

Selection of Electric Vehicle Chassis Material Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques

Gülüstan Tuğçe ALVALI^{1,*}  Ali BALBAY²  Turan ŞİŞMAN²  Serkan GÜNEŞ² 

¹ OSTİM Technical University, Vocational School, Hybrid and Electric Vehicles Technology Program, 06500, Yenimahalle/ANKARA

² OSTİM Technical University, Vocational School, Machine Program, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
 Received:
 14.07.2021
 Revision:
 21.09.2021
 Accepted:
 23.09.2021

Highlights

- Ansys
- Machinability
- Multi-Criteria Decision Applications

Keywords

Electric vehicle
 Chassis design
 Material selection
 Multi-Criteria Decision Making
 TOPSIS
 VIKOR

In this study, analyzes were made on the 3-wheeled L2E class electric vehicle chassis structure in software environment according to different material types. The optimum material combination was determined by examining with multi-criteria decision making methods, taking into account the analyzes made and different criteria.

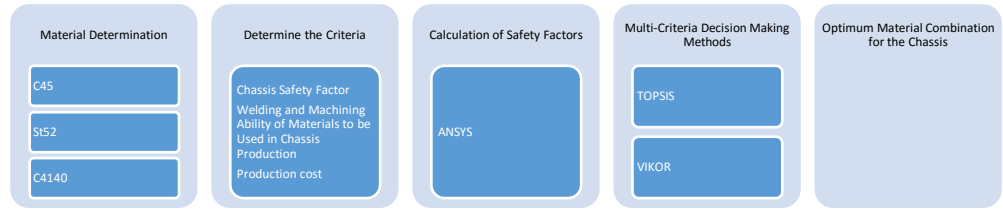


Figure A. Required steps to determine the chassis material

Purpose: The main purpose of this study is to determine the type/combinations of chassis materials that enable the chasis, the structure that carries many systems of the car, to be safe, durable, cost-effective, easy to manufacture, and to have the appropriate chemical composition and physical properties in order to realize the most efficient and effective applications of the movable or fixed connections on it.

Theory and Method: The study focused on the choice of chassis material for the chassis design of a 3-wheeled L2E class electric. Safety, cost, weldability and machinability factors for St52, Ck45 and C4140 steels were comparatively analyzed using the Technique for Order Preference By Similarity (TOPSIS) and VIKOR, multi-criteria decision making methods (MCDM). As a result of the analyses, with which specified factors and materials the horizontal elements, vertical elements and ribs that make up the chassis will be the most suitable and efficient has been determined.

Results: With the analysis results obtained in the software environment; the construction of the chassis horizontal profiles from C4140 tempered steel and the other chassis elements from St52 general structural steel turned out to be the most ideal option with both multi-criteria decision making methods. As the second ideal optimization option, it was concluded from the analyses that while the horizontal profiles and ribs could be made of C4140 tempered steel, all vertical profiles could be made of St52 general structural steel.

Conclusion: In this study, analyzes were carried out in software environment on a 3-wheeled L2E class electric vehicle chassis structure and solutions were presented accordingly. In this context, this study will shed light on future studies. It will contribute to the creation of a wide and increasingly deep literature on this subject both with the new studies planned after this study and the studies that different researchers will carry out with different vehicle types and innovative materials. Moreover, an information infrastructure supported by scientific studies will be provided to chassis manufacturers and vehicle producing companies.



Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

<http://dergipark.gov.tr/gujsc>


Selection of Electric Vehicle Chassis Material Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques

Gülüstan Tuğçe ALVALI^{1,*} Ali BALBAY² Turan ŞİŞMAN² Serkan GÜNEŞ²

¹ OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar Teknolojisi Programı, 06500, Yenimahalle/ANKARA

² OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Abstract

The chassis is the basic structure that contains various systems of the car and supports all parts such as the engine, transmission, brake system, body, suspension installed on it. The chassis must be safe, inexpensive and have a suitable structure and suitable chemical composition for welded joints in order to apply movable connections such as bolts on it. In addition, it is important that it is easy to produce. In this study, the selection of chassis material for the chassis design of a 3-wheel L2E class electric vehicle was studied. St52, Ck45, and C4140 steel for safety, cost, weldability and machinability factors, the technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) and ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), multi-criteria decision-making methods (MCDM) using a comparative analysis has been made. As a result of the analysis, it has been determined that the horizontal elements, vertical elements, and ribs that make up the chassis will provide the most appropriate use with the specified factors and materials. As a result, producing horizontal profiles of C4140 steel and other profiles of St52 Steel had been seen the most ideal option for both methods. The Second ideal optimization option is that horizontal profiles and federations are made of C4140 steel, and vertical profiles are preferred as St52 steel.

Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri Kullanılarak Elektrikli Araç Şasi Malzemesi Seçimi

Öz

Şasi, otomobilin çeşitli sistemlerini bünyesinde bulunduran temel yapı olup üzerine takılı olan motor, şanzıman, fren sistemi, gövde, süspansiyon gibi tüm parçaları desteklemektedir. Şasinin güvenli, ucuz maliyetli ve üzerinde bulunan cıvata gibi hareketli bağlantıların uygulanabilmesi için uygun yapıda ve kaynaklı birleştirmeler için uygun kimyasal kompozisyona sahip olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra kolay üretilebilir olması da önemlidir. Bu çalışmada 3 tekerlekli L2E sınıfı bir elektrikli aracın şasi tasarımının gerçekleştirilmesine yönelik şasi malzemesi seçimi üzerinde çalışılmıştır. St52, Ck45 ve C4140 çelikleri için güvenlik, maliyet, kaynak edilebilirlik ve işlenebilirlik faktörleri, İdeal Çözüme Benzerlik ile Sipariş Tercihi Tekniği (TOPSIS) ve VIKOR, çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) kullanılarak karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda şasiyi oluşturan yatay elemanlar, dikey elemanlar ve federlerin, belirtilen faktörler ve malzemelerden hangisi ile en uygun kullanım sağlayacağı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yatay profillerin C4140 çeliği ve diğer elemanların St52 çeliğinden yapılması her iki yöntem için en ideal seçenek olduğu ortaya konulmuştur. İkinci ideal optimizasyon seçeneği ise yatay profiller ve federler C4140 çeliğinden yapılırken dikey profillerin St52 çeliği olarak tercih edilmesidir.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 14.07.2021
Düzeltilme: 21.09.2021
Kabul: 23.09.2021

Keywords

Electric vehicle
Chassis design
Material selection
Multi-Criteria Decision Making
TOPSIS
VIKOR

Anahtar Kelimeler

Elektrikli araç
Şasi tasarım
Malzeme seçimi
Çok Kriterli Karar Verme
TOPSIS
VIKOR

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomotiv teknolojilerinde şasi tasarımı ve imalatı önemli parametrelerden biridir. Özellikle şasi malzemesi seçimi ve seçilen malzemeye uygun üretim/işleme özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Yanlış seçilmiş malzemelerle yapılan imalat ve montaj işlemlerinde olası hataların ortaya çıkma ihtimali yüksektir. Örneğin uygun olmayan bir malzeme ile şasi imalatına başlanıldığında kaynaklı birleştirme sorunları yaşanabilecek ya da henüz ilk başta talaşlı imalat operasyonlarında sıkıntılar ortaya çıkabilecektir. Bu durum üretim hızını ve doğruluğunu olumsuz etkileyecektir. Bunun yanı sıra uygun niteliklerde seçilmemiş

malzemeler beklenmedik maliyet artışlarına neden olabilecektir. Hem alternatif yakıtlı hem de fosil yakıtlı araçlar için çeşitli komponentlerin seçimine yönelik yapılan çalışmalarda 3 boyutlu tasarım yazılımları, sonlu elemanlar yazılımları ve ÇKKV, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHS) çok fazla kullanılmıştır [0,0]. TOPSIS, minimum sapma ve ideal negatif çözümden maksimum ayrılma fikrine sahip alternatif mükemmel pozitif çözüm sunar. VIKOR ise, genel faydayı en üst düzeye çıkarmayı amaçlarken bireysel pişmanlığın da en aza indirilmesini sağlar [3].

