

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

CİLT/VOL

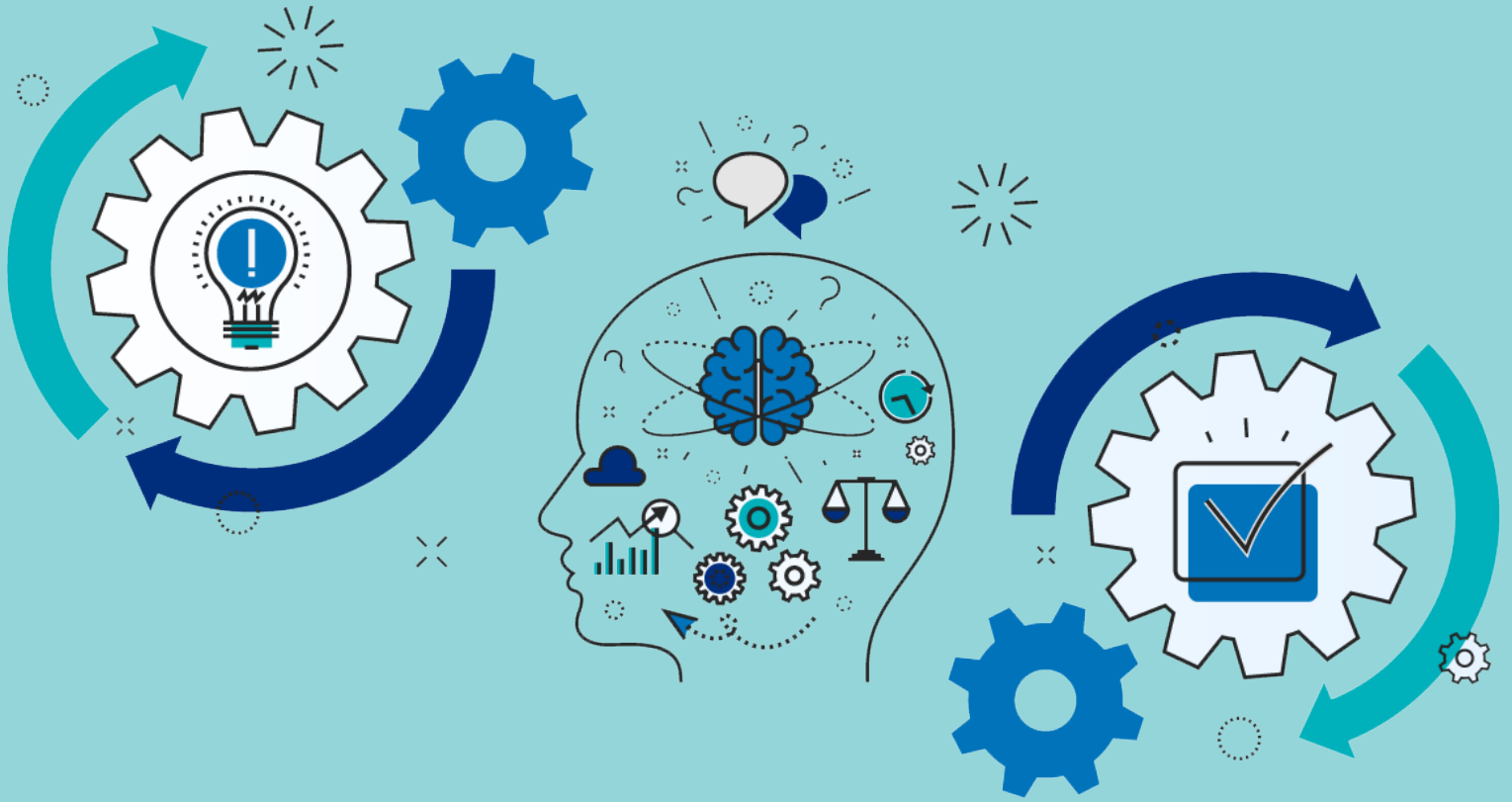
01

SAYI/ISSUE

01

YIL/YEAR

20
17



JTOM

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Dergisi
Ankara Yıldırım Beyazıt University
Industrial Engineering Journal

MAKALE ÇAĞRISI **CALL FOR PAPERS**

JTOM İngilizce, Türkçe, Farsça ve Arapça dillerinden birinde yazılmış Endüstri Mühendisliğinin çeşitli alanlarıyla ilgili literatür çalışmaları ve teknik notlarınızı e-posta yoluyla bize ulaştırabilirsiniz.

JTOM accepts submissions in the form of articles, literature review, case notes and book reviews in English, Turkish, Farsi and Arabic, in all fields of industrial engineering, for any query or submission kindly contact us via e-mail.

2018/1.
SAYI İÇİN

Web sitesi/Website:
İletişim/Contact:
Posta Kodu/Zip Code:

www.ybu.edu.tr/jtom
jtomeditor@gmail.com
06680

JTOM is a peer reviewed and refereed international journal published by Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University. Starting from 2017, it is published semiannually. The journal accepted English, Turkish, Farsi and Arabic languages manuscripts.



ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

**Ankara Yıldırım Beyazıt University
Industrial Engineering Journal**

**Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Dergisi**

مجلة مهندسى صنایع

مجلة الهندسة الصناعية

Journal of Turkish Operations Management

CİLT VOL 01

SAYI ISSUE 01

YIL YEAR 2017

**Journal of Turkish Operations Management Adına Sahibi
Owner on Behalf of Journal of Turkish Operations Management**

Sahibi/Owner

Prof. Dr. Mete GÜNDOĞAN

Genel Yayın Yönetimi/General Publication Management

Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Editör/Editor in Chief

Asst. Prof. Dr. Babek ERDEBİLLİ (B.D. ROUYENDEGH)

Yardımcı Editörler/Co. Editors

Asst. Prof. Dr. Abdullah YILDIZBAŞI

DANIŞMA KURULU ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Fatih ÇELEBİ (AYBU, Turkey)
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN (Gazi University, Turkey)
Prof. Dr. Orhan TORKUL (Sakarya University, Turkey)
Prof. Dr. Turan PAKSOY (Selçuk University, Turkey)
Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU (TOBB ETÜ University, Turkey)
Assoc. Prof. Dr. Elif Kılıç DELİCE (Atatürk University, Turkey)
Assoc. Prof. Dr. Fatih Emre BORAN (Gazi University, Turkey)
Asst. Prof. Dr. Mojtaba GHİYASİ (Shahrood University, Iran)
Dr. Menekşe Salar BARIM (NIOSH, USA)

Yayıncı/Publisher

Ankara Yıldırım Beyazıt University Industrial Engineering Department
Journal of Turkish Operations Management

Grafik Tasarım/Graphic Design: Jetmir MALOKU

Basım Tarihi/Date of Publication: Aralık 2017/December 2017

Yayın Türü/Publication Type: Uluslararası Süreli Yayın/International Periodical

İletişim Bilgileri/Contact Information:

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
15 Temmuz Şehitleri Binası Ayvalı Mah. Halil Sezai Erkut Cad. 150. Sok. Etlik/Ankara

Tel: 0090 312 906 22 34

Elektronik Ağ/Website: www.ybu.edu.tr/jtom

E-posta/E-mail: jtomeditor@gmail.com



Journal of Turkish Operations Management

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

İçindekiler	1
Stent Seçiminde Kullanılacak Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi Yusuf Tansel İÇ, Dilek Çökeliler Serdaroğlu, Begüm Niran, K.Ezgi AKYOL	3
Facility Location Selection Problem: An Application for Student Selection and Placement Centers İlknur GÜNEŞLİ, Mete GÜNDOĞAN, Alper ŞEKER	27
Transform Into Industry 4.0 using Systems Engineering Approach Mete GÜNDOĞAN, Gizem BABAYİĞİT	39
Bulanık Kalite Funksion Yayılımı (BKFY) Temelli Tasarım Geliştirme Yaklaşımı Gülin Feryal CAN, Kumru Didem ATALAY, Ergün ERASLAN	51
Risk Değerlendirmesinde CRITIC Metodu ile Sektörlerin Karşılaştırması Yelda AYRIM, Gülin Feryal CAN	67



Journal of Turkish Operations Management

STENT SEÇİMİNDE KULLANILACAK BİR KARAR DESTEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Yusuf Tansel İç^{a1}, Dilek Çökeliler Serdaroğlu^b, Begüm Niran^c, K.Ezgi AKYOL^d

^aBaşkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06810, Etimesgut, Ankara, Türkiye. E-posta: ytansel@baskent.edu.tr

^bBaşkent Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 06810, Etimesgut, Ankara, Türkiye. E-posta: cokeliler@baskent.edu.tr

^cMefa Endüstri, Sincan Organize Sanayi Bölgesi, Sincan, Ankara, Türkiye. E-posta: begumniran@hotmail.com

^dFirst Örme San. Tic. A.Ş., Ehlibeyt Cad., Ceyhun Atuf Kansu Cad. 112/8, Balgat, Ankara. E-posta: k.ezgiakyol@hotmail.com

DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR STENT SELECTION ABSTRACT

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 04.12.2017
Revised: 18.12.2017
Accepted: 28.12.2017

Research Article

Keywords:

Stent selection, Multi-Criteria Decision Making, Analytical Hierarchy Process (AHP), Decision Support Systems.

ABSTRACT

In this study, a two-phase stent selection decision support system (DSS) is developed to help the physicians in their stent selection decisions. Firstly, a questionnaire was conducted to develop decision support system. Questions are randomly applied to cardiology department physicians in the province of Ankara, which is selected as pilot area, to get the results to be statistically valid. The results were evaluated by means of MINITAB14 program. In development of DSS, an independent set of criteria is obtained first and arranged in the Analytical Hierarchy Process (FAHP) decision hierarchy. In the first elimination phase of the DSS, the physician obtains the feasible set of stents by providing limited values for the 13 requirements. DSS, then, uses AHP decision hierarchy to rank the feasible stents in the second phase.

MAKALE GİRİŞİ

Makale Geçmişi:

Geliş: 04.12.2017
Revize: 18.12.2017
Kabul: 28.12.2017

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Stent Seçimi, Çok Ölçütlü Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Karar Destek Sistemleri.

ÖZET

Bu çalışmada, hekimlere stent seçiminde yardımcı olmak üzere iki aşamalı bir karar destek sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle, karar destek sisteminin geliştirilmesi amacıyla bir veri toplama aracı geliştirilmiştir. Sorular, sonuçlarının istatistiksel olarak geçerli olabilmesi için, pilot bölge olarak seçilen Ankara ilinde bulunan hastanelerin kardiyoloji bölümü doktorlarına rassal olarak uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar MINITAB14 programı aracılığı ile değerlendirilmiştir. Geliştirilen karar destek sisteminde öncelikle bağımsız kriterlerden oluşan hiyerarşik yapı Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi doğrultusunda oluşturulmuştur. Karar destek sisteminin ilk aşaması olan ön eleme bölümünde hekim 13 gereksinime ilişkin değerler doğrultusunda bir olurlu stent seti oluşturmaktadır. Ardından ikinci aşamada karar destek sistemi, bu olurlu seti AHP yöntemindeki karar hiyerarşisine uygun olarak sıralamaktadır.

1. GİRİŞ

Dokuların, hasar görmüş organların yerine geçmek ya da onlara destek vermek amacıyla kullanılan malzemelere biyomalzeme denir [1]. Son 30 yılda tıp teknolojisinde kullanılan en önemli biyomalzemelerden biri de stenttir. Stentler kafes yapısında küçük metal tüplerdir. Stentler, ateroskleroz (damar sertliği) sonucu damarda oluşan darlıklar nedeniyle kan akışının zorlandığı durumlarda akışı rahatlatmak amacıyla kullanılır. Stentler kalp damar hastalıklarının tedavisinde 1970'lerden itibaren denenmeye başlanmış ve son 10 yıldır kullanımı çok yaygınlaşmıştır. Çalışmamızda, insan yaşamında en önemli sağlık unsurlarından biri olan ve kalp-damar hastalıklarının tedavisinde çok önemli bir yere sahip stentlerin bilimsel yaklaşımlar doğrultusunda seçimine yönelik olarak bir "karar destek sistemi" geliştirilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulması hedeflenen karar destek sistemi, konusunda uzman hekimlerin, medikal gereçler üretim-satışıyla uğraşan sektör temsilcilerinin bilgi birikimleri ve uluslararası kabul görmüş sağlık standartları dikkate alınarak, metodolojik olarak bütünsel ve objektif sonuçlar veren bir nitelikte olacaktır.

Stentlerde, stenoz, restenoz, tromboz etkinliği, kontrol dışı endotel hücre atışı vb. komplikasyonlar görülebilmektedir. Günümüzde, bir yandan stent biyomalzeme etkin kullanımını geliştirmek, bir yandan da bu problemleri önleyerek biyoyumumluluğu arttırmak yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Belirtilen komplikasyonlar da dikkate alındığında birçok çeşit model / marka arasından hangi stentin hangi hastaya daha uygun olduğunun belirlenmesi çok karmaşık bir karar sürecini içermektedir ve bu karar sürecini bilimsel tabana oturtan metodolojik bir çalışma oldukça önemlidir. Küresel pazarda tıp örgütlerinin başarısı ve rekabeti için kullanılacak uygun stentin seçimi kritik bir konudur [2]. Mühendislik uygulamaları için ürün geliştirilmesi farklı bileşenler için uygun ürün seçimi tasarımında en zor görevlerden biridir. Ürün seçimi tüm tasarım ve üretim sürecinde önemli rol oynar. Belirli bir mühendislik uygulaması için en uygun ürünün seçimi zaman alıcı ve pahalıdır [2]. Materyalin yanlış seçimi, prematüre bileşenlerin veya ürünün arızalanması yüksek maliyetlere neden olur. Tasarımcıların istenileni elde etmeleri için belirli işlevler ile uygun malzeme tanımlamaları ve seçmeleri gerekir [3]. Günümüzdeki hastanelerin / hekimlerin stent seçimi uygulamaları daha çok uzman hekim görüşüne dayanan subjektif metotlarla yapılmaktadır. Literatürde veya gerçek hayat uygulamalarında stent seçimine yönelik olarak objektif yöntemlerin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Ancak, farklı sektörlerde (malzeme, otomotiv vs.) kullanılan ileri teknoloji ürünü malzemelerin seçimine yönelik olarak çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerini kullanan çalışmalar literatürde önemli bir çalışma alanını oluşturmaktadır [4-6].Biyomedikal sektörüne bakıldığında ise, biyomedikal cihaz tasarımı esnasında, ergonomi bilimi kurallarının uygulandığı disiplinlerarası çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak, bu çalışmalar yeterli değildir ve yaygınlaşması gereklidir. Bu noktada gerek sağlık sektöründeki geleneksel bakış açısının gelişmesi, gerekse disiplinlerarası araştırmaların artırılması, gelecekte birçok problemin çözümüne ışık tutabilecek nitelikteki farklı çalışma ve uygulamanın önünü açacaktır. Bu çalışmada bu doğrultuda örnek olabilecek bir çalışmanın sunulması amaçlanmıştır.

Stentlerin kullanımında birinci problem arter bölgesine yerleştirildikten sonra vücut tarafından yabancı bir cisim gibi düşünüldüğünden kandaki trombositlerin stent yüzeyine yapışarak burada pıhtı oluşturmasıdır. İkinci problem olarak pıhtı önleyici ilaçlara rağmen pıhtı oluşmasıyla ani tıkanma olayıdır (akut tromboz). Diğer bir problem stentin iç yüzünü kaplayan endotel hücrelerinin bazen kontrol dışı artış göstermesi ve çoğalmaya sürekli devam etmesidir. Bunun sonucunda stent içinde darlık (restenoz) oluşur. Bu darlık gelişme oranı ilk 6 ay içinde en fazladır (%20-40 arasında). İnsan fizyolojisi, doku farklılıkları, genetik yatkınlıklar, mevcut sağlık problemleri, günlük yaşam ve beslenme alışkanlıkları, stres ve çevresel faktörlerdeki farklılaşmalar bir insandan diğerine uygulanabilir stent tipi ve özelliğini etkilemektedir.

Yukarıda belirtilen komplikasyonlar da dikkate alındığında birçok çeşit model / marka arasından hangi stentin hangi hastaya daha uygun olduğunun belirlenmesi çok karmaşık bir karar sürecini içermektedir ve bu karar sürecini bilimsel tabana oturtan metodolojik bir çalışma bulunmamaktadır. Girişimsel kardiyolojinin önemli sorunlarına çözüm getiren stentler, teknolojinin de gelişimiyle değişik tasarım ve materyaller ile üretilerek kullanıma sunulmuşlardır. Çalışmamızda, bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi

kullanılarak hastaya en uygun stent seçimi için kullanışlı bir karar destek sistemi geliştirilerek, stent seçim sürecinde hekimlere yardımcı olabilecek bilimsel temellere dayanan bir aracın geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP (Analytical Hierarchy Process) yönteminden faydalanılması benimsenmiştir. AHP yöntemi, stent seçim kriterlerinin göreceli ağırlıklarının belirlenmesinde en etkili yöntem olarak nitelendirildiğinden çalışmamızda kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak kullanılacaktır. Bu projede geliştirilecek karar destek sistemi ile hastanelerin yıllara göre stent seçim eğilimi de gözlenebilecek ve istatistikî veriler biriktirilebilecektir. Ayrıca değişik markaların birbirlerine göre performanslarının değerlendirilmesi ve değerlendirme sonucu markalar arasında bir sıralama yapılması da sağlanabilecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Stent Komplikasyon Mekanizmaları

Stenlerin metalik ağ yapısı, oluşan plak yapılarını damarın kenarlarına doğru iterek damarı açmakta; uygulama yerinde kalmaya devam ederek damar için bir destek yapısı oluşturmaktadır. Bu destek yapısı sayesinde, stentler balon anjioplastisinde görülen akut elastik geri büzülme ve olumsuz geri şekillenmenin önüne geçmiş olur [7]. Stent açılırken damar duvarında bir yaralanma meydana gelmektedir. Bu yaralanma da restenoz mekanizmaları aktive etmektedir. Ayrıca stentin metalik kenarları da makrofajları ve düz kas hücrelerini uyarmakta, bütün bunların sonucunda; aşırı düz kas hücresi çoğalması (intimal hiperplazi) balon anjioplastisine oranla daha hızlı ve yüksek oranda olmaktadır. Bu hücreler bir süre sonra stent yapısını da içine alarak damarı tekrar tıkamaktadır [7]. Buna göre stentler, restenoz mekanizmalarını mekanik olarak engellemekte birlikte hücresel düzeydeki oluşumlar üzerinde etkisiz kalmaktadır.

Stent mekanizmasında önemli bir parametre de iyonlardır, çoğu metal yüzeyi elektrostatik olarak pozitif yüklüdür. Kan elemanlarının büyük bir oranı negatif yüzey yükü taşıdığından tromboz oluşumuna yol açabilmektedir. Bu nedenle, stent yerleştirilmesini takip eden ilk 30 gün içinde pıhtı oluşumu riski, düzenli ilaç kullanımı zorunlu hale getirmektedir [8]. Ayrıca stent yapısında kullanılan metallere bağlı olarak stentlerin kenarlarının kalın olması, mekanik dirence, dolayısıyla iyi bir anterijel desteğe sahip olmalarını sağlamakta, ancak damar duvarı hasarına yol açmaktadır [9].

2.2. Stent Komplikasyonlarını Önleme Yöntemleri

Stent içi restenozun önlenmesinde kullanılan yaklaşımlardan bir tanesi brakiterapi olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde restenozun görüldüğü damar içi bölgeye özel bir katater yardımıyla kısa süreli (yaklaşık 5 dakika) gama yada beta radyasyonu uygulanmaktadır. Restenoz tedavisi amacıyla sistemik ilaç kullanımı da, uygulanan tedavi yaklaşımları arasındadır. Bu yöntemde kullanılan ilaçlar ve kullanım amaçları aşağıda verilmiştir;

*Antitrombosit ve antitrombotik ilaçlar: Restenoz oluşumdaki ana basamaklardan olan trombosit birikmesi ve yılmasını engelleyerek restenozu tedavi etmek (heparin, varfarin, aspirin)

*Antinflamatuvar ilaçlar: Restenoz oluşumu sırasındaki inflamatuvar cevabı ve buna bağlı olarak hücre çoğalmasını engellemek i (dexamethasone, prednşsolone, transilat)

*Spesifik büyüme faktörü antagonistleri: Restenoz oluşumu sırasında salınan ve düz kas hücrelerini uyarak daha hızlı çoğalmalarına yol açan büyüme faktörlerini inhibe etmek (trapidil, anjioeptin)

*Antineoplastik ilaçlar: Spesifik olmayan antineoplastik etkin maddeler kullanılarak restenozda görülen son basamak olan düz kas hücrelerinin çoğalmasını inhibe etmek (paklitaksel, rapamisin)[10]

Ancak, yukarıda verilen ilaçlar klinik uygulamalarda yetersiz kalmaktadır. Bu yöntemin uzun vadede tromboz oluşumuna yol açan ve olumsuz şekillenme oranını artırma olasılığı kullanımını sınırlamaktadır [11]. Bu örnek bize ilaç tedavisi dışında stent yüzeyinde lokal olarak uygulanabilecek yöntemlerin geliştirilmesi gerekliliğini göstermektedir. Anjioplasti uygulamaları sonucunda görülen restenozun önlenmesi için geliştirilen tekniklerin istenen sonuçları vermemesi ve sistemik ilaç uygulamalarının yetersiz kalışı, ilaçların damar yapısı içine lokal olarak uygulanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Ateroskeroz görülen bölgeye lokal ilaç taşınmasının üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir [8,11]:

- İlaçların sistemik toksisite göstermelerine yol açabilecek aşırı dozlarının kullanılmasını engellemek,
- İlk geçiş etkisinden kurtularak olası metabolizasyonlardan kaçınmak,
- İlaçların etki gösterecekleri konsantrasyonlarda uygulama bölgesine ulaşmalarını sağlamak.

Lokal olarak ilaç taşınması için öncelikle katater temelli yaklaşımlar denenmiştir. Anjioplasti balonu üzerine sabitlenen etkin madde daralmanın görüldüğü bölgede, balonunun şişirilmesini takiben damarın iç tabakasına uygulanmış olmaktadır [12]. Fakat bu uygulama sonucunda etkin madde çok kısa bir süre boyunca damarla temas edebilmekte, katater uzaklaştığı anda etkin maddenin etki yeri ile teması bitmektedir. Kataterin ucundaki balon şişirildiğinde damarı tamamen kapatmakta bu durum da kan akışı engellenmektedir. Bu sebeplerden dolayı uygulanan etkin madde hızla kan dolaşımına karışmakta ve istenen süre etkisini göstermemektedir [13]. Katater temelli ilaç taşınmasının insan çalışmalarında stenozun engellenmesinde önemli bir etki göstermemeleri, lokal ilaç taşınması için stentlerin uygun platform olduğunu göstermiştir [14]. Stentlerin ilaç taşıyıcı sistemler olarak kullanılması ile temel olarak iki yönlü bir etki elde edilir. İlaç salan stentler, mekanik destek görevi gören yapıları ile restenoz mekanizmaları olan elastik geri büzülme ve olumsuz geri şekillenmeyi mekanik olarak engellenmekte, aynı zamanda bir taşıyıcı görevi üstlendiği etkin maddenin lokal olarak salınmasını sağlayarak intimal hiperplazinin önüne geçmektedirler. Ayrıca stentlerin uygulandıkları uzun süre boyunca kalmaları, damar duvarına, uzatılmış ve kontrollü etkin madde salımına izin verir [15]. İlaç salan stentlerin geliştirilmesi için zaman içinde farklı yaklaşımlar denenmiştir. Bu amaçla etkin madde içermeyen metalik yapıdaki stentler, ilaç çözeltisinin içine daldırılarak ya da ilaç çözeltisi stent üzerine püskürtülerek kaplanmıştır [7,8]. Etkin maddenin, bu şekilde direkt olarak stentin yüzeyine sabitlenmesi mümkün iken, matriks görevi polimerik bir kaplama materyali içinde dağıtarak stentlerin kaplanması ile de ilaç salan stent sistemleri oluşturulabilir. İlaç salan stent yapıları üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ilaç, stent ve polimerik matrikstir [16]:

İlaç salan stentlerin yapısına giren bir etkin madde restenozu açan hücrel yanıtlardan intimal inhibe edecek özellikte olmalıdır [8, 17]. Bu amaçla ilaç salan stentlerin bileşimine giren farmakolojik gruplara örnek olarak antiinflamatuvar (deksametazon, metik prednizolon, tranilast), immunosupresifler (sirolimus, takrolimus, mikofenolikasit) ve antiproliferatifler (paklitaksel, tirozin kinaz inhibitörü, C-myc antisens oligonükleotiti) verilebilir [8, 17]. Etkin maddenin özellikleri ele alındığında, hidrofobik ilaçların damar duvarına geçmesi daha kolay olmaktadır.

İdeal bir ilaç alan stent, esnek ve büyük bir yüzey alanına sahip olmalıdır. Ayrıca mekanik dayanıklılığının da yüksek olması gerekmektedir. Piyasada yer alan ilaç salan stent sisteminde kullanılan stentler, özellikle ilaç salınımı için geliştirilmemiş, konvansiyonel stentlerdir. İnsanlarda kullanım izni alarak piyasaya sürülmüş olan iki adet stent bulunmaktadır. Bu stentlerden birincisi 2003 Nisan ayında piyasaya sürülen Cordis firmasının CYPHER sirolimus salan stenti, diğeri de Boston Scientific firmasının 2004 Mart'ında piyasaya sürülen TAXUS paklitaksel salan stentidir. Paklitaksel sitotoksik etkisinden dolayı tümörlere karşı kullanılan bir ilaçtır [18]. Lokal olarak hücre yapısındaki mikrotübüllerin yapısını bozarak, hücre çoğalmasını önlemektedir. Böylece stentin yerleştirildiği bölgede hücrel olarak restenoz engellenmektedir. CYPHER stentinin etkin maddesi olan sirolimus ise immunosupresan ve antiproliferatif etkisi nedeniyle kullanılan antibiyotik yapıda bir bileşiktir. Sirolimus, damar duvarında yer alan düz kas hücrelerinin ve endotek hücrelerinin proliferasyonunu inhibe ettiği anlaşıldıktan sonra ilaç salan stentlerde kullanılmaya başlanmıştır [8]. İlaç salan stentlerin yapısına giren birçok ilaç, stentlerin metalik yüzeyine sabitlenemediği için polimer tabakasına ihtiyaç duyulmaktadır [14]. Etkin bir polimer kaplaması:

- Stentlerin kullanımı sırasında ortaya çıkan mekanik zorlamalara karşı koyabilmeli [7]
- Trombojenik olmamalı [8]
- Damar duvarında tek başına bir inflamatuvar cevap oluşumuna yol açmamalı [16]
- Etkin maddenin intimal hiperplaziyi inhibe edebilmesi için en az 3 hafta kontrollü olarak salımını sağlayabilmelidir [8,16]

İlaç salan stentlerden lokal olarak ilaç salınımını etkileyen etkenler ise [10];

- Kaplamanın kalınlığı
- İlacın ve polimerin fizikokimyasal özellikleri
- Polimer matriksinin gözenekliliği
- Stentin tasarım özellikleri
- Stentlerin içerdiği etkin madde miktarı olarak özetlenebilir.

İlaçların stentin üzerindeki kaplamadan salınımları genellikle difüzyon ya da çözünme/degradasyon kontrollü olarak gerçekleşmektedir. İlaç salan stentlerden salımın difüzyon ya da çözünme/degradasyon kontrollü olarak mekanizmalardan hangisine göre gerçekleşeceği kaplama için seçilen polimer özelliklerine bağlı olarak kontrol edilebilmektedir. Difüzyon kontrollü sistemlerde ilaç salımı suda çözünmeyen polimerler ile sağlanır. Piyasada kullanılan CTPHER ve TAXUS stentlerinin her ikisi de suda çözünmeyen polimerler kullanılmakta ve buna bağlı olarak ilaç salınımı difüzyon kontrollü olmaktadır. Çözünme/degradasyon kontrollü sistemlerde ise ilacın salınması suda çözünebilir polimerin yavaşça çözünmesine ya da hidrofobik polimerlerin yavaş bir şekilde degrade olmasına bağlıdır.[18]

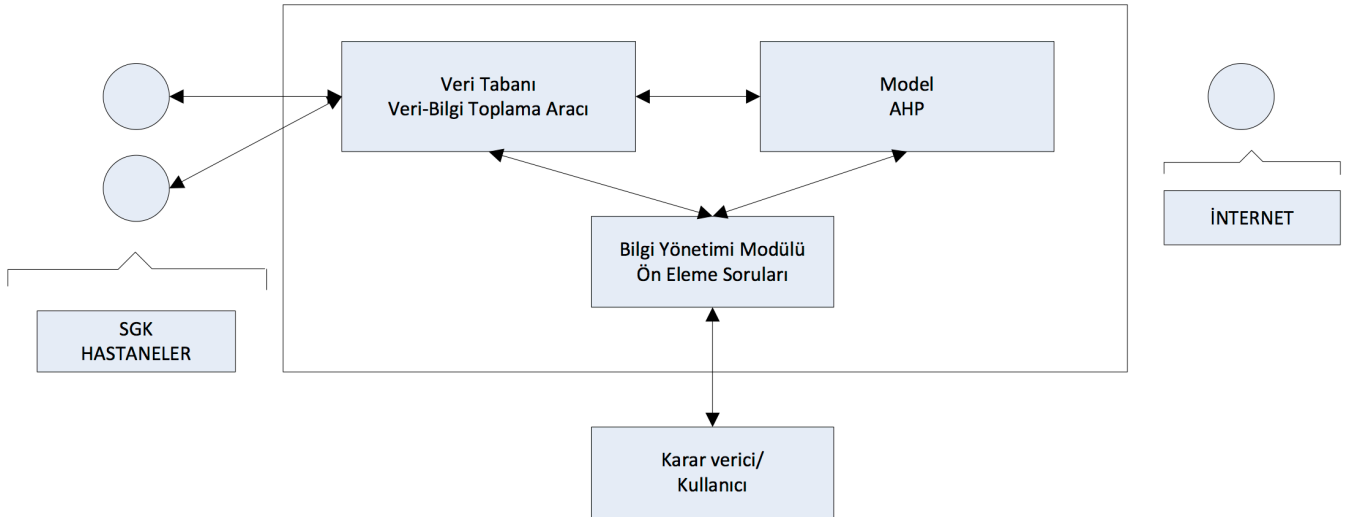
Metalik stentlerin ilaç içeren biyobozunur polimer ile kaplanmaları sonucunda kontrollü etkin madde salınımı sağlayan ve restenoz oluşumunu engelleyen ilaç salan stent yapıları literatürde son yıllarda önem kazanmıştır [19]. Metalik stentlerin biyoparçalanır polimerler ile kaplanmaları için kullanılan farklı yöntemler içinden Jayaraman'ın [20] kullandığı yöntem, ilaç salan stentlerin üretiminde kullanılmıştır. Kaplama işlemleri sırasında, polimer çözeltisinin stentin sadece damar ile temas halinde olması, dış yüzeyinde yer alması istenen bir durumdur. Böylece kan ile temas halinde olan stentin iç yüzeyinden direkt kan dolaşımına etkin madde geçişi önlenmiş olmakta, sistemik etki ve toksisite riskinden de kaçınılmaktadır. Literatürde sıklıkla kullanılmış olan daldırarak kaplama yönetiminde polimer çözeltisi stentin iç yüzeyine de tutunmakta ve bunun sonucunda etkin madde salımının stentin iç yüzeyinden de gerçekleşmesinin önüne geçilememektedir. Lincoff, restenozun engellenmesi amacıyla geliştirdikleri ilaç salan stent yapısında, metalik stenti kaplamak için PLA polimer kullanılmıştır. Etkin madde olarak anttiinflamatuvar etkili glukokortikoid yapıları bir steroid olan deksametazon kullanılmıştır. PLA polimeri ile püskürterek kaplama yapılmış ve kaplanan başarı ile uygulanabildiği, kontrollü ilaç salınımı sağladığı gösterilmiştir. İlaç salan stentlerin restenozun görülme sıklığını düşürmedeki başarılarına rağmen, stentlerdeki polimer tabakasının kalınlığının sınırlı oluşu yüklenen ilaç miktarını azaltmakta ayrıca etkin maddenin kontrollü salınımının sağlanmasında güçlük oluşturmaktadır [21]. Bu olumsuzluklardan dolayı ve maliyet sebebiyle ilaçsız stent kullanımları da yaygındır.

