






Basıncılı kaplarda malzeme seçimine yönelik bir karar destek sisteminin geliştirilmesi

Arif Balcı¹ , Mustafa Yurdakul¹ , Yusuf Tansel İç^{2*} 

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Ankara, 06570, Türkiye

²Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Etimesgut, Ankara, 06810, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Bu çalışma basıncılı kap bileşenlerinin seçimine yönelik bir karar destek sistemi sunmaktadır
- Geliştirilen sistem iki ayrı fazdan oluşur. İlk olarak eleme fazında kullanıcı alternatif malzemeler arasından uygun bir set elde eder
- İkinci fazda alternatif malzemeler TOPSIS, VIKOR ve ELECTRE metodları kullanılarak sıralanırlar

Makale Bilgileri

Geliş:01.09.2016

Kabul:27.12.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406784

Anahtar Kelimeler:

Basıncılı kaplar,
malzeme seçimi,
çok kriterli karar verme

ÖZET

Malzeme alanında kullanılan yöntemlerde oluşan gelişmeler ve sürekli artan malzeme çeşitliliği, malzeme seçiminde yeni yaklaşımlar kullanılmasını gerekli hale getirmiştir. Bu makalede basıncılı kaplarda verilen malzeme seçim kararlarını daha sistematik ve kapsayıcı yapmak için MATSEL olarak adlandırılan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. İki aşamalı bir yapısı olan MATSEL ilk aşamada bir ön eleme işlemi yaparak verilen basıncılı kap parçasının tanımlanan koşullarına göre aday malzemeleri belirler. İkinci aşamada ise çok kriterli karar verme yöntemleri olan TOPSIS, ELECTRE ve VIKOR ile aday malzemeler arasında sıralamalar oluşturulur. Her aday malzeme için üç ayrı yöntemdeki sıralamaların toplamı aday malzemenin kullanıcıya hangi sırada önerileceğini belirler. En düşük toplam sıralama notu alan aday malzeme kullanıcıya ilk sırada önerilir. Çalışmada ayrıca sıralamalar arasındaki istatistiksel benzerlik Spearman Sıra İlişkisi Testi kullanılarak ölçülmüştür ve farklılıkların nedenleri incelenmiştir. MATSEL'in aralarından seçim yapılabilmesi için oluşturulan malzeme veri tabanında bulunan malzemeler ve özellikleri ASME (American Society of Mechanical Engineers) ve Ashby malzeme seçim diyagramları kullanılarak elde edilmiştir.

Development of a decision support system to select materials for pressure vessels

H I G H L I G H T S

- This study proposes a decision support system for pressure vessel components
- The developed system consists of two separate phases. In the first elimination phase the user obtains a feasible set of alternative materials
- In the second phase, the alternative materials are ranked using TOPSIS, VIKOR, and ELECTRE methods

Article Info

Received: 01.09.2016

Accepted: 27.12.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406784

Keywords:

Pressure vessels,
material selection,
multi criteria decision
making

ABSTRACT

Improvements in technologies applied in material field and continual increase in the number of material types force to develop and use new approaches in material selection. In this paper, a multi-criteria decision support system, called MATSEL, is developed to make material selection decisions for pressure vessel components more thorough and inclusive. MATSEL consists of two separate stages. In the first elimination stage of the MATSEL, it obtains a feasible set of materials for a specified pressure vessel component. MATSEL, then, uses three different multi criteria approaches namely ELECTRE, TOPSIS and VIKOR in the second stage to rank the feasible materials. An overall total score is obtained by summing the rankings of every feasible material and MATSEL proposes the material with the lowest total score as the most suitable one for the specified component. In this study, the statistical similarities between the rankings are also calculated to analyze the differences between rankings if there are any. Instead of inputting the materials every time MATSEL is used, a material data base is formed with the usage of ASME (American Society of Mechanical Engineers) and Ashby material selection diagrams for selection of alternative materials for the specified application.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ytansel@baskent.edu.tr/ Tel: +90 312 246 6664

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yüzbinleri aşan malzeme sayısı ve malzeme seçimi yapılacak alanların birbirleriyle ortak noktalarının azlığı, malzeme seçiminde belli bir alana odaklanmış seçim modellerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu makalede malzeme seçiminin kapsamı basınçlı kaplar ile sınırlandırılmıştır. Amaç, basınçlı kaplarda mevcut olan parçalar için en uygun malzemelerin seçimini yapacak bir yaklaşımın geliştirilmesidir. Basınçlı kaplar 0,5 atmosfer basınç ve üzerinde bir iç basınca sahip sıvı ve gazların üretiminde, taşınmasında ve depolanmasında kullanılan küre, silindirik veya koni şeklinde atmosfere kapalı ekipmanlar olarak tanımlanmış ve kullanım alanları ısıtma sistemleri, basınçlı hava-su sistemleri, kimyasal madde depolama ve sanayi gaz depolama tankları olarak verilmiştir [1]. Basınçlı kaplar gibi daraltılmış bir alanda bile seçim probleminin zorluğunu göstermek için yakıtın yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisini ısı değiştirici borular ile taşıyıcı akışkana aktaran cihazlar olarak tanımlanan kazanlar örnek gösterilebilir. Her farklı kazan tipinin kendi tipine ait özellikleri ve çalışma mantığı bulunmaktadır. Örneğin, alev-duman borulu kazanlarda, cehennemlik adı verilen bölümde yakıtın yanması ile yüksek sıcaklık oluşmakta ve oluşan ısı yüzeylerden ve sıcak duman tahliye borularının dışından geçen akışkana iletilmektedir. Duman boruları dışındaki akışkan ve içinden geçen duman nedeniyle sürekli bir basınç altında kalmaktadır. Bu tip kazanlarda oluşan yanma gazları, ortam kirleticileri ve yanma veriminin düşük olması halinde açığa çıkan karbon ve hidrokarbonlar kazan parçalarında asidik korozyona neden olurlar [2, 3]. Asidik korozyonun yanı sıra, yanma sırasında ortamda küllürlük varlığı sülfidasyona yol açar [4]. Bu durumda seçilecek malzemenin istenen diğer özelliklerle beraber asidik korozyona ve sülfidasyona dayanıklı olmaları gerekir. Basınçlı kaplarda kazanlardan başka gövde borulu, plakalı ve kanatlı tipleri olan ısı değiştirgeçleri ve genleşme tanklarının yanı sıra depolama ve taşıma amaçlı olarak iki gruba ayrılan basınçlı kaplar bulunur. Isı değiştirgeçleri içinde yüksek sıcaklık, sıcaklığa bağlı olarak genleşme, basınç değişimleri, korozyon, erozyon (özellikle borulu ısı değiştirgeçlerinde akışkan yön değişimine bağlı olarak boru kıvrımlarında ve dönüşlerde metal erozyonu) olabilmektedir. Genleşme kaplarının ise çalışmaları sırasında dış ortamla ısı transferi olmaması ve kabın ısıl genleşme göstermemesi ve basınç değişimlerine karşı dayanıklı olması önemlidir. Her iki tip basınçlı kaptan da depolanan veya taşınan akışkanın yüksek basınçlı ve uyguladığı basıncın değişken yapıda olduğundan dolayı mekanik özellikler oldukça önemlidir. Akışkanın neden olacağı korozyona ise tüm basınçlı kaplarda olduğu gibi bu kaplarda da önlem alınması gerekmektedir.