Literatür incelendiğinde hem alternatif yakıtlı hem de fosil yakıtlı araçlar için çeşitli komponentlerin seçimine yönelik çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda 3 boyutlu tasarım yazılımları, sonlu elemanlar yazılımları ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin yoğunlukla kullanıldığı belirlenmiştir. Söz konusu literatür tarama sonuçlarının bazıları aşağıda verildiği gibidir.

Subaşı yüksek lisans çalışmasında; kesme kalıpları imalatında kullanılan çelikler arasından uygun çelik seçimi araştırılmış ve çözüme kavuşturulmuştur. Etki eden kriterler olarak; aşınma direnci, tokluk, yüksek sıcaklıkta çalışma sertliği, genel kullanım sertliği, bulunabilirlik, maliyet ve işlenebilirlik belirlenmiştir. Uygun malzeme seçiminde seçenek olarak takım çelikleri sınıfından soğuk iş takım çeliklerinden D2, D3, D4, D5, D7 çelikleri uygun görülmüştür. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile problem çözümü için Expert Choice (EC) programından faydalanılmıştır. Duyarlılık analizleri sonucunda, kriterlerden aşınma direnci %26 olan kriter, en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Malzemeler arasından ise en uygun malzeme olarak D2 çeliği görülmüştür [4]. Yiğit ve Gök çalışmalarında; lastiklerin seçimi için ÇKKV yöntemini kullanarak beş temel kriter; ıslak/kuru zemin performansı, gürültü, aşınma ve yakıt tüketimi olarak belirlenmiştir. Beş kriter ve on altı alternatif barındıran karar problemi Gri İlişkisel Analiz (GİA) ve TOPSIS yöntemleri ile çözümlenmiştir. Analiz sonucu ulaşılan sonuçlar; Allgemeiner Deutscher Automobil Club (ADAC) test sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve tüm sıralama sonuçları belirlenmiştir [5]. İç ve Yurdakul çalışmalarında bulanıklığın ve belirsizliğin bulunduğu seçim problemlerinde ÇKKV modelinde tamsayıların yerine bulanık sayıları kullanmışlardır. Makine-ekipman seçimi çalışmalarında en sık rastlanan Bulanık ÇKKV yöntemleri olan BAHS ve Bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Araştırmada on altı adet işleme merkezi ve yedi adet seçim kriteri ile yapılmıştır. Ayrıca sıralamalar arasındaki farklılıklar Spearman'ın sıra ilişkisi testi ile yapılmıştır. Bulanık sayıların kullanımında oluşan yararın seviyesini belirlemek için çeşitli koşullar incelenmiştir [1].

Khorshidi ve Hassani çalışmasında güçlendirilmiş alüminyum matris kompozitlerin mukavemet ve işlenebilirlik kombinasyonlarının TOPSIS ile tercih seçim indeksi (PSI) yöntemleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Ampirik bulgular sonucunda hem TOPSIS hem de PSI yöntemlerinin, tercih edilen alternatif olarak 16 ml SiC partikül boyutu ve %90 nispi yoğunluklu %90 oranında öğütülmüş Al – 5% SiC kompozit seçimine yol açtığını görülmüştür [6]. Chauhan ve Vaish çalışmalarında; çeşitli çok kriterli karar verme yaklaşımlarını kullanarak sert kaplama malzemesi seçimi uygulanmışlardır. Malzemelerin seçiminde TOPSIS yöntemi kullanılmıştır [7]. Yazdani ve Payam çalışmalarında; mikro elektromekanik sistemler (MEMS) elektrostatik aktüerlerin farklı uygulamaları için, çalıştırma voltajı ve kuvveti, çalıştırma hızı ve elektriksel dirence göre en uygun malzemeler seçilmiştir. Bu amaçla, Çok Amaçlı Karar Verme (MODM) tekniği olarak Ashby yaklaşımı, TOPSIS ve Çoklu Nitelikli Karar Verme (MADM) tekniği olarak VIKOR yöntemleri uygulanmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada Ashby, VIKOR ve TOPSIS uygulamaları arasındaki karşılaştırmalar sunulmuştur [3].

Shidpour ve arkadaşları çalışmalarında, üç boyutlu eşzamanlı mühendislik (3D-CE) yaklaşımını kullanarak yeni bir yöntem sunmaktadır. En iyi konfigürasyon ürün tasarımını, montaj sürecini ve bileşen tedarikçilerini belirlemek için TOPSIS yönteminde uygulayarak Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (MOLP) modeli kullanır. Metodun uygulanabilirliğini göstermek için sayısal bir örnek kullanılarak gelecekteki araştırmalar için bazı alanlar önerilmiştir [8]. Wang ve Duan çalışmalarında, sezgisel bulanık ve çokgen bulanık kümeler dayanan n-sezgisel çokgen bulanık küme kavramını önermektedir. Daha sonra aritmetik işlemi ve Hamming mesafesi formülünü göstermişlerdir. Ek olarak, pozitif (negatif) ideal çözümün öznel matrisini elde etmek için standartlaştırılmış ve ağırlıklandırma yöntemini uygulayarak ve TOPSIS'i sağlamak için her şema ile pozitif (negatif) ideal çözüm arasındaki Hamming mesafesini hesaplanmıştır. Bu araştırma, göreceli benzerlik derecesine göre alternatif çözümler üzerinde optimize edilmiş sıralar sunmuş ve örnekler aracılığıyla etkinliğini ve uygulanabilirliğini göstermiştir [9]. Rafieyan ve arkadaşları çalışmalarında; Bulut bilişim sistemindeki aksaklıklar üzerine araştırmalar yapmışlardır. Bu sorunları çözmek için bu makalede, en iyi-en kötü çok kriterli karar verme yöntemi (BWM) ve VIKOR

yöntemi kavramının bir kombinasyonuna dayanan yeni bir uyarlanabilir yaklaşım sunmaktadır. VIKOR yöntemi, görev önceliklerini belirlemek için bir karar verici olarak sağlanır. Simülasyon sonuçları, tavsiye edilen yaklaşımın, benzerlerine kıyasla, dikkate alınan tüm deneysel senaryolar için iş hacmi, üretim süresi, bekleme süresi, sanal makine (VM) kullanımı ve VM kullanım maliyeti gibi performans ölçümlerini iyileştirdiğini kanıtlamaktadır [10].