2.3. Biyomedikal Alanında Karar Destek Sistemleri

Genel olarak karar destek sistemlerinin farklı sektörlerde uygulanmalarının son dönemde sıklık kazanmaya başladığı görülmektedir. Bu noktada imalat sektöründe ileri imalat teknolojilerinin seçimi, robot seçimi, imalat yöntemi seçimi, bankacılık ve finans sektöründe kredi taleplerinin değerlendirilmesi ve derecelendirme uygulamalarında, belirli sektörlerde faaliyet gösteren firmaların başarı düzeylerine göre sıralanmasında ve bölgesel ve sektörel yatırım alanlarının seçilmesinde, yaygın olarak karar destek sistemi çalışmalarının uygulandığı görülmektedir [22-30]. Biyomedikal alanına bakıldığında ise, biyomedikal cihaz tasarımı esnasında, ergonomi bilimi kurallarının uygulandığı disiplinlerarası çalışmalara rastlanmaktadır [31]. Ayrıca, dental implantların seçimi [32], diş restorasyonlarının belirlenmesi [33], metalik diz protezlerinin seçimi [34] gibi çalışmalar da bu alandaki çalışmalara örnek olarak verilebilir.

3. STENT SEÇİMİNDE KULLANILACAK KARAR DESTEK SİSTEMİNİN (KDS) GELİŞTİRİLMESİ

Çalışmamızda, insan yaşamında en önemli sağlık unsurlarından biri olan ve kalp-damar hastalıklarının tedavisinde çok önemli bir yere sahip stentlerin bilimsel yaklaşımlar doğrultusunda seçimine yönelik olarak bir KDS geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Oluşturulması hedeflenen karar destek sistemi, konusunda uzman hekimlerin, medikal gereçler üretim-satışıyla uğraşan sektör temsilcilerinin bilgi birikimleri ve uluslararası kabul görmüş sağlık standartları dikkate alınarak, metodolojik olarak ÇKKV yöntemleri yardımıyla bütünsel ve objektif sonuçlar veren bir model niteliğindedir. Geliştirilecek karar destek sistemi ile ilk aşamada, oluşturulan bir veri tabanındaki alternatif stent seçeneklerini ön eleme soruları yardımıyla elemeye tabi tutmakta ve belirli bir hastaya uygun stent alternatifleri tespit edilmektedir. Ardından ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak stent alternatifleri önceden belirlenen kriterler ve ağırlıkları doğrultusunda kendi aralarında en iyiden en kötüye sıralanmaktadır. Ön eleme sorularının, seçim kriterlerinin ve ağırlık puanlarının belirlenmesinde, uzman hekimlerin, sektör temsilcilerinin görüşleri bir veri toplama aracı kullanılarak derlenmiş ve ardından uluslararası kabul görmüş sağlık standartları ve sağlık bakanlığı ve SGK tarafından belirlenen kural ve uygulama esasları da dikkate alınarak gerçek hayatta uygulanabilir bir karar destek sistem modeli ortaya konulmaya çalışılmıştır. Geliştirilen Karar Destek Sisteminin yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen KDS'nin Genel Yapısı

3.1. Veri Tabanının Oluşturulması

Karar destek sistemi için gerekli olan veri tabanı excel programı yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Excel dosyasında kayıtlı bilgiler üretici-distribütör firmalara ait düzenlenen anketlerin sonuçları ve internet ortamından elde edilen katalog bilgilerine aittir. Amaç, veri tabanının geniş kapsamlı olmasıdır. Çünkü veri tabanına ait bilgiler ne kadar çeşitli ve kapsamlı olursa doktorun belirttiği kriterlere/özelliklere o derece uygun olur. İstenilen özelliklere uygun olan stentin bulunması ihtimali artar.

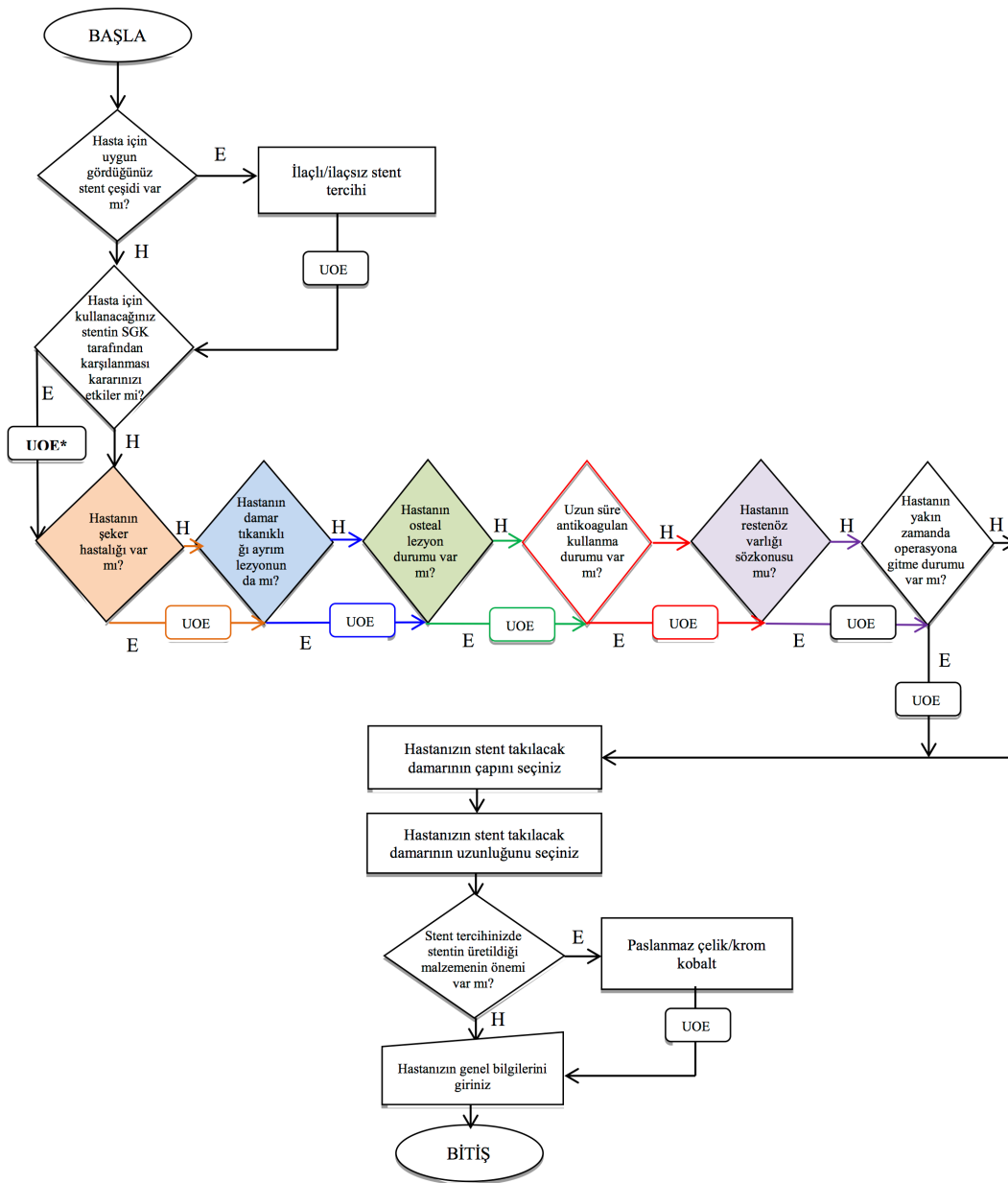
3.1.1. Veri-Toplama Aracının Tasarlanması

Çalışmamız kapsamında kullanılan karar destek sisteminin sorularının hazırlanmasında ve yine karar destek sistemi sonuçlarının ağırlıklandırılmasında kullanılmak üzere tasarlanan sorular, doktorların görüşlerini stardandize edebilmek için hiçbir kaynaktan alıntı yapılmaksızın proje ekibi tarafından hazırlanmıştır. Düzenlenen sorular ilk olarak Atatürk Araştırma ve Eğitim Hastanesi kardiyologlarına yöneltilmiş, ardından Başkent Üniversitesi Hastanesi Kardiyoloji Bölümü doktorları ile de görüşülerek sorulara son hali

verilmiştir. Yapılan istatistikî analizlerde bu çalışmanın anket formatına uygun olmadığı için “veri-bilgi toplama aracı” olarak nitelendirilmesinin daha doğru olacağına karar verilmiştir. Veri-bilgi edinme aracı soruları EK-1’de sunulmuştur. Veri tabanında kullanılacak bilgilerin dizaynı, seçimi ve içeriklerine yönelik olarak tasarlanan diğer sorular ise stent üreticileri ve distribütörlerine uygulanmış ve Ek-2’de sunulmuştur. Çalışmada veri toplama işlemi için, Ankara ili pilot bölge seçilmiştir. Sorulara verilen cevapların rassallığını sağlayabilmek için uygulamanın yapılacağı doktorlar rassal olarak belirlenmiştir. Hastane, ünvan ve tecrübe deneyimi ayrımı yapmaksızın kardiyologların tercihleri dikkate alınarak soruların cevaplanmasında homojenlik sağlanmıştır. Veri-Bilgi toplama aracından elde edilen verilerin analiz sonuçları Ek-3’te sunulmuştur.

3.1.3. Ön Eleme Sorularının Belirlenmesi

Karar destek sisteminde sorulması planlanan ön eleme soruları kardiyoloji bölümü doktorlarına gerçekleştirilen veri bilgi edinme aracı sorularına ve firmaların kataloglarından elde edilen bilgilere dayanılarak tasarlanmıştır (Şekil 2).



*UOE

“Uygun Olmayanları veri tabanından Eleme”

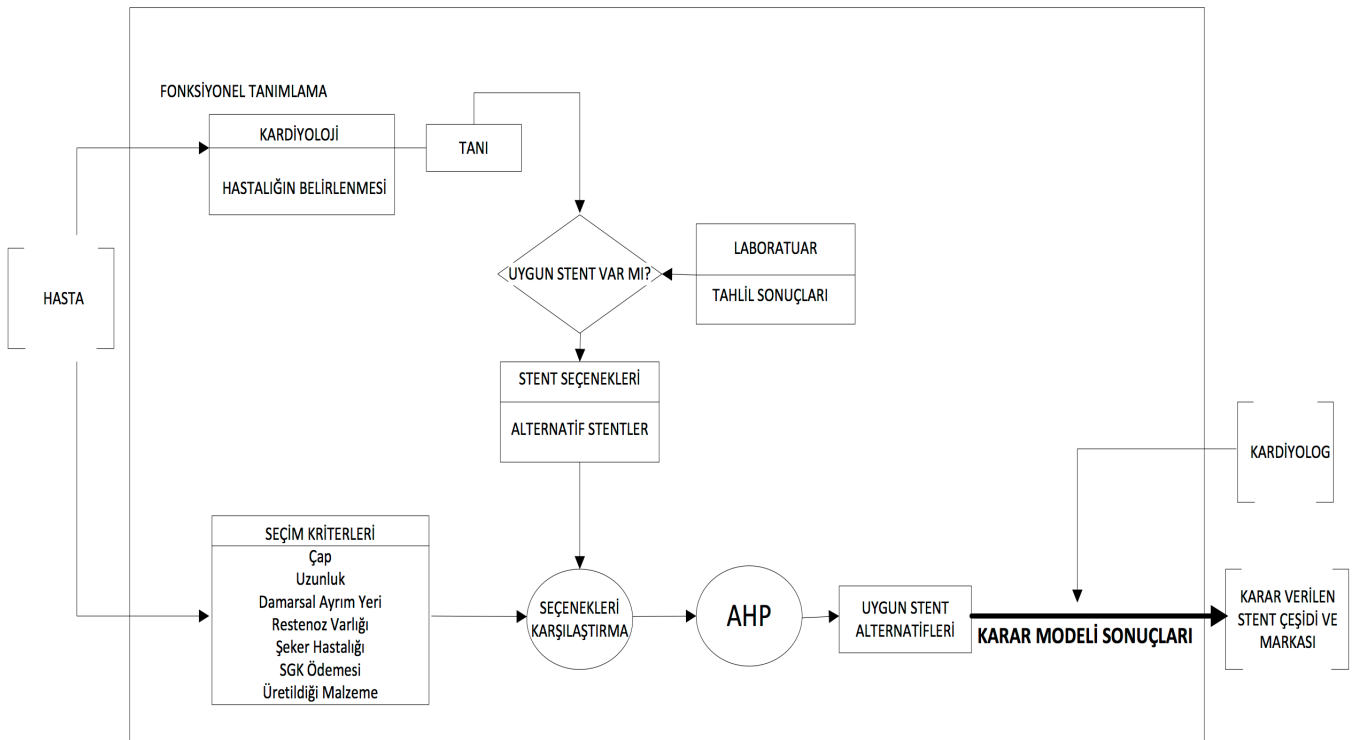
Şekil 2. Ön değerlendirme soruları akış şeması

4. OLUŞTURULAN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN TANITILMASI

Şekil 3'te, oluşturulan karar destek sisteminin genel yapısı verilmiştir. Hastaneye gelen hastanın ilk önce hastalığı belirlenerek tanısı konulmaktadır. Daha sonra laboratuardan gelen sonuçlar da incelenerek hasta için uygun stent olup olmadığına bakılmaktadır. Alternatif seçenekler önceden belirlenen kriterlere göre AHP yöntemi ile kendi aralarında sıralanmaktadır. Alternatif stentler karar vericiye sunulmakta ve seçim karar vericiye bırakılmaktadır. Oluşturulan KDS'de yöneltilen sorular doğrultusunda işleyişi ve ekran görüntüleri Ek-4'te sunulmuştur.

5. GELİŞTİRİLEN KDS'NİN GERÇEK HAYATTA UYGULANMASI

Bu bölümde, geliştirilen karar destek sisteminin gerçek hayatta bir uygulamasına yer verilmiştir. Stent seçimi uygulaması yapılacak olan hasta, damar tıkanıklığı sebebiyle Başkent Üniversitesi Hastanesi Kardiyoloji Bölümüne gelmiştir. Kardiyolog tanıyı tespit edebilmek için hasta şikâyetleri doğrultusunda gerekli kan tahlillerini laboratuardan istemiştir. Laboratuardan gelen sonuçlara göre, hastanın stent takılmasına engel olabilecek bir rahatsızlığının bulunmadığı tespit edilmiştir. Başlangıç aşamasında doktorun ele alınan hasta için ilaçlı ya da ilaçsız stent tercihi bulunmamaktadır (Şekil 4). Kararlarını hastanın diğer komplikasyonlarını göz önünde bulundurarak vermeyi tercih etmiştir. Hasta stent ödemesini gerçekleştirecek güce sahip olmadığı için SGK tarafından geri ödeme yapılması önemlidir. Soru 2 yerine 3. soruya geçilmesinin nedeni; karar vericinin (kardiyolog) ilaçlı/ilacı stent tercihinin belirtmemesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 5). İstenilen kan tahlili sonuçları incelendiğinde hastanın şeker hastalığı bulunmadığı tespit edilmiş ve Soru 4 için HAYIR cevabı işaretlenmiştir. Damar tıkanıklığı yerinin kıvrımlı bir bölgede değil kısmen düz bir damarda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 3. Kardiyoloji Alanındaki Karar Destek Sisteminin Tanımlanması

SORU 1

Hastanız için uygun gördüğünüz ilaçlı/ilaçsız stent tercihiniz var mıdır?

NOT: Eğer bir tercih belirtirseniz programın ilerleyişi sizin tercihiniz doğrultusunda olacaktır.

EVET

HAYIR

Şekil 4. Soru 1 için kardiyoloğun verdiği cevap

SORU 3

Hastanız için kullanacağınız stentin SGK tarafından geri ödeme yapılması kararınızda bir etkili midir?

EVET

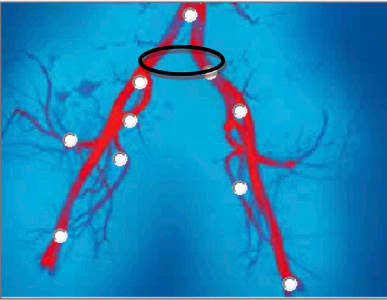
HAYIR

GERİ <<

Şekil 5. Soru 3 için kardiyoloğun verdiği cevap

SORU 5

Hastanın damar tıkanıklığının yerini resim üzerinden belirleyiniz.



GERİ <<

Şekil 6. Soru 5 için kardiyoloğun verdiği cevap

Hastanın osteal lezyon durumu söz konusu değildir. Hastanın sürekli ilaç kullanmasını gerektirecek başka bir rahatsızlığı bulunmamaktadır. Hastaya ilk defa stent takıldığından restenoz varlığı durumu söz konusu değildir (Şekil 7). Hastanın sadece kalp rahatsızlığı bulunmaktadır. Yakın bir zamanda farklı bir operasyon geçirmesi söz konusu değildir (Şekil 8). Hastanın damar çapının 3.50 mm olduğu, hastanın damar uzunluğunun 24 mm olduğu bilinmektedir (Şekil 9). Kardiyoloğun bu hasta için uygun gördüğü stent malzemesi krom-kobalt'tır (Şekil 10).

SORU 6
Hastanızın osteal lezyon durumu var mıdır?
 EVET HAYIR
Osteal lezyon NEDİR?
GERİ <<

Osteal Lezyon NEDİR?
Osteal Lezyon : Damar içerisinde pıhtı olma durumudur.
GERİ <<

SORU 7
Hastanızın uzun süreli antikoagülan kullanma durumu var mıdır?
 EVET HAYIR
Antikoagülan NEDİR?
GERİ <<

Antikoagülan NEDİR?
Antikoagülan : İlaç
GERİ <<

SORU 8
Hastanızın restenoz varlığı söz konusu mudur?
 EVET HAYIR
Restenoz varlığı NEDİR?
GERİ <<

RESTENOZ VARLIĞI NEDİR?
RESTENOZ VARLIĞI: Daha önce tıkanma olan damarda tekrar tıkanıklığın meydana gelmesi durumudur.
GERİ <<

Şekil 7. Soru 6-8'in cevaplanması

SORU 9
Hastanızın yakın zamanda operasyona gitme durumu var mıdır?
 EVET HAYIR
GERİ <<

Şekil 8. Soru 9 için kardiyoloğun verdiği cevap

SORU 10
Hastanızın stent takılacak damarının çapını seçiniz.
 1.50 mm 3.00 mm
 2.00 mm 3.25 mm
 2.25 mm 3.50 mm
 2.50 mm 4.00 mm
 2.75 mm 4.50 mm
GERİ <<

SORU 11
Hastanızın stent takılacak damarının uzunluğunu seçiniz (a,b)
 6-13 mm 13-20 mm
 20-28 mm
 28-38 mm
GERİ <<

Şekil 9. Soru 10 ve 11 işle hastanın damar çapı ve uzunluğunun kardiyolog tarafından seçilmesi

SORU 12

Stent tercihinizde stentin üretildiği malzemenin (paslanmaz çelik/krom kobalt) önemi var mıdır?

EVET

HAYIR

GERİ <<

SORU 13

Kullanmak istediğiniz stentin üretildiği malzemeyi seçiniz.

316 Paslanmaz Çelik

615 Krom-Kobalt

GERİ <<

Şekil 10. Soru 12 ve 13 için kardiyoloğun verdiği cevap

Stentin yapıldığı malzeme kardiyolog için önemli olduğundan kardiyoloğa soru 13 yöneltmiştir. Eğer hayır cevabı verilmiş olsaydı, soru 13 sorulmadan “BULUNAN SONUÇ” ekranı ile elde edilen alternatif stent seçenekleri kardiyoloğa sunulacaktı. Tüm sorular tamamlandıktan sonra karar destek sisteminin ön eleme sonuç ekranı Şekil 11’de gösterilmiştir. Şekil 11’deki gibi listelenen stent alternatiflerinin sayısı iki veya daha fazla ise ‘AHP’ye AKTAR’ butonuna tıklanılarak alternatif stent seçenekleri AHP metodu ile sıralanmakta ve nihai seçim kararı karar vericiye bırakılmaktadır. Burada aday stentlerin hepsi tek bir firmaya ait olduğundan nihai sıralama değişmemiştir.

BULUNAN SONUÇ

Kriterlerinize seçilebilecek uygun stentler aşağıda listelenmiştir.

Uygun Stent Markası:	Uygun stent çeşitleri:	Kullanılacak stent :
alvimedica	6009Coracto İlaç-Salını	6008Coracto İlaç-Salını
alvimedica	6010Coracto İlaç-Salını	6009Coracto İlaç-Salını
alvimedica	6030Coracto İlaç-Salını	6010Coracto İlaç-Salını
alvimedica	6031Coracto İlaç-Salını	6030Coracto İlaç-Salını
alvimedica	7006Ephesos II Çıplak	6031Coracto İlaç-Salını
alvimedica	7007Ephesos II Çıplak	7006Ephesos II Çıplak
alvimedica	8004Constant Çıplak Me	7007Ephesos II Çıplak
alvimedica	8023Commander Çıplak	8004Constant Çıplak Me
alvimedica	8027Commander Çıplak	8023Commander Çıplak
alvimedica	8028Commander Çıplak	8027Commander Çıplak
alvimedica		8028Commander Çıplak

EKLE >>

BITİR

AHP'ye AKTAR

Şekil 11. Karar destek sistemi ön eleme sonucunda elde edilen alternatif stentlerin AHP methoduna aktarılmasının istenmesi

BULUNAN SONUÇ

Kriterlerinize seçilebilecek uygun stentler aşağıda listelenmiştir.

Uygun Stent Markası:	Uygun stent çeşitleri:	Kullanılacak stent :
alvimedica	6009Coracto İlaç-Salını	6008Coracto İlaç-Salını
alvimedica	6010Coracto İlaç-Salını	6009Coracto İlaç-Salını
alvimedica	6030Coracto İlaç-Salını	6010Coracto İlaç-Salını
alvimedica	6031Coracto İlaç-Salını	6030Coracto İlaç-Salını
alvimedica	7006Ephesos II Çıplak	6031Coracto İlaç-Salını
alvimedica	7007Ephesos II Çıplak	7006Ephesos II Çıplak
alvimedica	8004Constant Çıplak Me	7007Ephesos II Çıplak
alvimedica	8023Commander Çıplak	8004Constant Çıplak Me
alvimedica	8027Commander Çıplak	8023Commander Çıplak
alvimedica	8028Commander Çıplak	8027Commander Çıplak
alvimedica		8028Commander Çıplak

EKLE >>

BITİR

AHP'ye AKTAR

AHP Sıralama Sonuçları

6008Coracto İlaç-Salını STS

6009Coracto İlaç-Salını STS

6010Coracto İlaç-Salını STS

6030Coracto İlaç-Salını STS

6031Coracto İlaç-Salını STS

7006Ephesos II Çıplak Metal ST

7007Ephesos II Çıplak Metal ST

8004Constant Çıplak Metal STS

8023Commander Çıplak Metal ST

8027Commander Çıplak Metal ST

8028Commander Çıplak Metal ST

Şekil 12. Karar destek sistemi sonucunda elde edilen alternatif stentlerin AHP methoduna aktarılarak sıralanması

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda Başkent Üniversitesi Hastanesi Kardiyoloji Bölümü doktorları Şekil 12’de gösterilen stentlerin hastaya uygulanmasının uygun olacağını ve geliştirilen programın kendi tecrübeleriyle elde ettikleri sonuçlara yakın ve eşdeğer olduğunu belirtmiştir. Kardiyolog tarafından başlangıçta ilaçlı/ilaçsız stent tercihi belirtilmediğinden AHP sıralama sonuçlarında hem ilaçlı, hem de ilaçsız stentler sıralanmaktadır. Nihai karar AHP sıralama sonuçları dikkate alınarak doktora aittir.

Elde edilen bu sonuçlara göre 6008 Coracto İlaç-Salımlı STS ilk sırayı, 6009 Coracto İlaç-Salımlı STS 2.sırayı ve 6010 Coracto İlaç-Salımlı STS 3. sırayı almıştır. Bu stentler ALVIMEDICA markasına ait ilaç salımlı stentlerdir [35]. Hastaya takılacak olan ilaç salımlı stentler operasyon sonrası restenoz oluşma olasılığını önemli bir oranda azaltarak hastanın operasyon sonrası yaşam kalitesini arttırmaktadır. Coracto, polimer ve ilacın birbirine olan uyumunun sağladığı salım profili ile hem ilacın istenen süre zarfında etki etmesini, hem de ilacın salımını bitirmesini takiben polimerin tamamıyla parçalanmasını ve böylece, ilerleyen zamanda hastanın ilave ilaç kullanma gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Esnek bir tasarıma sahip olan bu stentin, özellikle kıvrımlı dar damarlarda performansının oldukça iyi olması beklenmektedir [35].

6. Sonuç

Bu çalışmada stent seçiminde kullanılacak bir karar destek sistemi geliştirilmiş ve Ankara ilinde bir hastanede uygulanmıştır. Geliştirilen Karar Destek Sistemi (KDS), hasta özelliklerine uygun stentin birçok model içinden seçilebilme işlemini kolaylaştıracak niteliktedir. KDS’nin hazırlanmasında karşılaşılan en büyük sıkıntı, stent üretici firmaların kataloglarında model çeşitlerinin özelliklerine ilişkin yeterli bilgi detayının bulunamamasıdır. Geliştirilen KDS esnek bir yapıda kurulduğundan yeni stent modellerinin veri tabanına eklenmesi veya mevcutlar üzerinde güncellemeler yapılması kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Gerek veri-bilgi toplama aracının hazırlanmasında, gerekse uygulanmasında yardımını esirgemeyen Başkent Üniversitesi Hastanesi Kardiyoloji Bölümü şefi Prof.Dr.Haldun MÜDERRİSOĞLU’ na ve pilot bölge seçilen Ankara ilinde bulunan hastanelerde çalışan kardiyologlara yardım ve destekleri için teşekkür ederiz.

Bu çalışma 2013 yılında 2209-BİDEB Üniversite Öğrencileri Yurtiçi Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Popüler Bilim Dergisi, www.populerbilim.com,2006
- [2] Chatterjee, P., Athawale, V.M., Chakraborty, S., Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods, *Materials and Design*, 32(2), 851-860, 2010.
- [3] Chatterjee, P., Athawale, V.M., Chakraborty, S., Selection of materials using compromise ranking and outranking methods, *Materials and Design* 30(10), 4043-4053, 2009.
- [4] Jahan, A., Ismail, M.Y., Mustapha,F., Sapuan, S.M. Material selection based on ordinal data. *Materials and Design* 31, 3180–3187, 2010.
- [5] Chauhan, A., Vaish, R. Magnetic material selection using multiple attribute decision making approach. *Materials and Design* 36, 1–5, 2012
- [6] Gümüşderelioğlu, M., *Bilim Teknik Dergisi*, Temmuz 2002.

- [7] Walsman, R., Drug-eluting stents, From bench to bed, *Cardiovascular Radiation Med.*,1,226-241,2002.
- [8] Sousa, J.E, Serruys,P.W., Costa, M.A.,New frontiers in cardiology drug-eluting stents: Part II, *Circulation*, 107, 2383-2389, 2003.
- [9] Hara, N., Koike, H., Bilim, V. Ve Takahaski, K., Placement of a urethral catheter into the ureter: An unexpected complication after retropubic suspension, *Int., J., Urol.*, 12, 217- 219,2005.
- [10] Feeney, T., Faxon, D.P., Defining the clinical problem, “ D.Restonosis: A Guide to Therapy”, CRC Pres , New York, s. 1-8, 2001.
- [11] Kipshidze, N., Dangas, G., Tsapenko, M., Moses, J., Leon. M.B., Kutryk, M., Serruys, P., Role of the endothelium in modulating neointimal formation vasculoprotective approaches to attenuate restenosis after percutaneous coronary interventions, *J. Am. Coll. Cardiol.*, 44,733-739, 2004
- [12] Bhargava,B. ,Kartikeyan , G.Abizaid ,A.S., and Mehran , R., New Approaches to Preventing Restenosis,*BMJ*,327,274-279, 2003.
- [13] Khan, I.A., Patravale, V.B., The intra-vascular stent as a site- specific local drug delivery system, *Drug Dev. Ind. Pharm.*, 31, 59-78, 2005.
- [14] Winslow, R.D., Sharma, S.K. ve Kim, M.C., Restenosis and drug-eluting stents, *Mt.Siani J.Med.*, 72(2), 81-89, 2005
- [15] Tanabe, K., Regar, E., Lee, C.H., Hoye , A., van der Giessen W., Serruys, P.W., Local drug delivery using coated stents: new developments and future perspectives, *Curr.Pharm.Des.*, 10,357-367, 2004.
- [16] Van der Hoeven, B.L., Pires, N.M.M., Ward. H.M. Oemrawsingh, P.V., van Vlijmen, B.J.M., Quax, P.H.A., Schalij, M.J., van der Wall, E.E., Jukema, J.W., Drug-eluting stents: results, promises and problems, *Int,J.Cardiol.*, 99, 9-17, 2005.
- [17] Burt, H.M. ve Hunter W.L., Drug-eluting stents: A multidisciplinary success sory, *Adv.Drug Delivery Rev.*, 58, 350-357, 2006.
- [18] Ed Serruys P. Rensing B. , *Handbook of Coronary Stents*, IV.Baskı , Martin Dunitz,İngiltere, 2002.
- [19] Hunter, W.L., Drug-eluting stents: Beyond the hyberbole, *Adv.Drug Deliv. Rev.*, 58,347-349,2006
- [20] Chen ,M-C. , Liang,H-F. ,Chiu,Y-L. ,Chang, Y.Weı , H-J.,Sung , H-W., A novel drug- eluting stent spray coated with multi-layers of collagen and sirolimus, *J.Control.Release*,108,178-189, 2005.
- [21] Wang, X., Venkatraman, S.S., Boey, F.Y.C., Loo, J.S.C., Tan, L.P., Controlled release of sirolimus from a multilayered PLGA stent matrix, *Biomaterials*, 2006.
- [22] Chakraborty, S., Chatterjee, P., Athawale, V.M. Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods. *Materials and Design* 32,851–860, 2001.
- [23] Chan, J.W.K., Application of grey relational analysis for ranking material options. *Int. J. Comput. Appl. Technol.* 26, 210–217, 2006.