Literatürde farklı tiplerde ve farklı amaçlarla kullanılacak basınçlı kaplar için malzeme seçimi yapan bir çalışma mevcut olmamasına rağmen, sadece belirli bir amaç için kullanılacak basınçlı kaplar için özel nitelikli malzeme seçimine yönelik çalışmalara rastlanmaktadır. Malzeme seçimine yönelik literatürde yıllık üretim miktarı, birim maliyet, sıcaklık, dayanım gibi malzemedeki beklenen

özelliklerde istenen değerleri sağlayan malzemeleri gösteren tabloları ve şekilleri kullanan klasik malzeme seçim yöntemleri ile beraber, son yıllarda literatürde yoğun olarak görülen çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerini kullanan çalışmalar da bulunmaktadır. Tablo 3'te özetlenen örnek çalışmalar için verilen seçim yöntemleri ve seçim kriterlerine ilişkin kısaltmaların detayları Tablo 1 ve Tablo 2 içerisinde yer almaktadır. ÇKKV yöntemleri seçilen kriterler arasında bir ağırlıklandırma yapar. Aday (alternatif) malzemelerin kriterler karşısında performansları ile kriter ağırlıkları birleştirilerek malzemenin sıralama notu elde edilir. Aday malzemeler elde edilen sıralama notlarına göre büyükten küçüğe sıralanır ve ilk sıradaki aday malzeme kullanıcıya en uygun malzeme olarak önerilir. ÇKKV malzeme seçim literatüründe aday malzemeleri sıralamada kullanılan yöntemler kadar doğru kriterlerin seçimi de çok önemlidir. Örneğin, Wang ve Chang yaptıkları çok kriterli takım malzemesi seçim çalışmasında kriter olarak; sertleştirilebilirlik, tokluk, yumuşama direnci, aşınma direnci, işlenebilirlik ve malzeme maliyetini kullanmışlardır [5]. Trethewey ve arkadaşları ise kaplama malzemesi seçerken; malzemenin sertlik, tokluk, Young modülü, kayma modülü, çalışma sıcaklığı, aşınma direnci, kimyasal direnç, boyut, şekil, yüzey sertliği, malzeme içi bağ dayanımı ve biyokirilliliğe karşı direnç kriterlerini dikkate almışlardır [6]. Bir diğer çalışmada, Jee and Kang volan için malzeme seçerken; yorulma limiti, kırılma tokluğu, yoğunluk ve fiyat kriterlerini kullanmışlardır [7]. Rao ise kriyojenik sıvı nitrojen depolama tankı için malzeme seçiminde; tokluk indeksi, akma dayanımı, Young modülü, yoğunluk, ısıl genleşme, termal iletkenlik ve özgül ısı kriterlerini göz önünde bulundurmıştır [8]. Qian ve diğerleri fiber matrisli kompozit malzemeleri seçerken, katılık gereksinimlerini karşılayabilecek olan fiber mimarisi ile ilişkili parametreleri kullanmışlardır [9]. Literatürde basınçlı kaplarda malzeme seçimi ile ilgili tasarım kuralları için [10] nolu kaynağa bakılabilir. Basınçlı kaplar için malzeme özelliklerinin belirlenmesinde [11, 12] nolu kaynaklar kullanılabilir.

Tablo 1. ÇKKV metodlarına ait kısaltmalar
(Abbreviations for the MCDM methods)

Sembol	Yöntem
MUI	Malzeme Uygunluk İndeksi
AÖM	Ağırlıklandırılmış Özellik Metodu
BTS	Bilgi Tabanlı Sistem
ÖMSM	Önerilmiş Malzeme Seçim Metodu
GDM	Geliştirilmiş Dijital Mantık
YSAGA	Yapay Sinir Ağları Genetik Algoritma
GMSÖ	Genel Malzeme Seçim Özellikleri
ÖMSÖ	Özgül Malzeme Seçim Özellikleri
BKSY	Bulanık Küme Sistemi Yaklaşımı

Malzeme seçim literatürde bulunan ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların kısıtlı bir alanda (belirli bir parça için) malzeme seçimi yaptığı ve aday malzemelerin bir ön seçim çalışması olmadan doğrudan ilgili ÇKKV yöntemine girdi olarak verildiği görülmektedir.

Tablo 2. Malzeme seçim kriterlerine ait kısaltmalar (Abbreviations of material selection criteria)

Sembol	Özellik	Sembol	Özellik	Sembol	Özellik
A	Ağırlık	ER	Eğilme rijitliği	ÖA	Özgül ağırlık
AD	Akma dayanımı	F	Fiyat	ÖD	Özgül dayanım
AŞD	Aşınma direnci	G	Gözeneklilik	Öİ	Özgül ısı
B	Boyut	GD	Geri dönüşüm	PG	Parça geometrisi
BAD	Bağıl aşınma direnci	GZD	Gözenek dağılımı	PO	Poission oranı
BD	Basma dayanımı	IGK	Isıl genleşme katsayısı	R	Rijitlik
BKD	Biyokirliğe karşı direnç	İİ	Isıl iletkenlik	S	Sertlik
BT	Bağıl tokluk	IYD	Isıl yumuşama direnci	SŞ	Servis Şartı
ÇD	Çekme dayanımı	İ	İşlenebilirlik	ŞK	Şekil
ÇE	Çevre etkisi	KD	Korozyon direnci	T	Tokluk
ÇR	Çekme rijitliği	KD	Kayma dayanımı	U	Uzama
ÇS	Çalışma sıcaklığı	KİMD	Kimyasal direnç	Y	Yoğunluk
D	Dayanım	KM	Kayma modülü	YA	Yüzey alanı
DK	Doku toleransı	KS	Knoop sertliği	YD	Yorulma dayanımı
DT	Darbe tokluğu	KT	Kırılma tokluğu	YM	Young modül
EA	Enerji absorbesi	MBD	Malzeme içi bağ dayanımı	YS	Yüzey sertliği
ED	Eğilme Dayanımı	MF	Malzeme fiyatı		
EL	Elastik limit	MTE	Malzeme temin edilebilirliği		
EM	Elastik modül	O	Osseointegration		

Tablo 3. ÇKKV metotları kullanılarak yapılmış malzeme seçim çalışmaları (Material selection studies made by using MCDM methods)

Parça	Yöntem	Seçim Kriterleri	Seçilen Malzeme
Diz protez pini [13]	VIKOR	DT, KD, ÇD, YD, BT, EM, ÖA, F	Co-Cr Alaşımı
Yüksek sıcaklıkta çalışan parka [14]	VIKOR	ÇD, AD, Y, KD	316L Östenitik çeliği
Kreyejonik sıvı depolama tankı [8]	MUİ	ÇD, MF, Y, S, İİ, KD	SS301 FH
Volan [7]	TOPSIS	YD, KT, Y, F	
Kreyejonik sıvı depolama tankı [15]	AÖM	T, AD, YM, Y, IGK, İİ, Öİ	SS301 FH
Motor piston [16]	BTS	Y, S, KD, AŞD, ÇD, EM, KT	SiC katkılı ZrB ₂
Endüstriyel robot malzemesi [17]	ÖMSM	R, D, DT, IG, F, A, ÇE	Alüminyum
Kaplama malzemesi [6]	BTS	S, T, YM, KM, ÇS, AŞD, KİMD, B, ŞK, YS, BKD, MBD	Kömür katran epoksi
Aşındırıcı malzemesi [18]	Bulanık TOPSIS	KS, EM, BD, KD, İİ, KT, MF	Sentetik polikristal elmas
Otomobil el freni kolu [19]	AHP	D, R, Y, MF	Kenaf bazlı fiber
Kreyejonik sıvı depolama tankı [20]	GDM	T, AD, YM, Y, IGK, İİ, Öİ	SS301 FH
Diz protezi [21]	VIKOR	Y, ÇD, EM, U, KD, AŞD, O	NiTi
Otomobil tamponu [22]	AHP	EA, F, A, MTE, ÇE, SŞ	Cam fiber epoksi
Vagon [23]	AÖM	Y, ÖD, KD, AŞD, F	Al alaşımları
Kreyejonik sıvı depolama tankı [24]	COPRAS ve EVAMIX	T, AD, YM, Y, YS, IG, İİ	SS301 FH
İçecek kutusu [25]	YSAGA	YM, PO, EL, ÇD, BD, S, YD, MF, Y, GD	Al alaşımları
Isı değiştiricisi [26]	GMSÖ ve ÖMSÖ	PG, G, GZD, YA	Gözenekli bronz levha
Otomobil yedek lastik bölgesi [9]	TOPSIS	ÇR, ER, MF, YD, A	
Takım malzemesi [5]	BKSY	MF, S, T, AŞD, İ, IYD	A2 çeliği
Jet sistem nozulu [27]	Bulanık TOPSIS	S, İ, F, KD	Ni 200