Özcan ve Ömürbek çalışmalarında; demir çelik üretimi yapan bir firmanın 2000-2018 yılları arasındaki üretim, satış, faaliyet karı, çalışan sayısı, ihracat, ithalat, net satışlar, enerji tüketimi, kapasite kullanım oranı kriterleri esas alınarak performansı ve genel durumu hakkında değerlendirmesi yapılmıştır. Demir çelik firmasının performansının değerlendirilmesinde ENTROPİ yöntemiyle kriter ağırlıkları hesaplanıp daha sonra çok kriterli karar verme yöntemlerinden oldukça yaygın kullanılan TOPSIS, MULTIMOORA ve MAUT yöntemleri uygulanmıştır. Performans değerlendirilmesinde kullanılan bu 3 yöntemin çıktıları sonucu 2018 yılının en iyi performansa sahip yıl olduğu belirlenmiştir [11]. Yiğit ve Akpınar çalışmalarında; üç farklı tip rüzgâr türbini kulelerinin (çelik, hibrid ve betonarme) BAHS yöntemiyle seçimi üzerine çalışmışlardır. Kurulum ve bakım maliyetleri, ekonomik ömrü sonundaki geri dönüşüm oranları gibi kriterler bu çalışmada dikkate alınarak. Bu kriterler göz önüne alınarak farklı en uygun rüzgâr tribünü BAHS metodu ile analiz edilmiş ve en uygun kule tipinin hibrid tipi kule olduğu görülmüştür [12]. Kul ve arkadaşları çalışmalarında; her geçen gün ortaya çıkan yüksek mukavemetli yeni malzemelerin işleme gereksinimi, çok küçük işleme alanlarında çalışma gerektiren parçaların varlığı, çok hassas ve kırılğan parçaların işlenmesi ihtiyacı ve karmaşık geometrilerin işlenmesinde ortaya çıkan zorluklar nedeniyle geleneksel imalat yöntemlerinin ötesinde yeni üretim teknolojilerine duyulan ihtiyaç Alışılmamış İmalat Yöntemleri (AİY) ile çözülmektedir. Ayrıca birbirinden çok farklı ve sayıları gittikçe artan AİY arasında işlenecek parçaya ve üretim koşullara en uygun olanını seçmek imalatçılar için oldukça önemli bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada AİY seçimi için, BAHS ve BTOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Bulanıklığın da dahil edildiği seçim yöntemleri geliştirilmiş ve uygulamalar sonucunda bulanıklığın ve farklı seçim yaklaşımlarından ziyade ikili karşılaştırmalar aracılığıyla yapılan ağırlıklandırmanın sıralama sonucunda daha etkili olduğu ve Bulanık TOPSIS'ten ziyade Bulanık AHP aşamasının çok daha önemli olduğu görülmüştür [13].

Karaatlı ve arkadaşları çalışmalarında; Ülkemizde 2012-2013 sezonunda Süper Lig de en fazla gol atan 6 futbolcunun performanslarını değerlendirmelerine çalışmışlardır. Çalışmalarında Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarını elde etmişlerdir. Bu bulguları kullanarak öncelikle TOPSIS yönteminde daha sonra VIKOR yönteminde kullanılarak futbolcuların performansları değerlendirilerek sıralama yapılmıştır. Değerlemede kullanılan bu iki uygulama göre her iki yöntemde de aynı fakat atılan gol sayısına göre yapılan (gol krallığı sıralaması) sıralamadan daha farklı bir sonuca ulaşılmıştır [14].

Uçakcıoğlu ve Eren çalışmalarında; Savunma sanayisinde yapılacak proje yatırımlarının karar ve süreçlerinde çok ölçütlü karar verme yöntemleri sıkça kullanılmaktadır. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri, bugüne kadar proje seçimi, yer seçimi, tedarikçi seçimi gibi neredeyse karar verme süreci içeren tüm alanlarda kullanılmıştır. Bu çalışmada, hava savunma sanayisine yapılacak yatırım projelerinin seçimi ele alınarak, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi ve VIKOR yöntemi, belirli kriterler ve alternatifler arasında yatırım projesi seçiminde kullanılmıştır [15]. Tran ve arkadaşları çalışmalarında; ideal bir çözüme (Gray-TOPSIS) benzerlik ile tercih sırasına göre tekniğe gömülü gri ilişkisel katsayı üzerinde CFRP bazında işleme yaparken delme işleminin optimum parametresi hakkında kararlar vermeyi hedeflemektedir. Süreç varyasyonunun reddedilmesinde çok etkilidir ve diğer çok kriterli karar verme yaklaşımlarından daha büyük bir yardımcı stratejidir [16]. Wang ve arkadaşları çalışmalarında; bir Faz değişim malzeme (PCM) için etkiyen faktörleri ölçmek ve en iyi PCM yi seçmek için uygun bir yöntem sağlamak için, VIKOR yöntemi PCM seçimi alanında gösterilmiştir. PCM'leri seçmek için etkili ve pratik olduğunu ve stearik asidin düşük sıcaklıkta termal enerji depolaması için seçenekler arasında optimal PCM olduğu anlaşılmıştır [17].

Ceyhan, Yüksek Lisans Tezinde; L7 tipi elektrikli bir aracın şasi tasarımının analizlerini yapmıştır. Ayrıca dayanım, korozyon ve hafiflik gibi nedenlerden dolayı termoplastik kompozit salıncak kolu tasarımı yapılmıştır. Salıncak kolu tasarımındaki parametreleri belirlemek için simülasyon programları yardımıyla kaza animasyonu oluşturulmuştur. Salıncak koluna gelen yükler doğrultusunda tasarım yapılmış ve yapılan tasarım CAE programı aracılığıyla yapılmıştır. İncelemelerde farklı malzemeler ve katman sayılarının etkisi araştırılmıştır [18]. Görener çalışmasında; imalat sektörü göz önünde bulundurularak tedarik zinciri

stratejisinin seçimi konusu irdelenmiştir. Çalışmada uygun stratejinin belirlenebilmesi için, sayısal ve sayısal olmayan kriterlerin ele alınmış, VIKOR yöntemi ve bulanık mantık tabanlı bir metodoloji geliştirilmiştir. En küçük indeks değerine sahip strateji olan, “yalın-çevik” tedarik zinciri stratejisinin seçilmesi uygun görülmüştür [19].

TOPSIS yöntemi güçlendirilmiş alüminyum matris kompozitler (16 mikron SiC’da Al-5%SiC kompozit) [6], sert kaplama malzemesi [7] MEMS elektrostatik aktüerlerini [3] işleyebilmek için uygulanmıştır. Ayrıca bu yöntem en iyi konfigürasyon ürün tasarımı, montaj süreci ve bileşen tedarikçilerini belirlemek MOLP modeli kullanılarak [8], Hamming mesafe hesaplaması [9], demir çelik üretimi performans değerlendirmesi [11], futbolcu performansı değerlendirmesi [14] amacıyla da kullanılmıştır.