- [24] Yurdakul, M, Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 20, 329–340,2004.
- [25] Duran O., and Aguilo, J'. Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP approach, *Expert Systems with Applications*, 34,1787–1794,2008.
- [26] Ayag, Z., A hybrid approach to machine-tool selection through AHP and simulation. *International Journal of Production Research*, 45(9), 2029–2050,2007.
- [27] Ic, Y.T., and Yurdakul, M., Development of a decision support system for machining centers election, *Expert Systems with Applications*, 36, 3505–3513,2009.
- [28] Ic, Y.T., An experimental design approach using TOPSIS method for the selection of computer-integrated manufacturing technologies, *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*, 28,245 256, 2012.
- [29] Eraslan, E. Ic, Y.T., A Multi-Criteria Approach For Determination of Investment Regions: Turkish Case. *Industrial Management and Data Systems*, 111 (6), 890-909,2011.
- [30] Yurdakul, M., İç, Y.T., AHP approach in the credit evaluation of the manufacturing firms in Turkey. *International Journal of Production Economics*, 88, 269-289, 2004.
- [31] Burns, L.R., Lee J.A., Bradlow E.T., Surgeon Evaluation of Suture and Endo- Mechanical Products, *Journal of Surgical Research*, 141, 220-233,2007.
- [32] ASGE technical status evaluation, Minimizing occupational hazards in endoscopy; personel protective equipment, radiation safety and ergonomics, *Gastrointestinal Endoscopy*, 72, 227-235, 2010.
- [33] Lee, S., Yang, J., Han, J.,Development of a decision making system for selection of dental implant abutments based on the fuzzy cognitive map.*Expert Systems with Applications* 39, 11564–11575, 2012.
- [34] Park, S.G., Lee, S.,Kim, M.-K., Kim, H.-G.,Shared decision support system on dental restoration. *Expert Systems with Applications* 39, 11775–11781, 2012.
- [35] İnternet: Alvimedica, <http://www.alvimedica.com/products/interventional-cardiology-portfolio/>, 2017.
- [36] Baş, T., Anket,Seçkin Yayınları, Ankara, 2010.
- [37] Saaty, T.L., Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process,RWS publications,Pittsburg, 1994.

EKLER

EK-1. Veri Toplama Aracı Soruları

BAĞLI BULUNDUĞU KURUM/KURULUŞ:
TARİHİ VE YERİ:
STENT SEÇİMİNDE DOKTOR GÖRÜŞLERİ

1. Aşağıdaki stent türlerini kullanım sıklığınızı yüzdesel olarak belirtiniz.

A) İlaçlı stent	%.....
B) İlaçsız stent	%.....
Toplam	% 100

2. İlaç ya da ilaçsız stent seçerken tercih ettiğiniz nedenleri belirtiniz.

1. Damar çapı
2. Damarın uzunluğu
3. Lezyonun yerleşim özellikleri (örn. ayırım lezyonları, osteal lezyonlar)
4. Eşlik eden hastalıkların varlığı (örn. D. Mellitus)
5. Üçlü antikoagülan – antiagregan tedavi kullanma gerekliliğinin olup olmaması
6. Yakın bir tarihte ameliyat planı olup olmadığı
7. Stente ulaşılabilirlik
8. Stent ile ilgili daha önceki gözlem ve deneyimler
9. SGK tarafından geri ödeme yapılabilmesi

3. İlaç kaplı ve çıplak metal stent uygulamaları için; kullanılacak maksimum stent sayısı var mıdır?**4. Hastanın ilaç kaplı stent takılması isteği, stent seçiminizde ne kadar etkilidir ?**

1. etkisi yok
2. az etkili
3. orta düzeyde etkili
4. çok etkili ve/veya yönlendiricidir

5. Aynı özelliklere sahip stentler arasında tercih yaparken dikkate alınabilecek aşağıdaki unsurları önem derecesine göre sıralayınız.(Her kategoriye önem belirtmek durumunda değilsiniz.)

- (....) Marka bilinirliği
 (....) Fiyat
 (....) Tedarik kolaylığı
 (....) Kalite standartları
 (....) Çap ve uzunlukta çeşitlilik sunması
 (....) Geri ödeme kolaylığı
 (....) Kişisel klinik gözlem ve deneyim
 (....) Stent ile ilgili yeterli sayıda hasta üzerinde çalışmaların yapılmış olması

EK-1 DEVAM**6. Aşağıdakileri kriterleri alt üst limit belirterek ilaçlı/ilaçsız şeklinde gruplandırınız.**

- 1) Damar çapı (.....mm/.....mm) ilaçlı stent (.....mm/.....mm) ilaçsız stent
- 2) Darlık uzunluğu (.....mm/.....mm) ilaçlı stent (.....mm/.....mm) ilaçsız stent
- 3) Şeker hastalığıilaçlı stentilaçsız stent
- 4) Ayırım lezyonları ilaçlı stent.....ilaçsız stent
- 5) Osteal lezyonlar ilaçlı stent.....ilaçsız stent
- 6) Uzun süreli antikoagülan kullanma durumuilaçlı stent..... ilaçsız stent
- 7) Restenoz varlığıilaçlı stentilaçsız stent
- 8) Operasyona gitme durumuilaçlı stentilaçsız stent

7. Stentin kalitesini belirleyen temel unsurları (dolayısıyla stent tercihlerinizde olması gerekli özellikleri) önem derecesine göre sıralayınız.(Her kategoriye önem belirtmek durumunda değilsiniz.)

- (...) Klinik çalışmalar
 (...) Stentin marka güvenilirliği

- (...) Tedarikçi firma destek hizmetleri
- (...) İlaç içerikleri
- (...) Polimer özellikleri
- (...) Platform özelliği
- (...) Yüksek kaliteli yüzey kaplama
- (...) Hücre tasarımı (Açık/kapalı)
- (...) Endotelizasyon süresi
- (...) Esneklik
- (...) Radyal güç ve recoil düzeyi
- (...) Stent balonunun yapısı
- (...) Homojen stent genişlemesi
- (...) Strat yapısı
- (...) Metal/arter oranı
- (...) Radyoopasitesi
- (...) Stent geçiş profili
- (...) Yan dal seçebilmesi
- (...) Biyolojik uyum

Diğer (Lütfen açıklayınız.)

8. Bu konuda takip ettiğiniz tıbbi kaynakların isimleri nelerdir?

EK-2

FİRMA ADI:

ÜRETİCİ/DİSTRİBÜTÖR:

STENT SEÇİMİNDE FİRMA GÖRÜŞLERİ

- 1) Hangi marka stentleri satıyorsunuz?
- 2) Bu markaları hangi kriterlere göre seçiyorsunuz?
- 3) En çok sattığınız stent markası hangisidir?
- 4) Sattığınız ürünlerin geribildirimini alıyor musunuz? Geri bildirim alıyorsanız ne gibi yaklaşımlarda bulunuyorsunuz?
- 5) Sizin firmanız için stentin kalitesini belirleyici unsurlar nelerdir?
- 6) Aynı özellikteki stentler arasında tercih yaparsanız kalitesi mi yoksa fiyatını belirleyici olur?
- 7) Doktorların stent seçimindeki talepleri hangi markalardır?

EK-3.

Veri-Bilgi Toplama Aracının Sonuçlarının İstatistiksel Analizi ve Sonuçlarının Derlenmesi Sağlık Bakanlığından alınan verilerden yararlanılarak, Ankara ilinde bulunan hastanelerde stent takma işlemi gerçekleştiren 186 adet kardiyolog bulunduğu öğrenilmiştir. Bu sayı için gerekli olan örneklem büyüklüğü istatistiksel analiz tekniklerinden faydalanılarak %95 güven aralığında aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır [36].

$$n = Nt^2 pq / [d^2 (N-1) + t^2 pq]$$

t=1,96 (teorik t değeri tablodan bulunmuştur.)
d=α=0,05 (olayın görülüş sıklığına göre örnekleme hatası)
p=0,5 (incelenen olayın görülüş sıklığı)
q=0,5 (incelenen olayın görülmeyiş sıklığı)

Soruların içeriklerinin çok farklı olduğu durumlarda homojen olmadığı varsayımında bulunulur ve bu durumdaki p=q değerleri 0,5 olarak alınmaktadır.

N=186 (Ankara ilinde bulunan stent takan kardiyolog sayısı) olduğuna göre, Eş.(1)'den örneklem büyüklüğü n=126 adet olarak belirlenmiştir. Sorulara verilen cevaplar doğrultusunda aşağıda ifade edilen bilgiler derlenmiştir:

a) Kardiyologların İlaçlı Stent Kullanma Tercihi

Şekil 13 kardiyologların ilaçlı stent tercihlerinin grafiksel olarak ifade edilmiş halidir. Grafikten de görüldüğü 126 adet örneklemin ilaçlı stent tercihlerindeki ortalaması 0,4737, standart sapması ise 0,1657'dir.

b) Kardiyologların İlaçsız Stent Kullanma Tercihi

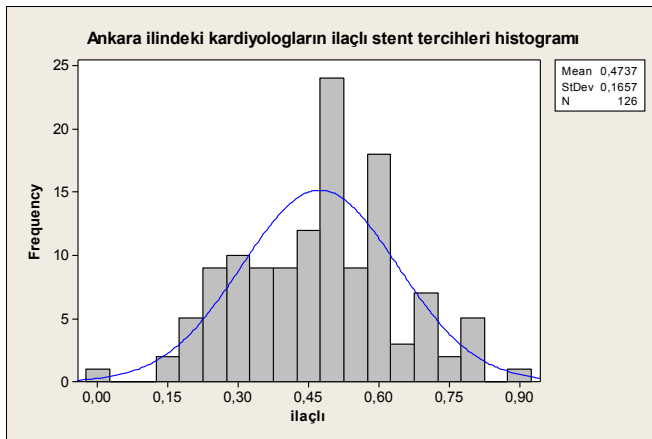
Şekil 14'deki grafikten de görüldüğü gibi 126 adet örneklemin ilaçsız stent tercihlerindeki ortalaması 0,5263, standart sapması ise 0,1657'dir.

c) İlaçlı/İlaçsız Stent Seçerken Kardiyologların Tercihi Nelerdir?

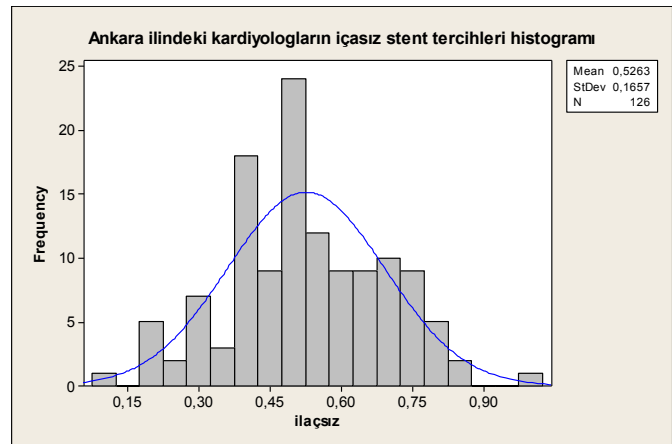
Şekil 15' de ilaçlı/ilaçsız seçim kriterleri grafik üzerinde gösterilmiştir. Damar çapının %56'lık oranla en önemli paya sahip olduğu görülmektedir.

d) İlaç Kaplı ya da Çıplak Metal Stent Uygulamaları İçin Maksimum Stent Sayısı Var Mıdır?

Veri-bilgi toplama sorularının içeriğinde bu sorunun cevabı olarak kardiyologlar evet/hayır cevaplarını vermişlerdir (evet=1, hayır=0). Yüzdeler dağılımı; %56,35 kısıt yok, %43,65' ise kısıt var şeklinde elde edilmiştir. Karar destek sistemi aşamasında böyle bir kısıtın ihmal edilebileceği görülmektedir.



Şekil 13. Ankara ilindeki kardiyologların ilaçlı stent tercihleri histogramı



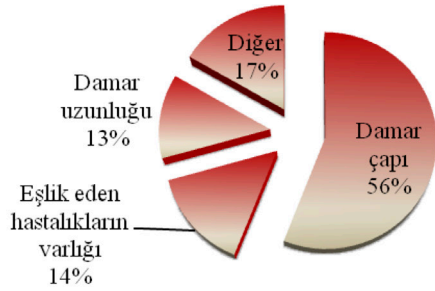
Şekil 14. Ankara ilindeki kardiyologların ilaçsız stent tercihleri histogramı

e) İlaç Kaplı Stent Seçiminde Hastanın Kararı Etkili Midir?

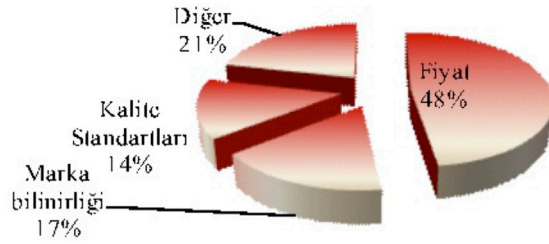
Kardiyologların ilaçlı ya da ilaçsız stent tercihlerinde %32,54' lük bir oranla hastanın kararı orta düzeyde etkilidir. Karar destek sisteminde hastanın tercihlerinin de etkili olması durumu dikkate alınacaktır.

f) Aynı Özelliklere Sahip Stentler Arasında Tercih Yaparken Dikkate Alınacak Unsurları Önem Derecesi

Veri toplama aracından alınan bilgiler doğrultusunda doktorların tercihinde %48 fiyat, %17 marka bilinirliği, %14 kalite standartları ve %21 diğer faktörler etkili olmaktadır (Şekil 16).



Şekil 15. İlaçlı/ilaçsız Stent Seçim Kriterleri



Şekil 16. Stent Seçim Kriterlerinin Önem Derecelerine Göre Yüzde Gösterimi

g) Kardiyologların İlaçlı/ilaçsız Stent Seçimlerindeki Etkenler

Damar Çapı

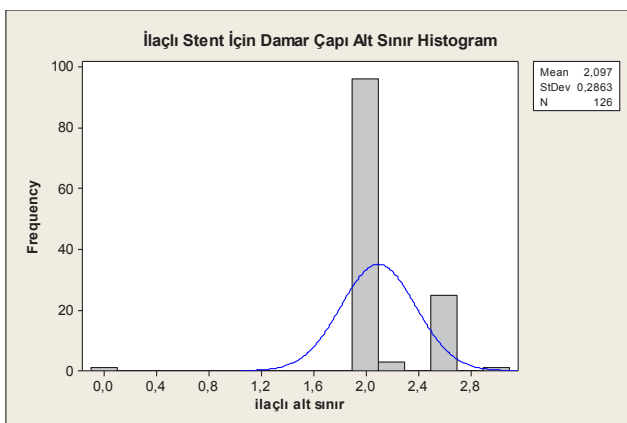
Veri-bilgi toplama sorularının içeriğinde bu kriterin cevabı olarak kardiyologlardan ilaçlı/ilaçsız stent kullanımları için damar çapına ait alt ve üst sınır belirlemeleri istenmiştir.

İlaçlı Stent

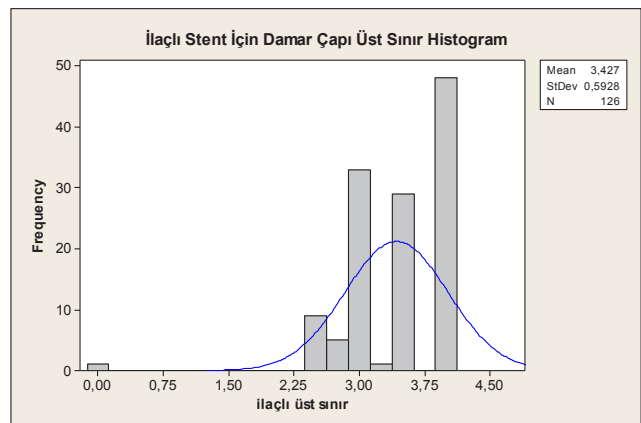
Şekil 17'de de görüldüğü gibi ilaçlı stent için alt sınır 2,00mm, ortalama 2,097mm, standart sapma ise 0,2863mm'dir. Şekil 18'de görüldüğü gibi ilaçlı stent için damar çapı üst sınır için spesifik bir değerden bahsedilemez. Ortalama olarak bir üst sınırdan bahsedilirse bu değer 3,427mm, standart sapması ise 0,5928mm'dir.

İlaçsız (çıplak kaplı) Stent

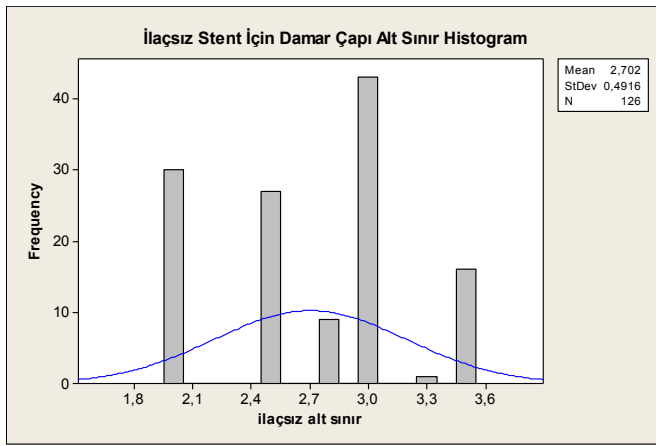
Şekil 19'da görüldüğü gibi ilaçsız stent için damar çapı alt sınır için spesifik bir değerden bahsedilemez. Ortalama olarak bir üst sınırdan bahsedilirse bu değer 2,702mm, standart sapması ise 0,4916mm'dir. Şekil 20'de görüldüğü gibi ilaçsız stent için damar çapı üst sınır ortalaması 4,163mm, standart sapması ise 0,2671mm'dir.



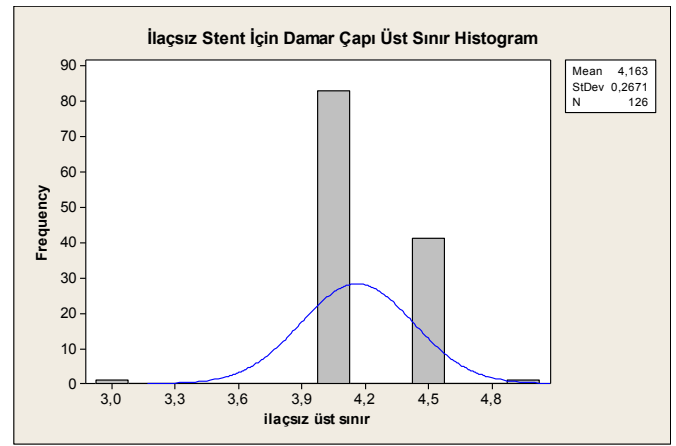
Şekil 17. İlaçlı stent tercihleri için damar çapı alt sınırı histogramı



Şekil 18. İlaçlı stent tercihleri için damar çapı üst sınırı histogramı



Şekil 19. İlaçsız stent tercihi için damar çapı alt sınırı histogram



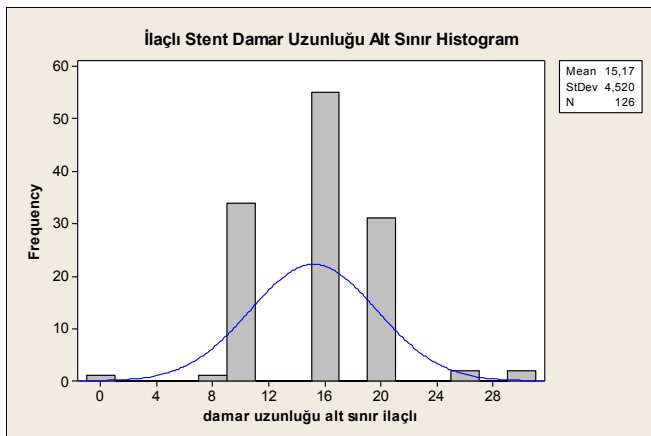
Şekil 20. İlaçsız stent tercihleri için damar çapı üst sınırı histogramı

Damar Uzunluğu

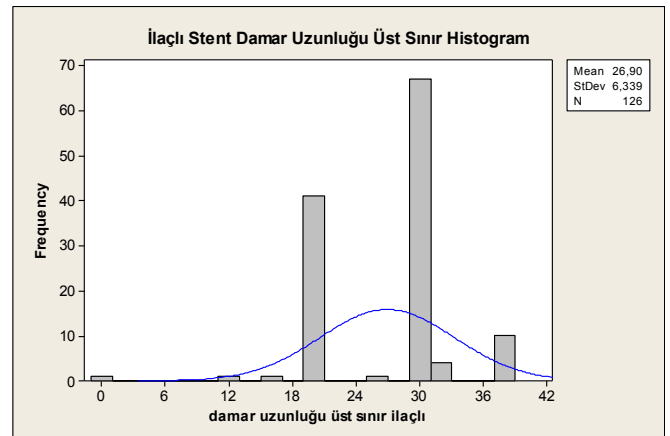
Veri-bilgi toplama soruları içeriğinde bu kriterin cevabı olarak kardiyologlardan ilaçlı/ilaçsız stent kullanımları için damar uzunluğuna ait alt ve üst sınır belirlemeleri istenmiştir.

İlaçlı Stent

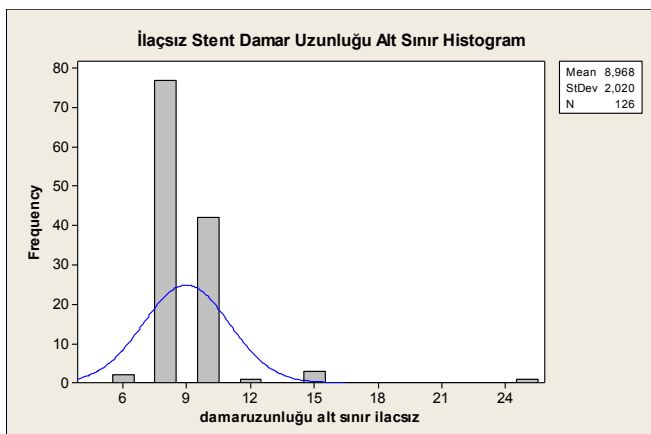
Şekil 21’de görüldüğü gibi ilaçsız stent için damar uzunluğu alt sınır ortalaması 15,17mm, standart sapması ise 4,520mm’dir. Şekil 22’de görüldüğü gibi ilaçsız stent için damar uzunluğu üst sınır ortalaması 26,90mm, standart sapması ise 6,339mm’dir.



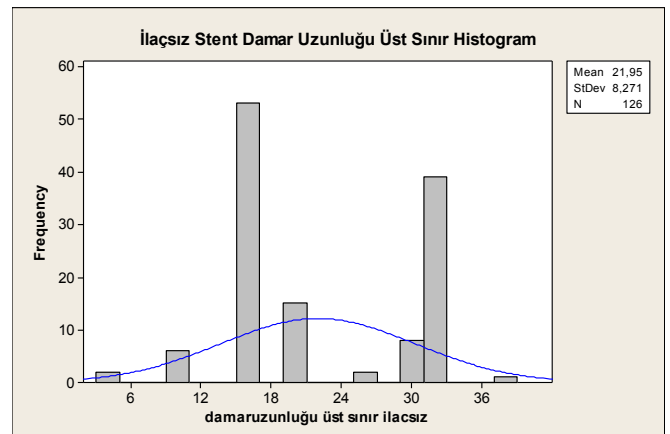
Şekil 21. İlaçlı stent tercihleri için damar uzunluğu alt sınırı histogramı



Şekil 22. İlaçlı stent tercihleri için damar uzunluğu üst sınırı histogramı



Şekil 23. İlaçsız stent tercihleri için damar uzunluğu alt sınırı histogramı



Şekil 24. İlaçsız stent tercihlerinde damar uzunluğu üst sınırı histogramı

İlaçsız Stent

Şekil 23’de görüldüğü gibi ilaçsız stent için damar uzunluğu üst sınır ortalaması 8,968mm, standart sapması ise 2,020mm’dir. Şekil 24’de görüldüğü gibi ilaçsız stent için damar uzunluğu üst sınır ortalaması 21,95mm, standart sapması ise 8,271mm’dir.

ı) Şeker Hastalığı Varlığında Kardiyologların Tercihi

Kardiyologların şeker hastalığı varlığı durumunda %0,79’luk bir oranla ilaçsız stent,%99,21’lik bir oranla ise ilaçlı stent tercih etmişlerdir. Karar destek sistemi aşamasında şeker hastalığının varlığı durumunda ilaçlı stentler arasından tercih yapılmasına öncelik verilecektir.

ı) Ayrım Lezyonları Varlığında Kardiyologların Tercihi

Kardiyologların ayırım lezyonları varlığı durumunda %6,35’lik bir oranla ilaçsız stent,%93,65’lik bir oranla ise ilaçlı stent tercih etmişlerdir. Karar destek sistemi aşamasında ayırım lezyonlarının varlığı durumunda ilaçlı stentler arasından tercih yapılmasına öncelik verilecektir.

j) Osteal Lezyonların Varlığında Kardiyologların Tercihi

Kardiyologların ayırım lezyonları varlığı durumunda %13,49’luk bir oranla ilaçsız stent,%86,51’lik bir oranla ise ilaçlı stent tercih etmişlerdir. Karar destek sistemi aşamasında osteal lezyonların varlığı durumunda ilaçlı stentler arasından tercih yapılmasına öncelik verilecektir.

k) Uzun Süreli Antikoagülan Kullanma Durumunda Kardiyologların Tercihi

Kardiyologların uzun süreli antikoagülan kullanma durumunda %59,52’lik bir oranla ilaçsız stent,%40,48’lik bir oranla ise ilaçlı stent tercih etmişlerdir. Karar destek sistemi aşamasında uzun süreli antikoagülan kullanma durumunda ilaçlı/ilaçsız arasında anlamlı bir fark olmadığından bir öncelik belirtilmeyerek kardiyoloğun tercihinin bırakılacaktır.

l) Restenoz Varlığı Durumunda Kardiyologların Tercihi

Tablo 1’de görüldüğü gibi kardiyologların restenoz varlığı durumunda %22,22’lik bir oranla ilaçsız stent,%77,78’lik bir oranla ise ilaçlı stent tercih etmişlerdir. Karar destek sistemi aşamasında restenoz varlığı durumunda ilaçlı stentler arasından tercih yapılmasına öncelik verilecektir. 1: İlaçlı stent, 0: İlaçsız stent şeklinde excel ortamında kodlama yapılmıştır.

Tablo 1. Restenoz varlığı durumunda kardiyoloğun tercihi

X	Count	CumCnt	Percent	CumPct
0	28	28	22,22	22,22
1	98	126	77,78	100,00


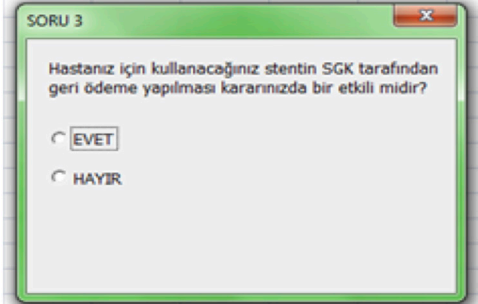
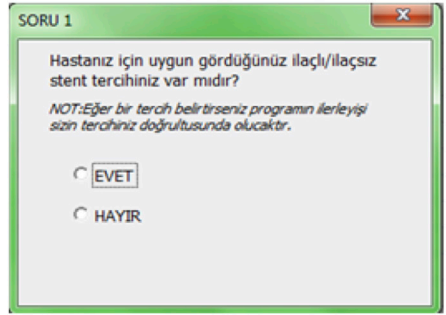
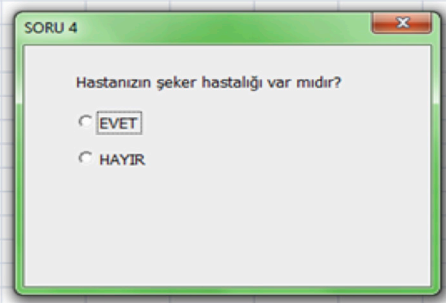
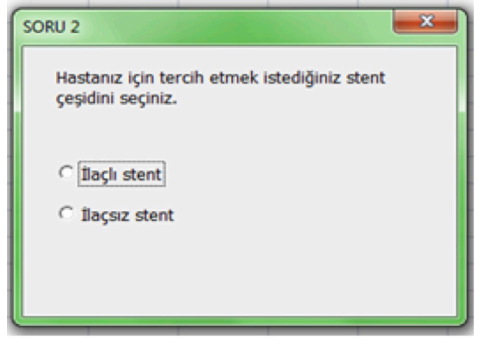
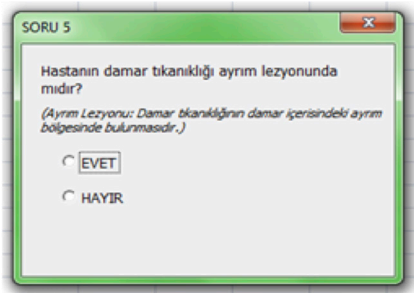
k) Hastanın Operasyona Gitme Durumunda Kardiyologların Tercihi

Kardiyologların hastanın operasyona gitme durumunda %92,06’lık bir oranla ilaçsız stent,%7,94’lük bir oranla ise ilaçlı stent tercih etmişlerdir. Karar destek sistemi aşamasında hastanın operasyona gitme durumunda ilaçsız stentler arasından tercih yapılmasına öncelik verilecektir.

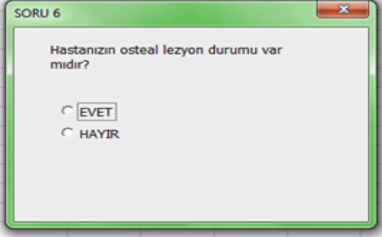
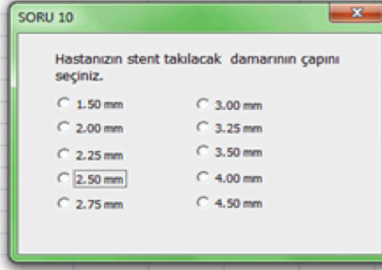
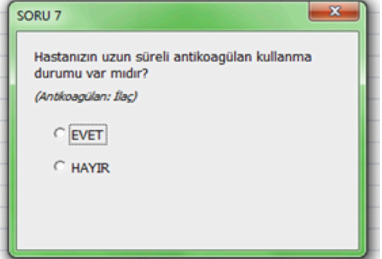
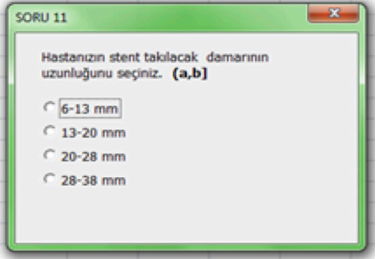
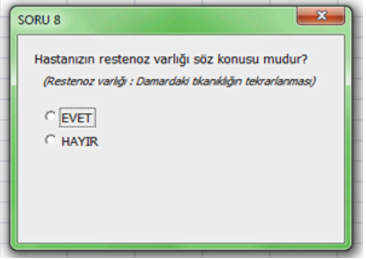
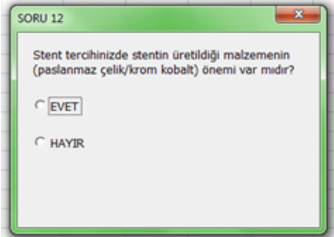
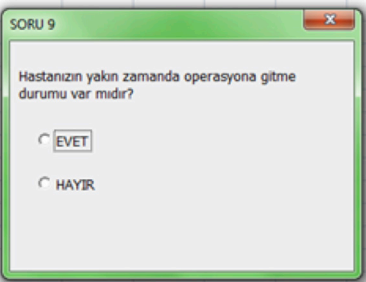
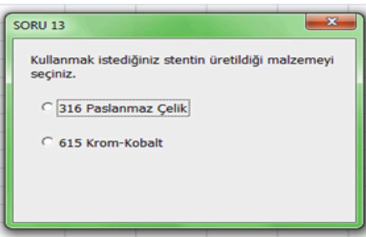
EK-4:

Oluşturulan KDS’ye ilişkin ekran görüntüleri akış sıralamasına uygun olarak aşağıdaki Tablo 2’de sunulmuştur:

Tablo 2. Geliştirilen KDS'nin akış şemasına uygun olarak sıralanan ekran görüntüleri

<p>KDS'nin ilk aşmasında Şekil 25'de görülen ana ekran çıkmakta ve karar verici stent seçim işlemine başlamaktadır.</p>  <p>Şekil 25. Excel Sayfasının Ana Görünümü</p>	<p>Şekil 28'de kullanıcıya hastası için kullanacağı stentin SGK tarafından geri ödeme yapılmasının kararındaki etkisi sorulmaktadır. Eğer kullanıcı bu soruya EVET cevabını verir ise program SGK'nın geri ödeme yapmadığı stentleri elemektedir.</p>  <p>Şekil 28. Karar Vericiye Üçüncü Sorunun Yöneltilmesi</p>
<p>“PROGRAMI BAŞLAT” butonuna basıldığında Şekil 26'da görülen ilaçlı/ilaçsız stent seçimi tercihinin sorgulandığı ekran görüntülenmektedir.</p>  <p>Şekil 26. Karar Vericiye Birinci Sorunun Yöneltilmesi</p>	<p>Şekil 29'da ise kullanıcıya hastasının şeker hastalığı olup olmadığı sorulmaktadır.</p>  <p>Şekil 29. Karar Vericiye Dördüncü Sorunun Yöneltilmesi</p>
<p>Şekil 26'da sorulan soruya EVET cevabı verilir ise kullanıcıya Şekil 27'de görüldüğü gibi tercih etmek istediği stent çeşidi sorulmaktadır.</p>  <p>Şekil 27. Karar Vericiye İkinci Sorunun Yöneltilmesi</p>	<p>Şekil 30'da hastasının damar tıkanıklığının yerinin ayrım lezyonunda olup olmadığı sorulmaktadır.</p>  <p>Şekil 30. Karar Vericiye Beşinci Sorunun Yöneltilmesi</p>

Tablo 2. Geliştirilen KDS'nin akış şemasına uygun olarak sıralanan ekran görüntüleri (devam ediyor)

<p>Şekil 31'de hastasının osteal lezyon durumunun olup olmadığı sorulmaktadır.</p>  <p>Şekil 31. Karar Vericiye Altıncı Sorunun Yöneltilmesi</p>	<p>Şekil 35'de kullanıcıdan hastasının stent takılacak damarının çapını seçmesi istenmektedir.</p>  <p>Şekil 35. Karar Vericiye Onuncu Sorunun Yöneltilmesi</p>
<p>Şekil 32'de hastasının uzun süreli antikoagülan kullanma durumunun olup olmadığı sorulmaktadır.</p>  <p>Şekil 32. Karar Vericiye Yedinci Sorunun Yöneltilmesi</p>	<p>Şekil 36'da ise kullanıcıdan hastasının stent takılacak damarının uzunluğunu seçmesi istenmektedir.</p>  <p>Şekil 36. Karar Vericiye On Birinci Sorunun Yöneltilmesi</p>
<p>Şekil 33'de kullanıcıya hastasının osteal lezyon durumunun olup olmadığı sorulmaktadır.</p>  <p>Şekil 33. Karar Vericiye Sekizinci Sorunun Yöneltilmesi</p>	<p>Şekil 37'de sorulan soruya kullanıcı EVET cevabını verir ise Şekil 38'deki gibi kullanıcıdan hastasına takılacak stentin üretildiği malzemeyi seçmesi istenmektedir.</p>  <p>Şekil 37. Karar Vericiye On İkinci Sorunun Yöneltilmesi</p>
<p>Şekil 34'de ise kullanıcıya hastasının yakın zamanda operasyona gitme durumunun olup olmadığı sorulmaktadır.</p>  <p>Şekil 34. Karar Vericiye Dokuzuncu Sorunun Yöneltilmesi</p>	<p>Şekil 37'de sorulan soruya kullanıcı EVET cevabını verir ise Şekil 38'deki gibi kullanıcıdan hastasına takılacak stentin üretildiği malzemeyi seçmesi istenmektedir.</p>  <p>Şekil 38. Karar Vericiye On Üçüncü Sorunun Yöneltilmesi</p>

Ön eleme/değerlendirme bölümündeki soruların cevaplanmasının ardından elde edilen aday stent modelleri belirlenir. Bu adaylar arasından en uygun olanı belirlemek üzere adaylar AHP modülüne aktarılır ve kendi aralarında sıralanır. Saaty [30,37] tarafından geliştirilen bu yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

Başlangıç olarak problem tanımlanır ve hedef belirlenir. Belirlenen bu hedeften başlayarak, orta seviyedeki kriterlerden en alt düzeydeki alternatifleri sıralayarak hiyerarşik yapı oluşturulur. Çeşitli alternatif ya da kriterin diğerlerine göre önemini belirlemek için ikili olarak karşılaştırmalar yapılır ve ikili karşılaştırma matrislerinin (nxn) boyutunda oluşturulur. İkili karşılaştırma matrisinde her sütun için, sütunlar toplanır ilgili sütun toplamına bölünerek matrisin normalleştirilmesi yapılır. Normalleştirilen bu matriste her bir kriterin ait olduğu satırın toplamı alınır. Satır toplamlarından oluşam matris tekrar normalize edilerek kriter ağırlıkları belirlenmiş olur.

KDS'nin AHP modülü stent modellerinden çok, üretici firma bazında bir sıralama yapmakta ve belirlenen aday stentler üretici firma puanlarıyla etkileştirilerek sıralanmaktadır. AHP modelinde kullanılan; stent markalarına ait klinik çalışmaların var olması, tedarikçi firmanın güvenilirliği ve stentlerde kullanılan Metal/Arter oranı kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan kriter ağırlıkları Tablo 3'de verilmektedir. Herbir firmanın ilgili kriterlerdeki performans puanları ile kriter ağırlık puanları çarpılıp toplamaları alınarak firma puanları elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 3. Kriterlere Ait Karşılaştırma Matrisi

Firmalar	Firma Sıralama Puanları
A	0,8792
B	0,4146
C	0,3850
D	0,7000

Tablo 4. Stent Modellerinin Hesaplanan Puanları

	Klinik çalışmalar	Tedarikçi Firma Güvenilirliği	Metal/Arter Oranı	Normalize Matris			Satır Toplamı	Ağırlık
Klinik çalışmalar	1	5	3	0,652174	0,813953	0,272727	1,738855	0,579618
Tedarikçi Firma Güvenilirliği	0,200	1	7	0,130435	0,162791	0,636364	0,929589	0,309863
Metal/Arter Oranı	0,333	0,143	1	0,217391	0,023256	0,090909	0,331556	0,110519
Toplam	2	6	11				3,00	1,00



Journal of Turkish Operations Management

FACILITY LOCATION SELECTION PROBLEM: AN APPLICATION FOR STUDENT SELECTION AND PLACEMENT CENTERS

İlknur GÜNEŞLİ*, Mete GÜNDOĞAN, Alper ŞEKER

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 02.12.2017
Revised: 15.12.2017
Accepted: 27.12.2017

Research Article

Keywords:

Stent selection, Multi-Criteria
Decision Making, Analytical
Hierarchy Process (AHP),
Decision Support Systems.

ABSTRACT

In this study, a two-phase stent selection decision support system (DSS) is developed to help the physicians in their stent selection decisions. Firstly, a questionnaire was conducted to developed decision support system. Questions are randomly applied to cardiology department physicians in the province of Ankara, which is selected as pilot area, to get the results to be statistically valid. The results were evaluated by means of MINITAB14 program. In development of DSS, an independent set of criteria is obtained first and arranged in the Analytical Hierarchy Process (FAHP) decision hierarchy. In the first elimination phase of the DSS, the physician obtains the feasible set of stents by providing limited values for the 13 requirements. DSS, then, uses AHP decision hierarchy to rank the feasible stents in the second phase.

Introduction

The most essential matter in facility location selection problem is to select the most suitable geographical region. The top level managers deal with these problems in order to satisfy the needs. These managers also tackle with to make decisions in a proper way. If the decision suits with the current situations but not with the long term goals, it does not mean that this is the best choice. For this purpose, the management department must take responsibility to deal with long term goals.

Since the importance of the subject, the facility location selection problem must be handled by not only a single person, but also the whole perspective of the institution. The collaborative effort of the institutions also makes the decisions that are thought widely. Thanks to the nature of the collaborative work, brain storming and mutual exchange of experience are essential matters which bring the broad view of aspects to the issue. In this study, instead of making the decision individual, AHP group decision making is used. By looking at the problem with a broad view of point, answers that are given by collaborative effort are getting more precise and more realistic. Since AHP group decision making problem allows pairwise comparison, it is also getting more beneficial results with getting different answers from different people with the help of the created survey.

This study is done for the Student Selection and Placement Centers in Turkey. All examinations are done by the taking the answers from the one of the institution of Student Selection and Placement Center named as ÖSYM in Turkey. Since the institution is regarding almost everyone who wants to the education in Turkey, the problem is more essential for this reason.

The main aim of the study is to handle the most appropriate examination center. In order to decide the examination center, a survey is created according to the light of views of managers and personnel of the institution. With the help of the views, all main criteria and sub criteria has been obtained. All relevant pairwise comparison has done for main criteria and sub criteria as Physical Situation of the Examination Hall, Transportation to the Examination Building, Properties of the Examination Building and Environment of the Examination Building. As a result of this study, 4 main criteria and 22 sub criteria has been obtained as a research structure of the model.

Since the criticality of the facility location selection problem, data collection is done in 69 different existing centers in ÖSYM and answers are handled. Surveys are send to 69 different existing centers in ÖSYM that are demonstrates in Table 1. Answers are getting with light of views of managers and personnel of the institution. With the help of the answers of survey, the most appropriate selection criteria are examined. The collected data has been analyzed by Microsoft Excel software package program.

Table 1: Exam Center Coordinatorships which are answered surveys in ÖSYM

Name of Exam Center Coordinatorships which are answered surveys in ÖSYM		
1. Aksaray	24. Hatay	47. Muğla
2. Akşehir	25. Iğdır	48. Mustafakemalpaşa
3. Amasya	26. İstanbul 1	49. Muş
4. Artvin Hopa	27. İstanbul 4	50. Nazilli
5. Balıkesir	28. İzmir Güney	51. Niğde
6 Batman	29. İzmir Kuzey	52. Niksar
7. Bayburt	30. İzmit	53. Osmaniye
8. Beypazarı	31. Kahramanmaraş	54. Ödemiş
9. Biga	32. Karabük	55. Sivas

10. Bingöl	33. Karadeniz Ereğli	56. Siverek
11. Bismil	34. Karaman	57. Sorgun
12. Bitlis	35. Kastamonu	58. Söke
13. Bursa	36. Kayseri	59. Şereflikoçhisar
14. Çan	37. Kırıkhan	60. Şırnak
15. Denizli	38. Konya	61. Tarsus
16. Elazığ	39. Konya Ereğli	62. Tavşanlı
17. Ergani	40. Konya Seydişehir	63. Tokat Zile
18. Gaziantep	41. Malatya	64. Tunceli
19. Giresun	42. Manisa	65. Turgutlu
20. Gölbaşı	43. Manisa Salihli	66. Uşak
21. Gölcük	44. Mardin	67. Van Erciş
22. Gölhisar	45. Menemen	68. Yozgat
23. Gümüşhane	46. Merzifon	69. Zonguldak

Literature Study

Analytic Hierarchy Process is developed by Thomas L. Saaty in 1971. In 1977, Saaty transformed the AHP into a model facilitating the solution of decision making problems (Rençber, 2010: 34.). The main objective of creating AHP is to contribute the solution of the multi criteria decision making problem. The Analytical Hierarchy Process (AHP) is a method or model to get not only a magical solution of multi-criteria decision making problem, but also a way of helping to the decision makers to find the “the best” answer (Forman, Selly, 2002: 14).

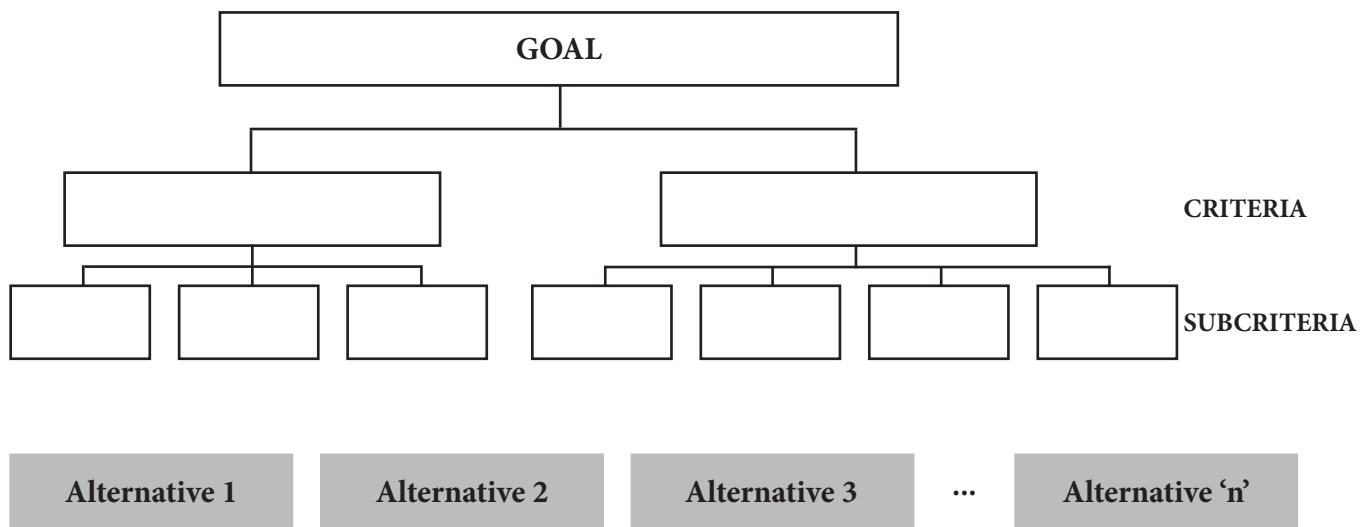
AHP is a strong and consistent method that helps the decision maker in order to combine both qualitative and quantitative factors in the decision-making process for groups and individuals (Saaty, 1990: 10). The AHP method is also used for decision making problems which include one or more decision-makers with different alternatives in environments which involves certainty or also uncertainty. It is said that the method is easy to use and also giving an opportunity to make a decision as a group and individual, allowing to include the decision makers intuition and instincts to the solution process (Doğan, 2004: 9). One of the most essential functions of the AHP is to include different factors in a hierarchy can be synthesized .

The AHP is a measurement theory which compares the alternatives according to common criteria. AHP provide major assistance guidance to the decision maker in reaching the conclusion of multi-criteria and multi-choice problem. The problem of AHP consists of a hierarchical structure which comes from multiple levels. It is used the criteria, the purpose and a hierarchical structure consisting of possible sub-criterion levels and alternatives for every problem in the Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1990: 9-11). It is an overall method of complicated, difficult to understand or unstructured problems. It constructed three basic principles as the determination of the advantages, the construction of the hierarchy and the logical and numerical consistency (Güner, Yücel, 2007: 74).

In AHP, the problem is constituted in a hierarchical way in AHP problem. Figure 1 demonstrates the three-level hierarchical structure. At the top of the hierarchy, goal is constructed. At the bottom of this goal, the criteria (if there is exists, sub criteria are constructed) and alternatives are constructed respectively (Felek, Yuluğkural, Aladağ, 2007: 7.).

Ali Emrouznejad and Marianna Marra analyze AHP in order to provide some basic statistics on AHP journals and researchers. They also review the main topics and applications of integrated AHPs and

provide direction for future research by highlighting some open questions during the three periods 1979–1990, 1991–2001 and 2002–2017.



Source: Saaty T.L. and, Vargas L.G., (2001), *Models, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process*, Springer, s. 3.

Figure 1: Three-Level Hierarchical Structure

Implementation

The study is done in ÖSYM and it is a unique study for the Student Selection and Placement Centers. In this study, it has been attempted to show the scientific view with AHP method by comparing both subjective and objective components for the problem of facility location selection problem. The main scope of the study is to handle the most appropriate examination center. Within the scope of the implementation, a selection proposal has been represented with multiple criteria approach in the light of the managers and personnel of ÖSYM in order to open new examination center in Turkey.

Since the reason that the institution is regarding almost everyone who wants to the education in Turkey, the problem is more essential for this reason. The profile of the institution of ÖSYM has been to make examinations and serving for almost everyone in Turkey. The vision and the mission of the institution are described as:

- Being a transparent institution that conducts examinations according to the measure of right and justice and measure in the light of scientific methods and evaluation studies,
- Being 100% secure and reliable both in domestic and abroad, working with crypto and e-signature, completing the process from the examination preparation stage to the evaluation stage, automation, international information security standards for the applicant who does the appropriate and qualified examination, a high reputation in society.

The scope and objective of study

The scope of the study includes multi criteria decision making problem for the selection of examination center location. The criticality of facility location selection has been mentioned in the earlier parts of this study. It has also been highlighted that of the vital importance of this selection for the successful operation of ÖSYM.

The main objective of the study is to utilize the AHP technique for the most suitable facility location selection for Student Selection and Placement Centers. For this reason, it is essential to obtain and

evaluate the most appropriate alternative examination centers that are settled on an agreement by the top managers of the institution. The decision of the opening an alternative examination center is a critical subject for not only the top managers but also the people who will have examinations in these mentioned alternative examination centers. Because of this reason, it is essential to have the most proper result because of the importance of the scope of the study.

Nevertheless the AHP technique which can be used in the implementation in nearly most cases today, seem not to provide a decisive result, it rather helps to top level managers in a broad extent. Thanks to AHP, a comparison is done for the selection of the most convenient examination center locations. Thanks to this comparison, it can be easier to handle the both subjective and objective point of view when selecting among the proposed defined alternative ones.

All in all, AHP method gives an opportunity to look at subjective criteria in pairwise comparison, decision makers mostly tend to prefer AHP method. AHP method provides not only to handle overall view of the different criteria in the situation but also to help the decision maker evaluate whether the issues in each level are of the same order of magnitude, when dealing with the subjective criteria. Thanks to AHP method, the decision maker compares lots of different elements that are called criteria or sub criteria in a right way.

Methodology

According to the type of the case study and with the help of AHP method which utilizes the both qualitative and quantitative research methods concurrently, a case study has been implemented. The implementation has done in institution that named as Student Selection and Placement Centre (ÖSYM) in Turkey.

Table 2: Fundamental Scale for Pairwise Comparisons

The Fundamental scale for Pairwise Comparisons		
Intensity of Importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strong over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation
Intensities of 2, 4, 6, and 8 can be used to express intermediate values. Intensities 1.1, 1.2, 1.3, etc. can be used for elements that are very close in importance.		

Source: Thomas L. Saaty, “The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions Under Risk”, European Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol 1, No 1, 2008, s. 125.

In AHP, the facility selection problem which is the subject of decision making problem is divided into its components organized in the hierarchical structure. By looking at the problem, it is obvious that pairwise comparisons in AHP method are the basic building blocks. The fundamental scale for pairwise comparisons suggested by Saaty from 1 to 9 pairwise comparison scale is used, while making pairwise comparisons between criteria. After the hierarchy is created, pairwise comparisons of criteria are calculated. The decision maker makes the decision in order to handle relative importance criteria according to the 1-9 scale. (Saaty, 2008: 257).

In this method, the target or goal to be reached is determined in AHP. Then, criteria and, if applicable, sub criteria are determined. At the lowest level, these criteria alternatives are available. In this phase, survey study is consulted, in order to determine all the criteria or the opinions of experts in the matter. In this study, survey study has been chosen.

When doing all these determinations, the decision hierarchy is constructed. Then, the pairwise comparison matrices are created. Surveys send to different existing coordinators in ÖSYM. Exam Center Coordinators that are answered to the surveys in ÖSYM are demonstrated in Table 1. Answers are handled with light of views of managers and personnel of these institutions. With the help of the answers of survey, the most appropriate selection criteria are examined. The collected data has been analyzed by Microsoft Excel software package program.

Since the decision maker makes comparisons according to his /her own opinion, consistency ratio is calculated first. This ratio is calculated whether the survey is consistent or not. If not, decision maker reviews the decision about the comparisons and provide new consistent decisions.

Pairwise comparisons are recorded in diagonal cells, when the eigenvector values are calculated in the AHP method. Each diagonal value is recorded as 1. When a cell demonstrated as x_{ij} , diagonal value is calculated as $x_{ij} = (1 / x_{ij})$. When the comparison matrices are generated, the comparison the column values for each column in the matrix divided by the sum of the normalized matrix values are obtained. By calculating the average of the line values in the normalized matrix eigenvector values (averages) are found. After all, degree of importance of the criteria are handled.

Certain examinations are done by ÖSYM in scheduled days and there are many people that entering these examinations in every year. The institution also has examination centers in several provinces of Turkey. Because of this reason, there is a requirement to manage all these examinations and also examination centers. It must be constructed the alternative locations first in order to manage and decide whether opening a new facility or not. All in all, because of the most suitable way to get answers from all examination centers is considered as sending survey, the survey is created, send with the upon the request of the top manager of ÖSYM and got answers from 69 of Exam Center Coordinators of ÖSYM.

Research Model

With doing relevant studies in the literature about the problem, a generic AHP method is has been used for the facility location selection problem. Since the study is done for real implementation, it is important to define main criteria and sub criteria for the case. For this reason, not only main criteria but also sub criteria are defined. All in all, hierarchy structure is obtained for a real implementation facility location selection in the institution of ÖSYM.

As the review of aforementioned model, the main goal has defined as examination building selection. Examination building selection is also called as aim or goal, as mentioned before. The main target is divided into 4 criteria as Physical Situation of the Examination Hall, Transportation to the Examination Building, Properties of the Examination Building and Environment of the Examination Building.

These criteria are also divided into sub criteria in their integrity. By this way, Physical Situation of the Examination Hall consist of Light Receiving Condition of the Examination Hall (Ph1), Ventilation System of the Examination Hall (Ph2), Distance Between Desks (Ph3) and Heating and Cooling System of the Examination Hall (Ph4), Physical Situation of the Desks (Ph5) and Noise Level of the Examination Hall (Ph6).

Transportation to the Examination Building consists of Public Transportation (T1), The distance Between City Centers and Examination Building (T2), Private Transportation (T3) and Adequate Guidance Signboard (T4).

Properties of the Examination Building has been assessed with regard to Sufficiency of Parking Space (P1), Cleanliness of the Examination Hall (P2), Sufficiency of Toilet Number (P3), Sufficiency of First-aid Equipment in the building (P4), Alternative Evacuation Area in Danger (P5), Sufficiency of Entrust Area and Responsible in Charge (P6) and Having Sense of Mission About Rules (For Responsible Head Teacher and Servants) (P7). Finally, the main criteria which is called as Environment of the Examination Building has been divided into 4 sub criteria as Sufficiency of Social Opportunities (For Consumption) (E1), Safety in the Area of Examination Building (E2), Unpleasant smell in and near the Examination Building (E3), Noise around the Examination Building (E4) and Closeness to the Health Centers in Case of Emergency (E5).

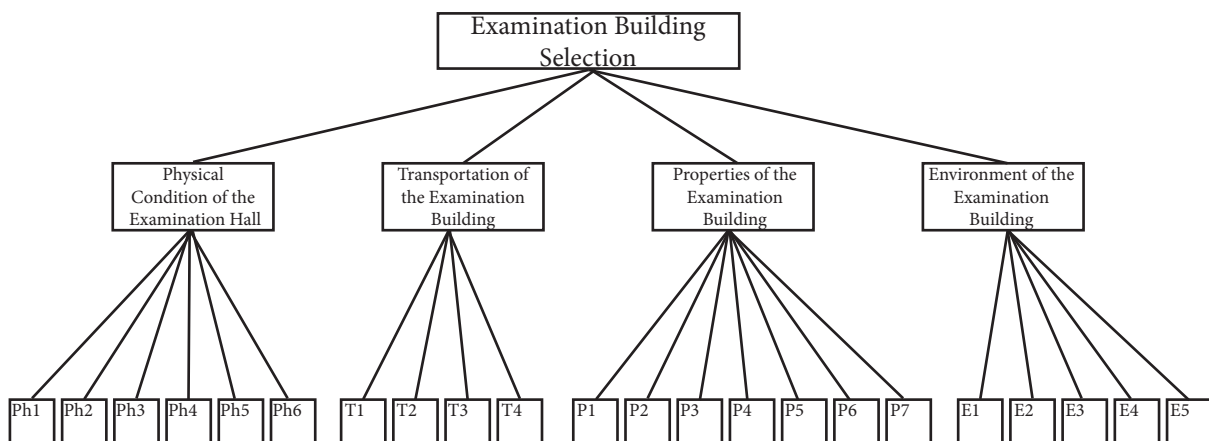


Figure 2: Hierarchical Structure

In this study, it is aimed to evaluate the most appropriate facility location selection problem under four main criteria and 22 sub criteria. The main aim of the study is also to have maximum customer satisfaction of people that enter examinations and to obtain maximum profitability for ÖSYM.

Analysis and Findings

In the location selection problem, it is possible to make comparisons and calculations of AHP by forming hierarchy for critical main criteria and sub criteria for ÖSYM as seen previous figures. First, it is formed a hierarchical structure thanks to the nature of AHP. After forming, main criteria and sub criteria that take part in the hierarchy, has been compared with each other in sequential order.

Main criteria that are Physical Situation of the Examination Hall, Transportation to the Examination Building, Properties of the Examination Building and Environment of the Examination Building are compared with each other. As mentioned before, calculations are done according to the answers of 69 surveys that include pairwise comparison in them. The calculations are done with the help of 'Microsoft Excel' package software program. The comparisons and results that have been obtained are given in tables below.

In Table 3, comparison matrix for main criteria and relevant weights which are called as degree of importance are found in the following matrix;

Table 3: Comparison Matrix for Main Criteria, Degree of Importance and Compatibility Rates

Comparison Matrix for Main Criteria, Degree of Importance and Compatibility Rates					
Examination Building Selection (Main Criteria)	Physical Condition of the Examination Hall	Transportation to the Examination Building	Properties of the Examination Building	Environment of the Examination Building	Degree of Importance
Physical Condition of the Examination Hall	1,000	1,028	0,414	1,550	0,208
Transportation to the Examination Building		1,000	0,434	1,438	0,203
Properties of the Examination Building			1,000	2,457	0,439
Environment of the Examination Building				1,000	0,151
					1,000

With analyzing the table above, the most essential criteria for selecting a new examination building for ÖSYM is rated in following sequential order; %43,9 Properties of the Examination Building, %20,8 Physical Condition of the Examination Hall, %20,3 Transportation to the Examination Building and finally %15,1 Environment of the Examination Building.

Each sub criteria group is examined in pairwise comparison, after comparing the main criteria pairwise. The degree of importance of each sub criteria which are Physical Situation of the Examination Hall, Transportation to the Examination Building, Properties of the Examination Building and Environment of the Examination Building are given tables below.

Table 4: Comparison Matrix for Sub Criteria for ‘Physical Situation of the Examination Hall’ main criteria, degree of importance and compatibility rates

Comparison Matrix for Sub Criteria for ‘Physical Situation of the Examination Hall’ Main Criteria, Degree of Importance and Compatibility Rates							
Physical Situation of the Examination Hall	Light Receiving Condition of the Examination Hall	Ventilation System of the Examination Hall	Distance Between Desks	Heating and Cooling System of the Examination Hall	Physical Situation of the Desks	Noise Level of the Examination Hall	Degree of Importance
Light Receiving Condition of the Examination Hall	1,000	1,040	1,071	0,961	0,951	0,884	0,164
Ventilation System of the Examination Hall		1,000	0,832	0,832	0,815	0,838	0,147
Distance Between Desks			1,000	0,938	0,942	0,942	0,166
Heating and Cooling System of the Examination Hall				1,000	1,000	0,942	0,173
Physical Situation of the Desks					1,000	0,927	0,174
Noise Level of the Examination Hall						1,000	0,176
							1,000

In Table 4, the sub criteria ‘Physical Situation of the Examination Hall’ is examined in Microsoft Excel software program. With the help of this software program, the most essential sub criteria for Physical Situation of the Examination Hall is given in sequential order as %17,6 Noise Level of the Examination Hall, %17,4 Physical Situation of the Desks, %17 Heating and Cooling System of the Examination Hall,

%16,6 Distance Between Desks, %16,4 Light Receiving Condition of the Examination Hall and %14,7 Ventilation System of the Examination Hall.

Table 5: Comparison Matrix for Sub Criteria for ‘Transportation to the Examination Building’ main criteria, degree of importance and compatibility rates

Comparison Matrix for Sub Criteria for ‘Transportation to the Examination Building’ Main Criteria, Degree of Importance and Compatibility Rates					
Transportation to the Examination Building	Public Transportation	The distance Between City Centers and Examination Building	Private Transportation	Adequate Guidance Signboard	Degree of Importance
Public Transportation	1,000	0,895	0,361	0,385	0,146
The distance Between City Centers and Examination Building		1,000	0,385	1,083	0,197
Private Transportation			1,000	2,036	
Adequate Guidance Signboard				1,000	0,197
					1,000

In Table 5, the sub criteria ‘Transportation to the Examination Building’ are examined in Microsoft Excel software program. Thanks to this software program, the most essential sub criteria for Physical Situation of the Examination Hall is given as %46 Private Transportation. All other criteria considered as minor importance levels.

Table 6: Comparison Matrix for Sub Criteria for ‘Properties of the Examination Building’ main criteria, degree of importance and compatibility rates

Comparison Matrix for Sub Criteria for ‘Properties of the Examination Building’ Main Criteria, Degree of Importance and Compatibility Rates								
Properties of the Examination Building	Sufficiency of Parking Space	Cleanliness of the Examination Hall	Sufficiency of Toilet Number	Sufficiency of First-aid Equipment in the building	Alternative Evacuation Area in Danger	Sufficiency of Entrust Area and Responsible in Charge	Having Sense of Mission About Rules (For Responsible Head Teacher and Servants)	Degree of Importance
Sufficiency of Parking Space	1,000	0,717	0,719	0,725	0,725	0,697	0,654	0,105
Cleanliness of the Examination Hall		1,000	1,000	0,818	1,053	1,000	0,958	0,145
Sufficiency of Toilet Number			1,000	1,041	1,020	1,000	0,958	0,149
Sufficiency of First-aid Equipment in the building				1,000	1,031	0,990	0,956	0,152
Alternative Evacuation Area in Danger					1,000	0,980	0,958	0,145
Sufficiency of Entrust Area and Responsible in Charge						1,000	0,929	0,148
Having Sense of Mission About Rules (For Responsible Head Teacher and Servants)							1,000	0,156
								1,000

In Table 6, the sub criteria ‘Properties of the Examination Building’ are examined in Microsoft Excel

software program. Thanks to this software program, the most essential sub criteria for Physical Situation of the Examination Hall is given in sequential order as %15,6 Having Sense of Mission About Rules (For Responsible Head Teacher and Servants), %14,9 Sufficiency of Toilet Number, %14,8 Sufficiency of Entrust Area and Responsible in Charge, %14,5 Cleanliness of the Examination Hall, %14,5 Alternative Evacuation Area in Danger and %10,5 Sufficiency of Parking Space.