Literatürde yapılan çalışmalar detaylı olarak analiz edildiğinde; malzeme seçiminin doğru uygulama alanına odaklanmasının, belirlenen alana ait özel koşullara uygun seçim kriterlerinin belirlenmesinin ve kriter ağırlıklandırma işleminin uygun bir şekilde yapılmasının nihai seçim kararında son derece önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca aday malzemelerin girdi olarak hazır verilmesi yerine, malzemeleri ve özelliklerini içeren bir veri tabanı oluşturularak bir ön seçimle aday malzemelerin veri tabanından belirlenmişinin ardından ÇKKV yöntemlerine aktarılmasının doğru seçim kararının verilmesinde faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Yapılan bu değerlendirmelerin ışığında bu makalede, bir veri tabanından öncelikle aday malzemeleri belirleyen ve ardından bu aday malzemeleri ÇKKV yöntemleri ile sıralayan bir karar destek sistemi geliştirilmektedir. Geliştirilen karar destek sistemi (MATSEL olarak adlandırılmıştır) farklı tiplerde olan basınçlı kaplar için malzeme seçimi yapmak ile kısıtlanmıştır. Ancak MATSEL’de oluşturulan veri tabanı esnek bir yapıda tasarlanmış olup, yeni basınçlı kap çeşitleri ve malzemelerinin veri tabanına eklenmesine ve böylece veri tabanının sürekli güncel tutulmasına imkan verecek şekilde oluşturulmuştur. MATSEL’in aday malzemelerin seçimini yaptığı malzeme veri tabanı [11, 12] nolu kaynaklardan faydalanılarak geliştirilmiştir. Malzeme veri tabanına alınan her malzeme için bu kaynaklarda verilen tüm özellikler ve değerleri veri tabanına aktarılmıştır.

2. MATSEL KARAR DESTEK SİSTEMİNİN AÇIKLANMASI (DESCRIPTION OF MATSEL DECISION SUPPORT SYSTEM)

MATSEL, aday malzemeleri belirlerken oluşturulan malzeme veri tabanını tarar. Veri tabanında basınçlı kaplarda malzeme olarak kullanılan çelikler, bakır alaşımları, alüminyum alaşımları, nikel alaşımları, titanyum ve zirkonyum yer almaktadır. Bu alaşımların kataloglarda yer alan tüm çeşitleri ve bu alaşımlara ait bilgiler ve veriler veri tabanına girilmiştir. Yeni ve daha gelişmiş malzemeler veya alaşımlar ilgili kataloglara eklendikçe veri tabanına kullanıcı tarafından eklenmeli veya güncellenmelidir. MATSEL’in veri tabanı bu tür güncellemelerin yapılmasına uygun olarak tasarlanmıştır. Veri tabanında yer alan malzemelerin, gerekebilecek tüm kriterlerde (dayanım, uygun çalışma sıcaklığı, kaynak edilebilirlik, sülfidasyon kırılabilirliği, elastisite modülü, kırılma tokluğu, sertlik, ısıl iletkenlik, ısıl genleşme, yorulma değerleri, vs.) değerleri yer almaktadır.

Nitel değerler Tablo 4’te görüldüğü gibi nicel (rakamsal) değerlere çevrilerek veri tabanında yer almıştır. Geliştirilen MATSEL karar destek sistemi çalıştırıldığında ilk olarak Şekil 1’de verilen ön eleme sayfası (ekranı) belirir. Kullanıcı öncelikle seçimini yapacağı parçanın tipini ve çalışma koşullarını ekran üzerinde seçerek belirler. Ardından parçanın fonksiyonunu ve çalışma şartlarını değerlendirerek “Normal seçim” sayfası üzerinde seçimini ilerletebilir. Kullanıcı bu ekranda ‘kazan parçaları’, ‘ısı değiştiricileri’ veya ‘dış cidar’ kutularından birini seçebilir. Seçilen kutunun altından parçaların isimlerinin bulunduğu yeni kutular çıkmaktadır. Örneğin ‘kazan parçaları’ tıklandığında ‘duman boruları’, ‘su boruları’ ve ‘cehennemlik sacı’ parça isimleri çıkmaktadır. Isı değiştiriciler kutucuğu içerisinde ise ısı değiştirici levha ve boruları yer almaktadır. Dış cidar malzemeleri içinse ‘akışkan taşıma boruları’, ‘genleşme kabı’ ve ‘yüksek basınçlı tüpler’ yer almaktadır. Her parçanın normal çalışma koşullarında kullanılacak aday malzemeler tespit edildikten sonra seçim işleminde ÇKKV yönteminde kullanılacak kriterlerin ağırlıklandırılması gerekmektedir. Bu işlem, Şekil 1’de görülen “normal seçim” sayfası aktif iken “ağırlıkları belirle” butonuna basıldığında “Malzeme ağırlık oranları” kısmına kullanıcı tarafından kriter ağırlıkları 1-10 arasında bir rakamın (1: en düşük önem, 10: en yüksek önem) ilgili kriterin karşısına yazılmasıyla gerçekleştirilmiş olur. Ardından kullanıcı “SEÇİM” butonuna basarak uygun olan aday malzemeleri veri tabanından belirlemiş olur. Kullanıcı, seçeceği parçanın fonksiyonunu, çalışma koşullarındaki kısıtları özel olarak değerlendirip aday malzemelerini kendisi belirlemek istiyorsa, Şekil 2’de yer alan “kullanıcı tanımlı” sayfasından “eleme sorularının cevapları kullanıcı tanımlı YAPILACAK” seçim butonunu aktive etmelidir. Böylece önceden hazırlanmış daha detaylı yönlendirme sorularına vereceği cevaplarla ve atayacağı değerlerle veri tabanında bulunan malzemeler arasından ön elemeyi yapmış olur.