MEMS elektrostatik aktüerleri [3], bulut bilişim sistemi aksaklıkların belirlenmesi [10], futbolcu performansı değerlendirmesi [14], hava savunma sanayisine yapılacak yatırım projelerinin seçimi [15], faz değişim malzeme seçimi [17], imalat sektörünün tedarik zinciri stratejisi seçimi [19] çalışmalarında VIKOR yönteminden faydalanılmıştır.

Demir çelik üretimi performans değerlendirmesi için TOPSIS, MULTIMOORA ve MAUT yöntemleri [11], rüzgâr türbini kulelerinin seçiminde BAHS yöntemi [12], yüksek mukavemetli yeni malzemelerin işlenmesinde BAHS ve BTOPSIS yöntemleri [13], karbon fiber takviyeli plastiğin (CFRP) işleme yaparken delme işleminin optimum parametresinin karar verme sürecinde Gray-TOPSIS [16], L7 tipi elektrikli bir aracın şasi tasarımının analizleri bilgisayar destekli mühendislik (CAE) programı [17], imalat sektörünün tedarik zinciri stratejisi seçiminde bulanık mantık tabanlı bir metodoloji [19] uygulanmıştır.

Kesme kalıpları imalatında kullanılan soğuk iş takım çeliklerinden D2, D3, D4, D5, D7 çelikleri için aşınma direnci, tokluk, yüksek sıcaklıkta çalışma sertliği, genel kullanım sertliği, bulunabilirlik, maliyet ve işlenebilirlik parametreleri incelenerek Analitik Hiyerarşi Prosesinin Expert Choice (EC) programı kullanılarak duyarlılık analizine göre en uygun malzemenin %26 aşınma direncine sahip D2 çeliği olduğu görülmüştür [4].

Yapılan çalışmalarda otomobil şasisi malzeme seçimi amacıyla Solidworks 3 boyutlu modelleme yazılımı ve ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak TOPSIS yöntemi ve VIKOR yöntemlerinin karşılaştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada üretim hızı, doğruluğu ve uygun niteliklerde seçilmemiş malzemeler gibi belirtilen problemlerin önüne geçebilmek amacıyla farklı 3 çelik malzeme için çeşitli kriterler üzerinden bir değerlendirme yapılarak en iyi malzeme seçim kombinasyonları belirlenmiştir. Analizlerde Solidworks 3 boyutlu modelleme yazılımı, ANSYS sonlu elemanlar yazılımı, TOPSIS yöntemi ve VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Çalışma bu yönüyle literatüre katkı sağlayacaktır.

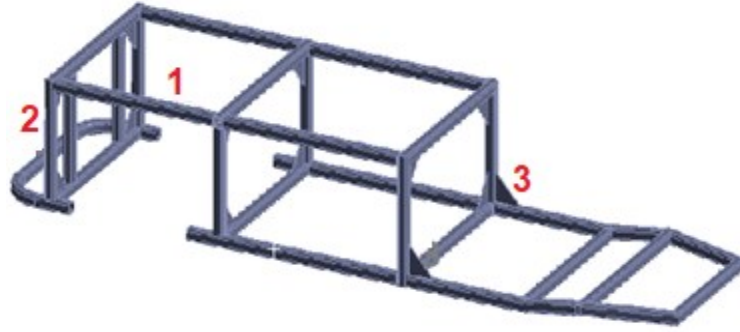
2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

Şasi üretiminde rol oynayan önemli parametreler; şasinin emniyet faktörü, üretimde kullanılan malzemelerin kaynak edilebilme ve işlenebilme yeteneği ve üretim maliyetidir. Emniyet katsayısının belirlenebilmesi için çalışmada şasi, Solidworks yazılımı ile 3 boyutlu modellenmiş, üzerine etki eden kuvvetler hesaplanmış, analiz sınır şartları belirlenmiş ve son olarak analiz ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Üretimde kullanılan malzemelerin kaynak edilebilirlik ve işlenebilme parametrelerinin tayininde malzemelerin kimyasal özellikleri ve karbon eşdeğer miktarı göz önünde bulundurularak derecelendirme yapılmıştır. Üretim maliyeti, şasi imalatı için kullanılan malzemelerin piyasa fiyatları dikkate alınarak tespit edilmiştir.

2.1. Şasi Emniyet Faktörünün Belirlenmesi

Emniyet faktörü, üretimi yapılacak her parça ve bu parçanın kullanılacağı sistemin geneli için çok önemlidir. Tasarım aşamasında yazılımlar vasıtasıyla gerçekleştirilen analizler, tasarımın ömrü hakkında üretime başlamak için fikir vermektedir. Çalışmada yolcu güvenliği, imalat kolaylığı ve günümüzde tercih edilen otomobil ve kamyon şasileri merdiven tipi koşullarına göre yeni bir şasi tasarımı yapılmıştır.

Şasi konstrüksiyon yapısı, kaynaklı birleştirmelerle birbirine entegre edilmiş yatay (1), dikey (2) ve federler (3) olarak üç ana parçadan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Tasarımı yapılan şasi konstrüksiyonu

Tasarlanan şasiye günlük kullanımda etki edecek kuvvetler Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Şasiye etki eden yükler

Yük	Uyguladığı Kuvvet (N)
Kabuk	912,5
Sürücü	800
Taşınacak yük	512,5
DC motor	200
Akü grubu	600

Tablo 1.'de belirtilen kuvvetlere göre gerçekleştirilen statik analizler sonucunda şasinin farklı malzeme kombinasyonları için emniyet katsayısı faktörü (s) belirlenmiştir. Uygulanan kuvvetler sonucu oluşan akma gerilmesinin, malzemenin akma gerilmesine oranlanması olan emniyet katsayısı faktörünün yüksek olması beklenmektedir. $S > 1$ olması tasarımın güvenli olduğunu göstermektedir.

Optimizasyon işlemi sırasında emniyet faktörüne maksimizasyon yapılmıştır.

2.2. Şasi Üretiminde Kullanılacak Malzemelerin Kaynak Edilebilme ve İşlenebilme Yeteneği Parametrelerinin Belirlenmesi

Üretim aşamasını etkileyen bir diğer faktör de üretimde kullanılacak malzemelerin kaynak edilebilme ve işlenebilme yeteneğidir. Karbon miktarı %0,2'nin üzerinde olan çelik malzemeler tavlama işlemi yapıldıktan sonra kaynak edilmelidir. Çeliğin kimyasal içeriğinde; karbon (C), silisyum (Si), potasyum (P), kükürt (S), nikel (Ni), bakır (Cu) ve mangan (Mn) gibi elementler bulunmaktadır. Bu elementler çeliğin kaynak edilebilirlik parametresini etkilemektedir. Etki oranının hesaplanabilmesi için karbon eşdeğeri (Ceş) adında bir eşitlik geliştirilmiştir (Denklem 1) [22,23].

$$C_{eş} = \%C + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (1)$$

Üretimde kullanılacak çelik malzemelerin Ceş değerlerinin yüksek olması kaynak kabiliyetlerini düşürdüğünden dolayı optimizasyon işleminde kaynak edilebilme için Ceş değerinin düşük olması beklenmekte olup minimizasyon işlemi yapılmıştır. Optimizasyon işlemine katılacak çelik malzemelerin kimyasal özellikleri ve Ceş değerleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Malzemelerin kimyasal özellikleri

Çelik Türü	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%N	%Cu	Ceş
------------	----	-----	-----	----	----	----	-----	-----

Ck45	0,43	0	0,6	0,04	0,05	-	-	0,53
St52	0,24	0,55	1,6	0,035	0,035	0,012	0,55	0,543333
C4140	0,38	0,15	0,75	0,035	0,04	-	-	0,505

Üretimi etkileyen bir diğer parametre olan işlenebilirlik yeteneği parametresi ise çelik malzemelerde kullanılan C miktarları (Tablo 3) ve alaşım elementlerinin işlenebilirliğe etkisi (Tablo 4) açısından incelenmiştir. Karbon miktarı artıkça malzemenin mukavemeti artacağı için işlenebilirlik yeteneği de azalacağından dolayı optimizasyon sırasında C miktarı minimizasyon yapılarak hesaba katılmıştır. İşlenebilirliğe etki eden bir diğer unsur ise çeliğin yapısında bulunan/katılan farklı alaşım elementleridir. Kimyasal özelliklerin sayısallaştırarak hesaba katılabilmesi için bir eşitlik geliştirilmiştir (Denklem 2) [21].

Tablo 3. Malzeme %C miktarları

Çelik Türü	C miktarı
Ck45	0,43
St52	0,24
C4140	0,38

Tablo 4. Alaşım elementlerinin işlenebilirliğe etkisi [0]

	Si	Mn	Cr	Al	W	V	Co	Mo	S	P
İşlenebilirlik	↓	↓	-	↓	↓↓	-	↔	↓	↑↑ ↑	↓↓ ↓

İşlenebilirlik parametresini sayısallaştırarak TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde kullanabilmek amacıyla Tablo 2 kullanılarak bir formül türetilmiştir [0,23]. Denklem 2. dikkate alınarak alaşım elementlerinin hesaplanan işlenebilirlik katsayısı (COM) değerleri Tablo 5.'te verilmiştir.

$$COM = 3x\%S - \%Si - \%Mn - \%Ni - 2x\%W - \%Mo - 3x\%P \quad (2)$$

Tablo 5. Malzeme COM değerleri

Çelik Türü	COM
Ck45	-0,57
St52	-2,15
C4140	-0,885

2.3. Üretim Maliyeti

Üretim aşamasını etkileyen bir diğer önemli parametre ise kullanılacak çelik malzemelerin kilogram (kg) fiyatlarıdır. Tablo 6'da ulusal çelik firmalarının web sitelerinde yayınlamış oldukları çelik kg fiyatları görülmektedir.

Tablo 6. Malzeme fiyatları

Çelik Türü	Fiyat (TL/kg)
Ck45	0,011847165
St52	0,00973
C4140	0,0146

Şasi üretiminde 3 farklı çelik alaşımı için (Ck45, St52, C4140) malzeme seçiminde çok kriterli problem oluşturulmuştur. Çok kriterli problem çözümünde çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve VIKOR yöntemi kullanılmıştır.

2.4. TOPSIS Yöntemi

İdeal seçim artan veya azalan varyasyon olarak tanımlanabilir. Böylelikle, en ideal optimizasyon en iyi özneliliklerden oluşurken; en kötü çözüm en kötü özneliliklerden oluşur. TOPSIS yöntemi, en ideal çözüme yakın ve en kötü çözüme uzak çözümler seçmeye çalışır [6,24]. İlk olarak problem matrisi ve her bir parametre için ağırlık matrisinin oluşturulması gerekmektedir (Denklem 3-4) [3].

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Bu yöntem, matematiksel olarak özetlenmiştir;

1. Normalleştirilmiş karar matrisi r_{ij} değeri hesaplanır (Denklem 5);

$$r_{ij} = A_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m X_i^2} \quad i = 1,2,3 \dots m; j = 1,2,3 \dots n \quad (5)$$

2. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisini hesaplanır (Denklem 6);

$$V_{ij} = W_{ij} \times r_{ij} \quad i = 1,2,3, \dots m; j = 1,2,3 \dots m \quad (6)$$

3. Pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenir (Denklem 7-8);

$$V^+ = \left\{ \left(\sum_i^{\max} V_{ij} / j \in J \right), \left(\sum_i^{\min} V_{ij} / j \in J \right) / i = 1,2,3, \dots m \right\} = V_1^+, V_2^+, V_3^+ \dots \quad (7)$$

$$V^- = \left\{ \left(\sum_i^{\min} V_{ij} / j \in J \right), \left(\sum_i^{\max} V_{ij} / j \in J \right) / i = 1,2,3, \dots m \right\} = V_1^-, V_2^-, V_3^- \quad (8)$$

4. İdeal pozitif ve ideal negatif değerler hesaplanır (Denklem 9-10);

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1,2,3, \dots m \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1,2,3, \dots m \quad (10)$$

5. Pozitif ideal çözüme yakınlık belirlenir (Denklem 11);

$$R_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad S_i^+ \geq 0, \quad S_i^- \geq 0 \text{ ve } R_i \in [0,1] \quad (11)$$

2.5. VIKOR Yöntemi

Çalışmada kullanılacak çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir diğeri VIKOR yöntemidir. Bu yöntem, en uygun karar seçeneklerini belirlemek için seçeneklerden performansın en iyi olanın seçilmesi ya da karar

seçeneklerini performanslarına göre sıralanmasına dayanmaktadır. Yöntemin amacı, karar seçeneklerinin sıralanmasında en ideal çözüme en yakın olan uzlaşık çözüme ulaşmaktır. Problem matrisi ve her bir parametre için ağırlık matrisinin Denklem 3 ve 4'te belirtilmiştir. VIKOR yöntemin matematiksel modeli aşağıda özetlenmiştir [3];

1. Karar matrisi normalleştirilir (Denklem 12);

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}, j = 1,2,3 \dots m, i = 1,2,3, \dots n \quad (12)$$

2. Çözüm için, parametrelere en iyi ve en kötü durumları belirlenir.
3. Fayda ve zarar ölçütleri hesaplanır (Denklem 13-14);

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_i(f_i^+ - f_{ij})}{f_i^+ - f_i^-} \quad (13)$$

$$R_j = \max_i \sum_{i=1}^n \frac{w_i(f_i^+ - f_{ij})}{f_i^+ - f_i^-} \quad (14)$$

4. İdeal pozitif ve ideal negatif değerler hesaplanır (Denklem 15);

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^+)}{(S^- - S^+)} + (1 - v) \frac{(R_j - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (15)$$

5. Çözümler arasında sıralama yapılarak en ideal çözüm belirlenir.

V; kriterlerin çoğunluğunun ağırlıklı olarak toplam faydasıdır. $0 < V < 1$ ve genellikle V'nin değeri 0,5 olarak kabul edilir [24].

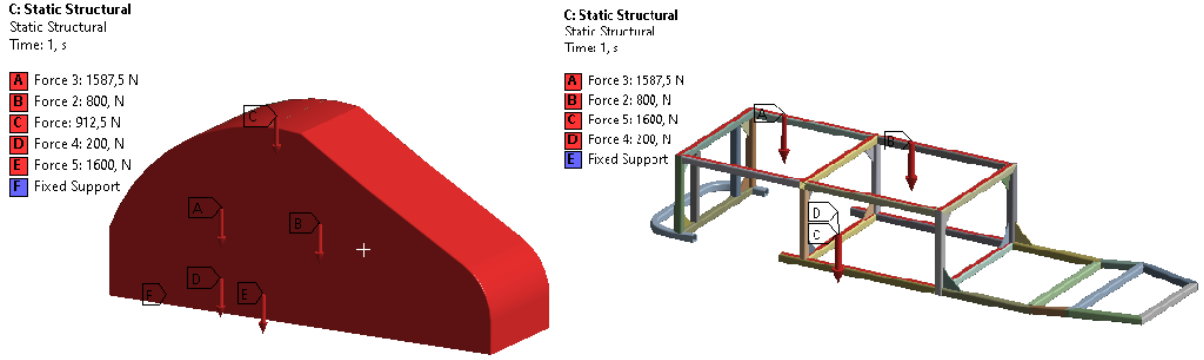
3. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Çok kriterli problemin oluşturulabilmesi için öncelikle emniyet faktörü hesabı yapılmıştır. Güvenlik katsayısının belirlenebilmesi için şaside meydana gelen gerilme dağılımlarının ve kullanılacak malzemelerin akma ve çekme dayanımlarının belirlenmesi gerekmektedir (Tablo 7).

Tablo 7. Kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri

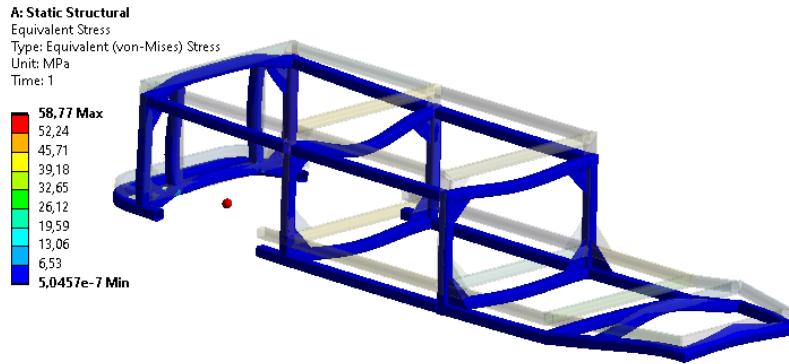
Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama Miktarı (%) (mm)
Ck45	500	590-735 MPa	14
St52	355	510-680 MPa	18
C4140	330	590-735 MPa	17

Şasinin statik analizinin gerçekleştirilebilmesi için tasarımı yapılan şasi, ANSYS sonlu elemanlar paket yazılımına aktarılmıştır. Analiz için sınır şartları belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Şasiye uygulanan sınır şartları

Analizin gerçekleştirilmesi için sonlu elemanlar ağ modeli oluşturulmuştur. Ağ, 130085 noktadan ve 57444 elementten meydana gelmektedir. Analiz işlemleri sonucunda şaside 58,77 MPa'lık gerilme oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 3). 3 farklı malzeme ve 3 farklı bölge için 3^3 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda şaside meydana gelen akma gerilmesinin seçilen malzemelerin akma gerilmesinin çok altında olduğu görülmüş ve şasinin analize tabi tutulan her malzeme için güvenlik değerini karşıladığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. Şaside oluşan gerilme değeri

Analizlere bağlı olarak şasi üretimine etki eden parametreler, çok kriterli karar verme problemine göre oluşturulmuştur (Tablo 8).

Elektrikli araç şasi malzeme seçiminde emniyet faktörü, maliyet unsuru, kaynak edilebilme ve işlenebilme parametreleri sayısallaştırılarak problem oluşturulmuştur. Kaynak edilebilme yeteneği Tablo 2'de, işlenebilme yeteneği ise Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Maliyet parametresi ise Tablo 5'te sunulmuştur.

Çok kriterli problemin çözümü için problemi oluşturan sorunların yüzde ağırlıkları; emniyet faktörü %5, maliyet unsuru %25, kaynak edilebilme %35, işlenebilme yeteneğini oluşturan alaşım element özelliği %15 ve mukavemet değeri %20 oranları belirlenmiştir (Tablo 8). Burada emniyet faktörünü %5 gibi düşük bir değer alamamızın sebebi bir önceki aşamada yapılan analizlerde her bir malzeme için şasinin yüksek mukavemetli olması ve her şekilde güvenli sınırlar içerisinde yer almasıdır.

Kaynak edilebilme ve işlenebilme yetenekleri, tasarımın üretimine doğrudan etki ettiği için en önemli parametrelerdir. Bu iki parametre aynı zamanda şasinin güvenlik katsayısı parametresinde de etkilidir. Şasi kaynaklı birleştirmelerinin iyi yapılamaması durumunda şasi yapısının mukavemeti, titreşimlere karşı tepkisi, frenleme ve keskin virajlardaki davranışı istenilen seviyede olamayacaktır. Kaynak bölgelerinde kırılma/çatlama/malzeme yapısında meydana gelen mikro değişimler şasinin yapısal bütünlüğüne olumsuz etki edecektir. Bunun yanı sıra işlenebilme yeteneği dikkate alınmadan üretime geçilmesi hem üretimde sorunlara yol açabileceği gibi hem de malzeme ve buna bağlı olarak şasi yapısının istenilen nitelikleri sağlayamamasına neden olacaktır. Mühendislik tasarımında oldukça önemli rol oynayan bu iki parametrede

%35'lik oranlarla en yüksek ağırlık verilmiştir. İkinci olarak mühendislik tasarımlarında aranan en önemli özellik maliyettir. Tasarımı yapılan ürünlerin güvenli ve aynı zamanda en uygun maliyetle üretilmesi tercih edilmektedir. Bu çalışmada tasarlanan şasinin her malzeme kombinasyonu durumda güvenli aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden emniyet faktörü %5, maliyet faktörü ise %35 olarak ağırlıklandırılmıştır (Tablo 9).

Tablo 8. Sorun ağırlık oranları

Sorun		Ağırlık Oranı	İstenilen Kriter
Maliyet		%25	Minimum olmalı
Kaynak edilebilme		%35	Minimum olmalı
İşlenebilme yeteneği	Alaşım element özelliği	%15	Minimum olmalı
	Mukavemet değeri	%20	Minimum olmalı
Emniyet faktörü		%5	Maksimum olmalı

Malzemeler			Maliyet	Emniyet Faktörü	Kaynak Edilebilme Yetengi	İşlenebilme Yeteneği	
Yatay	Dikey	Federler				Mukavemet	Alaşım Element Özelliği
Ck45	Ck45	Ck45	899,1969	8,507	5446733,775	4157566,017	11602509,82
Ck45	Ck45	St52	893,38	8,507	5439733,775	4091066,017	11943409,82
Ck45	Ck45	C4140	906,7603	8,507	5411733,775	4140066,017	11497509,82
Ck45	St52	Ck45	872,1767	8,507	5414217,994	3848666,104	13186028,32
Ck45	St52	St52	866,3598	8,507	5407217,994	3782166,104	13526928,32
Ck45	St52	C4140	879,7401	8,507	5379217,994	3831166,104	13081028,32
Ck45	C4140	Ck45	934,3297	8,507	5284154,873	4076276,566	11114773,11
Ck45	C4140	St52	928,5128	8,507	5277154,873	4009776,566	11455673,11
Ck45	C4140	C4140	941,8931	8,507	5249154,873	4058776,566	11009773,11
St52	Ck45	Ck45	765,5247	6,0405	5292874,392	2695901,877	19095461,78
St52	Ck45	St52	765,5247	6,0405	5285874,392	2629401,877	19436361,78
St52	Ck45	C4140	778,905	6,0405	5257874,392	2678401,877	18990461,78
St52	St52	Ck45	744,3215	6,0405	5260358,611	2387001,963	20678980,28
St52	St52	St52	738,5046	6,0405	5253358,611	2320501,963	21019880,28
St52	St52	C4140	751,8849	6,0405	5225358,611	2369501,963	20573980,28
St52	C4140	Ck45	806,4745	6,0405	5130295,49	2614612,426	18607725,07
St52	C4140	St52	800,6576	6,0405	5123295,49	2548112,426	18948625,07
St52	C4140	C4140	814,0379	6,0405	5095295,49	2597112,426	18502725,07
C4140	Ck45	Ck45	1065,44	5,651	4677436,859	3772917,559	9294619,068
C4140	Ck45	St52	1059,623	5,651	4670436,859	3706417,559	9635519,068
C4140	Ck45	C4140	1073,004	5,651	4642436,859	3755417,559	9189619,068
C4140	St52	Ck45	1038,42	5,651	4644921,078	3464017,646	10878137,57
C4140	St52	St52	1032,603	5,651	4637921,078	3397517,646	11219037,57
C4140	St52	C4140	1045,983	5,651	4609921,078	3446517,646	10773137,57
C4140	C4140	Ck45	1100,573	5,651	4514857,957	3691628,108	8806882,362
C4140	C4140	St52	1094,756	5,651	4507857,957	3625128,108	9147782,362
C4140	C4140	C4140	1108,136	5,651	4479857,957	3674128,108	8701882,362

Tablo 9. Şasi üretimine etki eden çok kriterli problem

Problemin çözümünde ilk olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. TOPSIS yönteminde Eşitlik 5-11 sırası ile takip edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en iyi optimizasyonun dikey profil ve federlerinde St52 çeliği, yatay profilin ise 4140 çelik malzemedenden olduğu görülmüştür (Tablo 10).

Tablo 10. TOPSIS yöntemi sonuçları

<i>Yatay</i>	<i>Dikey</i>	<i>Feder</i>	<i>Qi</i>	<i>Sıralama</i>
<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	0,457176	27
<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	0,457848	26
<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	0,459916	25
<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	<i>Ck45</i>	0,462346	24
<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	<i>St52</i>	0,464184	23
<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	<i>C4140</i>	0,465605	22
<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	<i>Ck45</i>	0,470901	21
<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	<i>St52</i>	0,472159	20
<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	<i>C4140C4140</i>	0,474139	19
<i>St52</i>	<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	0,505099	17
<i>St52</i>	<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	0,504782	18
<i>St52</i>	<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	0,505994	16
<i>St52</i>	<i>St52</i>	<i>Ck45</i>	0,510924	15
<i>St52</i>	<i>St52</i>	<i>St52</i>	0,512207	14
<i>St52</i>	<i>St52</i>	<i>C4140</i>	0,513759	13
<i>St52</i>	<i>C4140</i>	<i>Ck45</i>	0,519063	12
<i>St52</i>	<i>C4140</i>	<i>St52</i>	0,520641	10
<i>St52</i>	<i>C4140</i>	<i>C4140</i>	0,522848	8
<i>C4140</i>	<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	0,519967	11
<i>C4140</i>	<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	0,523149	7
<i>C4140</i>	<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	0,52256	9
<i>C4140</i>	<i>St52</i>	<i>Ck45</i>	0,536309	3
<i>C4140</i>	<i>St52</i>	<i>St52</i>	0,540248	1
<i>C4140</i>	<i>St52</i>	<i>C4140</i>	0,539125	2
<i>C4140</i>	<i>C4140</i>	<i>Ck45</i>	0,530911	6
<i>C4140</i>	<i>C4140</i>	<i>St52</i>	0,534284	4
<i>C4140</i>	<i>C4140</i>	<i>C4140</i>	0,532896	5

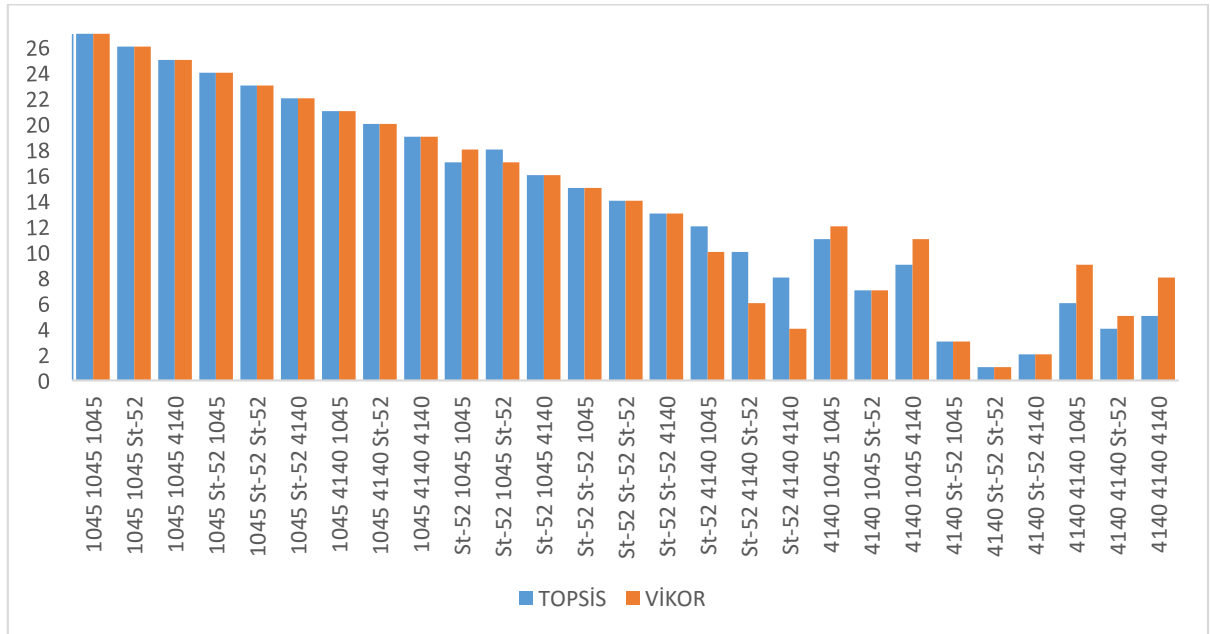
İkinci yöntem olarak uygulanan VIKOR yönteminde ise Eşitlik 12-15 sırasıyla uygulanmıştır. VIKOR yönteminde optimum malzeme sıralaması diğer yöntemlerden farklı olarak ters sıralanır. İşlemler sonucunda en düşük değeri veren malzeme optimizasyonu, en iyi çözüm olarak belirlenir. Yapılan hesaplamalar sonucunda en iyi çözümün TOPSIS yönteminde elde edilen sonuca benzer şekilde dikey profil ve federlerin St52 çeliği, yatay profilin ise 4140 çelik malzemede olduğu görülmüştür (Tablo 11).

Tablo 11. VIKOR yöntemi sonuçları

<i>Yatay</i>	<i>Dikey</i>	<i>Feder</i>		<i>Sıralama</i>
<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	1	27
<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	0,97224	26
<i>Ck45</i>	<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	0,936303	25
<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	<i>Ck45</i>	0,871053	24
<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	<i>St52</i>	0,843293	23
<i>Ck45</i>	<i>St52</i>	<i>C4140</i>	0,807355	22
<i>Ck45</i>	<i>C4140</i>	<i>Ck45</i>	0,704119	21

Ck45	C4140	St52	0,676359	20
Ck45	C4140	C4140	0,640422	19
St52	Ck45	Ck45	0,469406	18
St52	Ck45	St52	0,449622	17
St52	Ck45	C4140	0,413684	16
St52	St52	Ck45	0,348434	15
St52	St52	St52	0,320674	14
St52	St52	C4140	0,284737	13
St52	C4140	Ck45	0,181501	10
St52	C4140	St52	0,153741	6
St52	C4140	C4140	0,117803	4
C4140	Ck45	Ck45	0,196386	12
C4140	Ck45	St52	0,163992	7
C4140	Ck45	C4140	0,191546	11
C4140	St52	Ck45	0,045912	3
C4140	St52	St52	0,013518	1
C4140	St52	C4140	0,041073	2
C4140	C4140	Ck45	0,173904	9
C4140	C4140	St52	0,14151	5
C4140	C4140	C4140	0,169065	8

Maliyet, güvenlik katsayısı, kaynak edilebilme ve işlenebilme kavramları ile çok kriterli oluşturulan problemin çözümünde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 4). TOPSIS ve VIKOR analizleri incelendiğinde ikinci ideal optimizasyon seçeneği olarak yatay profillerin ve federlerin C4140 çeliğinden, dikey profillerin St52 çeliğinden yapılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki yöntemde de benzer sonuçların çıkması sorun ve ağırlık matrisinin doğru bir şekilde oluşturulduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Sıralama sonuçları

Çalışmada şasi üretiminde etkili faktörler olan maliyet, emniyet, kaynak edilebilme ve işlenebilme yeteneği faktörlerinin karşılaştırmalı olarak çok kriterli karar verme yöntemleri ile incelenmesi ve buna bağlı olarak şasi parçaları için optimum malzeme kombinasyonu belirlenmiştir. Otomobil şasesi malzeme seçimi amacıyla Solidworks 3 boyutlu modelleme yazılımı ve ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak TOPSIS yöntemi ve VIKOR yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen şasi yapısı yatay elemanlar, dikey elemanlar ve federlerden oluşmaktadır. ÇKKV analizinden sonra ilk en iyi malzeme kombinasyonu seçeneği yatay profillerin C4140 çeliğinden ve maliyetin düşük olması için ise diğer şasi konstrüksiyon elemanlarının St52 çeliğinden yapılmasının her iki ÇKKV yöntemi açısından en ideal seçenek olduğu ortaya konmuştur. C4140 çeliğinin mekanik ve kimyasal özelliklerinin diğer iki çeliğin özelliklerine göre ortalama değerlere sahip olması, optimizasyon işleminde bu çeliği ön plana çıkarmıştır. TOPSIS ve VIKOR analizleri incelendiğinde ikinci ideal optimizasyon seçeneği olarak yatay profillerin ve federlerin C4140 çeliğinden, dikey profillerin St52 çeliğinden yapılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki yöntemde de benzer sonuçların çıkması sorun ve ağırlık matrisinin doğru bir şekilde oluşturulduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yurdakul M. ve İç YT. (2008). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi. İşletme Fakültesi Dergisi 9 (1): 125-140.
- [2] Kumar R., Chodha V., Dubey R. vb. (2021). Selection of industrial arc welding robot with TOPSIS and Entropy MCDM techniques. Materialstoday: proceedings, Online Basım.
- [3] Yazdani M. ve Payam AF. (2015). A comparative study on material selection of microelectromechanical systems electrostatic actuators using Ashby, VIKOR and TOPSIS. Mater. Des. 65, 328–334.
- [4] Şubaşı RM. (2019). Pres Kalıpları İmalatında Malzeme Seçimi İçin Bir Karar Destek Sistem Tasarımı ve Uygulaması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [5] Gök M. ve Yiğit AM. (2017). TOPSIS ve GİA Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Lastik Seçimi. Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi 7(3): 423-431.
- [6] Khorshidi R. ve Hassani A. (2013). Comparative analysis between TOPSIS and PSI methods of materials selection to achieve a desirable combination of strength and workability in Al/SiC composite. Materials and Design 52: 999–1010.
- [7] Chauhan A. ve Vaish R. (2013). Hard coating material selection using multi-criteria decision making. Materials and Design 44:240-245.
- [8] Shidpour H., Shahrokhi M. ve Bernard A. (2013). A multi-objective programming approach, integrated into the TOPSIS method. Computers & Industrial Engineering 64: 875–885.
- [9] Wang G. ve Duan Y. (2018). TOPSIS approach for multi-attribute decision making problems based on n-intuitionistic polygonal fuzzy sets description Computers & Industrial Engineering 124: 573–581.
- [10] Rafieyan E., Khorsand R. ve Ramezanzpour M. (2020). An adaptive scheduling approach based on integrated best-worst and VIKOR for cloud computing. Computers & Industrial Engineering 140. 106272.
- [11] Özcan A. ve Ömürbek N. (2020). Bir Demir Çelik İşletmesinin Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, IBAD Sosyal Bilimler Dergisi Sayı 8:77-98.

- [12] Yiğit ME. ve Akpınar ME. (2021). Rüzgâr Türbin Kulesi Alternatiflerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 23:386-393.
- [13] Kul Y., Şeke A. ve Yurdakul M. (2014). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 29 (3): 589-603.
- [14] Karaatlı M., Ömürbek N. ve Köse G. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci Temelli TOPSIS ve VIKOR Yöntemleri ile Futbolcu Performanslarının Değerlendirilmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 29 (1): 25-61.
- [15] Uçakcıoğlu B. ve Eren T. (2017). Analitik Hiyerarşi Prosesi ve VIKOR Yöntemleri ile Hava Savunma Sanayisinde Yatırım Projesi Seçimi, *Harran Mühendislik Dergisi* 2 (2): 35-53.
- [16] Tran QP., Nguyen VN. ve Huang SC. (2020). