almaktadır.

CRITIC yöntemi

Gerçek veriler üzerinde işlem yaparak sonuca ulaşan yöntem karar vericinin karar üzerindeki etkisini ortadan kaldırmış olur. Yönteme ait işlem adımları Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 8. CRITIC yöntemi

- 1. Adım: Karar matrisinin oluşturulduğu aşamadır. Sayısal değerler bulunur. Eğer dilsel ifadeler varsa sayısallaştırılmaları gerekmektedir.
- 2. Adım: Max-min lineer standartlaştırma yardımıyla karar matrisi elemanları normalize edilir. Denklem (15) fayda kriterleri, Denklem (16) ise maliyet kriterleri için kullanılır. x_{ij} , i kriterinin j alternatifine göre değerini ifade etmektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (15)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (16)$$

- 3. Adım: Denklem (17) kullanılarak kriterlerin standart sapmaları hesaplanır.

$$s_j = \frac{\sum_{i=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{n - 1} \quad (17)$$

- 4. Adım: Korelasyon katsayısının hesaplanması için (18) numaralı denklem kullanılır.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j) \times (r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \times \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (18)$$

- 5. Adım: Son olarak kriterlere ait önem ağırlıkları denklem (19) ile elde edilir.

$$w_j = \frac{s_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk})}{\sum_{k=1}^n (s_j \sum_{k=1}^n s_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}))} \quad (19)$$

SWARA yöntemi

SWARA yöntemi, çok kriterli karar verme için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, birbiriyle aynı olmayan kriterlerin önceliklerini belirlemek için kullanılır ve karar verme sürecinde objektif bir yaklaşım sunar. Yöntem ağırlık değerlerinin belirlenmesi için sıralı bir yaklaşım kullanır. Bu yaklaşımda, öncelikler her kritere göre tek tek değerlendirilir ve ağırlık değerleri buna göre hesaplanır. Öncelik değerleri, karşılaştırılabilir ölçekler üzerinde yapılan çift karşılaştırmalar yoluyla elde edilir. SWARA yöntemi, her bir kriterin önem sıralamasını ve alternatiflerin hangi kriterlerde daha iyi olduğunu belirleyerek, karar verme sürecini kolaylaştırır. Bu yöntem diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha hızlı ve daha kolay bir yöntemdir. Yönteme ait işlem adımları Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 9. SWARA yöntemi

Yönteme ait işlem adımları formülasyonlar ile aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1: Kriterler önem dereceleri göz önünde bulundurularak önemliden önemsiz doğru sıralanır.

Adım 2: Karar verici her bir kriteri bir öncekiyle karşılaştırarak (0, 1] aralığında değerlendirir ve s_j değeri elde edilir. Değerlendirmede “1” verilmesi iki kriterin eşit öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Adım 3: k_j katsayısı denklem (20) kullanılarak elde edilir.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (20)$$

Adım 4: Denklem (21) kullanılarak önem ağırlığı olarak ifade edilen q_j elde edilir.

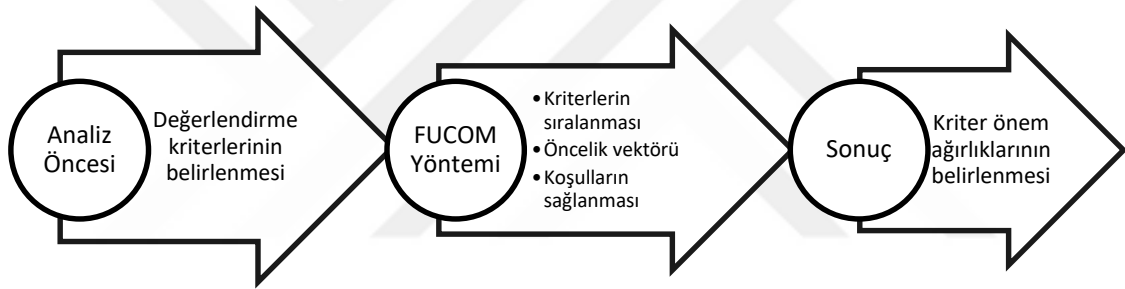
$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q_j - 1}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (21)$$

Adım 5: Kriterlerin önem ağırlıklarının belirlendiği son adımda ise (22) denklemi kullanılır. Burada n kriter sayısını ifade etmektedir.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (22)$$

FUCOM yöntemi

FUCOM yöntemi, çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılır. Bu yöntem, kompleks orantılı değerlendirme (CPA) ve bulanık mantık tekniklerini bir araya getirir. FUCOM yöntemi, özellikle çoklu kriterli karar verme problemlerinde kullanılır. Birden fazla kriterin dikkate alındığı durumlarda kullanıcıların karar verme sürecinde yardımcı olur. FUCOM, karar verme sürecinde kullanıcılara daha objektif bir yaklaşım sunar ve belirsizliği azaltarak daha doğru sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur (Taşkent & Delice, 2021). FUCOM yöntemi iş akışı şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. FUCOM yöntemi

FUCOM yöntemi işlem adımları aşağıda sıralanmıştır.

- **Adım 1:** Kriterler ağırlık katsayılarının beklenen değerlerine göre sıralanır. Böylece (23)'de olduğu gibi bir sıralama elde edilmiş olur. Eğer iki ya da daha fazla kriterin aynı öneme sahip olduğu düşünülüyor ise ">" yerine "=" işareti kullanılır. k, kriterin derecesini temsil eder.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)} \quad (23)$$

- **Adım 2:** Kriterlerin karşılaştırmalı öncelikleri belirlenir ve karşılaştırmalı öncelik vektörü elde edilir. Denklem (24)'de yer alan $\varphi_{k/(k+1)}$ ifadesi $C_{j(k)}$ 'nin $C_{j(k+1)}$ kriterine göre avantajını ifade etmektedir.

$$\theta = \left(\varphi_{\frac{1}{2}}, \varphi_{\frac{2}{3}}, \dots, \varphi_{\frac{k}{k+1}} \right) \quad (24)$$

Kriterlerin ağırlıkları tam olarak ifade edilemiyorsa tamsayı, ondalık değerler veya önceden tanımlanmış bir ölçeğin değerleri kullanılarak karşılaştırma yapılabilir (Li, Shen, Chen, & Chen, 2019).

- Adım 3: Değerlendirme kriterlerinin nihai ağırlık katsayı değerleri hesaplanır. Nihai değerler iki koşulu sağlamak mecburiyetindedir. Koşullar aşağıda gösterilmiştir.

Koşul 1: Ağırlık katsayı oranı 2. adımda tanımlanan kriterler arası karşılaştırmalı önceliğe eşittir. Formülasyon denklem (25)'de gösterilmiştir.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (25)$$

Koşul 2: Denklem (26)'da ifade edildiği gibi ağırlık katsayıları matematiksel geçişlilik koşulunu sağlamalıdır.

$$\varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)} \quad (26)$$

(25) ve (26) denklemlerinden yola çıkarak ağırlık katsayılarının yerine getirmesi gereken bir başka koşul da denklem (27)'de ifade edilmiştir.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (27)$$

Minimum tam tutarlılıktan sapma (TTS) değeri x için, geçişlilik şartı tam sağlanmalıdır. Maksimum tutarlılık için $x=0$ olmalıdır. Bunun için (28) ve (29)'da bulunan kısıtlara uyulmalıdır.

$$\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq x \quad (28)$$

$$\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq x \quad (29)$$

Böylece kriter ağırlık katsayılarının ve TTS (x) değerinin belirlenmesi için ortaya çıkan matematiksel model aşağıdaki gibidir.

min x

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq x, \quad \forall_j$$

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq x, \quad \forall_j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, \quad \forall_j$$

$$w_j \geq 0, \quad \forall_j$$

SOWIA yöntemi

Adından da anlaşılacağı üzere SOWIA yöntemi, nesnel ve öznel ağırlık yöntemlerinden elde edilen değerlerin birleştirilmesi ile tek bir ağırlık elde edilmesine dayanır.

Önce CRITIC yöntemi için oluşturulan başlangıç karar matrisi denklem (30) kullanılarak normalize edilir. x_{ij}^* , x_{ij}' nin normalize edilmiş halidir. $\sum_{i=1}^m x_{ij}$, m sayıda seçenek için j . özellik değerlerinin toplamıdır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (30)$$

Objektif kriter ağırlıkları (O_j) ve subjektif kriter ağırlıkları (S_j) belirlenir. Her iki değerde 0 ile 1 arasında değer alabilmektedir. Denklem (31) formülasyonu kullanılarak nesnel ve öznel değerler bütünleştirilmiş olur. Denklemler α değeri 0 ile 1 arasında değer alabilen objektif karar ağırlığı olarak bilinir.

$$w_{jb} = \alpha O_j + (1 - \alpha) S_j \quad (31)$$

ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmanın bu bölümünde yapılan ağırlıklandırma çalışmalarına ait sonuçlar ve geliştirilen matematiksel model sonuçları ile önerilen R ve D klavye tasarımları yer almaktadır.

Ağırlıklandırma Çalışmaları

Ağırlıklandırma yöntemleri, ÇKKV problemlerinde kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi ve bu kriterlere göre alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılır. Bu yöntem sayesinde, karar verme sürecindeki bilgi kirliliği ve belirsizlik azaltılarak kontrol altına alınır ve daha doğru, sağlıklı kararlar alınabilir. Oluşturulan modelde amaç fonksiyonunda bulunan terimlerin -parmağa binen yükü, dikey hareket ve yatay hareketi optimize eden üç terim- ergonomik klavye tasarımı üzerindeki önem derecelerinin belirlenmesi için ağırlıklandırma çalışmaları yapılmıştır.

CRITIC yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları

CRITIC yöntemi objektif değerler ile çalıştığından θ_1 , θ_2 ve θ_3 ağırlıklarının bu yöntem ile hesaplanması için mevcut Türkçe klavyelerin; Türkçe Q, Türkçe F ve E klavye, tuş yerleşimleri oluşturulan matematiksel modele tanıtılarak model çalıştırılmış ve yerleşimler için θ_1 , θ_2 ve θ_3 ağırlık değerleri elde edilmiştir. Değerler Tablo 4'te verilmiştir.

Yöntemin modelimize uygulanması için 2.3.1. bölümünde anlatılan adımlar izlenmiştir.

Tablo 4. Mevcut Klavye Yerleşimlerine Göre Ağırlıklar

	θ_1	θ_2	θ_3
<i>Türkçe Q Klavye</i>	0,265	0,336	0,265
<i>Türkçe F Klavye</i>	0,417	0,298	0,326
<i>E Klavye</i>	0,061	0,291	0,343

- 1. Adım: Tablo 4'te yer alan değerler karar matrisimizi oluşturur.
- 2. Adım: Modelimiz en küçükleme problemi olduğundan maliyet kriterleri için olan Denklem (16) kullanılarak karar matrisi elemanları normalize edilir. Normalize edilmiş karar matrisi değerleri Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Normalize Edilmiş Karar Matrisi Değerleri

MİN	θ_1	θ_2	θ_3
<i>Türkçe Q Klavye</i>	0,427	0	1
<i>Türkçe F Klavye</i>	0	0,844	0,218
<i>E Klavye</i>	1	1	0

- 3. Adım: Denklem (17) kullanılarak hesaplanan kriterlere ait standart sapmalar Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Kriterlere Ait Standart Sapma Değerleri

	θ_1	θ_2	θ_3
<i>Standart Sapma</i>	0,502	0,538	0,526

- 4. Adım: Denklem (18)’in kullanılması ile elde edilen korelasyon katsayısı değerleri Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. İlişki Katsayı Matrisi Değerleri

	θ_1	θ_2	θ_3
θ_1	1	0,227	-0,289
θ_2	0,227	1	-0,998
θ_3	-0,289	-0,998	1

- 5. Adım: Kriterlere ait önem ağırlıkları için denklem (19) kullanılmıştır ve sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. CRITIC Yönteme Göre Kriterlerin Önem Ağırlıkları

	θ_1	θ_2	θ_3
w_j	0,243	0,351	0,406

Kriter ağırlıkları CRITIC yöntemi ile objektif olarak elde edilmiştir. Bulgulara göre en önemli kriter θ_3 ile ifade edilen dikey hareket kısıtı olmuştur.

SWARA yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları

Yapılan bu çalışmada ergonomik klavye yerleşiminde hangi kriterin ne kadar ağırlığa sahip olduğunu hesaplamak için uygulanan yöntemde kriterlerin önem dereceleri üç karar vericiye sorulmuştur. Karar vericilerden biri insan bilgisayar etkileşimi, ÇKKV,ergonomi ve , çok amaçlı en iyileme konularında, diğer ikisi ise eniyileme kuramı ve yöntemleri, tamsayı ve karışık tamsayı programlama alanlarında uzmandırlar. Yöntemin çalışmaya uygulanması için 2.3.2. bölümünde anlatılan adımlar izlenmiştir.

- Adım 1: Karar vericiler kriterleri önemliden önemsiz doğru sıralar. Her kriterin karar vericilerin değerlendirmesine göre geometrik ortalaması alınır. İşleme ait sonuçlar Tablo 9’dadır.

Tablo 9. Kriterlerin Karar Vericilere Göre Sıralaması

<i>Ölçüt Adı</i>	<i>Karar Verici 1</i>	<i>Karar Verici 2</i>	<i>Karar Verici 3</i>	<i>Geometrik Ortalama</i>
θ_1	2	1	1	1,260
θ_2	1	2	3	1,817
θ_3	3	3	2	2,621

- Adım 2: Karar vericiler kriterleri bir öncekiyle karşılaştırarak değerlendirir ve s_j değeri elde edilir.

- Adım 3-5: Denklem (20)-(22) kullanılarak önem ağırlıkları elde edilir.

2, 3, 4 ve 5. Adımların sonuçları, karar verici 1 için Tablo 10, karar verici 2 için Tablo 11 ve karar verici 3 için Tablo 12’de yer almaktadır.

Tablo 10. Karar Verici 1’e Göre Kriter Önem Ağırlıkları

<i>Kriter Adı</i>	<i>Geometrik Ortalama</i>	<i>Önem Sırası</i>	s_j	k_j	q_j	w_j
θ_2	1,817	1		1	1	0,488
θ_1	1,260	2	0,50	1,5	0,667	0,326
θ_3	2,621	3	0,75	1,75	0,381	0,186

Tablo 11. Karar Verici 2’ye Göre Kriter Önem Ağırlıkları

<i>Kriter Adı</i>	<i>Geometrik Ortalama</i>	<i>Önem Sırası</i>	s_j	k_j	q_j	w_j
θ_1	1,260	1		1	1	0,440
θ_2	1,817	2	0,50	1,5	0,667	0,293
θ_3	2,621	3	0,10	1,1	0,606	0,267

Tablo 12. Karar Verici 3’e Göre Kriter Önem Ağırlıkları

<i>Kriter Adı</i>	<i>Geometrik Ortalama</i>	<i>Önem Sırası</i>	s_j	k_j	q_j	w_j
θ_1	1,260	1		1	1	0,415
θ_3	2,621	2	0,30	1,3	0,769	0,319
θ_2	1,817	3	0,20	1,2	0,641	0,266

Karar vericilerin değerlendirmelerine göre kriterlere ait ağırlıklar hesaplanmıştır. şimdi üç karar vericinin ortak kararını kullanarak genel bir ağırlık edilecektir. Bunun için geometrik ortalama kullanılabilir (Adalı & Işık, 2017). Elde edilen sonuçlar Tablo 13'te görülmektedir.

Tablo 13. SWARA Yöntemine Göre Kriter nem Ağırlıkları

<i>Kriter Adı</i>	θ_1	θ_2	θ_3
<i>Karar Verici 1 için</i> w_j	0,326	0,488	0,186
<i>Karar Verici 2 için</i> w_j	0,440	0,293	0,267
<i>Karar Verici 3 için</i> w_j	0,415	0,266	0,319
<i>w_j Değeri Geometrik Ortalama</i>	0,390	0,336	0,251

Elde edilen bulgulara göre ergonomik klavye yerleşimi için θ_1 ile ifade edilen parmağa binen yükü dengeleme kısıtı 0,390 (%39) ağırlık ile en önemli kriterdir.

FUCOM yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları

Uygulamanın bu bölümünde de çalışma alanları 4.2. bölümünde belirtilen üç karar vericinin değerlendirmeleri dikkate alınarak yöntem uygulanmıştır. Karar vericilerin Tablo 9'da yaptığı sıralama, Tablo 10'da yer alan karşılaştırma değeri s_j ve 2.3.3. bölümünde detaylıca anlatılan işlem adımları ve Denklemler kullanılarak FUCOM yöntemi ağırlıklandırma sonuçları elde edilmiştir.

Karar Verici 1'in değerlendirmeleri dikkate alınarak oluşturulan FUCOM modeli aşağıda gösterildiği gibidir. Modelin üzülmesi ile elde edilen kriter ağırlıkları ve tam tutarlılıktan sapma değeri x 'in sonuçları Tablo 14'te verilmiştir.

$$\min x$$

$$\left| \frac{w_{\theta_2}}{w_{\theta_1}} - 1,5 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\left| \frac{w_{\theta_1}}{w_{\theta_3}} - 1,75 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\left| \frac{w_{\theta_2}}{w_{\theta_3}} - 2,63 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\sum_{j=1}^{\theta_3} w_j = 1, \quad \forall_j$$

$$w_j \geq 0, \quad \forall_j \quad j = \theta_1, \theta_2 \text{ ve } \theta_3$$

Tablo 14. Karar Verici 1 İçin Kriter Önem Ağırlıkları (FUCOM).

Kriter Adı (Sıralamaya göre)	θ_2	θ_1	θ_3	TTS (x)
Karşılaştırmalı öncelik	1	1,5	2,63	0
Ağırlıklar (w_j)	0,489	0,326	0,186	

Karar Verici 2'nin değerlendirmelerinin dikkate alınması ile oluşturulan FUCOM modeli aşağıda verilmiştir. Modelin çözülmesi ile elde edilen kriter ağırlıkları ve tam tutarlılıktan sapma değeri x 'in sonuçları Tablo 15'te verilmiştir.

$$\min x$$

$$\left| \frac{w_{\theta_2}}{w_{\theta_1}} - 1,5 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\left| \frac{w_{\theta_1}}{w_{\theta_3}} - 1,13 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\left| \frac{w_{\theta_2}}{w_{\theta_3}} - 1,7 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\sum_{j=1}^{\theta_3} w_j = 1, \quad \forall_j$$

$$w_j \geq 0, \quad \forall_j \quad j = \theta_1, \theta_2 \text{ ve } \theta_3$$

Tablo 15. Karar Verici 2 İçin Kriter Önem Ağırlıkları (FUCOM)

Kriter Adı (Sıralamaya göre)	θ_1	θ_2	θ_3	TTS (x)
Karşılaştırmalı öncelik	1	1,5	1,7	0
Ağırlıklar (w_j)	0,443	0,296	0,261	

Karar Verici 3'ün yaptığı değerlendirme ile oluşturulan FUCOM modeli ve modelin çözülmesi ile elde edilen kriter ağırlıkları ve tam tutarlılıktan sapma değeri x 'in sonuçları Tablo 16'da verilmiştir.

$$\min x$$

$$\left| \frac{w_{\theta_2}}{w_{\theta_1}} - 1,3 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\left| \frac{w_{\theta_1}}{w_{\theta_3}} - 1,23 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\left| \frac{w_{\theta_2}}{w_{\theta_3}} - 1,6 \right| \leq x, \forall_j$$

$$\sum_{j=1}^{\theta_3} w_j = 1, \quad \forall_j$$

$$w_j \geq 0, \quad \forall_j \quad j = \theta_1, \theta_2 \text{ ve } \theta_3$$

Tablo 16. Karar Verici 3 İçin Kriter Önem Ağırlıkları (FUCOM)

Kriter Adı (Sıralamaya göre)	θ_1	θ_3	θ_2	TTS (x)
Karşılaştırmalı öncelik	1	1,3	167	0
Ağırlıklar (w_j)	0,418	0,321	0,261	

Tüm karar vericilerin yaptığı değerlendirmelere göre hesaplanan ağırlıkların geometrik ortalaması alınmış ve genel kriter ağırlığı bulunmuştur. Elde edilen değerler Tablo 17’de olduğu gibidir.

Tablo 17. FUCOM Yöntemine Göre Kriter Önem Ağırlıkları

Kriter Adı	θ_1	θ_2	θ_3
Karar Verici 1 için w_j	0,326	0,489	0,186
Karar Verici 2 için w_j	0,443	0,296	0,261
Karar Verici 3 için w_j	0,418	0,261	0,321
w_j Değeri Geometrik Ortalaması	0,392	0,336	0,219

FUCOM yöntemi sonuçlarına göre en önemli kriter 0,392 ağırlık ile parmağa binen yükü dengeleme kısıtı olan θ_1 olmuştur. Onu sırasıyla 0,336 ağırlık ile θ_2 olarak adlandırılan yatay hareket kısıtı ve 0,219 ağırlık ile dikey hareket kısıtı θ_3 takip etmektedir.

SOWIA yöntemi ile ağırlıklandırma sonuçları

Yapılan bu çalışmada objektif yöntem olarak CRITIC yöntemi, subjektif yöntem olarak SWARA ve FUCOM yöntemleri kullanılmıştır. SOWIA yöntemi kullanılarak CRITIC-SWARA bütünleşmesi ve CRITIC-FUCOM bütünleşmesi ile yeni sonuçlar elde edilmiştir. İki farklı bütünleştirme sonucunda yapılan çalışmanın ve elde edilen ergonomik klavye tasarımının tutarlılığını ve etkinliğini sağlamak hedeflenmiştir. Yöntem uygulamasında 2.3.4 bölümünde anlatılan işlem adımları ve denklemler kullanılmıştır. Kriterlere ait CRITIC-SWARA

bütünleşmesinden elde edilen ağırlık değerleri Tablo 18, CRITIC-FUCOM bütünleşmesinden elde edilen ağırlık değerleri ise Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 18. CRITIC-SWARA Bütünleşmesine Göre Kriter Önem Ağırlıkları

Kriter Adı	$\square_j$	$\square_j$	$\square_{jb}$
θ_1	0,243	0,390	0,343
θ_2	0,351	0,336	0,341
θ_3	0,406	0,251	0,303

Tablo 19. CRITIC-FUCOM Bütünleşmesine Göre Kriter Önem Ağırlıkları

Kriter Adı	O_j	S_j	W_{jb}
θ_1	0,243	0,392	0,356
θ_2	0,351	0,336	0,341
θ_3	0,406	0,219	0,295

Tüm yöntemler ile elde edilmiş kriter ağırlıkları Tablo 20’de özetlenmiştir ve Şekil 11’de grafik olarak görselleştirilmiştir.

Tablo 20. Tüm Yöntemlere Göre Kriter Önem Ağırlıkları Özet Tablo

Kriter Adı	$\square\square\square\square\square$	SWARA	FUCOM	SOWIA (CRITIC- SWARA)	SOWIA (CRITIC- FUCOM)
θ_1	0,243	0,390	0,392	0,343	0,356
θ_2	0,351	0,336	0,336	0,341	0,341
θ_3	0,406	0,251	0,219	0,303	0,295



Şekil 11. Tüm yöntemlere göre kriter önem ağırlıkları grafiği

Ağırlıklandırma çalışmaları sonuçlarını özetleyecek olursak;

- CRITIC yönteme göre en önemli kriter %40,6 değeri ile dikey hareket kısıtı θ_3 olmuştur. Bu kriteri sırasıyla %35,1 ile yatay hareket kısıtı θ_2 ve %24,3 değeri ile parmağa binen yük kısıtı θ_1 takip etmektedir.
- SWARA yöntemi sonuçlarına bakılacak olursa en önemli kriter %39 ile parmağa binen yük kısıtı θ_1 olarak belirlenmiştir. Sırasıyla %33,6 ile yatay hareket kısıtı θ_2 ve %24,3 değeri ile dikey hareket kısıtı θ_3 gelmektedir.
- FUCOM yöntemi sonuçlarına göre kriter ağırlıklarının ilk sırasında %39,2 ile parmağa binen yük kısıtı θ_1 yer almaktadır. İkinci sırada %33,6 ile yatay hareket kısıtı θ_2 ve son sırada ise %21,9 ile dikey hareket kısıtı θ_3 yer almaktadır.
- CRITIC-SWARA bütünleşmesi ile elde edilen sonuçlarda da durum öncekilerden çok farklı değildir. Yine en önemli kriter %34,3 ile parmağa binen yük kısıtı θ_1 olarak belirlenmişken onu sırasıyla %34,1 ile yatay hareket kısıtı θ_2 ve %30,3 değeri ile dikey hareket kısıtı θ_3 takip etmektedir.
- CRITIC-FUCOM bütünleşmesi sonucunda %35,6 ile parmağa binen yük kısıtı θ_1 ilk sırada yer alırken, %34,1 ile yatay hareket kısıtı θ_2 ikinci sırada ve %29,5 değeri ile dikey hareket kısıtı θ_3 son sırada yer almaktadır.

Tablo 20 ve Şekil 11 incelendiğinde parmağa binen yükü dengeleme kısıtı θ_1 , dört yöntem sonucuna göre en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Dikey hareket kısıtı CRITIC yönteme göre en önemli kriter olarak belirlenmişken, yatay hareket kısıtı hiçbir yöntemde kriter ağırlıkları arasında ilk sırada olamamıştır. SOWIA yöntemi sonuçları incelendiğinde subjektif

yöntemlerin değerler üzerinde daha baskın olduğu gözlemlenmiştir. SWARA ve FUCOM yöntemlerinde önem sıralamasında ilk ve son sırada yer alan kriterler SOWIA yönteminde de aynı şekildedir.

Sayısal Sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında, Materyal ve Yöntem kısmında (Bölüm 3) detaylıca anlatılan modele, günlük gazetelerden, güncel hikaye ve şiirlerden derlenen 10.241 kelimelik metnin bu çalışma için C# kullanılarak oluşturulan ‘Metin Analizi Programı’ çıktıları (monograf, digraf ve trigraf değerler) ve Bölüm 4’te yapılan ağırlıklandırma çalışmalarından elde edilen kriter önem ağırlıkları veri olarak girilmiştir. Aşağıda verilen model çözümü için C# yazılımında GUROBI çözücüsü kullanılmıştır.

$$\text{Min } \theta_1 \sum \alpha_p + \theta_2 \sum d_{ik} c d_{jl} z_{ijkl} + \theta_3 \sum t_{ik} c t_{jl} z_{ijkl} \quad (13)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall_i \in \text{Harf} \quad (6)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall_j \in \text{Tuş} \quad (7)$$

$$\sum m_i x_{ij} a_{pj} = y_p + \alpha_p - \beta_p \quad \forall_p \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (9)$$

$$z_{ijkl} \leq x_{ij} \quad (10)$$

$$z_{ijkl} \leq x_{kl} \quad (11)$$

$$z_{ijkl} \geq x_{ij} + x_{kl} - 1 \quad (12)$$

$$z_{ijkl} \geq 0 \quad (14)$$

Kriter ağırlıkları hesaplanmadan önce değerlerin normalizasyonunun yapılabilmesi için (13) numaralı denklemde yer alan amaç fonksiyonunda θ_1 , θ_2 ve θ_3 değerleri ‘1’ girilerek model çalıştırılmıştır. Bunun sebebi ağırlıklandırma çalışmaları yapılırken farklı birimlere sahip verileri aynı ölçeğe indirgeyip sağlıklı karşılaştırılma yapılmasını sağlamaktır. Normalizasyon yaparken (32) denklemi kullanılmıştır. Tablo 21 ise ağırlıklandırma kriterlerinin normalize edilmiş değerlerini içermektedir.

$$\theta_j^* = \theta_j \times \frac{1}{\theta_j} \quad (32)$$

θ_j^* , normalize edilmiş değeri ifade ederken, θ_j ağırlıklandırma yöntemlerinden elde edilen değerleri ve $\bar{\theta}_j$ ise, $\theta = 1$ olarak çalıştırılan model çıktısını ifade etmektedir.

Tablo 21. Tüm Yöntemlere Göre Kriter Önem Ağırlıklarının Normalize Değerleri

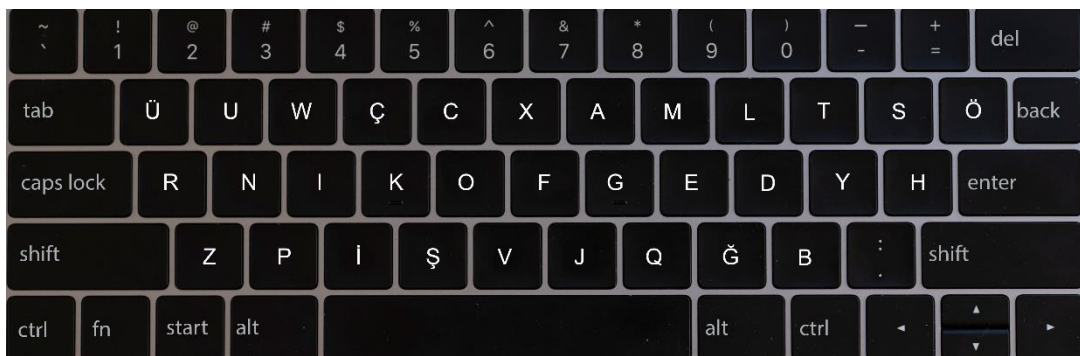
Kriter Adı	□□□□□□	SWARA	FUCOM	SOWIA (CRITIC-SWARA)	SOWIA (CRITIC-FUCOM)
θ_1	1,17961	1,89320	1,90291	1,66505	1,72816
θ_2	0,00232	0,00222	0,00222	0,00225	0,00225
θ_3	0,00510	0,00316	0,00275	0,00381	0,00371

SOWIA Yöntemi ile elde edilen CRITIC-SWARA bütünleşmiş sonuçlarına göre klavye yerleşimi

Tablo 21’de SOWIA (CRITIC-SWARA) sütununda yer alan değerlerin denklem (13)’de verilen kriter önem ağırlıklarını ifade eden θ_1 , θ_2 ve θ_3 değerleri yerine girilmesiyle elde edilen C# çıktısı Tablo 22’te verilmiştir. Model çıktısına göre önerilen klavye düzeni Şekil 12’de gösterilmiştir. Klavye isimlendirmesi için, model sonucuna göre yapılan tuş yerleşiminde Şekil 7’de gösterilen standart tuş konumunda ikinci sıraya yerleşen ‘R’ harfi kullanılmıştır. Böylece önerilen ilk klavyenin adı ‘Türkçe R Klavye’ olarak belirlenmiştir.

Tablo 22. Önerilen Türkçe R Klavye ‘ye Ait Model Sonucu

Amaç Fonksiyon Değeri	1. Amaç Fonksiyon Değeri	2. Amaç Fonksiyon Değeri	3. Amaç Fonksiyon Değeri
0,727	0,029	0,375	0,323



Şekil 12. Türkçe R Klavye yerleşimi

SOWIA Yöntemi elde edilen CRITIC-FUCOM bütünleşmiş sonuçlarına göre klavye yerleşimi

Model amaç fonksiyonu (13)’de kriter önem ağırlıklarını ifade eden θ_1 , θ_2 ve θ_3 değerleri yerine Tablo 21’de SOWIA (CRITIC-FUCOM) sütunundaki değerlerin girilmesiyle elde edilen C# programı çıktısı Tablo 23’te verilmiştir. Model çıktısına göre önerilen klavye düzeni

Şekil 13’te yer almaktadır. Klavye isimlendirmesi yapılırken, model çıktısına göre Şekil 7’de gösterilen standart tuş konumunda ikinci sıraya yerleşen ‘D’ harfi kullanılmıştır. Böylece önerilen ikinci klavyenin adı ‘Türkçe D Klavye’ olarak belirlenmiştir.

Tablo 23. Önerilen Türkçe D Klavyeye Ait Model Sonucu

Amaç Fonksiyon Değeri	1. Amaç Fonksiyon Değeri	2. Amaç Fonksiyon Değeri	3. Amaç Fonksiyon Değeri
0,714	0,041	0,362	0,310



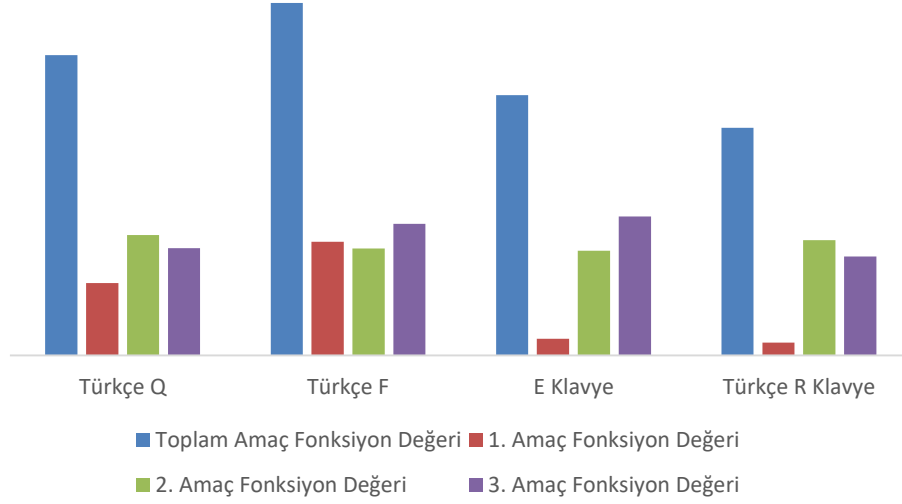
Şekil 13. Türkçe D Klavye yerleşimi

Tüm Klavyelerin Karşılaştırılması

Bu çalışmada önerilen Türkçe D Klavye ve Türkçe R Klavyenin, Türkçe Q Klavye, Türkçe F Klavye ve E Klavye ile karşılaştırmalarının yapılabilmesi için aynı kriter ağırlıkları ile değerlendirilmiş olmaları gerekmektedir. Bu durumda ilk olarak SOWIA (CRITIC-SWARA) sonuçlarına göre elde edilen ağırlıklar modele girilerek mevcut üç klavye yerleşimine göre model sonucu elde edilmiş ve Türkçe R Klavye ile karşılaştırması yapılmıştır. Değerler Tablo 24’te, değerlere ait grafik ise Şekil 14’te yer almaktadır.

Tablo 24. Mevcut Klavyelerin Önerilen Türkçe R Klavye ile Karşılaştırılması

	Toplam Amaç Fonksiyon Değeri	1. Amaç Fonksiyon Değeri	2. Amaç Fonksiyon Değeri	3. Amaç Fonksiyon Değeri
Türkçe Q	0,941	0,227	0,378	0,336
Türkçe F	1,105	0,357	0,335	0,413
E Klavye	0,816	0,053	0,328	0,436
Türkçe R Klavye	0,727	0,029	0,375	0,323

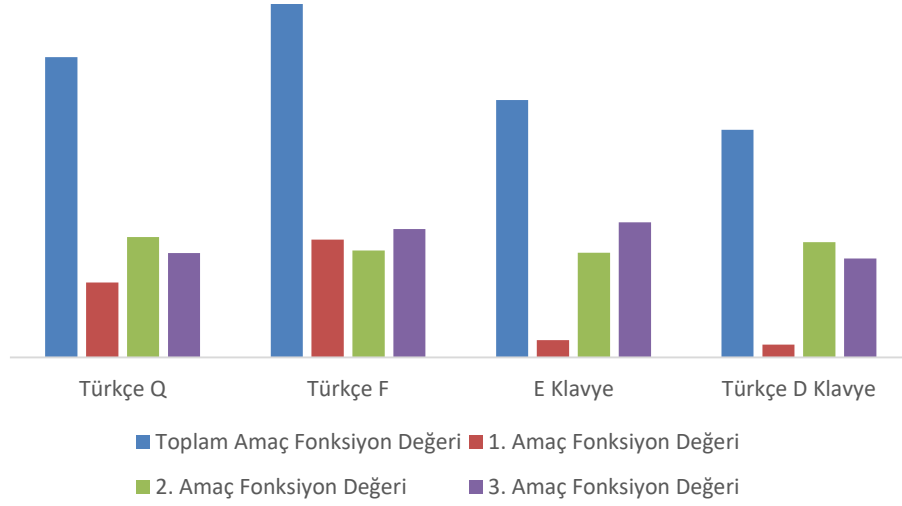


Şekil 14. Mevcut klavyelerin önerilen türkçe R klavye ile karşılaştırılması grafiği

Türkçe R Klavye için yapılan karşılaştırmalardan sonra aynı karşılaştırmalar SOWIA (CRITIC-FUCOM) yöntem sonuçları ile elde edilen ağırlıklar modele işlenmiş ve mevcut üç klavye yerleşimine göre model sonucu elde edilmiştir. Sonuçların Türkçe D Klavye ile karşılaştırması yapılmıştır. Değerler Tablo 25’te, değerlere ait grafik ise Şekil 15’te yer almaktadır.

Tablo 25. Mevcut Klavyelerin Önerilen Türkçe D Klavye İle Karşılaştırılması

	Toplam Amaç Fonksiyon Değeri	1. Amaç Fonksiyon Değeri	2. Amaç Fonksiyon Değeri	3. Amaç Fonksiyon Değeri
Türkçe Q	0,941	0,235	0,378	0,327
Türkçe F	1,108	0,370	0,335	0,403
E Klavye	0,807	0,055	0,328	0,424
Türkçe D Klavye	0,714	0,041	0,362	0,310



Şekil 15. Mevcut klavyelerin önerilen türkçe D klavye ile karşılaştırılması grafiği

- Önerilen her iki klavye de mevcut klavyelere göre daha optimal bulunmuştur.
- Türkçe D Klavye ve Türkçe R Klavye arasında karşılaştırma yapıldığında Türkçe D Klavyenin daha optimal sonuç verdiği ortadadır.
- Digraf maliyetinin hesaplandığı 2. Amaç fonksiyonunda yatay hareketin minimize edilmesi ve hızlı yazmanın desteklenmesi hedeflenmiştir. Türkçe D Klavye ve Türkçe R Klavye düzenlerine ait sonuçlar incelendiğinde bu amaca en uygun klavyenin Türkçe D Klavye olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 13).
- Literatürde daha önce çalışılmamış ve bu çalışma ile metodolojiye kazandırılan 3. Amaç fonksiyonu ise dikey hareketi ve bu sayede parmak yorulmasını minimize etmeye yöneliktir. Klavye düzenleri sonuçları bu bağlamda incelendiğinde optimal klavye düzeninin yine Türkçe D Klavye olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 14).
- F Klavye ile Türkiye 1957 yılından bu yana katıldığı Uluslararası klavye ile hızlı yazma yarışmalarında 25 rekora ve 59 dünya şampiyonluğuna ev sahipliği yapmıştır (Anonim., 2023). Bu çalışma ile elde edilen sonuçlarda bunu destekler niteliktedir. F klavyeye ait verilerde hızlı yazmayı destekleyen 2 ve 3. Amaç fonksiyonu değerleri kabul edilebilir düzeydeyken parmağa binen yükü dengeleme amacını kontrol eden 1. Amaç fonksiyon değeri oldukça yüksektir. Bu da F Klavyenin ergonomik kaygı taşımadığının göstergesidir.
- Çalışmanın önceki bölümlerinde Q klavyenin kullanıcıyı yavaşlatacak biçimde tasarlandığından bahsedilmişti. Bu bölümdeki sonuçlara bakıldığında bu görüşün doğru olduğu gözükmemektedir. 1. Amaç fonksiyon değerleri arasında F klavyeden sonraki en yüksek değer Q klavyeye aittir. Yani Q klavyede yine parmak yorulmasını yani klavye düzeninin ergonomikliğini dikkate almayan bir tasarımıdır.

- E klavyeye bakıldığında ise Türkçe Q ve Türkçe F klavyeden daha ergonomik bir sonuç vermiş olsa da önerilen klavyelerin tamamından bu bakımda kötü durumdadır. Parmak yorulmasını ve dikey hareketi önleyen 3. amaç fonksiyonu değerleri arasında en yüksek değerlere sahiptir.



SONUÇ

Klavye kullanıcılarının yazma performansını arttıracak yorgunluğunu azaltacak Türkçe dili için ergonomik ve optimal klavye tasarımına yönelik metodoloji geliştirilen bu çalışmada üç amacı olan bir matematiksel model tanımlanmıştır. Modelde yer verilen amaçlardan biri parmağa binen yükü parmak güçlerine göre dağıtmayı hedeflerken diğer ikisi yazma hızını arttırmak ve el ve parmak yorulmasını azaltmayı hedeflemektedir.

Geliştirilen metodoloji ile Türkçe dilinde dokunmatik yazma için optimal ve ergonomik klavye düzenleri oluşturulmuştur. Optimizasyon sonuçlarına göre parmağa binen yükü, dikey hareketi ve yatay hareketleri en aza indiren 2 klavye düzeni önerilmiştir.

Klavyenin parmak yorulmasını dengelemeyi hedefleyen yani klavye düzeninin ergonomikliğini kontrol eden 1. Amaç fonksiyon değeri sonuçları incelendiğinde önerilen klavye düzenlerinin tamamının mevcut Türkçe klavyelerden daha iyi durumda olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma sonucunda önerilen iki klavye düzeni arasında optimal sonucu veren klavye Şekil 13'te belirtilen SOWIA ağırlık yöntemi ile elde edilen Türkçe D Klavye düzeni olmuştur ve literatüre sunulmuştur.

Geliştirilen matematiksel model literatürde yenidir ve bu model kullanılarak diğer diller için de klavye geliştirilebilir. Gelecek çalışmalarda farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak farklı tasarımlar geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Abbasov, A., Hajiyeve, A., & Afandiyev, G. (2009). Statistical approach for an optimal placement of the letters of different alphabets on a computer keyboard. *Applied and Computational Mathematics*, 36-41.
- Adalı, E. A., & Işık, A. T. (2017). Bir Tedarikçi Seçim Problemi İçin SWARA ve WASPAS Yöntemlerine Dayanan Karar Verme Yaklaşımı. *International Review Of Economics And Management*, 56-77.
- Anonim. (2023, Mart 30). *F Klavye*. Wikipedia: https://tr.wikipedia.org/wiki/F_klavye adresinden alındı
- Anonim. (2023, Mart). *Q Klavye*. Wikipedia: https://tr.wikipedia.org/wiki/Q_klavye adresinden alındı
- Anonim. (2023, 04 22). *F klavye*. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi: <https://bidb.nevsehir.edu.tr/tr/f-klavye> adresinden alındı
- Delice, E. K., Can, G. F., & Kahya, E. (2020). Improving the rapid office strain assessment method with an integrated multi-criteria. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 1297-1314.
- Demirel, Ö. F., Akgül, A., & Alkan, A. (2019). election of biomass power plants using the FUCOM method. *Energy Sources*, 28-39.
- Dvorak, A., Merrick, N. L., Dealey, W. L., & Ford, G. C. (1936). *Typewriting Behavior: Psychology Applied to Teaching and Learning Typewriting*. New York: American Book Company.
- Ecer, F. (2020). Ağırlıklandırmada Kullanılan ÇKKV Yöntemleri. F. Ecer içinde, *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (s. 86). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Eggers, J., Feillet, D., Kehl, S., Wagner, M. O., & Yannou, B. (2003). Optimization of the Keyboard Arrangement Problem Using an Ant Colony Algorithm. *European Journal of Operational Research*.
- Ercilasun, A. B. (2021). Dilin Doğuşu ve Evrimi: Basamak Teorisi. *Journal of Language Studies*.
- Fadel, A., Tuffaha, I., Al-Ayyoub, M., & Jararwch, Y. (2020). QWERTY Keyboard? }.?BZQ is Better! 2020 Uluslararası Akıllı Veri Bilimi Teknolojileri ve Uygulamaları Konferansı (IDSTA), (s. 81-86).
- Haaland, J., Wingert, J., & Olson, B. A. (1963). Force Required to Activate Switches, Maximum Finger-Pushing Force, and Coefficient of Friction of Mercury Gloves. *Honeywell Memorandum*.
- Heragu, S. S. (2008). Models fort he Layout Problem. S. S. Heragu içinde, *Facilities Design* (s. 212). USA: CRC Press.
- İnandı, T., & Akyol, İ. (2001, Mart). *Bilgisayar Kullanımı ile İlgili Sağlık Sorunları*. Sürekli Tıp Eğitim Dergisi: <https://www.ttb.org.tr/STED/sted0301/3.html> adresinden alındı
- İşeri, A., & Ekşioğlu, M. (2015). Estimation of digraph costs for keyboard layout optimization. *International Journal of Industrial Ergonomic*, 127-138.

- Keskin, Z., & Kılıç Delice, E. (2022). Nesnel, Öznel ve Bütünleşik Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması: COVID-19 Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 579-584.
- KILIÇ DELİCE, E., & KESKİN, Z. B. (2022). Nesnel, Öznel ve Bütünleşik Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması: COVID-19 Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 579-584.
- Lee, T., Kim, T., Kim, J. S., & Lee, H. J. (2022). Virtual Keyboards With Real-Time and Robust Deep Learning-Based Gesture Recognition. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 725-735.
- Li, W., Shen, L., Chen, J., & Chen, Q. (2019). A fuzzy approach to assess the sustainability of urban water systems. *Journal of Cleaner Production*, 229-238.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (1991). *Genelge*. Milli Eğitim Bakanlığı: <http://mevzuat.meb.gov.tr/dosyalar/1523.pdf> adresinden alındı
- Nivasch, K., & Azaria, A. (2021). A Deep Genetic Method for Keyboard Layout Optimization. *IEEE 33rd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, (s. 435-441).
- Onsorodi, A. H., & Korhan, O. (2020). Application of a genetic algorithm to the keyboard layout problem. *Public Library of Science*.
- Öztayşı, B., & Kahraman, C. (2019). The use of FUCOM method for a car selection problem with hesitant fuzzy information. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 3323-3335.
- Pamucar, D., Stevic, Z., & Sremac, S. (2018). A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM).
- Pollatschek, M., Gershoni, N., & Radday, Y. (1976, 17 10). Optimization of the typewriter keyboard by simulation. *Angewandte Informatik*, s. 438-439.
- RC., C. (1986). *The Dvorak Keyboard*. California: Freelance Communications.
- S, U. (tarih yok).
- Shukla, S., Mishra, P. K., Jain, & Yadav. (2016). An integrated decision-making approach for ERP system selection using SWARA and PROMETHEE method. *Intelligel Journal of Intelligent Enterprise*, 120-147.
- Taşkent, M. C., & Delice, E. K. (2021). Bulanık FUCOM Metodu ile Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerinin. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 863-868.
- Uşşaklı, S. (2004). *Performance Optimization of Turkish Virtual Keyboards*. Ankara: Doctoral dissertation, Bilkent Üniversitesi.
- Yazdani, M., Zavadskas, E. K., Ignatius, J., & Abad, M. D. (2016). Sensitivity analysis in MADM methods: application of material selection. *Engineering Economics*, 382-391.
- Yin, P.-Y., & Su, E.-P. (2010). Cyber Swarm optimization for general keyboard arrangement problem. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43-52.
- Zolfani, & Bahrami. (2014). investment prioritizing in high tech industries based on SWARA-COPRAS approach. *Technological & Economic Development of Economy*, 534-553.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler
Adı Soyadı: Zeliha CEYLAN Doğum tarihi: Doğum Yeri: Uyruğu: Adres: Tel: E-mail:
Eğitim
Lise: Lisans: Yüksek lisans: Doktora:
Yabancı Dil Bilgisi
İngilizce: Almanca: Rusça: Diğer
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar
Tezden Üretilmiş Yayınlar