Table 7: Comparison Matrix for Sub Criteria for ‘Properties of the Examination Building’ main criteria, degree of importance and compatibility rates

Comparison Matrix for Sub Criteria for 'Environment of the Examination Building' Main Criteria, Degree of Importance and Compatibility Rates						
Environment of the Examination Building	Sufficiency of Social Opportunities (For Consumption)	Safety in the Area of Examination Building	Unpleasant smell in and near the Examination Building	Noise around the Examination Building	Closeness to the Health Centers in Case of Emergency	Degree of Importance
Sufficiency of Social Opportunities (For Consumption)	1,000	0,304	0,293	0,263	0,307	0,068
Safety in the Area of Examination Building		1,000	1,067	0,992	1,347	0,245
Unpleasant smell in and near the Examination Building			1,000	0,917	1,379	0,243
Noise around the Examination Building				1,000	1,561	0,261
Closeness to the Health Centers in Case of Emergency					1,000	0,182
						1,000

In Table 7, the sub criteria ‘Environment of the Examination Building’ are examined in Microsoft Excel software program. Thanks to this software program, the most essential sub criteria for Physical Situation of the Examination Hall is given in sequential order as %26,1 Noise around the Examination Building, %24,5 Safety in the Area of Examination Building, %24,3 Unpleasant smell in and near the Examination Building, %18,2 Closeness to the Health Centers in Case of Emergency and %6,8 Sufficiency of Social Opportunities (For Consumption).

Results and Comments

In location selection problem, one of the most important matters which have to be taken by top level managers is to select the most appropriate geographical area in order to meet the needs successfully. Thus, the problem is not only essential for the management of the institution, but also for making decisions concerning for the long term goals. Because of the importance of the subject, facility location selection problems cannot be handled by a single person. With a broad view point to AHP group decision making problem is handled in this study instead of individual decision making. With getting various answers from different people, beneficial and precise results are achieved thanks to the constructed survey.

This study is a unique study that is implemented in Student Selection and Placement Centre (ÖSYM) in Turkey. The institution is making examinations and provides service nearly everyone that wants to take education in Turkey. The problem is even more critical for this reason.

The aim of the study is to have the most convenient examination center. Because of the importance of facility location selection problem, data collection is done by survey in the light of views of managers and personnel of the institution of ÖSYM. Thanks to answers of survey, the most appropriate selection criteria are examined. The collected data has been analyzed by Microsoft Excel software package program.

All relevant pairwise comparison is done for main criteria and sub criteria as Physical Situation of the Examination Hall, Transportation to the Examination Building, Properties of the Examination Building and Environment of the Examination Building. 4 main criteria and 22 sub criteria has been obtained as a research model structure as a result of this study.

It has been also aimed to serve for the institutions or various sectors which look for giving the right decision for selecting the most convenient facility locations among other alternatives with lots of criteria. All in all, thanks to conclude a decision with a right facility location, there have been always right services on the right locations.

References

Kahraman Cengiz, Ruan Da and Doğan İbrahim, “Fuzzy Group Decision-Making For Facility Location Selection”, *Information Science*, Vol 157, 2003, s.135-153.

Kodalı Rambabu and Routroy Srikanta, “Decision Framework for Selection of Facilities Location in Competitive Supply Chain”, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, Vol 5, No 1, 2006, s. 89-110.

Kuo R.J., Chi S.C., and Kao S.S., “A Decision Support System for Locating Convenience Store Through Fuzzy AHP”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol 37, 1999, s. 323–326.

MacCarthy B.L. and Atthirawong W., “Factors Affecting Location Decisions in International Operations- A Delphi Study”, *International Journal of Operations Production Management*, Vol 23, No 7, 2003.

Wu Cheng-Ru., Lin Chin-Tsei. and Chen Huang-Chu, “Optimal Selection of Location For Taiwanese Hospitals To Ensure a Competitive Advantage By Using The Analytic Hierarchy Process And Sensitivity Analysis”, *Building And Environment*, Vol 42, 2007, s. 1431-1444.

Yang Jiaqin and Lee Huei, “An AHP Decision Model for Facility Location Selection”, *Facilities*, Vol 15, No 9-10, 1997, s. 241-254.

Zahir M.Sajjad., “Incorporating The Uncertainty of Decision Judgements in The Analytic Hierarchy Process”, *European Journal of Operational Research*, Vol 53, No 2, 1991, s. 206-216.

Emrouznejad, Ali, Marra Marianna, “The state of the art development of AHP (1979–2017): a literature review with a social network analysis” Vol. 55, No. 22, 6653–6675, 2017.



Journal of Turkish Operations Management

TRANSFORM INTO INDUSTRY 4.0 USING SYSTEMS ENGINEERING APPROACH

Mete GÜNDOĞAN, Gizem BABAYİĞİT*

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 01.12.2017
Revised: 09.12.2017
Accepted: 20.12.2017

Research Article

Keywords:

Manufacturing, Systems Engineering, SSADM, Industry 4.0, Production, Economics

ABSTRACT

A major change in production is aimed with Industry 4.0, which is called the industrial revolution. This concept, which aims to enable the manager to control the production line remotely, is thought to increase productivity and speed in production. Industry 4.0 which aims to leave the place of human activity in production to intelligent robots (e.g. communication between robots, smart transport systems) has started to spread rapidly in our country. There are many ways of transforming into the digitization process in production, and this process encompasses many areas that will affect from product design to production, transportation and even payment process. In this paper, our approach to transforming to Industry 4.0 is system engineering. It is very difficult to introduce a solution to the system without identifying all the work done or considering a system as a whole. For this purpose, system engineering approach and tools will be utilized. The system engineering is a holistic approach. System engineering evaluates all technical specifications to provide a quality product. In the process of transition to industry 4.0, the existing system should be well recognized and analyzed in all respects. User requirements have been identified for the company with the help of Structured Systems Analysis and Design Method, SSADM. Starting from the user requirements to functional, departmental and company-wide requirements have been identified. Cost breakdown structure and its requirement of digitalization have been identified in the same way. A non-parametric analysis is also done for the identifications. At the end of all identifications, a companywide readiness level for the Industry_4.0 has been stated including a breakdown structure down to the user requirements at the shop-floor level. A practical guide is also proposed for further studies. It could then be applied to different companies as well as industrial sites on the way of transformation into the Industry_4.0.

1. INTRODUCTION

The concept of the Industrial 4.0 emerged in Germany and began to gain importance in our country. In order to keep pace with the developing technology, it is important that manufacturing companies comply with Industry 4.0. In Industry 4.0, dynamic business and engineering processes enable last-minute changes to production and deliver the ability to respond flexibly to disruptions and failures on behalf of suppliers, for example. [1] Digitally developed smart machines, warehousing systems and production facilities enable end-to-end information and communication systems-based integration across the supply chain from inbound logistics to production, marketing, outbound logistics and service [2]

As the fourth industrial revolution, it has taken on the name Industry 4.0, in keeping with the way new versions or releases of software are usually designated. [3] The Industrial Internet has now been added to agenda of the majority of companies. [4]

This work is based on two purposes. First, to determine the technology maturity level of the ABC company in the transition to the Industry 4.0 process, and secondly to digitize the system by making optimization. In the transition to Industry 4.0, the existing system needs to be analyzed first. Appropriate improvements should then be made wherever necessary in the system. For this purpose, the name of a company that made production due to commercial transparency is named as ABC. This case was worked on the real factory in Ostim and the data were collected. ABC's business management system has been examined. In the process of transformation to Industry 4.0, user requirements have been identified for The ABC Company with the help of Structured Systems Analysis and Design Method, SSADM. In this article, SSADM, which is a kind of functional flow block diagrams, is used. It has been examined to the level of the user's requirement in order to determine the points where digitalization is necessary. With SSADM, the jobs that can be optimized in the industry 4.0 transition process are identified and the level of technology maturity at each level is explained. Both the cost and the nonparametric values specific to this study were used in the system. The cost of each user's requirement is calculated. As a result, when the system is digitized, the cost exchange can be determined. Further information on the method is included in the article.

This paper is structured in seven chapters. After this introduction, chapter 2 you'll find Industry 4.0 history and basics. In chapter 3 the System and Systems Engineering is explained. Chapter 4 presents Structured System Analysis And Design Method (SSADM). In chapter 5 a brief Cost breakdown structure of company can be found. Chapter 6 presents Technology Readiness Levels (TRL). Finally, the results are discussed in chapter 7.

2. INDUSTRY 4.0

The first industrial revolution begins began at the end of the 18th century and was represented by mechanical production plants based on water and steam power; the second industrial revolution starts started at the beginning of the 20th century with the symbol of mass labor production based on electrical energy; the third industrial revolution begins began in the 1970s with the characteristic of automatic production based on electronics and internet technology; and right now, the fourth industrial revolution, namely Industry 4.0, is ongoing, with the characteristics of cyber physical systems (CPS) production, based on heterogeneous data and knowledge integration. [5]

The Industry 4.0 concept is based on developing smart chains that are based on communicating with each other means of production, products, components, plants, humans. Established in Germany, the concept of Industry 4.0, is the brainchild – its beginning reaches 2011. [6] Now, the introduction of the Internet of Things and Services into the manufacturing environment is ushering in a fourth industrial revolution. In the future, businesses will establish global networks that incorporate their machinery, warehousing systems and production facilities in the shape of Cyber-Physical Systems (CPS). [1] This is appropriate, considering that the latest industrial revolution is powered by the Internet and Web-enabled software

applications capable of processing streams of manufacturing data. [3]

Smart industry or “INDUSTRIE 4.0” refers to the technological evolution from embedded systems to cyber-physical systems.[11] With recent developments that have resulted in higher availability and affordability of sensors, data acquisition systems and computer networks, the competitive nature of today’s industry forces more factories to move toward implementing high-tech methodologies. [7]

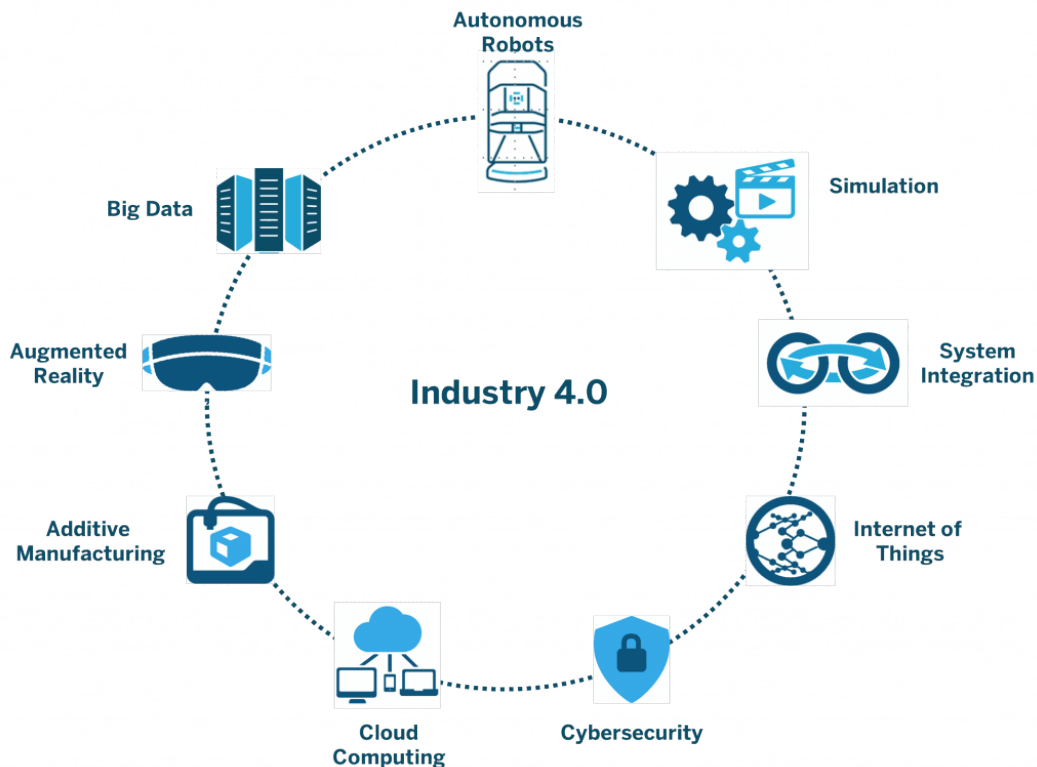
Universality in industrial applications: Internet of Things, Internet of Services, Internet of Media, big data, communications inter-machines and cyber-physical systems using interoperability, decentralization and full virtualization certainly will affect different course of many phenomena than is apparent from past experience. [8]There are 9 pillars on which Industry 4.0 rests [12]

2.1 Autonomous Robots

Autonomous Robots reports on the theory and applications of robotic systems capable of some degree of self- sufficiency. [38] They are becoming more autonomous, flexible, and cooperative. Eventually, they will interact with one another and work safely side by side with humans and learn from them. [9]

2.2 Simulation

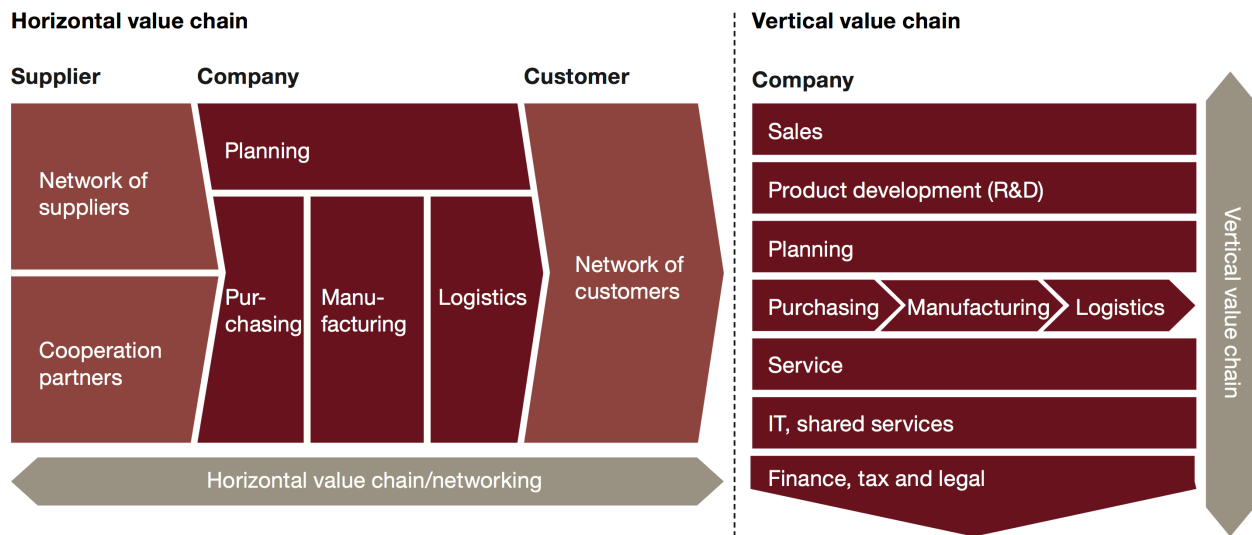
Simulations are used to mirror the physical world in virtual model, as is already used in most design processes. Through i4, future simulation will move towards smarter design to automate the “test-and-optimise” process and will be used more extensively in shipyard and ship operations. [10]



Industry 4.0 [42]

2.3 Horizontal and Vertical System Integration

Industry 4.0 would enable overall integration – companies, departments, functions etc. As the data would be on cloud, it will be real time and available for every department to access. [12]



Industry 4.0 requires comprehensive digitization of the horizontal and vertical chains [43]

2.4 The Industrial Internet of Things

The Internet of Things and Services enables to network the entire factory to form a smart environment.[13] A relatively convincing definition of IoT focuses not only on object identification and interconnection but also on the role of communication network. [14] Industry 4.0 will bring about highly connected and digitized global industry supply chain. [36] The challenges of the Industrial Internet escalate the threat of damage from cyber-attacks that manipulate processing and workflow systems [37]

2.5 The Cloud

Using shared (common) on request by computers or other devices of sets of data and computing resources (processing) on the Internet.[15] Characteristics of Cloud-based manufacturing (CBM) include networked manufacturing, scalability, agility, ubiquitous access, multi-tenancy and virtualization, big data and the IoT, everything-as-a-service (e.g., infrastructure-as-a-service, platform-as-a-service, hardware-as-a-service, and software-as-a-service), scalability, and resource pooling.[16]

2.6 Additive Manufacturing

Additive manufacturing is a suite of emerging technologies that fabricates three-dimensional objects directly from digital models through an additive process, typically by depositing and “curing in place” successive layers of polymers, ceramics, or metals.[17]

Additive manufacturing (AM) machines are increasingly being employed, due to their digitalization, automation, flexibility, and customization, which are also becoming a popular production system in the modern industry. [18]

2.7 Augmented Reality

Augmented Reality (hereafter, AR) makes reference to the real-time perception of an environmental setting that has been enhanced by means of computer-generated virtual components. (Augmented reality: An ecological blend)

AR technology has three significant contributions: (1) the real scene and virtual 3D objects are combined together, (2) the virtual 3D objects can be occurred in the real scene by registration and (3) the virtual 3D objects can be controlled in real-time.[19]

3. SYSTEM AND SYSTEMS ENGINEERING

System engineering is performed in the context of a particular organizational structure and culture, and so the discipline has always had to be attuned to and aligned with the realities of organizations and their cultures. [23]

The International Council on Systems Engineering (INCOSE) defines it as follows: [39]

Systems engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, and then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem. Systems engineering considers both the business and technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs. The system engineering approach was used in this paper and The ABC Company's business management system was analyzed as a whole.

More specifically:

The systems engineering process shall: [40]

1. Transform approved operational needs and requirements into an integrated system design solution through concurrent consideration of all life-cycle needs (i.e., development, manufacturing, test and evaluation, deployment, operations, support, training, and disposal), and
2. Ensure the interoperability and integration of all operational, functional, and physical interfaces. Ensure that system definition and design reflect the requirements for all system elements to include hardware, software, facilities, people, and data, and
3. Characterize and manage technical risks.

Systems engineering, widely used in manufacturing and aviation, is an interdisciplinary approach to analyze, design, manage, and measure a complex system in order to improve its efficiency, reliability, productivity, quality, and safety. [24] A system is developed to accomplish a specific function, or a series of functions, with the objective of responding to some identified need. Most systems are complicated series of large numbers of expensive components. [41] The various elements of a system must be directly tied to and supportive in the accomplishment of some given mission scenario or series of scenarios [20] SSADM comprises five core modules: feasibility study, requirements analysis, requirements specification, logical systems specification, and physical design module. [44]

The systems methodology incorporates methods, tools, procedures, processes, practices, and the skills and experience of practitioners who may be formed into teams, with leaders and managers; the whole then becomes the systems methodology. [21] An interdependent group of people, objectives, and procedures constituted to achieve defined objectives or some operational role by performing specified functions. [22]

4. FUNCTIONAL FLOW BLOCK DIAGRAMS (FFBDs)

According to Blanchard [20], in the development of functional-flow diagrams, some degree of standardization is necessary, for the purpose of communication, in defining the system. Thus, certain basic practices and symbols should be used, whenever possible, in the physical layout of functional diagrams. Thus, certain basic practice sand symbols should be used, whenever possible, in the physical layout of functional diagrams. The following eight guidelines should help:

1. Function block. Each separate function in a functional diagram should be presented in a single box enclosed by a solid line.

2. Function numbering. Functions identified on the functional-flow diagrams at each level should be numbered in a manner that preserves the continuity of functions and provides information with respect to function origin throughout the system.
3. Functional reference. Each functional diagram should contain a reference to its next higher functional diagram through the use of a reference block.
4. Flow connection. Lines connecting functions should indicate only the functional flow and should not represent either a lapse in time or any intermediate activity.
5. Flow direction. Functional diagrams should be laid out so that the functional flow is generally from left to right, and the reverse flow, in the case of a feedback functional loop, from right to left
6. Summing gates. A circle should be used to depict a summing gate. As in the case of functional blocks, lines should enter and/or exit the summing gate as appropriate.
7. Go and no-go paths. The symbols G and G are used to indicate go and no-go paths, respectively.
8. Numbering procedure for changes to functional diagrams. Additions of functions to existing data should be accomplished by locating a new function in its correct position without regard to sequence of numbering

In this article, SSADM, which is a kind of (FFBDs), is used. The structured system analysis and design method (SSADM), originally launched in 1981, which consists of five modules and is the official analysis method for system development in the UK. [25] It was made the mandatory standard for central government systems analysis and design in 1983, and in 1987, in the form of version 3, it was made publicly available and non-proprietary. Version 4 SSADM was launched in 1990. [26] System analysis is conducted for the purpose of studying a system or its parts in order to identify its objectives. [27] In the structured methodology well defined documentation takes place. [28]

System design methods are a discipline within the software development industry which seek to provide a framework for activity and the capture, storage, transformation and dissemination of information so as to enable the economic development of computer systems that are fit for purpose. [29]

Compared to construction, software industry is relatively a new industry, yet significant efforts have been directed towards standardisation leading to the development of several information systems methodologies supported by numerous standard techniques each addressing different aspects of the development.[45]

SSADM is based on the data flow diagrams. At the early stages of projecting at description of models (functional, informational and event-trigger) the top-down method is used. The advantages of SSADM are the precise definition and support of so-called “non functional requirements”. Such requirements define the level of the quality with which the system must execute its functions. [30]

In this research SSADM was used to analyze all levels of the system. Structured Systems Analysis and Design Method consist of 3 levels. These levels are; (1) Departmental, (2) functional and (3) user requirements. The first level is the level of independent departments. At this level, information and material flows across all departments, relationships with suppliers and customers are also shown. Level 2 is flow charts at functional level. The functions owned by independent departments are shown in flow diagrams, and the names of these flow diagrams are department names. The final level is the level at which user requirements are identified and shown. At the level of the user’s requirement, the information and material flows are shown in detail at the bottom of the production process.

1.0 BUSINESS MANAGEMENT SYSTEM OF ABC

1.0 ABC’ s Business Management System is the first level of flow charts.

There are 4 independent departments in this level. These;

- Management
- Manufacturing
- Quality
- Storage and Delivery.

This level shows information and material flows across departments, relationships with suppliers and customers.

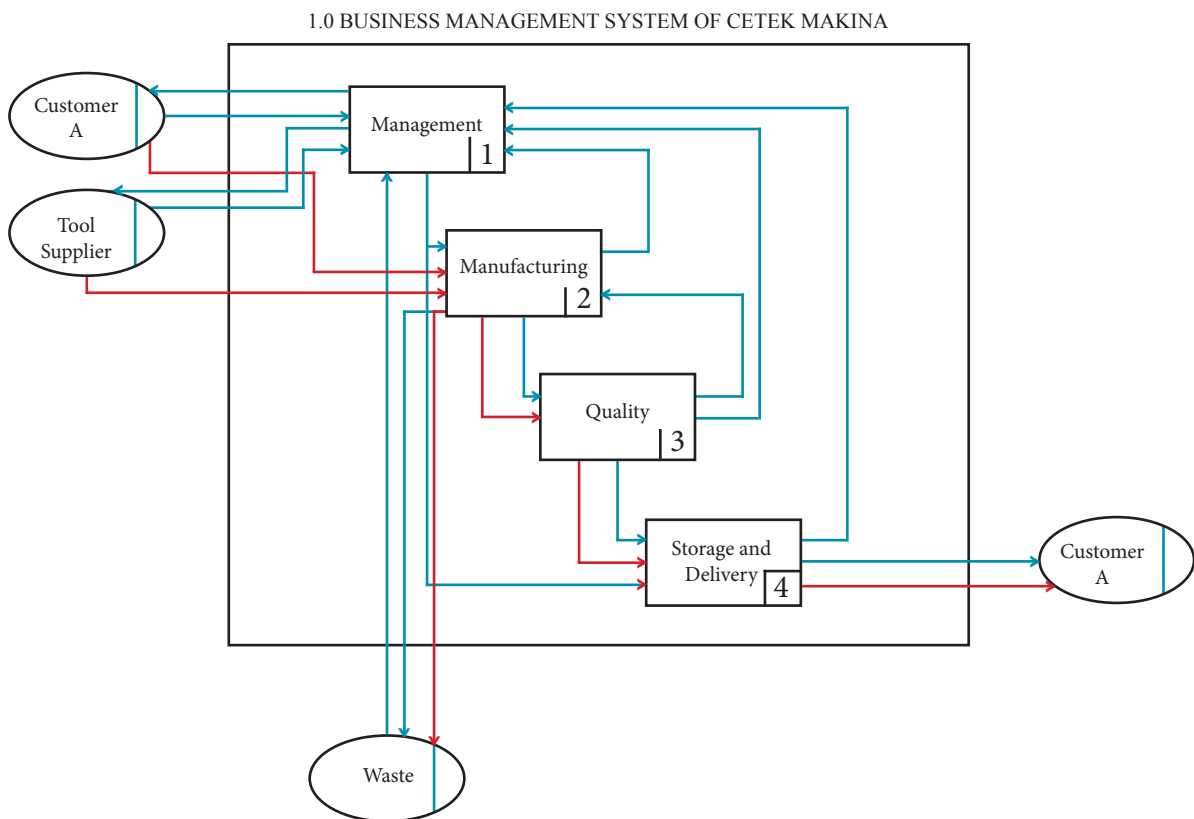
The system begins by communicating the proposal to the customer.

If the bid remains in the firm, the contract and technical drawing are sent to company.

After the work order is created, it is sent to the Manufacturing with the technical drawing.

The products are sent to Quality for inspection.

Finally, the products come to Storage and Delivery and delivered to the Customer.



1.0 BUSINESS MANAGEMENT SYSTEM OF ABC



INPUT 2: CustomerContract(Purpose, Technical Specifications, Quality, Party Size, Delivery Date, Accounting Data)

INPUT 3: Material (Name, Code, Measure, Weight, Raw Material)

INPUT 5: SupplierContract (Purpose, Technical Specifications, Quality, Party Size, Delivery Date, Accounting Data)

INPUT 6: Material(Name, Code, Measure, Weight, Raw Material)

INPUT 12: Waste Information (Name, Code, Measure, Weight, Raw Material)

OUTPUT 1: CustomerContract (Purpose, Technical Specifications, Quality, Party Size, Delivery Date, Accounting Data)

OUTPUT 4: SupplierContract (Purpose, Technical Specifications, Quality, Party Size, Delivery Date, Accounting Data)

OUTPUT 13: Waste Information (Name, Code, Measure, Weight, Raw Material)

OUTPUT 14: Waste (Name, Code, Measure, Weight, Raw Material)

OUTPUT 19: Delivery Note (Serial Number, Type, Size And Quantity Information)

OUTPUT 20: Product

5. TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL)

Technology Readiness Levels (TRL) are a type of measurement system used to assess the maturity level of a particular technology. Each technology project is evaluated against the parameters for each technology level and is then assigned a TRL rating based on the projects progress. [35]

In this paper, non-parametric analysis was performed based on Technology Readiness Levels. In the transition to Industry 4.0, it is very important for companies to determine their technology readiness levels because they know what the current system is digital. According to this analysis, activities performed in the third level for each function are labeled with these metrics. As a result of this labeling, ABC Company's technology preparation level has been determined. Technology Readiness Level is calculated for each level by taking the arithmetic average of nonparametric values of each user requirements. The nonparametric values are as shown below.

1	Manual	The work is done by person without using machines.
2	Semiautomatic	The work is done by person using the machine.
3	Automatic	The work is done by the machine according to the command given by the man.
4	Fully Automatic	The work is done by the machine without people order.
5	Wi-Fi	The work is done by the machine with the command given by the other machine.

Technology Readiness Levels	
1.0 ABC' s Business Management System	2
1.1 Management	2
1.2 Manufacturing	2
1.3 Quality	2
1.4 Storage and Delivery	2

According to the results of the table ABC's technology readiness level is 2. This result has shown us that the system is Semiautomatic. In other words, the work done is done by the machines used by the people. In order for ABC to be ready for Industry 4.0, the TRL level must be at least 4. According to this result, it is necessary to make an improvement by considering the cost in the digitalization process.

6. COST BREAKDOWN STRUCTURE

A cost breakdown structure constitutes a vehicle for including all costs and is broken down to the depth required to provide the appropriate level of visibility for determining the costs of various functions, processes, and/or elements of the system over time. [20] Cost breakdown is the systematic process of identifying the individual elements that comprise the total cost of a good, service or package. [31] The overall purpose of the CBS is to breakdown all the associated costs for purposes of identification and control. [32] In a way, this cost breakdown structure (CBS) links objectives and activities with resources and constitutes a logical subdivision of cost by functional activity, area, major element of a system, and/or more discrete classes of common items [33]

The manufacturing process cost of a part is dependent on factors such as necessary equipment and installation, required tools, the time for processing and the operating procedures. [34]

This paper suggests an activity-based analysis to develop a cost structure. This analysis identifies the cost elements to be considered for The ABC Company. The cost breakdown structure is started from the user requirements, which is the third level. Every kind of cost for ABC Company (such as workforce, electricity) is calculated for each activity made at this level. This calculation is done for the third level of all functions and the total cost of each function is also known as the total cost of each department. The following is an example of how to do the CBS table.

COST CATEGORY	Time (min)	Cost (TL)
1.1.3 Purchasing	607	248,87
1.1.3.1 Make Demand Verification	2	0,82
1.3.2 Create Material Requirement List	2	0,82
1.1.3.3 Request from Supplier	1	0,41
1.1.3.4 Bid Evaluation	5	123
1.1.3.5 Select Supplier	5	123
1.1.3.6 Fill up Order Form	2	0,82

7. CONCLUSIONS AND FUTURE STUDIES

Technology is rapidly changing and evolving day by day. The muscular power in production has already started to give a way to the brain and its innovation capacity. It is very important for the national economies to follow this pace of global developments in their countries by urging large to small enterprises. New concepts such as internet of things, cloud, additive manufacturing with industry 4.0 have already entered corporate world where next step is touching our lives. In our research, ABC Company has been analyzed for Industry 4.0 readiness with system engineering approach. Firstly, ABC's business system was assessed by the technique of SSADM. Three levels of flow diagrams are drawn where on the other hand user requirements were determined and listed. Cost and nonparametric values of the identified user needs for ABC Company have been identified. During this study, the technologic level of the company versus their potential savings against automation through Industry 4.0 has been revealed. Recommendations around digitization have been introduced in accordance with the industry 4.0 concept with regards to jobs with a low level of technological maturity. After the digital suggestions are brought in, ABC's technologic readiness level and costs are recalculated. As a result of this study, prioritization of user needs to digitize and this digitalization was provided as options in front of the company management team. This analysis can be used as a role model in assessment of the level of technological readiness and also be utilized as a guide to preparation to ramp up technological levels for other companies manufacturing products.

8. REFERENCES

- [1] Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, (April 2013), National Academy Of Science And Engineering, 5.
- [2] Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion
- [3] Editorial: Seven Things to Know about the Internet of Things and Industry 4.0 [Editorial•]. (2015). mmsonline.com, p75.
- [4] Geissbauer, R., Schrauf, S., Koch, V., Kuge, S., (2014). Industry 4.0 - Opportunities and Challenges of the Industrial Internet, PWC, p19.
- [5] Lukač, D. (2015, November). The fourth ICT-based industrial revolution" Industry 4.0"??? HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. In Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2015 23rd (pp. 835-838). IEEE.
- [6] Magruk, A., 2016. Uncertainty In The Sphere Of The Industry 4.0 – Potential Areas To Research, Business, Management and Education, 14(2): 275–29. doi:10.3846/bme.2016.332
- [7] Lee, J., Bagheri, B., Kao, H., (2014). A Cyber-Physical Systems Architecture For Industry 4.0-Based Manufacturing Systems, Society of Manufacturing Engineers (SME), p. 1. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- [8] Magruk, A., 2016. Uncertainty In The Sphere Of The Industry 4.0 – Potential Areas To Research, Business, Management and Education, p. 276, 14(2): 275–29. doi:10.3846/bme.2016.332

- [9] Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries (https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/?chapter=2#chapter2_section2)
- [10] Ang, H., Goh, C., Saldivar, A., Li, Y., (2017) Energy-Efficient Through-Life Smart Design, Manufacturing and Operation of Ships in an Industry 4.0 Environment, *Energies*.
- [11] INDUSTRIE 4.0 Smart Manufacturing for the Future, (2014), Germany Trade & Invest.
- [12] Praveena, R., (2016) Disruptive Innovation In Operations Scenario - Industry 4.0, <https://www.linkedin.com/pulse/disruptive-innovation-operations-scenario-industry-40-praveena>)
- [13] Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J., (2016) Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing, *Journal of Industrial Engineering and Management*. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1940>
- [14] Tao, F., Wang, Y., Zuo, Y., Yang, H., Zhang, M., (2016) Internet of Things in product life-cycle energy management, *Journal of Industrial Information Integration*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jii.2016.03.001>
- [15] Stăncioiu, A., (2017). THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION „INDUSTRY 4.0”, *Fiabilitate și Durabilitate - Fiability & Durability*.
- [16] Thames, L., Schaefer, D., (2016). Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0, *Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production Conference 2016*. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.041
- [17] USDOE, “Advanced Manufacturing: Pursuing the Promises,” August 2012, 1.
- [18] Qina, J., Liua, Y., Grosvenor, R. (2017). A Framework of Energy Consumption Modelling for Additive Manufacturing Using Internet of Things, *The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems*. doi: 10.1016/j.procir.2017.02.036
- [19] M. Gianni, F. Ferri, F. Pirri. ARE: Augmented Reality Environment for Mobile Robots. *Towards Autonomous Robotic Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 470-483.
- [20] Blanchard, B., Blyler, J., (2016). *System Engineering Management*.
- [21] Hitchins, D., (2007). *Systems Engineering, A 21st Century Systems Methodology*.
- [22] Stuckey, C., Sarkani, Ş., Mazzuchi, T. (2017). *Complex Acquisition Requirements Analysis*. DOI: <https://doi.org/10.22594/dau.16-755.24.02>
- [23] Jamshidi, M., (2009). *Systems Of Systems Engineering*, Taylor & Francis Group, Llc.
- [24] Peaterson, A., (2014). *A Systems Engineering Approach To Better, Less Expensive Health Care*, Nova Science Publishers Inc, Pages 1-108.
- [25] Aggelinos, G., Katsikas, S., (2011). *Enhancing SSADM With Disaster Recovery Plan Activities, Information Management & Computer Security*. DOI 10.1108/09685221111173067
- [26] O'Brien, S.J., Jones, D.A., (1992). *Function Points In SSADM*, *Software Quality Journal* 2, 1-11.
- [27] *Systems Analysis and Design TUTORIAL*, *Tutorials Point* (2015).
- [28] CHAPTER – 4 SSADM, *Structured Systems Analysis and Design Method, SADSE*.
- [29] *Structured Systems Analysis and Design*, ITC Infotech India Ltd.
- [30] <http://www.conceptdraw.com/How-To-Guide/ssadm>
- [31] Thibodeaux, W., *What Is Cost Breakdown?*. <http://smallbusiness.chron.com/cost-breakdown-24520.html>
- [32] <http://2020projectmanagement.com/2013/10/the-cost-breakdown-structure-cbs/>
- [33] Fabrycky, W. J., Blanchard, B. S. (1991) *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*. Prentice-Hall, Inc., NJ, USA.
- [34] Swift, K., & Booker, J. (2003). *Process Selection - From Design to Manufacture*. Burlington: Elsevier.
- [35] (https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html)
- [36] <https://i40.hkpc.org/CyberSec/>
- [37] *Smarter Security For Manufacturing In The Industry 4.0 Era*, (2016). Symantec Corporation.
- [38] <http://www.springer.com/engineering/control/journal/10514>
- [39] INCOSE-TP-2003-002-03.2.2, *Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*, Version 3.2.2, (San Diego, CA: INCOSE, 2011).
- [40] Department of Defense Regulation 5000.2R. “Mandatory Procedures for Major Defense Acquisition Programs (MDAPS) and Major Automated Information Systems (MAIS) Acquisition Programs.”

Chapter 5. Paragraph C5.2 (April 2002).

[41] Frankel, E., (1984). Systems Reliability and Risk Analysis, MartinusNijhoff Publishers,
DOI: 10.1007/978-94-009-6920-9

[42] (<https://www.linkedin.com/pulse/disruptive-innovation-operations-scenario-industry-40-praveena>)

[43] (<https://www.pwc.nl/en/assets/documents/pwc-industrie-4-0.pdf>)

[44] Skidmore, S., Farmer, R. and Mills, G. (1994), SSADM Version 4 Models and Methods, 2nd ed., NCC Blackwell

[45] Farzad Khosrowshahi, (2015) "Enhanced project brief: structured approach to client- designer interface", Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 22 Issue: 5, pp.474-492



Journal of Turkish Operations Management

BULANIK KALİTE FONKSİYON YAYILIMI (BKFY) TEMELLİ TASARIM GELİŞTİRME YAKLAŞIMI

Gülin Feryal CAN¹, Kumru Didem ATALAY², Ergün ERASLAN³

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, gfcan@baskent.edu.tr

²Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, katalay@baskent.edu.tr

³Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, eraslan@ybu.edu.tr

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 12.12.2017

Revised: 18.12.2017

Accepted: 28.12.2017

Research Article

Keywords:

QFD, Fuzzy Set, Fuzzy Number,
Electronic Card Holder, Design

ABSTRACT

Electronic card holder systems have great importance to provide flight safety. Since these systems are high-cost systems, the design phase should be carried out in a planned manner. Reducing the design cost of electronic card holder systems and enhancing their functional performance characteristics is highly regarded and studied extensively by aircraft manufacturers. Many experts work in the design phase and therefore subjective judgements and evaluations bring uncertainties. In this context, the use of fuzzy set theory together with Quality Function Deployment (QFD) in the design phase will increase the performance of the QFD which will provide more accurate solutions. In the study, efficiency of the design process is tried to increase by using two phase Fuzzy OFD (FQFD) in the design process of electronic card holder systems based on company requirements. It is aimed to decrease production tolerances in electronic card holder systems. In the first phase, relative absolute weight of company's requirements and relative importance weights of engineering metrics are identified. In the second phase, it was decided which piece characteristics will be changed in the new design. As a result, the need for minimum compression force among technical requirements and the ability to dissipate heat among company's requirements are identified as the most important issues. According to these, it was decided to make changes on control box guard.

MAKALE GİRİŞİ

Makale Geçmişi:

Geliş: 12.12.2017

Revize: 18.12.2017

Kabul: 28.12.2017

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

KFY, bulanık küme, bulanık sayı,
elektronik kart tutucu, tasarım

ÖZET

Elektronik kart tutucu sistemleri uçuş güvenliğinin sağlanması açısından büyük öneme sahiptir. Bu sistemler, yüksek maliyetli sistemler oldukları için tasarım aşaması planlı bir şekilde yürütülmelidir. Elektronik kart tutucu sistemlerinin tasarım maliyetlerini azaltmak ve fonksiyonel performans özelliklerini arttırmak, uçak üreticileri tarafından oldukça önemsenmekte ve üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Tasarım aşamasında birçok uzman görev almakta ve bu nedenle subjektif yargılar ve değerlendirmeler belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda, tasarım aşamasında KFY ile bulanık küme teorisinin birlikte kullanılması daha hassas çözümler elde edilmesini sağlayacak ve KFY'nin performansını arttıracaktır. Çalışmada, elektronik kart tutucu sistemlerinin tasarlanması sürecinde firma istekleri temelinde iki aşamalı bulanık kalite fonksiyon yayılımı (BKFY) yaklaşımı kullanılarak sürecin etkinliği arttırılmaya çalışılmıştır. Burada amaç, elektronik kart tutucu sistemlerindeki üretim toleranslarını azaltmaktır. Birinci aşamada, firma isteklerinin görece mutlak ağırlıkları ve mühendislik metriklerinin görece önem ağırlıkları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise yeni tasarımda hangi parça karakteristikleri üzerinde değişim yapılacağına karar verilmiştir. Sonuç olarak; teknik gereksinimler arasından minimum sıkıştırma kuvvetine ihtiyaç duyulması gereksinimi, firma istekleri arasından da ısıyı yayabilme özelliğinin olması en önemli unsurlar olarak belirlenmiştir. Buna göre kontrol kutusu muhafazasının üzerinde tasarım değişikliğinin yapılması gerektiği belirlenmiştir.

1. Giriş

Rakip firmalar ve ikame ürünler nedeni ile rekabetin yoğun olarak yaşandığı pazarlarda firmaların varlıklarını sürdürebilmeleri için müşteri istek ve gereksinimlerini anlayarak buna uygun üretim yapmaları zorunlu hale gelmiştir (Kağnıcıoğlu, 2002). Müşteri odaklılık, müşteri profilinin günümüzde değişmesi nedeni ile bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüz müşteri profili, her ürünü kabul etmeyen, yalnızca ihtiyaçlarını gidermekle yetinmeyen, estetik açısından da beklentileri olan, tasarım ve fiyat açısından araştırma bilincine sahip olan bir yapıya sahiptir (Bevan, 1999). Buna göre, müşterinin önem verdiği ürün özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak ve bunu ürünün tasarım sürecine aktarmak çok önemlidir.

Tasarım faaliyetleri, belirsizlik içeren karmaşık süreçlerdir. Her bir tasarım kriterinin ürünün performansı üzerinde yaratabileceği etki farklıdır ve tasarım kriterlerindeki değişimlerin birbirini nasıl etkileyeceği ve bu etkileşimin ürün performansına nasıl yansıtacağı belirsizdir. Bu belirsizlik ancak ürün testlerinde ya da ürün müşteri tarafından kullanılmaya başlandığında kesinleşir. Bu nedenle, tasarım ekibinin bu konulara ilişkin öngörüsünün olması beklenir. Öngörü oluşturabilmek ise bilgi, deneyim gerektiren geleceğe yönelik bir karar verme sürecidir. Bu karar verme sürecini kolaylaştırmak için geçmişe yönelik tasarım verilerinin bulunması büyük önem taşımaktadır. Ancak bu tür veriler firmada mevcut olmadığında, tasarlanan ürünle ilgili karşılaşılan karar konuları tasarım ekibi için belirsizlik içermektedir. Bu belirsizlik nedeni ile ürüne ilişkin verilecek olan kararlar öznellik içerecektir. Bu kapsamda, tasarım ekibi deneyim, bilgi, farklı departmanlarda çalışma gibi özellikler açısından değişkenlik gösteren bireylerden oluştuğu için ilgili bireylerin öznel yargılarını modellemek amacıyla farklı mantıksal sistemlere ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca çoğu tasarım parametresinin uzmanlar tarafından öngörülen değerleri “yüksek” “düşük” gibi dilsel ifadelerle tanımlanmaktadır. Bu ifadeleri matematiksel operasyonlarda kullanabilmek için de farklı yaklaşımlar ile süreci yönetmek gerekmektedir. Bütün bu sebepler nedeni ile bulanık mantık, tasarım kararlarının alınması ve ürüne aktarılmasında kullanılabilir pratik ve güçlü bir yaklaşımdır.

Bulanık mantık ilk kez 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh’in bulanık mantığı geliştirmesinin amacı belirsizliği dilsel değişkenleri kullanarak matematiksel olarak modelleyebilmektir (Klir and Yuan, 1995). Bulanık mantık ile yüksek karmaşıklığa sahip, davranışları tam anlamıyla belirlenemeyen sistemlerin davranışları bilimsel olarak tanımlanabilmekte ve hızlı çözüm gerektiren durumlarda yaklaşık değerlendirmelerle çözümler elde edilebilmektedir (Zadeh, 1965).

Bununla birlikte, tasarım parametreleri müşteri isteklerinin karşılanıp karşılanmamasını doğrudan etkileyeceği için hangi tasarım parametresinin firma tarafından sağlanması gerektiği önem taşımaktadır. Tasarım parametreleri mühendislik metrikleri olmakla birlikte, ürünlerdeki teknik gereklilikler olarak ta tanımlanmaktadır. Bu açıdan, müşteri isteklerinin teknik gerekliliklere dönüştürülerek üretim sürecine aktarılması gerekmektedir. Literatürde bu amaç ile çalışan ve yaygın bir şekilde kullanılan KFY yöntemi üretim sürecinin şekillendirilmesinde firmaya destek olacaktır.

KFY, ilk kez 1966 yılında Yoji Ako tarafından Japonya’da önerilmiş ve dünya çapında popüler bir yaklaşım haline gelmiştir. KFY, müşteri ihtiyaçlarını firmanın karşılaması gereken teknik gerekliliklere çevirebilen sistematik bir yöntemdir. KFY’nin uygulanabilmesi için farklı fonksiyonel alanlarda uzmanlığa sahip kişilerden bir takım oluşturulması gerekir. KFY’ni uygulayan firmalar, daha güvenilir ve daha kaliteli ürünleri yüksek verimlilik düzeyi ile üretebilmektedir. Son yıllarda KFY ile gerçekleştirilen çalışmalardan bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

Ko ve Chen (2014) bulanık doğrusal programlama ile KFY’ni birleştirerek yeni ürün planlamasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, müşteri istekleri ile teknik gereklilikler arasındaki ilişki Chen and Weng’in modeli kullanılarak belirlenmiştir. Yan ve Ma (2015) en iyi Çin restoranı ve en iyi esnek imalat sistemi seçiminde BKFY’ni uygulamışlardır. Raut ve Mahajan (2015) BKFY ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses (BAHP) yöntemlerini birleştirerek Hindistan’daki en iyi konut projesini belirlemişlerdir.

Büyükozan ve Çiftçi (2015) ürün iyileştirme stratejilerinin seçiminde bulanık mantık temelli çok kriterli karar verme yapısı ile KFY'ni birleştirmişlerdir. Wu ve Ho (2015) yeşil cep telefonu tasarımında üretim hedeflerini belirlemek için BKFY kullanmışlardır. Zaim vd. (2016) KFY ile Analitik Ağ Prosesini (ANP) birleştirerek üründe karşılanması gereken teknik gerekliliklerin öncelik sıralamasını bulanık ortamda elde etmişlerdir. Lima-Junior and Carpinetti (2016) tedarikçi seçiminde BKFY'ni kullanmışlardır. Onar vd. (2016) bilgisayarlı iş istasyonlarının tasarım gerekliliklerini belirlemek için BKFY'ni uygulamışlardır. Vinodh vd. (2017) elektronik ürünlerde sürdürülebilir tasarımın sağlanması amacıyla BKFY'ni kullanmışlardır. Wu vd. (2017) demir yolu yemek hizmeti istasyonlarının değerlendirmesinde robast KFY yaklaşımını uygulamışlardır. Wu vd. (2017) elektrikli araçların tasarımında hesitant bulanık kümeler ile KFY, DEMATEL (decision-making trial and evaluation laboratory) ve VIKOR (Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerini entegre ederek kullanmışlardır. Azadnia ve Ghadimi (2018) sipariş tahsisi ve tedarikçi seçiminde bulanık çok amaçlı programlama ile BKFY'ni entegre ederek kullanmışlardır.

Çalışmada, iki aşamalı bir BKFY yöntemi önerilmiştir. Birinci aşamada, firma istekleri müşteri istekleri olarak tanımlanmış ve mühendislik metrikleri teknik gereklilikler olarak belirlenmiştir. Bu aşamada, firma isteklerinin mutlak görelî ağırlıkları ve mühendislik metriklerinin görelî önem ağırlıkları elde edilmiştir. İkinci aşamada, birinci aşamada ele alınan mühendislik metrikleri müşteri istekleri olarak tanımlanmış ve teknik gereklilikler bölümünde parça karakteristikleri konumlandırılmıştır. Bu şamada da parça karakteristiklerinin görelî önem ağırlıkları elde edilmiştir. Buna göre, birinci aşamadaki firma isteklerinin gerçekleştirilebilmesi için hangi parça karakteristiklerinde tasarım değişikliğinin yapılması gerektiğine karar verilmiştir.

Literatürden de görüldüğü gibi KFY farklı alanlarda ve farklı yaklaşımlarla birleştirilerek uygulanmıştır. Ancak uçuş güvenliğinin sağlanmasında önemli bir yere sahip olan elektronik kart tutucu sistemlerinin tasarım sürecinde BKFY kullanılmamıştır. Bununla birlikte iki aşamalı bir BKFY yöntemi de henüz araştırmacılar tarafından geliştirilmemiştir. Bu açıardan gerçekleştirilen çalışma, BKFY için yeni bir bakış açısı sağlamakla birlikte, elektronik sektörü için literatüre katkı sağlayabilecek ve uçak üretim firmalarındaki yöneticilerin tasarım kararlarına destek olabilecek bir çalışmadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde bulanık mantıktan bahsedilmiş, üçüncü bölümünde KFY, BKFY'na yer verilmiş, dördüncü bölümde elektronik kart tutucu sistemleri tasarım sürecinde BKFY'nın kullanılmasına ilişkin gerçekleştirilen uygulama anlatılmış, beşinci bölümde ise sonuç ve tartışmalara yer verilmiştir.

2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık mantığın temeli, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık mantık, verilerin tamamına ulaşılamadığı veya belirsizliklerin bulunduğu durumlarda çözüm üretebilen bir araçtır. Bu nedenle kesin yaklaşımlar yerine, belirsizliği de göz önüne alarak yaklaşık düşünme tekniğini hesaba katan bulanık mantık daha hassas sonuçlar elde etmeye olanak sağlamaktadır. İki değerli mantık yapısına sahip klasik mantık, matematiğin sağlam temeller üzerine oturmasına olanak sağlar. Ancak gerçek hayat problemlerinin çoğunu bu katı ikili mantık sistemi ile modellemek her zaman mümkün olmayabilir.

Bulanık mantığın ana amacı, herhangi bir problemde tam ve kesin olmayan bilgiler var olduğunda insanlara doğru ve tutarlı bilgiler sunabilmektir. Bulanık mantık için gerekli olan altyapıyı sağlamak için bulanık küme teorisi tanımlanmıştır. İnsanın kesin olmayan bilgiyi anlama ve analiz etme yeteneğinden yola çıkan Zadeh (1977), kesinlik içermeyen problemleri çözmek ve insan düşüncesinin anahtar elemanlarının sayılar değil dilsel ifadeler olduğu fikrini dayanak alarak bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Bulanık küme kuramında kümeye ait olma derecelerini tanımlayan üyelik fonksiyonları oldukça önemli bir yer tutar (Bellman ve Zadeh, 1977). A kümesi bir bulanık küme ise, $\mu_A(x)$ değerine x 'in A kümesine üyelik derecesi denir.

A kümesinin üyelik fonksiyonu,

$$\forall x \in X: \mu_A(x) \in [0.1]$$

biçiminde ifade edilir. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonunun aldığı değerler [0.1] aralığında olmasına rağmen farklı aralıklarda da üyelik fonksiyonları tanımlamak mümkündür. Fakat her bir üyelik fonksiyonunun elemanı X evrensel kümesinin içinde yer almalı ve tanımlanan aralıkta gerçek sayılar olmalıdır (Dubois and Prade, 1980).

Üyelik fonksiyonları arasında literatürde en çok kullanılanları üçgensel, yamuksal, Gaussian fonksiyonlardır. Gündelik yaşamda pek çok yargıya belirsizlik altında varılır ve kesinlik yaklaşımıyla belirsizlik gerçekçi bir şekilde modellenemez. Üyelik fonksiyonları kullanılarak bu tarz modellemeleri yapabilmeye olanağı doğmaktadır. Bununla birlikte probleme uygun üyelik fonksiyonunun seçimi de ayrıca önem teşkil etmektedir. Üyelik dereceleri ise üyelik fonksiyonları kullanılarak elde edilir. Üyelik derecesi kesikli veriler için sübjektif olarak da belirlenebilir (Zadeh, 1987).

Üçgensel bulanık sayı \tilde{A} , (a,b,c) üçlüsü ile gösterilir ve üçgensel üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)$ is Eşitlik (1) ile verilmiştir (Klir and Yuan, 1995):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ or } x > c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

burada a,b and c reel sayılar olup $a \leq b \leq c$ eşitsizliği sağlanmalıdır. $\tilde{A}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (a_2, b_2, c_2)$, iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere bulanık aritmetiksel işlemler Eşitlik (2), (3), (4), (5) ve (6) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2). \quad (2)$$

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2). \quad (3)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2). \quad (4)$$

$$\tilde{A}_1 \oslash \tilde{A}_2 = (a_1 / c_2, b_1 / b_2, c_1 / a_2). \quad (5)$$

$$\lambda \odot \tilde{A} = (\lambda * a, \lambda * b, \lambda * c). \quad (6)$$

Üçgensel bulanık sayı \tilde{A} eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılır.

$$A_{duru} = \frac{a + 4b + c}{6} \quad (7)$$

3. Metot

3.1 Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY)

KFY, müşterinin istek ve beklentilerini ürüne yansıtılabilmek amacıyla tasarım aşamasında ürünün teknik özelliklerinin, süreç özelliklerinin ve üretim aşamasındaki gereksinimlerin önceden planlanması amacıyla geliştirilen bir sistematiktir. KFY ile müşteri istek ve beklentilerinin belirlenerek bu istek ve beklentilerin karşılanabilmesi için ürünün ilgili teknik gereklilikleri tanımlanır. Teknik gerekliliklere ait göreceli önemler belirlenerek hangi teknik gerekliliğin daha öncelikli olarak karşılanması gerektiği saptanır. Ayrıca müşteri isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklar bulunarak, müşteri isteklerinin bir sıralaması yapılır. KFY'nın bir uygulama aracı olan kalite evi bu tarz problemleri çözümlenmek amacıyla kullanılabilir.

KFY’da müşteri istekleri belirlenirken müşteri ile birebir görüşme, anket uygulama, odak grup kurma gibi stratejiler izlenebilir. Ya da problemin yapısına göre konusunda uzman olan karar vericilerden fikir alınabilir. Müşteri istekleri, bir anlamda KFY çalışmasının amacını oluşturur. Sonrasında bu isteklerin önem ağırlıkları belirlenerek hangi müşteri isteğinin öncelikli olduğu tanımlanır. Teknik gereklilikler kısmında ise, müşteri isteklerinin nasıl karşılanacağı belirlenir. Aslında bu gereklilikler, müşteri isteklerinin üründeki hangi teknik özelliklerle sağlanacağına bir tanımıdır. Kalite evinin “ilişkiler” olarak ifade edilen kısmında ise müşteri istekleri ile teknik gereklilikler ilişkilendirilir. Burada, hangi müşteri isteğini karşılamak için hangi teknik gerekliliğin karşılanması gerektiği belirlenir. Bu belirleme, müşteri istekleri ile teknik gereklilikler arasında tanımlanan ilişki derecesine göre gerçekleştirilir. Burada amaç, herhangi bir müşteri isteğini karşılamada en güçlü etkiye sahip teknik gereksinimi bulmaktır.

“Müşteri algısı” ve “hedef değer” bölümlerinde firma müşteri gözüyle ürünün rakip firma ürünlerine göre durumunu belirler. İyileştirme oranı ise bu iki değer yardımıyla hesaplanan, müşteri algısının hedef değere göre durumunu belirler. Öncelik faktörü üründe hangi müşteri isteklerinin öncelikle geliştirilmesi gerektiğini ortaya koyar. Mutlak ağırlık her bir müşteri isteğinin önem ağırlığı, iyileştirme oranı ve öncelik faktörünü dikkate alarak hesaplanır. Göreli mutlak ağırlık ise müşteri isteklerinin sıralanmasını verir.

Müşteri isteklerine ait göreli mutlak ağırlıklar ile teknik gerekliliklerden elde edilen göreli önem ağırlıkları birbiriyle uyumlu olmalıdır. Buna göre, müşterinin isteklerini karşılayan bir ürün, teknik özellikler açısından da diğer rakip ürünlere göre daha iyi konumda olacaktır. Buradan firma açısından hangi teknik özelliklere odaklanması gerektiği belirlenecek ve bu belirlemeler firmanın amaç ve hedeflerini oluşturacaktır.

3.2. Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı (BKFY) Temelli Tasarım Geliştirme Yaklaşımı

Çalışmada önerilen yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır. Bu yaklaşım temelinde KFY kullanılmıştır. Birinci aşamada teknik gereklilikler olarak mühendislik metrikleri alınmış ve buna karşılık müşteri istekleri firma istekleri olarak tanımlanmıştır. Burada amaç mühendislik metrikleri ile firma isteklerini ilişkilendirerek firma isteklerinin sıralamasını elde etmektir. İkinci aşamada ise, mühendislik metrikleri müşteri istekleri olarak alınmış, teknik gereklilikler kısmında ise parça karakteristikleri yer almıştır. Ayrıca, birinci aşamadan elde edilen mühendislik metriklerine ait ağırlıklar kullanılmıştır. Buna göre, hangi parça karakteristikleri üzerinde tasarım değişikliğinin yapılacağını belirlemek amacıyla iki aşamadan oluşan, KFY temelli, önerilen algoritma aşağıda verilmiştir.

Aşama 1: Firma isteklerinin göreli mutlak ağırlıklarının belirlenmesi

Adım 1: Firma isteklerini belirle.

Firma tarafından karar konusunda bilgi ve deneyimi olan üst düzey yöneticilerden seçilen karar verici ekibi tarafından ürün tasarımında yapılması istenilen değişikliklerin belirlenir.

Adım 2: Teknik gereklilikler olan mühendislik metriklerini firma isteklerini gerçekleştirmek için oluştur ve firma isteklerinin önem ağırlıklarını belirle.

Her bir karar verici Tablo 1 ile verilen bulanık önem skalasını kullanarak her bir firma isteği için değerlendirmesini yapar. Bu değerlendirmeler Eşitlik (2) ve (6) kullanılarak birleştirilir.

Tablo 1. Bulanık Önem /ilişki skalası

Dilsel değişkenler	Üçgensel bulanık sayı
Çok düşük önemli (ÇDÖ)/Zayıf ilişki	(0.1,0.1,0.2)
Orta derecede önemli (ODÖ)/Orta ilişki	(0.2,0.3,0.4)
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)/Güçlü ilişki	(0.8,0.9,0.9)

Adım 3: Firma istekleri ile mühendislik metrikleri arasındaki ilişkiyi belirle.

Her bir karar verici Tablo 1 ile verilen bulanık ilişki skalasını kullanarak her bir firma isteği ile her bir mühendislik metriği arasındaki ilişkinin derecesini belirler. Bu değerlendirmelerin Eşitlik (2) ve (6) kullanılarak birleştirilir.

Adım 4: Mühendislik metriklerinin göreceli önem ağırlıklarını belirle.

Firma isteklerinin bulanık önem ağırlıkları ile mühendislik metriklerinin bulanık ilişki dereceleri ile çarpılarak mühendislik metriklerinin bulanık göreceli önem ağırlıkları bulunur ve Eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılır.

Adım 5: Firma isteklerine ait müşteri algısı hedef değerleri belirle.

Karar vericiden tarafından müşteri algısının ve hedef değerlerinin Tablo 2’de verilen bulanık değerlendirme skalası kullanılarak belirlenmesi istenir.

Tablo 2. Bulanık değerlendirme skalası

Dilsel değişkenler	Üçgensel bulanık sayı
En kötü (EK)	(0.1,0.1,0.2)
Kötü (K)	(0.1,0.2,0.3)
Orta (O)	(0.2,0.3,0.4)
İyi (İ)	(0.3,0.4,0.5)
En iyi (Eİ)	(0.4,0.5,0.5)

Adım 6: Firma isteklerinin bulanık iyileşme oranının hesapla.

Eşitlik (5) kullanılarak bulanık hedef değerleri bulanık müşteri algısına bölünerek bulanık iyileşme oranı hesaplanır.

Adım 7: Firma isteklerine ait öncelik faktörünü belirle.

Tablo 3’de verilen öncelik skalası kullanılarak karar verici tarafından firma isteklerine ait öncelik faktörleri atanır.

Tablo 3. Öncelik Faktörü skalası

Öncelik tanımı	Derece
Önceliksiz	1
Öncelikli	1.2
En Öncelikli	1.5

Adım 8: Firma isteklerinin bulanık mutlak ağırlığı hesapla.

Firma isteklerinin bulanık mutlak ağırlıkları, Eşitlik (2) ve (6) kullanılarak, bulanık önem ağırlığı bulanık iyileşme oranı ve öncelik faktörünün çarpımı olarak hesaplanır ve Eşitlik (7) yardımıyla durulaştırılır.

Adım 9: Firma isteklerinin göreceli mutlak ağırlığını hesapla.

Firma isteklerinin göreceli mutlak ağırlıkları, mutlak ağırlığın toplam mutlak ağırlığa bölünmesi ile

hesaplanır ve 100 ile çarpılarak yeni tasarım için firma istekleri görelî mutlak ağırlıklarına göre sıralanır.

Aşama 2: Parça karakteristiklerinin görelî önem ağırlıklarını belirle.

Adım 1: Parça karakteristiklerini oluştur.

Ürün ağacında yer alan alt montaj parçaları parça karakteristikleri olarak alınır.

Adım 2: Parça karakteristiklerinin görelî önem ağırlığını hesapla.

Aşama 1 de bulunan mühendislik metriklerine ait görelî ağırlıklar, önem ağırlıkları olarak alınıp, yeni teknik gereklilikler olarak da parça karakteristikleri belirlenir. Parça karakteristikleri ile mühendislik metrikleri arasındaki ilişki matrisi oluşturulur. Buna göre mühendislik metriklerinin önem ağırlıkları ile parça karakteristiklerinin bulanık ilişki dereceleri çarpılarak parça karakteristiklerinin bulanık görelî önem ağırlıkları Eşitlik (2) ve Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır ve Eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılır. Buna göre parça karakteristikleri görelî önem ağırlıklarına göre sıralanır.

4. Elektronik kart tutucu sistemlerinde BKFY Temelli Tasarım Geliştirme Yaklaşımının Uygulanması

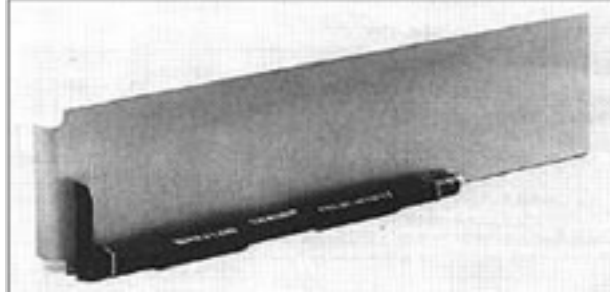
Çalışmada, askeri ve ticari uçaklarda kullanılan motor ve uçuş kontrol kutuları içindeki elektronik kartlar için takılabilir modül sabitleme sisteminin yeniden tasarımını gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Uygulamanın yapıldığı firma İngiltere’de faaliyet gösteren dünya çapında bir havacılık firmasıdır. Firma, 1999’da kurulan dünya çapında dördüncü büyük havacılık firmasıdır ve 100.000’den fazla çalışanı bulunmaktadır. Ayrıca askeri ve ticari uçakların uçuş ve motor kontrol elektroniklerinin lider üreticilerinden birisidir.

Üretilen kontrol sistemleri uçuş ve motor kontrol uygulamalarında askeri ve ticari uçaklar için kullanılmaktadır. Bu kontroller, kontrol kutusuna (ana gövde) sabitlenmiş birçok farklı kart modülünden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında, tasarım ekibi tarafından alüminyum kontrol kutusuna sabitlenmiş kartlara ait kama sabitleme mekanizmalarının yeniden tasarlanması üzerinde çalışılmıştır. Şekil 1’de alüminyum kontrol kutusu ve takılabilir modüller gösterilmektedir.



Şekil 1. Alüminyum kontrol kutusu ve takılabilir modüller

Kartların kontrol kutusuna sabitlenmesinin iki önemli nedeni bulunmaktadır: Birincisi kartların kontrol kutusundan düşmesini engellemektir. Çünkü kontrol kutusu yüksek titreşim ortamında çalışmaktadır. İkincisi ise; kartların sabitlenmesinin baskılı devre kartlarından ısının kontrol kutusuna yayılmasını bir ısı yolu üzerinden sağlamasıdır. Çünkü kontrollerdeki elektronikler yüksek ısı üretmektedirler ve ortam ısıyla birleşince baskılı devre kartlarının arızalanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yeterli bir ısı yolunun oluşturulması gerekmektedir. Kartları sabitlemek için kullanılan mevcut sistem Şekil 2’de verilen kama kilit kelepçesidir.



Şekil 2. Kart Kilitleme Yuvası

Bu kelepçeler baskılı devre kartı üzerindeki ısı alıcılarına vidalanmaktadır. Ardından kartlar, kontrol kutusu içerisine işlenmiş olan yuvaların içine kaydırılmaktadır. Bu kaydırma işlemi kart sabitlenene kadar devam etmektedir. Şekil 3’de baskılı devre kartı ile kart kilitleme yuvası gösterilmektedir.

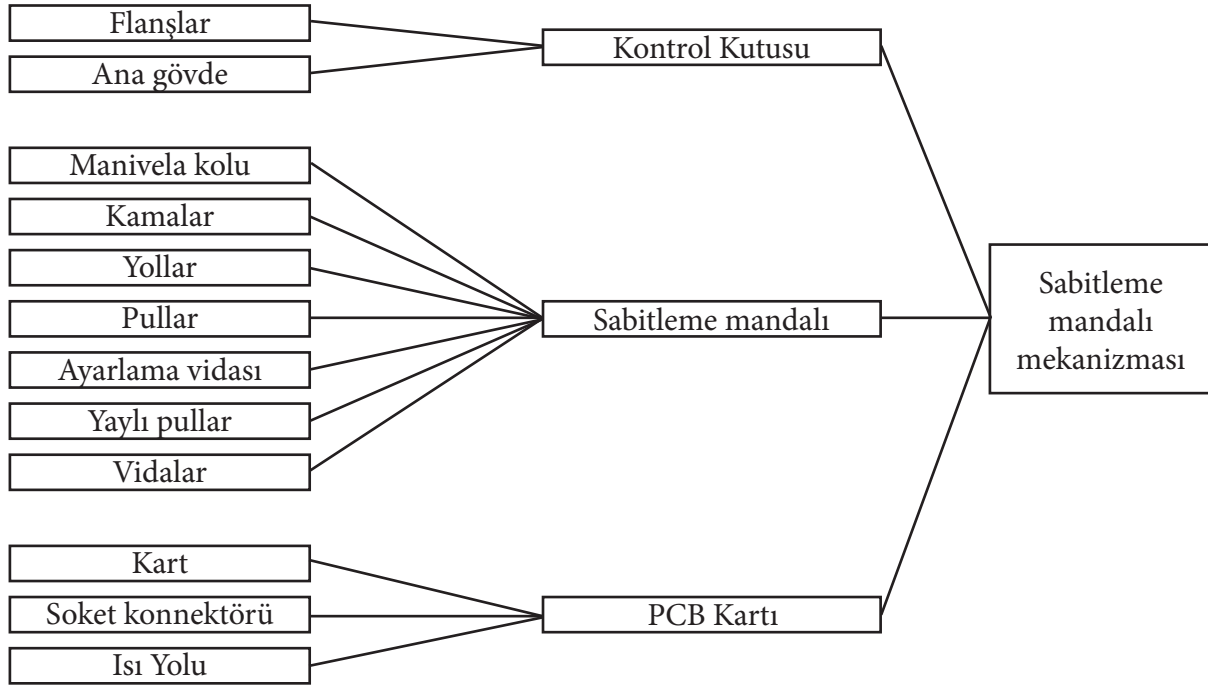


Şekil 3. Baskılı Devre Kartı ile Kart Kilitleme Yuvası

Çalışmada, daha düşük toleranslarda üretimin yapılabilmesi için ürün tasarımında dikkat edilmesi gereken konular beş kategoride incelenmiştir. Bunlar, işleme toleransları, uygulanan sabitleme kuvveti, çalıştırma sistemi, titreşim ve termal performanstır.

İşleme toleransları açısından incelendiğinde kartların sabitleneceği yuvaların toleransları ± 5 mil, kontrol kutusu içindeki toleransları ise ± 3 mil’dir. Yeni tasarımda bu toleransların yuvalar için ± 10 mile, baskılı devre kartı için ise yine ± 10 mile çıkarılması planlanmaktadır. Toplam sabitleme toleransı ise ± 20 mile kadar uygun olarak değerlendirilmiştir. Mevcut tasarımda kartları sabitlemek için 29 lbf’luk bir sabitleme kuvvetinin uygulanmasına ihtiyaç vardır. Yeni tasarımda ise bu sabitleme kuvvetinin minimum 75 lbf’luk maksimum 125 lbf’luk olması hedeflenmektedir. Mevcut baskılı devre kartlarını kontrol kutusuna takmak için operatörün kart kilitleme kolunu bastırmak zorunda kalmaktadır. Yeni tasarımda bu çalıştırma prensibi devam edecektir. Titreşim, baskılı devre kartlarının çalışması açısından hayati öneme sahiptir. Eğer baskılı devre kartı çok fazla titreşirse içindeki bileşenler bozulabilir ya da kırılabilir. Yeni tasarımın 24 Hz’e kadar sinüzoidal titreşime dayanıklı olması istenmektedir. baskılı devre kartı tarafından üretilen ısı, kontrol kutusunun duvarından sabitleme sistemine doğru yayılmaktadır. Yeni tasarımın bu ısıya eşit ya da daha fazla ısıya dayanıklı olması hedeflenmektedir.

Mevcut kontrol kutuları sağlam ve güvenilir olmalarına rağmen sabitleme sisteminin toplam maliyeti yüksektir. Yüksek maliyetin en önemli sebeplerinden biri yüksek toleranslardır. Bu toleransların hepsi yüksek sıcaklık ve titreşim ortamında modülleri güvende tutmak amacıyla belirlenmiştir. Yeni tasarımın daha esnek toleranslarla aynı güvenlik, kontrol ve güvenilirlik seviyelerini karşılaması gerekmektedir. Firma tarafından, maliyeti en küçüklemek amacıyla mevcut teknik toleranslardan farklı toleranslara sahip bir modül sabitleme sisteminin yeniden tasarlanması istenmiştir. Bu kapsamda, alüminyum kontrol kutusu, kart sabitleme kama kelepçesi ve takılabilir modüller (baskı devre kartı ve alüminyum ısı yolu) yeniden tasarlanması gereken parçalardır. Şekil 4'te bu parçalara ait alt montaj parçalarını gösteren ağaç yapısı verilmiştir.



Şekil 4. Alt montaj parçalarını gösteren ağaç yapısı

Çalışmada Şekil 4'de verilen ürün ağacında gösterilen alt montaj parçalardan hangisine yönelik tasarım değişikliklerinin öncelikli olarak yapılacağını belirlemek amacıyla önerilen BKFY temelli tasarım geliştirme yaklaşımı kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada firma isteklerinin görece önem ağırlıklarını bulmak amacıyla teknik gereklilikler olan mühendislik metrikleri ile ilişkileri ve karar vericiler tarafından firma istekleri için yapılan önem değerlendirmeleri kullanılmıştır. İkinci aşamada, birinci aşamadan elde edilen firma isteklerine ait görece önem ağırlıkları teknik gereklilikler olarak alınan parça karakteristikleri ile ilişkilendirilerek parça karakteristiklerinin görece önem ağırlıkları bulunmuştur. Bu aşamada firma istekleri olarak birinci aşamada ele alınan mühendislik metrikleri kullanılmış ve birinci aşamada hesaplanan mühendislik metriklerine ait görece önem ağırlıkları, önem değerlendirmesi olarak kullanılmıştır.

Aşama 1

Kalite evi oluşturulurken, öncelikle firma tarafından tanımlanan, ürün özellikleri ile ilgili istek ve ihtiyaçların tasarım mühendisi tarafından tespit edilmesi istenmiştir. Bu istek ve ihtiyaçlar Tablo 4 ile gösterilmiştir.

Tablo 4. Firma istekleri

Firma istekleri
Isıyı yayabilme özelliği
Titreşime dayanım özelliği
Mümkün olduğunca hafif olması
Kolay kurulabilmesi
Kolay taşınabilmesi
Kolay imal edilebilmesi
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması
Uygun fiyatı olması

Kalite Evi'nin teknik bilgileri ile ilgili kısmı oluştururken firma isteklerini karşılayacak teknik gereklilikler yani mühendislik metrikleri belirlenmiş ve Tablo 5 ile verilmiştir. Burada firma istek ve ihtiyaçlarının hangi teknik gereksinimlerle karşılanacağı belirlenmiştir.

Tablo 5. Aşama 1: Teknik gereklilikler; Mühendislik metrikleri

Mühendislik metrikleri
Termal iletkenlik
Parça sayısı
Baskılı devre kartının çıkarma süresi
Baskılı devre kartının takma ve çıkarma için gerekli olan araç sayısı
Minimum sıkıştırma kuvveti
Ağırlık
Kontrol kutusunun montaj süresi
Dizme toleransı
Boyut
Yapısal bütünlük
Titreşim test performansı
Toplam maliyet

Firma isteklerinin önem ağırlıkları tasarım mühendisi tarafından Tablo 1 ile verilen bulanık önem skalası kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 6 ile sunulmuştur.

Tablo 6. Firma isteklerinin önem ağırlıkları

Firma istekleri	Bulanık önem ağırlığı		
Isıyı yayabilme özelliği	0.8	0.9	0.9
Titreşime dayanım özelliği	0.8	0.9	0.9
Mümkün olduğunca hafif olması	0.1	0.1	0.2
Kolay kurulabilmesi	0.2	0.3	0.4
Kolay taşınabilmesi	0.2	0.3	0.4
Kolay imal edilebilmesi	0.1	0.1	0.2
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi	0.2	0.3	0.4
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması	0.8	0.9	0.9
Uygun fiyatı olması	0.8	0.9	0.9

Her bir firma isteği ile her mühendislik metriği arasındaki ilişki derecesi belirlenmiştir. Tablo 1 ile verilen bulanık ilişki skalası kullanılarak oluşturulan ilişki matrisi Tablo 7 ile gösterilmiştir.

Tablo 7. Firma istekleri ile mühendislik metrikleri arasındaki bulanık ilişki matrisi

Firma istekleri	Mühendislik metrikleri								
	Temel iletkenlik			...			Tutma sisteminin toplam maliyeti		
Isıyı yayabilme özelliği	0.8	0.9	0.9	...	...	...
Titreşime dayanım özelliği				...	...	...
Mümkün olduğunca hafif olması	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Kolay kurulabilmesi				...	...	...
Kolay taşınabilmesi				...	...	...
Kolay imal edilebilmesi	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi				...	...	...
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması				...	...	...	0.1	0.1	0.2
Uygun fiyatı olması	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.8	0.9	0.9

Mühendislik metriklerinin göreceli önem ağırlıkları Tablo 8 ile verilmiştir.

Tablo 8. Mühendislik Metriklerinin önem ağırlıkları

Aşama 1: Teknik gereklilikler; Mühendislik metrikleri	Bulanık önem ağırlığı			Durulaştırılmış	Göreceli önem ağırlığı (%)
Termal iletkenlik	0.7	0.9	1.1	0.9	8.4
Parça sayısı	0.9	1.2	1.6	1.2	11.1
Baskılı devre kartının çıkarma süresi	0.3	0.5	0.7	0.5	4.3
Baskılı devre kartını takma ve çıkarma için gerekli olan araç sayısı	0.4	0.6	0.9	0.6	5.8
Minimum sıkıştırma kuvveti	1.4	1.8	2.0	1.7	15.9
Ağırlık	0.3	0.4	0.7	0.4	4.1
Kontrol kutusunun montaj süresi	0.3	0.5	0.7	0.5	4.3
Dizme toleransı	1.0	1.4	1.7	1.3	12.4
Boyut	0.7	0.9	1.1	0.9	8.4
Yapısal bütünlük	0.8	1.1	1.2	1.1	9.7
Titreşim test performansı	0.6	0.8	0.8	0.8	7.2
Toplam maliyet	0.7	0.9	1.1	0.9	8.4

Kalite evi Aşama 1'den de görüldüğü gibi müşteri gerekliliklerinin karşılanması açısından en önemli olan mühendislik metrikleri sırasıyla Tablo 8'de verilmiştir. Mühendislik metrikleri arasında minimum sıkıştırma kuvveti (% 15.9) müşteri isteklerini karşılaması açısından en yüksek öneme sahiptir. Bu teknik gereksinimi sırasıyla dizme toleransı (% 12.4) ve parça sayısı (% 11.1) izlemektedir.

Firma isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklarını elde etmek amacıyla tasarım mühendisi tarafından atanan ve müşteri algısına ve hedef değerlere ait bulanık değerlendirmeler Tablo 9 ile verilmiştir.

Tablo 9. Müşteri algısına ve hedef değerlere ait bulanık değerlendirmeler

Firma istekleri	Müşteri Algısı			Hedef Değer		
Isıyı yayabilme özelliği	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5
Titreşime dayanım özelliği	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5
Mümkün olduğunca hafif olması	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5
Kolay kurulabilmesi	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
Kolay taşınabilmesi	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
Kolay imal edilebilmesi	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Uygun fiyatı olması	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5

Tablo 9’da verilen müşteri algısı ve hedef değerler kullanılarak bulanık iyileştirme oranı hesaplanmış ve tasarım mühendisi tarafından verilen öncelik faktörü kullanılarak bulanık mutlak ağırlıklar hesaplanmıştır. Eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılmıştır. Buna göre, göreceli mutlak ağırlıklar elde edilmiş ve Tablo 10 ile verilmiştir

Tablo 10. Firma isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklar

Firma istekleri	Bulanık iyileştirme oranı			Öncelik faktörü	Bulanık mutlak ağırlık			Durulaştırılmış mutlak ağırlık	Göreceli mutlak ağırlık (%)
Isıyı yayabilme özelliği	0.8	1.3	2.5	1.5	0.9	1.8	3.4	1.9	22.7
Titreşime dayanım özelliği	0.8	1.3	1.7	1.2	0.8	1.4	1.8	1.3	15.8
Mümkün olduğunca hafif olması	0.8	1.3	1.7	1.2	0.1	0.2	0.4	0.2	2.2
Kolay kurulabilmesi	1.0	1.7	2.5	1.2	0.2	0.6	1.2	0.6	7.6
Kolay taşınabilmesi	1.0	1.7	2.5	1.2	0.2	0.6	1.2	0.6	7.6
Kolay imal edilebilmesi	2.0	5.0	5.0	1.2	0.2	0.6	1.2	0.6	7.6
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi	0.8	1.0	1.3	1.5	0.2	0.5	0.8	0.5	5.5
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması	0.8	1.0	1.3	1.2	0.8	1.1	1.4	1.1	12.8
Uygun fiyatı olması	0.8	1.3	2.5	1.2	0.7	1.4	2.7	1.5	18.2

Tablo 10’den da görüldüğü gibi müşteri istekleri açısından bakıldığında en önemli müşteri isteği ısıyı yayabilme özelliği (%22.7) olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla fiyatının uygun olması (%18.2) ve titreşime dayanıklı olması (%15.8) takip etmektedir.

Aşama 2

Aşama 1 de elde edilen firma isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklar, Aşama 2 de mühendislik metriklerinin göreceli önem ağırlığı olarak alınmıştır. Teknik gereklilik olarak ürün ağacında yer alan alt montaj parçaları olarak ele alınmıştır. Kalite evinde bu parçalar parça karakteristikleri olarak ifade edilmiştir. Her bir mühendislik metriği ile her parça karakteristiğinin arasındaki ilişki derecesi belirlenmiştir. Tablo 1 ile verilen bulanık ilişki skalası kullanılarak oluşturulan bulanık ilişki matrisi Tablo 11 ile gösterilmiştir.

Tablo 11. Mühendislik metrikleri ile parça karakteristiklerinin bulanık ilişki matrisi

Mühendislik metrikleri	Parça Karakteristikleri								
	Kontrol kutusu muhafazası						Baskılı devre kartı/ısı alıcı		
Termal iletkenlik	0.8	0.9	0.9	...	...	...	0.8	0.9	0.9
Parça Sayısı				...	...	...
Baskılı devre kartını çıkarma süresi				...	...	...
Baskılı devre kartını takma ve çıkarma için gerekli olan alet sayısı				...	...	...
Minimum sıkıştırma kuvveti	0.8	0.9	0.9	...	...	...
Ağırlık	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Kontrol kutusunun montaj süresi	0.2	0.3	0.4	...	...	...
Dizme toleransı	0.8	0.9	0.9	...	...	...	0.2	0.3	0.4
Boyut				...	...	...
Yapısal Bütünlük				...	...	...	0.2	0.3	0.4
Titreşim test performansı	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Tutma sisteminin toplam maliyeti	0.2	0.3	0.4	...	...	...

Bu aşamada mühendislik metrikleri, teknik gereklilikler olarak alınan parça karakteristikleri ile ilişkilendirilerek, parça karakteristiklerine ait göreceli önem ağırlıkları bulunmuş ve Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Parça karakteristiklerinin göreceli önem ağırlıkları

Aşama 2: Teknik gereklilikler; Parça karakteristikleri	Bulanık önem ağırlığı			Durulaştırılmış önem ağırlığı	Göreceli önem Ağırlığı (%)
Kontrol kutusu muhafazası	33.0	37.9	40.3	37.5	25.3
Ayarlama vidası	14.7	16.3	18.3	16.4	11.0
Yaylı pullar	15.9	18.2	20.6	18.2	12.3
Yollar	4.9	6.7	9.7	6.9	4.6
Arka kama	7.2	8.8	14.4	9.5	6.4
Arka dış gövde	3.2	3.2	6.4	3.7	2.5
Merkez gövde	3.2	3.2	6.4	3.7	2.5
Ön dış gövde	3.2	3.2	6.4	3.7	2.5
Ön kama	7.2	8.8	14.4	9.5	6.4
Kaldırma kolu	10.6	13.6	18.2	13.9	9.4
Pim	7.1	9.7	14.2	10.0	6.7
Baskılı devre kartı/Isı alıcı	12.2	15.3	18.6	15.3	10.3

5. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada, uzmanlar arasındaki görüş farklılıklarının, tasarım kararları alınırken kullanılan dilsel değişkenlerin süreçte yarattığı belirsizliği modelleyebilmek için KFY ile bulanık mantık birleştirilmiştir. Böylece tasarım kararlarının daha esnek bir ortamda ve bilimsel bir temelde alınması sağlanmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre teknik gereksinimler arasında minimum sıkıştırma kuvvetine ihtiyaç duyulması gereksiniminin firma tarafından öncelikle sağlanması gereken bir teknik özellik olduğu

belirlenmiştir. Minimum sıkıştırma kuvvetinin sağlanabilmesi için kullanılacak olan kontrol kutusu muhafazasının tasarımına, kullanılan ayarlama vidalarına ve yaylı pullara önem verilmelidir. Teknik gereksinimler açısından müşteri isteklerini karşılamada ikinci sırada yer alan dizme toleransı için de yine kontrol kutusu muhafazasının tasarımı önem taşımaktadır. Kutunun en boy ve yükseklik ölçülerine göre kartların dizilmesinde dikkat edilecek toleranslar değişecektir.

Müşteri istekleri arasında ise ısıyı yayabilme özelliği en önemli müşteri isteği olarak ortaya çıkmıştır. Eğer kutunun baskılı devre kartı tarafından iletilen ısıyı yayma özelliği olmazsa yüksek ısı nedeniyle toleranslar, kartlar ve kutunun formu bozulabilir. Bu durum kartların yuvalarından çıkmasına neden olabilir.

Gelecek dönem çalışmaları için. KFY başka yaklaşımlarla birleştirilerek uçuş güvenliği açısından önem taşıyan farklı parçaların tasarımında kullanılabilir. Tasarım kararlarındaki şüphe derecesini yansıtabilmek amacıyla sezgisel bulanık küme teorisi ile entegre edilebilir.

Kaynaklar

Azadnia, A. H. & Ghadimi, P. (2018). An Integrated Approach of Fuzzy Quality Function Deployment and Fuzzy Multi-Objective Programming Tosustainable Supplier Selection and Order Allocation. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 11(1): 191-200.

Bellman, R. E. & Zadeh, L. A. (1977). Local and fuzzy logics. *Modern uses of multiple-valued logic*, 103-165.

Bevan, N. (1999). Quality in use: meeting user needs for quality. *The Journal of Systems and Software*, 49(1): 89-96.

Büyüközkan, G. & Çifçi, G. (2015). An extended quality function deployment incorporating fuzzy logic and GDM under different preference structures. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(3): 438-454.

Chen, L. H. & Weng, M. C. (2003). A Fuzzy Model for Exploiting Quality Function Deployment. *Mathematical and Computer Modelling*, 38 (5–6): 559–570.

Dubois, D. & Prade, H. (1980). Systems of linear fuzzy constraints. *Fuzzy sets and systems*, 3(1): 37-48.
Kağnıcıoğlu, H.C. (2002). Ürün Tasarımında Kalite Fonksiyon Yayılımı. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. Uludağ Üniversitesi*, 1:177–188.

Klir, G.J. & Yuan, B. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logics*. Prentice Hall PTR. 1995.

Ko, W. C. & Chen, L. H. (2014). An approach of new product planning using quality function deployment and fuzzy linear programming model. *International Journal of Production Research*, 52(6): 1728-1743.

Lima-Junior, F.R. & Carpinetti, L.C.R. (2016). A multicriteria approach based on fuzzy QFD for choosing criteria for supplier selection. *Computers and Industrial Engineering*, 201:269-285..

Onar, S.Ç., Büyüközkan, G., Öztayşi, B., Kahraman, C. (2016). A new hesitant fuzzy QFD approach: An application to computer workstation selection. *Applied Soft Computing*, 46:1-16.

Raut, R. D. & Mahajan, V. C. (2015). A new strategic approach of fuzzy-quality function deployment and analytical hierarchy process in construction industry.

International Journal of Logistics Systems and Management, 20(2). 260-290.

Vinodh, S., Manjunatheshwara, K. J., Sundaram, S. K. & Kirthivasan, V. (2017). Application of fuzzy quality function deployment for sustainable design of consumer electronics products: a case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(4). 1021-1030.

Wu, S. M., Liu, H. C. & Wang, L. E. (2017). Hesitant fuzzy integrated MCDM approach for quality function deployment: a case study in electric vehicle. *International Journal of Production Research*, 55(15): 4436-4449.

Wu, X., Nie, L. & Xu, M. (2017). Robust fuzzy quality function deployment based on the mean-end-chain concept: service station evaluation problem for rail catering services. *European Journal of Operational Research*.

Wu, Y. H. & Ho, C. C. (2015). Integration of green quality function deployment and fuzzy theory: a case study on green mobile phone design. *Journal of Cleaner Production*, 108: 271-280.

Yan, H. B. & Ma, T. (2015). A group decision-making approach to uncertain quality function deployment based on fuzzy preference relation and fuzzy majority. *European Journal of Operational Research*, 241(3). 815-829.

Zadeh, L. A. (1987). *Fuzzy sets and applications: selected papers*.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8: 338-353.

Zaim, S., Sevkli, M., Akdağ, H.C., Demirel, Ö.F., Yayla, A.Y. (2016). Use of ANP weighted crisp and fuzzy QFD for product development. *Expert Systems with Applications*. 41:4464-4474.



Journal of Turkish Operations Management

RİSK DEĞERLENDİRMESİNDE CRITIC METODU İLE SEKTÖRLERİN KARŞILAŞTIRMASI

Yelda AYRIM¹, Gülin Feryal CAN²

¹ Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, yayrim@baskent.edu.tr

² Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, gfcancan@baskent.edu.tr

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 08.12.2017
Revised: 17.12.2017
Accepted: 25.12.2017

Research Article

Keywords:

CRITIC, Risk Assessment, Work Accident, Work Health and Safety, Correlation

ABSTRACT

Risk assessment (RA) refers to the actions to be done to determine the dangers existing in the work place or out of work place that may give damages to the workers, work environments, work place and to identify the measures that can be taken against dangers. RA minimizes the damages that may be caused by possible hazards are minimized. As the quality and productivity in the production are increased, the competitiveness of the company is also increased with RA. There are various methods used for RA in the literature. However, subjective evaluations are used to make decision and real values are not used to define the sector or company in term of risk level in these methods. Additionally, relations between criteria that effects the risk level are not considered. In the study, it is aimed to determine the work area which has the highest risk level by using qualitative values of criteria of work areas in different sectors that effects the risk level. In this context, by considering work accident numbers, death numbers, accident rates, death and disorder rates of 14 different work areas in mining, metal and transportation sectors, RA approach based on CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) which is one of the multi criteria decision making approach is advanced. CRITIC can compute the importance weights of criteria based on relations between these criteria using qualitative criteria values. It can model informations obtained from decision makers by considering contradictions and contrast intensity. As a result of the study, it is determined that textile manufacturing has the highest risk level.

MAKALE GİRİŞİ

Makale Geçmişi:

Geliş: 08.12.2017
Revize: 17.12.2017
Kabul: 25.12.2017

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

CRITIC, Risk Değerlendirmesi, İş Kazası, İş Sağlığı ve Güvenliği, Korelasyon

ÖZET

RD, işyerlerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin, işçilere, işyerine ve çevresine verebileceği zararların ve bunlara karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi amacıyla yapılması gerekli çalışmalarını ifade eder. RD ile olası tehlikelerin yol açabileceği zararların en aza indirilmesi, üretimde verimlilik ve kalitenin artırılması sağlandığı gibi firmanın rekabet gücünün artırılması da sağlanır. Literatürde kullanılan birçok RD yöntemi bulunmaktadır. Ancak, söz konusu yöntemlerde öznel değerlendirmelerle karar verilmekte ve sektörü ya da firmayı risk düzeyi açısından tanımlayan gerçek değerler kullanılmamaktadır. Ayrıca risk düzeyini etkileyen kriterlerin aralarındaki ilişkiler de dikkate alınmamaktadır. Çalışmada, farklı sektörlerde yer alan iş kollarının risk düzeyini etkileyen kriterlerin nicel değerleri kullanılarak risk düzeyi yüksek olan iş kolunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, madencilik, metal, inşaat ve ulaştırma sektörleri kapsamındaki 14 farklı iş koluna ait kaza sayıları, ölüm sayıları, kaza oranı, ölüm oranı ve hastalık olayları kriterleri göz önüne alınarak çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) yaklaşımı olan CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) yöntemine dayalı bir RD yaklaşımı geliştirilmiştir. CRITIC, nicel kriter değerlerini kullanarak objektif bir şekilde kriterlerin önem ağırlıklarının aralarında ilişkiler temelinde belirleyen ve karar vericilerden elde edilen bilgiyi zıtlık yoğunluğu ve çelişkilerden yola çıkarak modelleyebilen bir yöntemdir. Çalışmanın sonucunda tekstil imalatının en yüksek risk içeren iş kolu olduğu belirlenmiştir.

1.GİRİŞ

Risk değerlendirmesi (RD) İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) yönetim sisteminin önemli bir parçasıdır. Bu konuyla ilgili birçok çalışma RD'nin ne kadar hayati bir faaliyet olduğunu ortaya koymuştur (Özkılıç, 2009; Stamatis, 2003). Uluslararası Çalışma Örgütü, İSG'ni işyerinden veya işyeri çevresinden kaynaklanabilecek ve çalışanların sağlığını ve refahını bozabilecek tehlikelerin tahmin edilmesi, tanımlanması ve değerlendirilmesine ilişkin faaliyetlerin gerçekleştirildiği bir bilim olarak tanımlar (Alli, 2008). İş yerindeki fiziki çevre şartları, çalışma ortamı gibi sebeplerden ötürü işçilerin karşılaşabilecekleri sağlık ve güvenlik sorunlarının en aza indirilmesi veya ortadan kaldırılması için gerçekleştirilen analiz ve çalışmalar İSG faaliyetleri olarak tanımlanır. İSG'nin tam olarak sağlanabilmesi için iş ortamında oluşabilecek tehlikelerin, sağlığa zararlı olabilecek şartların, risk ve tehlike analizleri yapılarak ortadan kaldırılması gerekmektedir. İSG'nin sağlanması için alınan tedbirlerle hem işçi, hem işletme, hem de ülke korunmuş olur.

Risk, herhangi bir tehlikeli olayın meydana gelme olasılığı ile bu olayın sonuçlarının ortaya çıkardığı zarar ve hasar şiddetinin bileşkesidir (ÇSGB, 2007). Risk, bir tehlikeye bağlı zararın gerçekleşme olasılığını tanımlar. Riskin büyüklüğü, etkilenen kişi sayısı ve ortaya çıkan olumsuz durumun türüne bağlı olarak değişir.

RD kavramı mevzuata yeni girmiş olmakla birlikte içeriği ve kullanılan yöntemler yeni değildir. RD, işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları ifade eder. RD, ortaya çıkması muhtemel tehlikelerin tespit edilerek önlemler alınmasını sağlayan bir araçtır. RD'nde, sistem analizlerinin iyi yapılmış olması, gözlemlerin doğru bir şekilde raporlanmış olması ve planlı bir çalışmanın yürütülmüş olması gerekmektedir. Sistematik bir şekilde yapılmayan RD çalışması, asıl önlenmesi gereken hataların göz ardı edilmesine, zaman kaybı oluşmasına ve farklı hasar ya da zararlarla sonuçlanan olumsuz durumların yaşanmasına sebep olur. Buna göre RD amacıyla kullanılan yaklaşımın yeterli olup olmadığını belirlemek gereklidir. Kullanılan RD yaklaşımının kapsamlı, hassas sonuçlar üreten ve sistematik bir RD yöntemi olması önem taşımaktadır.

İşyerinde RD yapmak 6331 sayılı İSG Kanunu gereği zorunlu olduğu gibi, işletmenin ve ülkenin geleceği açısından da oldukça önemlidir. İşyerlerinde meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucunda büyük maddi kayıplar meydana gelmektedir. Ancak, gerek iş kazaları gerekse meslek hastalıkları, nedenleri önceden belirlenerek alınacak tedbirlerle önlenebilecek vakalardır. Bu bağlamda RD, çalışma ortamı, şartları ya da çevrede var olan tehlikelerden kaynaklanan riskleri, sistematik bir yolla ortaya çıkarmak, yok etmek veya kabul edilebilir seviyeye indirmek için, nitel ve nicel yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalardır.

RD yapılarak çalışanların sağlığının korunması, fiziksel ve psikolojik iş güvenliklerinin sağlanması amaçlanır. Üretimde verimlilik ve kalite artırılır. Çalışma ortamı ile ilgili alınması gereken önlemler belirlenir. Riskler önceliklerine göre sıralanır. Hangi çalışanların risk altında olduğu daha net bir şekilde görülebilir. İşletmede İSG bilincinin yerleşmesi sağlanır ve İSG uygulamalarının etkinlik derecesi gözden geçirilir. İşletmenin tedavi ve tazminat giderleri azalır ve prestiji artar.

Literatürde RD ile ilgili yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Burada, söz konusu çalışmalardan bazılarında yer verilmiştir. Karwowski ve Mital, güvenlik mühendisliği uygulamalarında bulanık küme teorisini kullanarak RD'ndeki belirsizliği matematiksel olarak modellemiştir (Karwowski ve Mital, 1986). McCauley-Bell ve Badiru (1992), farklı işçiler ve işler için risk seviyelerini tanımlayan bulanık mantığa dayalı uzman bir sistem geliştirmişlerdir. Grassi vd. (2009), klasik RD yöntemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmaya yönelik yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Jeong vd. (2010), nükleer tesis işçilerinin maruz kalabileceği nükleer ve nükleer olmayan riskleri bulanık mantığa dayalı risk matrisi yaklaşımı değerlendirmiştir.

Marhavilas vd. (2011) tarafından çalışma koşulları açısından kesin sonuçlar ortaya koyan bir nicel RD metodu geliştirilmiştir. Beriha vd. (2012), ölümcül olmayan farklı kazaların tahmininde bulanık mantık kullanmışlardır. Güranlı ve Müngen (2009) tarafından bulanık tabanlı bir risk analiz yöntemi kullanılarak tünel inşaatında çalışan işçilerin karşılaşılabileceği riskler değerlendirilmiştir. Jozi vd. (2015), Balarood barajının yapısal olarak yarattığı çevresel ve sağlık risklerini belirlemek amacıyla Delphi yöntemini kullanarak en önemli risk faktörlerini belirlemişler ve belirlenen risk faktörlerinin önem ağırlıklarını ise Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanarak hesaplamışlardır. Ayrıca, Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemini uygulayarak risk türlerini önceliklendirmişlerdir. Bazaras vd. (2017), Baltık Denizi limanlarında ortaya çıkan ulaşım risklerinin değerlendirilmesi için yeni bir kantitatif çok ölçütlü RD yöntemi önermişlerdir. Wang vd.(2017), RD’de var olan belirsizliği yansıtabilmek için değer aralıklı sezgisel bulanık sayıların kullanıldığı Complex Proportional Assessment (COPRAS) ve Analytic Network Process (ANP) yöntemlerini entegre ederek yeni bir yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

Literatüre bakıldığı zaman farklı RD yöntemlerinin olduğu görülmektedir. RD yöntemlerini birbirinden ayıran en önemli fark, risk derecesini bulmak için kullandıkları prosedürleridir. Yöntemler incelendiğinde risk kriterleri arasındaki ilişkinin yönü ve gücü ile nicel kriter değerlerini dikkate alan bir yöntem bulunmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, madencilik, metal, inşaat ve ulaştırma sektörleri kapsamındaki 14 farklı iş kolunun risk düzeyinin değerlendirilmesi için en önemli kontrol kriterleri olan kaza sayısı, ölüm sayısı, ölüm oranı, kaza oranı ve hastalık olayları dikkate alınarak söz konusu sektörlerin risk düzeylerine göre önceliklendirilmesi CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) yönteminin uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, madencilik, metal, inşaat ve ulaştırma sektörleri kapsamındaki 14 farklı iş koluna ait risk düzeyleri kaza sayısı, ölüm sayısı, ölüm oranı, kaza oranı ve hastalık olaylarına ilişkin Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanan 2016 yılına ait veriler kullanılmıştır. CRITIC, kriterler arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü korelasyon hesaplamalarına dayalı olarak belirleyen ve korelasyon katsayısını kullanarak bu değeri kriter önem ağırlıklarına yansıtan bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemidir. Yöntemde, alternatiflerin kriterlere göre aldığı nicel performans değerleri üzerinden objektif olarak kriter önem ağırlıkları hesaplanabilmektedir. Yöntemde, karar vericilerin öznel tercihleri dikkate alınmamaktadır. Alternatiflerin önceliklendirilmesinde ise her bir alternatifin nicel performans değeri normalize edilmekte ve bu normalize değer korelasyona dayalı objektif kriter ağırlığı ile çarpılmaktadır. (Diakoulaki vd., 1995; Deng vd.). CRITIC yöntemi uygulanarak aynı zamanda, diğer ÇKKV yöntemlerinde karşılaşılan karar vericiler arasında görüş birliği sağlanamaması problemi de ortadan kalkmıştır. Buna göre, karar probleminde söz sahibi olabilecek uygun karar vericilerin olmaması ya da bulunamaması problemi de önlenmiş olmaktadır (Deng vd., 2000). Bütün ÇKKV problemlerinde olduğu gibi alternatiflerin objektif olarak önceliklendirilmesi kriter ağırlıklarının objektif olarak hesaplanmasından yüksek oranda etkilenmektedir (Diakoulaki vd., 1995). Bu kapsamda, CRITIC RD’de de objektifliği sağlayabilecek pratik ve güçlü bir yöntemdir.

Çalışmanın ikinci bölümde CRITIC yöntemine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, madencilik, metal, inşaat ve ulaştırma sektörlerinde bulunan 14 farklı iş kolunun risk düzeyleri açısından CRITIC yöntemi kullanılarak değerlendirilmesine ilişkin uygulama anlatılmış, dördüncü bölümde ise sonuç ve tartışmalar sunulmuştur.

2. Metot

2.1. Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC)

Literatürde RD amacıyla kullanılan yöntemlerde öznel verilerle karar verilmekte ve sektörü ya da firmayı risk seviyesi açısından yansıtan gerçek değerler kullanılmamaktadır. Ayrıca, çoğu RD yönteminde risk kriterleri arasındaki ilişkilerin yönü ve derecesi de dikkate alınmamakta ve risk türlerinin risk kriterlerine göre aldıkları değerler arasındaki farklılaşmalarda analiz edilmemektedir.

Bu nedenle çalışmada, bahsi geçen dezavantajları ortadan kaldırmak için Diakoulaki vd. tarafından 1995 yılında önerilen CRITIC yöntemi ile bazı sektörlerde faaliyet gösteren iş kollarının risk seviyeleri açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

CRITIC’de kriterler arasındaki ilişkinin gücü ve yönü korelasyon hesaplamaları yapılarak elde edilmektedir. Bununla birlikte standart sapma hesaplamaları ile de alternatiflerin kriterlere göre aldıkları değerler arasındaki farklılaşmalar da dikkate alınmaktadır. Literatürde CRITIC kullanılarak gerçekleştirilen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

Çetinyokuş ve Özdil (2015) işletmelerin iş zekası raporlarını karşılaştırmak için CRITIC ve TOPSIS yöntemlerini uygulamışlardır. Alemi-Ardakani vd. (2016), kompozit yapı tasarımcılarına en iyi fiber alternatifinin seçimi için yeni bir ÇKKV yaklaşımı önermişlerdir. Yaklaşımında, fiber seçiminde etkili olan kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde entropi, modifiye dijital mantık (MDL) ve CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Bu önem ağırlıkları dikkate alınarak fiber alternatiflerinin sıralamasında ise TOPSIS yöntemini uygulamışlardır. Kılıç ve Çerçioğlu (2016) alternatif demiryolu hattı bağlantı projelerinin önceliklendirilmesi için kriter ağırlıklarını CRITIC, standart sapma (SD) ve ağırlıklandırılmış ortalama (MW) olmak üzere üç farklı yöntem ile belirlemişlerdir. Alternatif sıralamasında ise TOPSIS ve Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemlerini uygulayarak 6 farklı öncelik sırası elde etmiş ve sonuçları tartışmışlardır. Orakçı ve Özdemir (2017) tarafından Gri İlişkisel Analiz (GİA) ve MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis Ratio Analysis) yöntemleri uygulanarak ülkelerin insani gelişmişlik düzeyleri değerlendirilmiş ve yöntemlerden elde edilen sıralama sonuçları karşılaştırılmıştır. İnsani gelişmişlik düzeyinde etkili olan kriterlerin önem ağırlıkları Entropi ve CRITIC yöntemleri ile hesaplanmıştır. Ünlü vd. (2017) tarafından CRITIC uygulanarak Borsa İstanbul (BIST) 30 endeksinde yer alan firmalardan Borsa İstanbul Kurumsal Yönetim Endeksi (XKURY) kapsamında olan ve olmayan firmaların performansları üzerinde etkili olan kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve firmaların sıralamasında TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda CRITIC yöntemine ilişkin uygulama adımları yer almaktadır. Ghorabae vd. (2017), en iyi üçüncü parti lojistiği tedarikçisinin seçimi probleminde belirsizliği modelleyebilmek için aralık değerli tip-2 bulanık kümeleri (Interval Type-2 Fuzzy Sets (IT2FS)) kullanmışlar ve kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için CRITIC yöntemini uygulamışlardır. Lojistik firmalarının sıralanmasında ise Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) yönteminden yararlanmışlardır.

Adım 1. Başlangıç karar matrisini oluşturun.

A_i , $i=1, \dots, n$ alternatifleri ve C_j , $j=1, \dots, m$ kriterleri göstermek üzere her bir alternatifin her bir kritere göre aldığı değer b_{ij} olarak ifade edilir. b_{ij} değerlerinin bir araya gelmesiyle başlangıç karar matrisi [B] Eşitlik (1)’deki gibi oluşturulur.

$$[B] = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{l1} & b_{l2} & \cdots & b_{ln} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2. Normalize Başlangıç Karar matrisini oluşturun.

[B] matrisinde bulunan b_{ij} değerleri Eşitlik (2) kullanılarak normalize edilir ve normalize başlangıç karar matrisi [C] oluşturulur. [C] matrisinin her bir elemanı x_{ij} olarak ifade edilir.

$$x_{ij} = \frac{f_{ij} - f_j^*}{f_j^* - f_j^*} \quad (2)$$

Burada,

f_{j*} : j. kriter için alternatiflerin sahip olduğu en kötü değeri,

f_{j^*} : j. kriter için alternatiflerin sahip olduğu en iyi değeri göstermektedir.

Adım 3. Kriterler bazında standart sapmaları hesapla.

Her bir kriter için x_{ij} değerleri arasındaki standart sapma s_j Eşitlik (3)'deki gibi hesaplanır.

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum x_{ij} - \bar{x}_{ij}}{n-1}} \quad (3)$$

Adım 4. Çoklu korelasyonu hesapla.

[C] matrisindeki x_{ij} değerleri arasındaki çoklu korelasyon Eşitlik (4)'deki gibi hesaplanır ve ilişki matrisi [R] elde edilir. [R] matrisi $m \times m$ boyutunda simetrik bir matristir. [R] matrisinin her bir elemanı r_{ij} ile ifade edilir.

$$r_{jk} = \frac{\sum (x_{ij} - \bar{x}_{ij})(x_{ik} - \bar{x}_{ik})}{\sqrt{\sum (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2 (x_{ik} - \bar{x}_{ik})^2}} \quad (4)$$

Adım 5. İlişki yoğunluğunu belirle.

Kriter değerlerine ilişkin bilginin ve ilişkinin yoğunluğu I_j Eşitlik (5)'deki gibi hesaplanır.

$$I_j = s_j \cdot \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (5)$$

Herhangi bir kritere ait bilgi daha fazla ve diğer kriterlerle daha çok ilişki içerisinde ise ilgili kriter daha yüksek I_j değerine sahip olmaktadır.

Adım 6. Önem ağırlıklarını hesapla.

I_j değerleri kullanılarak her bir kriterin önem ağırlığı w_j Eşitlik (6)'daki gibi hesaplanır.

$$w_j = \frac{I_j}{\sum_{i=1}^m I_j} \quad (6)$$

Adım 7. Skor değerini hesapla.

[C] matrisindeki x_{ij} değerleri ile w_j değerleri Eşitlik (7)'deki gibi çarpılarak alternatifler için skor değerleri sk_i hesaplanır.

$$sk_i = \sum_{j=1}^n w_j \times x_{ij} \quad (7)$$

En büyük sk_i değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak kabul edilir.

3. UYGULAMA

Çalışmada, madencilik, metal, inşaat ve ulaştırma sektörleri kapsamındaki 14 farklı iş koluna ait kaza sayıları, ölüm sayıları, ölüm hızları, kaza hızları ve hastalık olayları kriterleri göz önüne alınarak CRITIC yöntemi ile iş kollarının risk düzeylerine göre önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda yer alan Tablo 1’de söz konusu 14 iş kolu gösterilmektedir.

Tablo 1. Değerlendirmeye alınan iş kolları

05-Kömür ve Linyit Çıkartılması
06-Ham Petrol ve Doğalgaz çıkarımı
07-Metal Cevheri Madenciliği
08-Diğer Madencilik ve Taş ocakçılığı
09-Madenciliği destekleyici hizmet faaliyetleri
10-Gıda ürünlerinin imalatı
13-Tekstil ürünlerinin imalatı
22-Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı
23-Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı
25-Makine ve teçhizat hariç. fabrikasyon metal ürünleri imalatı
41-Bina inşaatı
42-Bina dışı yapıların inşaatı
43-Özel inşaat faaliyetleri
49-Kara taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığı

İş kollarına ait veriler Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanan 2016 yılına ait İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri’n den elde edilmiştir. Aşağıda, CRITIC yönteminin Bölüm 2.1.’de verilen uygulama adımları işletilerek iş kollarının risk düzeyleri belirlenmiştir.

Adım 1. Başlangıç karar matrisini oluştur.

14 farklı iş kolu A_i , $i=1, \dots, 14$ alternatifleri temsil etmiş ve bu alternatifler kaza sayısı (C_1), ölüm sayısı (C_2), kaza oranı (C_3), ölüm oranı (C_4), ve hastalık olayları (C_5), olmak üzere beş farklı C_j , $j=1, \dots, 5$ kriterine göre değerlendirilmiştir. Buna göre başlangıç karar matrisi olan [B] matrisi Eşitlik (1)’deki gibi oluşturulmuş ve Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Başlangıç karar matrisi

A_i	Kaza sayısı (adet) (C_1)	Ölüm sayısı (adet) (C_2)	Kaza oranı (%) (C_3)	Ölüm oranı (%) (C_4)	Hastalık olayları (adet) (C_5)
A_1	8274	11	220	29	18762
A_2	112	0	40	0	1126
A_3	1037	8	45	35	7137
A_4	2045	64	33	104	14478
A_5	324	0	43	0	1470
A_6	14351	32	33	7	124733
A_7	13446	27	33	7	141306
A_8	9258	10	47	5	68006
A_9	11721	48	54	22	79565

A ₁₀	20616	27	54	7	118460
A ₁₁	20159	239	17	20	85239
A ₁₂	9516	130	26	35	56128
A ₁₃	14877	127	46	39	43943
A ₁₄	7246	179	13	33	83163

Adım 2. Normalize Karar matrisini oluşturun.

Normalize karar matrisi [C] Tablo (3)'teki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3. Normalize karar matrisi

A _i	Kaza sayısı (adet) (C ₁)	Ölüm sayısı (adet)(C ₂)	Kaza oranı (%) (C ₃)	Ölüm oranı (%) (C ₄)	Hastalık olayları (adet) (C ₅)
A ₁	0,60	0,95	0,00	0,72	0,87
A ₂	1,00	1,00	0,87	1,00	1,00
A ₃	0,95	0,97	0,85	0,67	0,96
A ₄	0,91	0,73	0,90	0,00	0,90
A ₅	0,99	1,00	0,86	1,00	1,00
A ₆	0,31	0,87	0,90	0,93	0,12
A ₇	0,35	0,89	0,91	0,94	0,00
A ₈	0,55	0,96	0,84	0,95	0,52
A ₉	0,43	0,80	0,80	0,79	0,44
A ₁₀	0,00	0,89	0,80	0,93	0,16
A ₁₁	0,02	0,00	0,98	0,81	0,40
A ₁₂	0,54	0,46	0,94	0,66	0,61
A ₁₃	0,28	0,47	0,84	0,62	0,69
A ₁₄	0,65	0,25	1,00	0,68	0,41

Adım 3. Kriterler bazında standart sapmaları hesapla.

s değerleri Eşitlik (3)'teki gibi hesaplanmış ve sonuçlar Tablo (4)'te verimiştir.

Tablo 4. Kriterlere ilişkin standart sapma değerleri

Standart sapma s _j , j=1,...,5				
s ₁ 0,34	s ₂ 0,21	s ₃ 0,24	s ₄ 0,26	s ₅ 0,34

Adım 4. Çoklu korelasyonu hesapla.

İlişki matrisi [R] Tablo (5)'teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5. İlişki matrisi

	Kaza sayısı (adet) (C ₁)	Ölüm sayısı (adet)(C2)	Kaza oranı (%) (C3)	Ölüm oranı (%) (C4)	Hastalık olay- ları (adet) (C5)
Kaza sayısı (adet) (C ₁)	1,00	0,44	-0,05	-0,24	-0,79
Ölüm sayısı (C2)	0,44	1,00	-0,37	0,28	0,22
Kaza oranı (%) (C3)	-0,05	-0,37	1,00	0,00	-0,27
Ölüm oranı (%) (C4)	-0,24	0,28	0,00	1,00	-0,32
Hastalık olay- ları (adet) (C5)	0,79**	0,22	-0,27	-0,32	1,00

** Korelasyon 0.01 seviyesinde anlamlıdır (çift kuyruk testi)

Adım 5. İlişki yoğunluğunu belirle.

Eşitlik (5) kullanılarak I_j değerleri hesaplanmış ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: I_j değerleri

C _j j=1,...,5	I _j j=1,...,5
Kaza sayısı (C ₁)	1,03
Ölüm sayısı (C2)	1,08
Kaza oranı (C3)	1,14
Ölüm oranı (C4)	1,11
Hastalık olayları (C5)	1,76

Adım 6. Önem ağırlıklarını hesapla.

Eşitlik (6) kullanılarak w_j değerleri bulunmuş ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 7. Önem ağırlığı değerleri

	W _j
Kaza sayısı (C ₁)	0,17
Ölüm sayısı (C2)	0,18
Kaza oranı (C3)	0,19
Ölüm oranı (C4)	0,18
Hastalık olayları(C5)	0,29

Adım 7. Skor değerini hesapla.

Eşitlik (7) kullanılarak bulunan sk_i değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. İş kollarına ait skor değerleri ve sıralama

	sk_i	Sıralama
5	6833,59	10
6	349,94	14
7	2242,29	12
8	4542,38	11
9	485,07	13
10	38284,84	2
13	42896,02	1
22	21118,74	7
23	24867,02	6
25	37538,01	3
41	27943,59	4
42	17770,12	8
43	15172,70	9
49	25166,26	5

Tablo 8'e bakıldığı zaman, dikkate alınan değerlendirme kriterleri çerçevesinde tekstil imalatının risk seviyesi en yüksek olan iş kolu olduğu görülmektedir. Bu sektörü sırasıyla, gıda ürünleri imalatı, makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürünleri imalatı takip etmektedir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

RD amacıyla kullanılan yöntemler genellikle dilsel değerlendirmeleri içermekte ve öznel olmaktadır. Buna göre çalışmada kullanılan CRITIC yöntemi ile nitel ve objektif değerler üzerinden analiz gerçekleştirilebilmiş ve kriterler arasındaki ilişkinin derecesi ve yönü de dikkate alınarak iş kollarının risk sıralaması yapılmıştır.

CRITIC yöntemi ile kriter önem ağırlıkları kriterler arası ilişkilere dayalı olarak hesaplanmaktadır. Burada temel amaç pozitif ilişkinin ön plana çıktığı kriterlerin değerlendirme açısından ağırlıklarının daha fazla olmasının sağlanmasıdır. Böylece karar sürecinde bu tür kriterlerin etkisi daha fazla olacaktır. Buradan hareketle %29 ile "hastalık olayları" kriterinin en yüksek önem ağırlığına sahip olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, diğer kriterlere göre iş kollarını değerlendirirken daha fazla öneme sahip olan kriter hastalık olayları kriteridir. Bu kriteri sırasıyla kaza oranı (%19), ölüm sayısı (%18), ölüm oranı (%18) ve kaza sayısı (%17) izlemektedir.

Çoklu korelasyon matrisindeki korelasyon katsayılarına bakıldığı zaman hastalık olayları kriteri ile kaza sayısı ve ölüm sayısı kriteri arasında ortaya çıkan korelasyon katsayılarının pozitif olduğu ancak kaza oranı ve ölüm oranı kriterleri ile arasında çıkan korelasyon katsayılarının negatif olduğu görülmektedir. Ancak pozitif değerler negatif değerlere göre daha büyük olduğu için hastalık olayları kriterinin önem ağırlığı daha fazla çıkmaktadır. Bununla birlikte pozitif yönlü ve en yüksek ilişki de yine hastalık olayları kriteri ile kaza sayısı kriteri arasında çıkmıştır. Bu kapsamda, yüksek önceliğe sahip kriter en yüksek pozitif yönlü korelasyona sahiptir denilebilir.

Dünyada gerçekleşen ölüm nedenlerine bakıldığında işe bağlı ölümlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Türkiye'de de işçi sağlığı ve iş güvenliği kapsamında sektörler bazında problemlerin devam ettiği görülmektedir. Buna göre, risk seviyesi en yüksek olan iş kollarının belirlenmesi ve öncelikle bu iş kollarına yönelik önlemlerin alınması hem işçilerin korunması hem de iş yerlerinin korunması açısından gereklidir.

Bu sebeple çalışmada hangi iş kolunun daha riskli olduğunu bulmak amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tekstil imalatı en yüksek risk içeren iş koludur ve bu iş kolunda İSG açısından riskleri azaltabilecek önlemlerin alınmasına öncelik verilmelidir.

Tekstil, hayvansal veya bitkisel lifli ürünler olarak tanımlanır. Tekstil imalatı, giyilebilen her şey ve bazı dekorasyon ürünlerinin üretimini de içine alan bir iş koludur. Tekstil sektörü, dış ticarete ülke ekonomisine en çok katkıyı sağlayan üretim sektörlerinden biridir.

Türkiye’de tekstil ürünlerinin üretimi gelişen teknolojiye rağmen hala insan işgücü odaklıdır. Bu da tekstil sektörünün İSG açısından son derece ciddiye alınması gereken bir sektör olmasını gerektirir. Sektör incelendiğinde bir takım hastalıklar ve kazaların bir arada yaşandığı gözlenmektedir. Hastalıklar, hem kimyasal tehlikelerden hem de fiziksel tehlikelerden kaynaklı olabilmektedir.

Tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılan çok çeşitli kimyasal maddeler vardır. Bunlar boyalarda, yapıştırıcılarda, kumaşların işlenmesinde kullanılan ve insan sağlığına zararlı olabilen tehlikeli maddelerdir. Bunlar kanserojen içerikli olması sebebiyle kimyasal tehlikeyi temsil ederken; diğer taraftan tekstil sektörü insan gücüne dayalı bir sektör olduğundan çalışma ortamları oldukça kalabalık ve sıkışık. Bu koşullarda çalışanların vücut yapılarına uygun çalışma ortamlarının düzenlenmesinin zorlaşması ise fiziksel tehlikeyi temsil etmektedir.

Kazalar açısından bakıldığında ise tekstil sektörünün tüm aşamalarında birçok farklı makine kullanılır. Bu makinelerin kullanımı sırasında gerekli önlemler alınmadığı takdirde ciddi iş kazaları yaşanabilir. Özellikle makinelerin hareketli kısımlarına parmak, el ve kolların sıkışması ezilmelere kopmalara, kırılmalara ve amputasyona neden olabilecek sonuçlar doğurabilir. Bu sebeple tekstil ciddi derecede risk barındıran bir sektör haline gelmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, aynı kriterlere ait geçmiş dönem verileri de dikkate alınarak, iş kolları bazında risk seviyesi açısından bir eğilimin olup olmadığı belirlenebilir. Böylece zamanla iş kolları bazında risk düzeyi açısından gelişmeler takip edilebilir. Farklı kriterler dikkate alınarak iş kollarının risk düzeyleri hesaplanabilir ya da farklı iş kollarının kıyaslanması için de önerilen yöntem kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Alemi-Ardakani M., Milani A.S, Yannacopoulos S. ve Shokouhi G. (2016), On the effect of subjective, objective and combinative weighting in multiple criteria decision making: A case study on impact optimization of composites, *Expert Systems With Applications* 46, 426–438. Alli, B. O. (2008), *Fundamental Principles of Occupational Health and Safety*, Geneva: UÇÖ.

Bazaras D., Palšaitis R., Petraška A. ve Zvaigzne A.(2017), Criteria System Of Emergency Situations Risks Assessment In The Baltic Sea Ports, *Transport and Telecommunication*, 18(4), 275–281.

Beriha G.S., Patnaik B. Ve Mahapatra S.S. (2012), Assessment of safety performance in Indian industries using fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3311–3323.

Ceylan H. ve Başhelvacı V. S. (2011), Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.3, No.2, June 2011.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Yayınları (2007), 5 Adımda Risk Değerlendirmesi, Genel Yayın No:140, Ankara, s.:30.

Deng, H., Yeh, C.H. ve Iliş, R.J. (2000), Inter-Company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights. *Computers & Operations Research*, 27(10), 963-973.

- Diakoulaki D., Mavrotas G. ve Papayannakis L. (1995), Determining Objective Weights In Multiple Criteria Problems: The Critic Method, *Computers and Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Ghorabae M.K., Amiri M., Zavadskas E. K. ve Antuchevičienė J. (2017), Assessment of third-party logistics providers using a CRITIC–WASPAS approach with interval type-2 fuzzy sets, *Transport*, 32(1), 66-78.
- Grassi A., Gamberini R. ve Mora C. (2009), A fuzzy multi attribute model for risk evaluation in workplaces. *Safety Science*, 47(5), 707–716.
- Gürcanlı G.E. ve Müngen U. (2009), An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2), 371–387.
- Jeong K-S., Lee K-W. ve Lim H-K. (2010), Risk assessment on hazards for decommissioning safety of a nuclear facility. *Annals of Nuclear Energy*. 37(12), 1751–1762.
- Jozi S. A., Shoshтары M. T. ve Zadeh A. R. K. (2015), Environmental risk assessment of dams in construction phase using a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21(1), 1-16.
- Karwowski W. ve Mital A. (1986), Potential applications of fuzzy sets in industrial safety engineering. *Fuzzy Sets and Systems*; 19, 105–120.
- Kılıç O. ve Çerçioğlu H. (2016), Application of Compromise Multiple Criteria Decision Making Methods For Evaluation Of Tcdd's Railway Lines Projects, *Journal of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 31(1), 211-220.
- Marhavilas P.K., Koulouriotis D. ve Gemeni V. (2011), Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: on a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in Process Industries*. 24(5), 477–523.
- Orakçı, E., Özdemir, A. (2017), Telif edici çok kriterli karar verme yöntemleri ile Türkiye ve AB ülkelerinin insani gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesi. *Journal of Economics & Administrative Sciences/Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1).
- Özkılıç, Ö. (2009), "Büyük endüstriyel kazaları önleme çalışmalarında kritik sistemlerin tespiti ve risk değerlendirme yaklaşım ve yöntemleri", *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Bildirisi*, Ankara, 22-24.
- Pamela McCauley-Bell M.S. ve Badiru A.B. (1992), A fuzzy linguistics model for job related injury risk assessment. *Computers and Industrial Engineering*, 23(1–4), 209–212.
- Stamatis D. H. (2003), *Failure mode and effects analysis: FMEA from theory to execution*, 2nd ed., ASQC Quality Press, Wisconsin.
- Ünlü, U., Yalçın, N., Yağlı, İ. (2017), Kurumsal yönetim ve firma performansı: TOPSIS yöntemi ile BIST 30 firmaları üzerine bir uygulama. *Dokuz Eylül University Journal of Graduate School of Social Sciences*, 19(1).
- Wang L., Liu H. ve Quan M. (2017), Evaluating the risk of failure modes with a hybrid MCDM model under interval-valued intuitionistic fuzzy environments, *Computers & Industrial Engineering* 102, 175–185.

About Us

Ankara Yildirim Beyazit University Industrial Engineering is an institution which is equipped with high level knowledge and experience in the field of methodological and technological tools used in its field, which is able to make a difference in competitive environments and develop itself scientifically and technologically, open to continuous learning, confident and initiative, educating engineers who can express themselves in Turkish and English effectively form the basic mission.

It aims to increase the competition power by working integrated with companies and public institutions in the industry, to design and develop production and service systems, to carry out academic and educational activities in the control and operation areas of these systems, to enable the students to have necessary equipment during the education period, to provide them with the opportunity to be trained as engineers and to present innovative approaches to their implementation by sharing various seminars, workshops, training programs and publications with the solutions and the developments put forward in the theory and practitioners.

Seven full-time faculty members of our department started taking students as of Fall Semester 2017-2018 with five research assistants. Our academic staff are constantly growing in the framework of our work areas. With the new and dynamic team of our department aiming to become one of the best engineering discipline of Industrial Engineering. Our faculty members who are open to current developments and act with the self-renewing mentality aim to be one of the best in their field in a structure ready to develop themselves in every sense.

In addition to basic Industrial Engineering approaches, our department tries to make a difference in four areas:

Ergonomics and Design of Business Environment: Ergonomic improvements enable the working environment to be cleaned from hazards and accidents; the work motivation of the person is transformed into an enhancing atmosphere. In addition, due to ergonomic problems, work is prevented, and the cycle time is reduced. Ergonomic regulations do not cover only the production environment; but also, office ergonomics, hospital ergonomics, city ergonomics

System Engineering: System engineering enables the design, production, maintenance and termination of complex systems or subsystems that make up these systems to be carried out, taking into account time, cost, quality, efficiency and ethical constraints, especially with economic fluctuations. By focusing on the individual components of the system, thanks to the system engineering approach, the entire system is treated as a whole and an interdisciplinary approach is adopted to solve problems and problems more quickly.

Manufacturing Management: The risks facing as a result of the increasing globalization and rapidly developing technologies, and increased international trade and relations have also changed. Now currency movements in the money markets have become one of the most important risks facing institutions. Risk Management has emerged as a very important discipline due to these developments.

Economics and Financial Engineering: Financial Engineering conducts the simulation of the operation of financial instruments required for the realization of risk management in the money market, correct pricing and mathematical modeling. Techniques such as stochastic processes, simulation and optimization which are frequently used in Operations Research can be used in Finance Engineering applications. In addition, interest-free risk management activities have gained considerable importance in order to reduce the interest and systemic risks of interest.