Aday malzeme seçimi sonrası sıralama sonuçlarına ulaşmak istendiğinde, ana ekranda yer alan “sıralama sonuçları” sayfası açılarak “sonuçları al” butonuna tıklanmak suretiyle veri tabanından seçilen aday malzemeler sıralama işlemi yapılmak üzere ÇKKV yöntemlerinin uygulandığı bölüme otomatik olarak aktarılır. Ardından VIKOR [13, 14], TOPSIS [9, 28] ve ELECTRE [29] yöntemleri uygulanarak sonuçlar MATSEL sıralama sonuçları ekranında karar vericiye sunulmaktadır. MATSEL ekranında VIKOR yönteminin uygulanmasında kullanılan 0-1 arasında değişen “v” katsayısının (genellikle uygulamada 0,5 kullanılmaktadır) farklı değerleriyle (0,25; 0,5; 0,75; 1)

Tablo 4. Korozyon değerleri açıklamaları (Corrosion values descriptions)

Değer	Açıklama
0	Herhangi bir koruma önlemi olmadan kullanıma izin verilmeyen durum
1	Kullanımı tavsiye edilmeyen ve kısa süreli uygulamalar (düşük)
2	İzin verilen ancak az da olsa ek koruma önlemleri gerektiren durum (orta)
3	Uzun süreli kullanımlar için asgari önlem gerektiren durum (yüksek)

MATSEL PROGRAMINA HOŞ GELDİNİZ
LÜTFEN SEÇİM TÜRÜNÜ SEÇİNİZ

AĞIRLIKLARI BELİRLE SEÇİM YAP

NORMAL SEÇİM KULLANICI TANIMLI SIRALAMA SONUÇLARI
SPEARMAN KORELASYONU MALZEME ÖZELLİKLERİ

Seçim yapılacak parçayı seçiniz

Kazan parçaları

Isı değiştirici parçaları

Dış cidar

Güvenli çalışma sıcaklığı °C

Malzeme ağırlık oranları

Dayanım	8
Fiyat	8
Elastik modül	4
Kırılma tokluğu	4
Sertlik	2
Isıl iletkenlik	9
Isıl genleşme	4
Kullanım sıcaklığı	8
Yorulma	5



Şekil 1. Ön eleme ekranı (Pre-selection screen)

sıralamalar elde edilerek VIKOR yönteminden 4 alternatif sıralama elde edilmektedir. VIKOR metodu için elde edilecek bu dört alternatif sıralama içerisinde literatürde kabul edilen $v=0,50$ için olan sıralama, seçim için göz önüne alınacak olup, diğer “v” değerleri için alınan sonuçlar yöntemlerin sıralama sonuçlarının birbiriyle kıyaslanması ve seçim işlemine yardımcı olmak için dikkate alınacaktır. Sonuçlar içerisinde malzeme numarasıyla belirtilen alarım isimlerine tıklanmak suretiyle seçimi yapılan aday malzemelerin özelliklerinin yer aldığı malzeme bilgi formu açılmaktadır. Ayrıca Spearman korelasyonu ile sıralama yöntemlerinin sonuçları arasındaki tutarlılık değerlerine ulaşmak isteniyorsa “SPEARMAN KORELASYONU” sayfası açılarak “KORELASYON UYGULA” butonuna tıklanıldığında tutarlılık sonuçlarına ulaşılabilir.

3. MATSEL’İN KULLANILMASINI AÇIKLAMAYA YÖNELİK BİR ÖRNEK UYGULAMA

(AN EXAMPLE TO ILLUSTRATE THE APPLICATION OF MATSEL)

Bu örnek uygulamada Şekil 3’de gösterilen “plakalı ısı eşanjörü” için ısı değişim levha malzemesi seçimi yapılacaktır. Levhanın 70 bar çalışma basıncı, -195°C ile $+360^{\circ}\text{C}$ arasında çalışma sıcaklığı, organik solventlere ve suya karşı korozyon dayanımının yüksek olması, yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı direncinin olması, kaynak edilebilir olması ve malzemenin taşınabilirliğini kolaylaştırmak amacıyla hafif olması istenmektedir. Bu istenen özelliklerin MATSEL giriş sayfasında belirtilmesi Şekil 2’de verilmektedir. MATSEL, veri tabanında tanımlanan özelliklere uygun malzemeleri aday malzemeler olarak belirler. MATSEL aynı zamanda kullanıcıdan kriter ağırlıklarını girmesini bekler. Kriterlerin 1 ile 10 arası

ağırlıklarının girilmesi ile sıralama için ‘sıralama sonuçları’ butonuna basılır. Böylece aday malzemelerin tüm yöntemlere göre sıralanması Tablo 5’te görüldüğü gibi elde edilir. ELECTRE, VIKOR ve TOPSIS sıralama sonuçlarının arasındaki tutarlılığı analiz etmek için Şekil 4’te verildiği gibi Spearman Korelasyon Testi yine MATSEL tarafından otomatik olarak uygulanır [30, 31]. Sıralama sonuçları arasında R_s korelasyon katsayısı değerinin +1 değerine yakın olması ve Z değerinin 1,645’ten büyük olması iki sıralama arasındaki tutarlı bir ilişki olduğunu göstermektedir [30]. Örneğin Şekil 4’te örnek uygulama sonuçlarının üç farklı yöntem için de birbiriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Tablo 5’te görüldüğü gibi S30400 aday malzemesi MATSEL tarafından en uygun malzeme olarak sunulmuştur (TOPSIS yönteminde 1. sırada, ELECTRE yönteminde 2. sırada, VIKOR yönteminde; $v=0,25$ ve $v=0,50$ için 2. sırada, $v=0,75$ ve $v=1$ için 1. sırada yer almaktadır). Pratikte S30400 malzemesinin ısı eşanjöründe levha yapımında en çok kullanılan malzeme olduğu basınçlı kap üreticileri tarafından ifade edilmektedir. Bu durumda MATSEL pratikte uygulamaya uygun bir sonuç vermiştir. S30400 aday malzemesi S34700 gibi diğer aday malzemeler ile kriter değerlerinde yaklaşık değerlere sahip olmakla beraber, maliyeti daha düşük olduğundan sıralamalarda diğer adaylardan daha önde yer almıştır (Şekil 5). Sıralama sonuçları incelendiğinde S30400 ve S34700 malzemelerinin diğer aday malzemelere göre daha önde olduğu görülmektedir. Tablo 6 bu iki malzeme için toplam sıralama notlarının hesaplanmasını göstermektedir. Toplam notlar karşılaştırıldığında S30400 aday malzemesi iki yöntemde de sıralamadaki ilk malzeme olması nedeniyle daha düşük bir toplam nota ulaşarak MATSEL tarafından önerilen malzeme olmaktadır.

Tablo 5. Örnek uygulama için sıralama sonuçları (Ranking results for the illustrative example)

ALAŞIM	ELECTRE	SIRA	TOPSIS	SIRA	VIKOR S	VIKOR R	VIKOR V=0,25	SIRA	VIKOR V=0,5	SIRA	VIKOR V=0,75	SIRA	VIKOR V=1	SIRA	VERİTAB. SIRA
S30400	0,135	2	0,5874	1	0,422	0,1009	0,0812	2	0,0541	2	0,027	1	0	1	291
S34700	0,136	1	0,5768	2	0,4402	0,0922	0,0177	1	0,0354	1	0,0532	2	0,0709	4	373
S31600	0,1318	5	0,5424	5	0,4285	0,1153	0,2213	3	0,156	3	0,0908	3	0,0255	2	319
S34700	0,1341	3	0,5507	4	0,4609	0,1128	0,2297	4	0,2037	4	0,1777	5	0,1516	7	374
S30400	0,1276	6	0,5538	3	0,4501	0,127	0,3507	9	0,2704	7	0,19	6	0,1097	5	290
S31700	0,1321	4	0,5066	11	0,4748	0,1153	0,2664	5	0,2463	5	0,2261	8	0,2059	9	343
S31600	0,1216	10	0,5066	10	0,4572	0,1249	0,3376	8	0,2708	8	0,204	7	0,1372	6	320
N08330	0,1135	13	0,4858	13	0,4291	0,1298	0,3556	10	0,2463	6	0,137	4	0,0276	3	216
S32100	0,1274	7	0,5389	6	0,4836	0,1182	0,302	7	0,2815	10	0,261	10	0,2405	10	363
S30403	0,1265	8	0,5219	8	0,4867	0,1169	0,2927	6	0,2793	9	0,2659	11	0,2525	12	304
S31700	0,1193	11	0,472	14	0,5034	0,1249	0,3827	11	0,361	12	0,3394	12	0,3177	13	344
N08330	0,0904	22	0,4447	16	0,4626	0,1298	0,3883	12	0,3117	11	0,2351	9	0,1585	8	215
N04400	0,1253	9	0,4149	20	0,4856	0,1418	0,5222	15	0,4309	13	0,3397	13	0,2484	11	138
S30403	0,1148	12	0,4964	12	0,5099	0,1401	0,5305	16	0,468	14	0,4055	14	0,343	14	305
N06600	0,0962	19	0,3846	25	0,5209	0,1452	0,5888	21	0,5212	17	0,4536	15	0,3859	15	182
S30200	0,1116	14	0,5386	7	0,5577	0,1456	0,6283	27	0,5954	23	0,5624	22	0,5295	24	275
N04400	0,0938	21	0,3703	31	0,5272	0,1418	0,5628	20	0,5121	16	0,4614	16	0,4107	16	137
S31703	0,1063	17	0,4439	17	0,5917	0,1296	0,513	13	0,5628	21	0,6126	28	0,6624	32	351
S31603	0,1099	15	0,4571	15	0,5981	0,1296	0,5191	14	0,5751	22	0,6311	29	0,6871	34	334
N06600	0,0827	23	0,3578	34	0,5394	0,1452	0,6069	23	0,5573	19	0,5077	18	0,4581	21	183
N06059	0,0794	24	0,3859	24	0,5287	0,1589	0,723	30	0,6208	27	0,5186	20	0,4164	17	162
S30200	0,1066	16	0,5098	9	0,5859	0,1456	0,6559	29	0,6505	28	0,6451	30	0,6398	31	276
S31703	0,0959	20	0,412	22	0,6198	0,1296	0,5403	18	0,6175	26	0,6947	35	0,7719	37	352
S31603	0,0987	18	0,4336	18	0,6217	0,1387	0,6268	26	0,6776	32	0,7284	36	0,7792	38	335

Tablo 6. Örnek uygulama için sıralama metodlarının sonuçlarının karşılaştırılması
(Comparison of the results of the ranking methods in the illustrative example)

Sıralama Yöntemi	Malzeme Sırası	
	S34700	S30400
ELECTRE	1	2
TOPSIS	2	1
VIKOR V=0.50	2	1
Sıralama toplamı	5	4

MATSEL PROGRAMINA HOŞ GELDİNİZ
LÜTFEN SEÇİM TÜRÜNÜ SEÇİNİZ

AĞIRLIKLARI BELİRLE SEÇİM YAP

NORMAL SEÇİM KULLANICI TANIMLI SIRALAMA SONUÇLARI
SPEARMAN KORELASYONU MALZEME ÖZELLİKLERİ

ELEME SORULARININ CEVAPLARI KULLANICI TANIMLI YAPILACAK

Parça şekli
Levha (dış kabuk) ▼

Parça için ASME grubunu seçiniz Basınçlı depola ▼

Güvenli çalışma sıcaklığı °C

Emniyetli gerilme değerleri biliniyor mu? MPa

Malzeme kaynak edilebilir olmalı

Malzeme sülfidasyona dayanıklı olmalı

Malzemeden istenen korozyon dayanımları
(1 düşük, 2 orta, 3 iyi)

<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
Su <input type="checkbox"/> 2 Tuzlu su <input type="checkbox"/> 2 Zayıf asit <input type="checkbox"/> 2 Güçlü asit <input checked="" type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 3
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
Zayıf baz <input type="checkbox"/> 2 Güçlü baz <input checked="" type="checkbox"/> 2 Organik solvent <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 2 Yüksek sıcaklık oks.	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 3

Akışkan sıcaklığı 50°C üzerinde olup ısıl kriterler malzeme seçimine katılmıştır.

Parça ısı değişimi için tasarlanmıştır.

Parça işleme kolaylığı için en düşük şekil değişim zorlanmasına sahip alternatif elemandır.

Parça için seçilen malzeme en hafif alternatif olmalıdır.

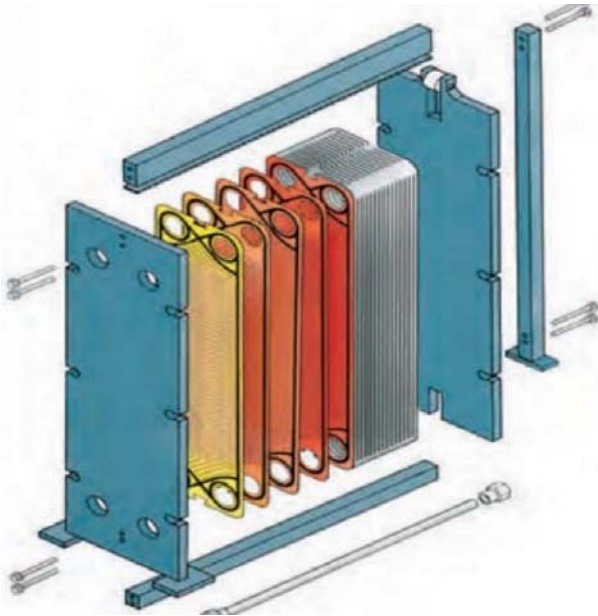
Parçada akışkan sebebiyle oluşacak deformasyon tipi nedir?

Parça depolama kabı olup akış yönlenmesi içermemektedir.

Parça kıvrımlı geometriye sahip olmayıp akış yönlenmesi yoktur.

Parça üzerinde dirsek ve u dönüş elemanı gibi önemli akış yönlenmesi mevcuttur.

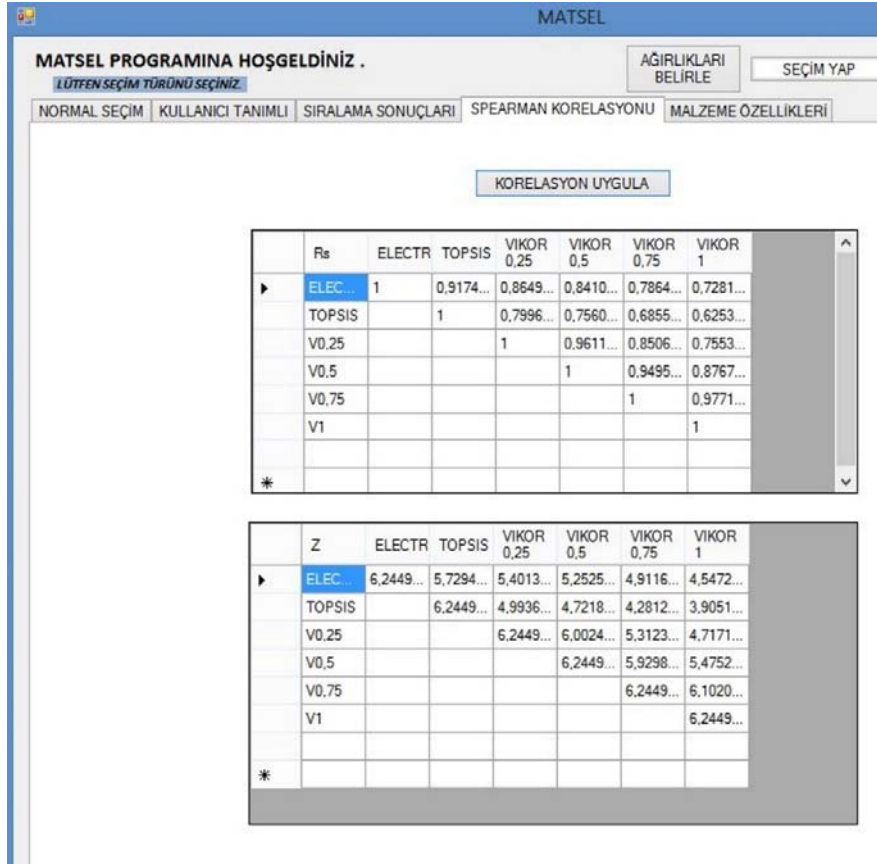
Şekil 2. Kullanıcı tanımlı ekran (User defined screen)



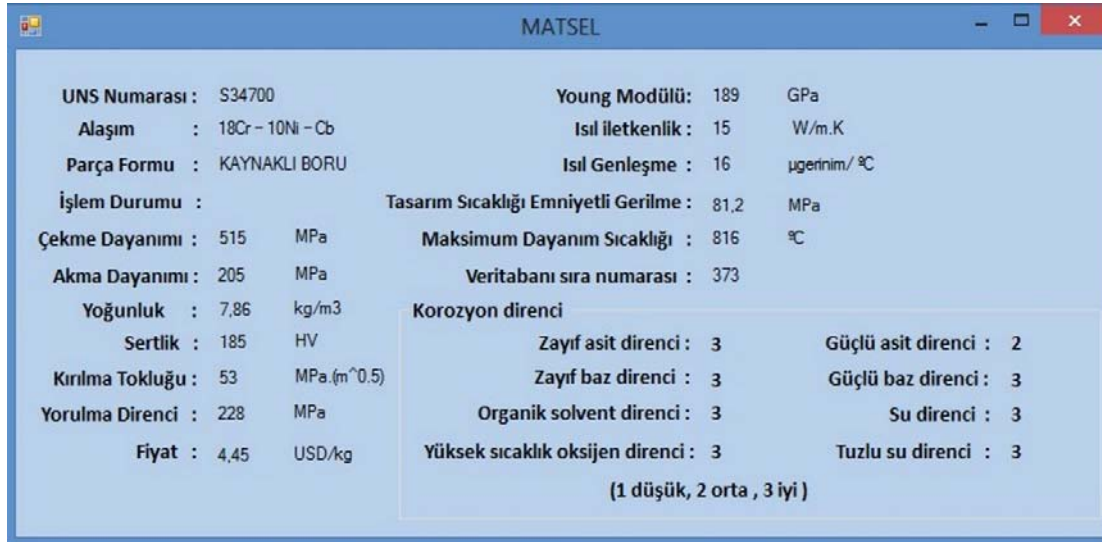
Şekil 3. Plakalı ısı değişim levhası
(The thermal transfer plate) [32]

4. MATSEL İLE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN İRDELENMESİ (DISCUSSION OF THE RESULTS OBTAINED WITH MATSEL)

MATSEL, yazarlar tarafından çok çeşitli denemelere tabi tutulmuştur. Denemelerde elde edilen sonuçlar kullanıcılar tarafından dikkat edilmesi gereken hususlar içerisinde kullanıcıya yol gösteren ve normal çalışma koşullarında değerleri kendisi otomatik olarak atayan MATSEL, malzeme seçiminde kullanıcının uzman olması gereksinimini önemli ölçüde azaltmaktadır. MATSEL, kullanıcılara isterlerse parçaların mühendislik ve tasarım çalışmaları sırasında ortaya çıkan gereksinimler doğrultusunda ihtiyaç duyulan yeni değerleri veri tabanına ekleme imkânını sunabilmekte, böylece özel uygulamalar açısından da kendini yenileyebilen bir karar destek sistemi olma özelliğini taşımaktadır. MATSEL'i literatürde bulunan malzeme seçim çalışmalarından farklı kılan bir özelliği, basınçlı kaplarda kullanılacak tüm malzemelerin özellikleri ile beraber bir veri tabanına girilmiş olması ve böylece çok geniş bir veri tabanından aday malzemelerin eleme usulü ile gereksinimler doğrultusunda seçilmesi imkânını sunmasıdır. Böylece



Şekil 4. Örnek uygulama için Spearman'ın korelasyon testi sonuçları
(Spearman's correlation test output screen for the illustrative example)



Şekil 5. Isı transfer levhası için sonuç sayfası (Output screen for the thermal plate)

kullanıcı, parça için kullanılacak yeni teknoloji ürünün malzemeleri de veri tabanına ekleyebilmekte, farklı uygulama alanları için geniş yelpazedeki veri tabanından ön eleme sonucunda işleme özel adayları süzebilmektedir. Aday malzeme seçiminde kriterlerin ağırlıklandırılması sıralama sonuçları üzerinde son derece önemlidir. Bu nedenle karar

vericiler kriterleri ihtiyaç duyulan sistemin özelliklerini göz önünde bulundurarak ciddi bir değerlendirme sonucu belirlemelidirler. Bu durum aşağıdaki senaryo analiziyle gösterilmeye çalışılmıştır: Senaryo 1: Çalışmada kullanılan ve Şekil 1'de verilen ağırlık değerleri, kriterlerin alabileceği en yüksek değer olan 10'dan çıkartılarak yeni bir ağırlık seti

oluşturulmuş (Tablo 7: Senaryo 1 satırı) ve seçim işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sıralama sonuçlarındaki değişim gözlemlenmiştir (Tablo 8). Senaryo 1 sonucunda önem sırası tersine çevrilmiş olduğundan en güçlü aday malzeme önceki seçimlerde ilk sıralarda yer alan S30400 malzemesi yerine S31600 olmuştur. İlk 5 malzemenin sıralaması ise S31600, S30400, S34700, S30403 ve S32100 şeklinde gerçekleşmiştir. Tablo 8’de ve Tablo 9’da aynı malzeme kodlarının ekranda sıralanması bu malzemelerin farklı üretim koşullarını ifade etmekte olup “veri tabanı sıra” kolonu malzemenin detaylı üretim bilgisinin bulunduğu referansı sunmaktadır. Senaryo 2: Bu

senaryoda çalışmada kullanılan kriter ağırlıkları yeniden düzenlenmiştir. Bu sefer çalışmada kullanılan ağırlıklarla Senaryo 1’de kullanılan ağırlıklarının ara değerlerinde yeni kriter ağırlıkları atanarak (Tablo 7: Senaryo 2 satırı) sıralama işlemi tekrarlanmıştır. Sıralama sonuçlarında S30400 malzemesi ilk sıradaki yerini korumakla birlikte ilk 5 sıralaması; S30400, S34700, S32100, S31600 ve S30403 şeklinde değişmiştir (Tablo 9). Bu analizden de görüldüğü gibi kriter ağırlıklarındaki farklılıklar sıralama sonuçlarında önemli değişikliklere yol açabilmekte, bu nedenle kriter ağırlıklarının atanması seçim işleminin en hassas noktalarından biri olabilmektedir.

Tablo 7. Senaryo analizi (Scenario analysis)

Senaryo	Malzeme seçim kriterleri								
	Dayanım	Fiyat	E. Modül	Kır. Tokluğu	Sertlik	Isıl iletkenlik	Isıl genleşme	Kullanım sıcaklığı	Yorulma
Çalışmada Kullanılan Ağırlıklar	8	8	4	4	2	9	4	8	5
Senaryo 1	2	2	6	6	8	2	6	4	5
Senaryo 2	4	10	2	2	2	10	2	4	2

Tablo 8. Senaryo 1 için sıralama sonuçları (Ranking results for scenario 1)

ALAŞIM	ELECTRE	SIRA	TOPSIS	SIRA	VIKOR S	VIKOR R	VIKOR V=0,25	SIRA	VIKOR V=0,5	SIRA	VIKOR V=0,75	SIRA	VIKOR V=1	SIRA	VERITAB. SIRA
S31600	0,3251	1	0,8186	1	0,4537	0,1463	0,0126	3	0,0253	3	0,038	3	0,0507	3	308
S31600	0,3225	2	0,8056	2	0,4671	0,1463	0,024	5	0,0481	5	0,0722	5	0,0962	5	317
S31600	0,3176	3	0,7908	3	0,4767	0,1463	0,0322	6	0,0644	6	0,0966	6	0,1289	6	309
S30403	0,0981	13	0,2725	15	0,4388	0,1463	0	1	0	1	0	1	0	1	294
S31600	0,3124	4	0,7724	4	0,4866	0,1463	0,0407	7	0,0814	7	0,1221	7	0,1628	7	318
S30403	0,065	16	0,2624	16	0,4497	0,1463	0,0092	2	0,0185	2	0,0278	2	0,0371	2	303
S30403	0,032	17	0,2574	17	0,4577	0,1463	0,016	4	0,0321	4	0,0481	4	0,0642	4	294
S34700	0,1041	9	0,3315	9	0,6076	0,1463	0,1436	8	0,2872	8	0,4308	8	0,5744	9	366
S30400	0,2407	5	0,4831	5	0,6043	0,1951	0,8908	12	0,7816	12	0,6724	12	0,5632	8	279
S34700	0,1041	9	0,3186	11	0,6204	0,1463	0,1544	9	0,3089	9	0,4634	9	0,6179	11	367
S30400	0,2076	6	0,472	6	0,6173	0,1951	0,9018	13	0,8037	13	0,7056	13	0,6075	10	284
S34700	0,1041	9	0,318	12	0,6211	0,1463	0,155	10	0,3101	10	0,4651	10	0,6202	12	371
S30400	0,169	7	0,4643	7	0,6267	0,1951	0,9098	14	0,8196	14	0,7295	14	0,6393	13	280
S34700	0,1019	12	0,3099	13	0,6312	0,1463	0,1636	11	0,3273	11	0,491	11	0,6546	14	372
S30400	0,1303	8	0,4567	8	0,6365	0,1951	0,9181	15	0,8363	15	0,7545	15	0,6727	15	285
S32100	0,071	14	0,3252	10	0,7085	0,1951	0,9794	17	0,9588	17	0,9383	17	0,9177	17	355
S31603	0	18	0,2011	18	0,7031	0,1951	0,9748	16	0,9497	16	0,9246	16	0,8994	16	323
S31603	0	18	0,1847	19	0,7144	0,1951	0,9844	18	0,9688	18	0,9532	18	0,9376	18	332
S32100	0,0685	15	0,2996	14	0,7327	0,1951	1	21	1	21	1	21	1	21	356
S31603	0	18	0,1773	20	0,7221	0,1951	0,991	19	0,982	19	0,973	19	0,964	19	325
S31603	0	18	0,1736	21	0,7303	0,1951	0,998	20	0,996	20	0,994	20	0,992	20	333

Tablo 9. Senaryo 2 için sıralama sonuçları (Ranking results for scenario 2)

ALAŞIM	ELECTRE	SIRA	TOPSIS	SIRA	VIKOR S	VIKOR R	VIKOR V=0,25	SIRA	VIKOR V=0,5	SIRA	VIKOR V=0,75	SIRA	VIKOR V=1	SIRA	VERITAB. SIRA
S30400	0,2834	1	0,7406	1	0,3447	0,1315	6	1	43,211	1	2	1	0	1	279
S30400	0,2495	2	0,6719	2	0,3728	0,1315	0,0129	3	0,0257	3	0,0385	3	0,0514	3	284
S34700	0,1971	5	0,6304	4	0,3513	0,1315	0,003	2	0,006	2	0,0091	2	0,0121	2	366
S34700	0,1414	7	0,5762	6	0,3789	0,1315	0,0156	4	0,0313	4	0,047	4	0,0627	4	367
S30400	0,2088	3	0,6149	5	0,393	0,1315	0,0221	6	0,0442	6	0,0663	6	0,0884	6	280
S34700	0,1414	7	0,5729	7	0,3804	0,1315	0,0163	5	0,0326	5	0,049	5	0,0653	5	371
S32100	0,2075	4	0,6403	3	0,4671	0,1315	0,0561	9	0,1121	9	0,1681	10	0,2242	12	355
S30400	0,1663	6	0,5601	9	0,4142	0,1315	0,0318	8	0,0636	8	0,0954	8	0,1272	9	285
S34700	0,1356	9	0,5233	11	0,4022	0,1315	0,0263	7	0,0526	7	0,0789	7	0,1053	7	372
S30403	0,0995	11	0,414	15	0,4133	0,1566	0,1743	11	0,1581	10	0,1419	9	0,1257	8	294
S32100	0,1332	10	0,5418	10	0,5193	0,1315	0,0799	10	0,1599	11	0,2398	13	0,3197	13	356
S31600	0,0849	12	0,5712	8	0,6639	0,2631	0,8961	14	0,7923	14	0,6885	14	0,5846	14	308
S30403	0,0655	16	0,3577	16	0,4369	0,1566	0,1851	12	0,1797	12	0,1743	11	0,1689	10	303
S30403	0,0316	17	0,324	17	0,4541	0,1566	0,193	13	0,1954	13	0,1979	12	0,2003	11	296
S31600	0,0849	12	0,5231	12	0,6928	0,2631	0,9093	15	0,8187	15	0,7281	15	0,6375	15	317
S31600	0,0807	14	0,4843	13	0,7135	0,2631	0,9188	16	0,8377	16	0,7566	16	0,6754	16	309
S31600	0,0765	15	0,4468	14	0,735	0,2631	0,9287	17	0,8574	17	0,7861	17	0,7148	17	318
S31603	0	18	0,2861	18	0,832	0,2631	0,9731	18	0,9462	18	0,9193	18	0,8924	18	323
S31603	0	18	0,1932	19	0,8562	0,2631	0,9842	19	0,9684	19	0,9526	19	0,9368	19	332
S31603	0	18	0,1291	20	0,8729	0,2631	0,9918	20	0,9836	20	0,9755	20	0,9673	20	325
S31603	0	18	0,0903	21	0,8907	0,2631	1	21	1	21	1	21	1	21	333

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, basınçlı kaplarda malzeme seçimine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmiş olup, sistem; malzemenin kullanım ve tasarım parametrelerini göz önüne alarak belirlenen şartlara göre önce ön eleme yapıp aday malzemeleri belirlemekte, ardından literatürde en çok kullanılan ÇKKV metodlarından TOPSIS, ELECTRE ve VIKOR metodlarını kullanarak aday malzemelerin sıralanmasını gerçekleştirmektedir. Ön eleme işlemiyle elde edilen aday malzemeleri sıralayan ÇKKV metodlarını içeren MATSEL programı Microsoft Visual Studio altyapısıyla hazırlanmıştır. Veri tabanı ise güncelleme ve kullanım kolaylığı sağlaması için Microsoft Office EXCEL yardımıyla hazırlanmıştır. MATSEL, EXCEL veri tabanından malzemeleri ön eleme ve seçim işlemine tabi tutabilmekte ve güncellenen veri tabanına programa müdahale edilemeden uyum sağlayabilmektedir. MATSEL'in geliştirilmesinde literatürde en yaygın kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan TOPSIS, VIKOR ve ELECTRE yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bu yöntemlerin tercih edilmesindeki en önemli sebep; her üç yöntemin de "mesafe bazlı karar verme

yöntemleri" olması ve bu özelliklerinin malzeme seçiminde adayların pozitif ve negatif ideal çözümlerinin her ikisine de belli oranlarda yakın olması zorunluluğunun bulunmasıdır (örneğin malzemenin -30 °C ile 1000°C aralığındaki emniyetli gerilme değerlerine sahip olabileme özelliğini taşıması gerekliliği gibi). İleriki dönemki çalışmalarda farklı ÇKKV yöntemleri de deneyerek elverişli olanlar MATSEL'in içerisine eklenebilir. Esnek bir yapıda geliştirilen MATSEL bu tür iyileştirmelere kolaylıkla adapte olabilecek niteliklere sahiptir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Varol M., Silindirik LPG Tanklarının Çeşitli Standartlara Göre Bilgisayar Yardımı İle Analizi, Makina Mühendisleri Odası, 1993.
2. Xiang B., Zhang M, Yang H. ve Lu J., Prediction of acid dew point in flue gas of boilers burning fossil fuels, Energy Fuels, 30 (4) 3365-3373, 2016.
3. Liu W., Failure analysis of a fluidisation nozzle in biomass boiler and the long-term high temperatures oxidation behaviour of 304 stainless steel, Engineering Failure Analysis, 70 419-427, 2016.

4. Najima S., Morinaga M. ve Hayashi S., Method for Identifying Areas of Sulfidation on Water-Wall Tubes in Coal-Fired Boilers, *Oxidation of Metals*, 85 (3-4) 283-296, 2016.
5. Wang M.J.J. ve Chang T.C., Tool steel materials selection under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 72 (3) 263-270, 1995.
6. Trethewey K., Wood R., Puget Y. ve Roberge P., Development of a knowledge-based system for materials management, *Materials & design*, 19(1) 39-56, 1998.
7. Jee D.H. ve Kang K.J., A method for optimal material selection aided with decision making theory, *Materials & Design*, 21 (3) 199-206, 2000.
8. Rao R.V., A material selection model using graph theory and matrix approach, *Materials Science and Engineering: A*, 431 (1) 248-255, 2006.
9. Qian C., Harper L., Turner T. ve Warrior N., Structural optimisation of random discontinuous fibre composites: Part 2—Case study, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 68 417-424, 2015.
10. Rodery J.C.C.D., Selz D.B.D.A., Glaspie J.J.P., Sims J.R. ve Swanson M.G.D.A., Section VI-Div 1 Rules For Construction Of Pressure Vessels, in *Companion Guide to the ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section VI—Div 1 Rules For Construction Of Pressure Vessels*, ASME: New York, NY, 2010.
11. Canonico D.A., Upitis E., Moen R.A., Rahoi D. ve Carpenter M.L., Part 2, Section II—Materials and Specifications, in *Companion Guide to the ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Volume 1, Second Edition*, K.R. Rao, Editor, ASME: New York, NY, 2006.
12. Ashby M.F., *Materials selection in mechanical design*, MRS Bull, 30, 2005.
13. Jahan A., Mustapha F., Ismail M.Y., Sapuan S. and Bahraminasab M., A comprehensive VIKOR method for material selection, *Materials & Design*, 32 (3) 1215-1221, 2011.
14. Rao R.V., A decision making methodology for material selection using an improved compromise ranking method, *Materials & Design*, 29 (10) 1949-1954, 2008.
15. Dehghan Manshadi B, Mahmudi H., A. Abedian and R. Mahmudi, A novel method for materials selection in mechanical design: combination of non-linear normalization and a modified digital logic method, *Materials & design*, 28 (1) 8-15, 2007.
16. Sapuan S., Jacob M., Mustapha F. and Ismail N., A prototype knowledge-based system for material selection of ceramic matrix composites of automotive engine components, *Materials & design*, 23 (8) 701-708, 2002.
17. Ullah A.S., Harib K.H., An intelligent method for selecting optimal materials and its application, *Advanced Engineering Informatics*, 22 (4) 473-483, 2008.
18. Maity S.R., Chakraborty S., Grinding wheel abrasive material selection using fuzzy TOPSIS method, *Materials and Manufacturing Processes*, 28 (4) 408-417, 2013.
19. Mansor M.R., Sapuan S., Zainudin E.S., A. Nuraini and A. Hambali, Hybrid natural and glass fibers reinforced polymer composites material selection using Analytical Hierarchy Process for automotive brake lever design, *Materials & Design*, 51 484-492, 2013.
20. Fayazbakhsh K., Abedian A., Manshadi B.D. ve Khabbaz R.S., Introducing a novel method for materials selection in mechanical design using Z-transformation in statistics for normalization of material properties, *Materials & Design*, 30 (10) 4396-4404, 2009.
21. Bahraminasab M., Jahan A., Material selection for femoral component of total knee replacement using comprehensive VIKOR, *Materials & Design*, 32 (8) 4471-4477, 2011.
22. Hambali A., Sapuan S., Ismail N. ve Nukman Y., Material selection of polymeric composite automotive bumper beam using analytical hierarchy process, *Journal of Central South University of Technology*, 17 (2) 244-256, 2010.
23. Findik F., Turan K., Materials selection for lighter wagon design with a weighted property index method, *Materials & Design*, 37, 470-477, 2012.
24. Chatterjee P., Athawale V.M., Chakraborty S., Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods, *Materials & Design*, 32 (2) 851-860, 2011.
25. Zhou C., Yin G.F., Hu X.B., Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: artificial neural networks and genetic algorithm approach, *Materials & Design*, 30 (4) 1209-1215, 2009.
26. Cicek K., Celik M., Selection of porous materials in marine system design: the case of heat exchanger aboard ships, *Materials & Design*, 30 (10) 4260-4266, 2009.
27. Liao T.W., Two interval type 2 fuzzy TOPSIS material selection methods, *Materials & Design*, 88 1088-1099, 2015.
28. Yazdani M., Payam A.F., A comparative study on material selection of microelectromechanical systems electrostatic actuators using Ashby, VIKOR and TOPSIS, *Materials & Design (1980-2015)*, 65 328-334, 2015.
29. Wu M.C., Chen T.Y., The ELECTRE multicriteria analysis approach based on intuitionistic fuzzy sets, in *Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on, IEEE, 2009*.
30. Iç Y.T., Yurdakul M., Development of a quick credibility scoring support system using fuzzy TOPSIS, *Expert Systems with Applications*, 37 (1) 567-574, 2010.
31. Iç Y.T., Tekin M., Pamukoglu F.Z., Yildirim S.E. Development of a financial performance benchmarking model for corporate firms, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (1) 71-85, 2015.
32. Thulukkanam K., *Heat Exchanger Design Handbook*, CRC Press, 2013.

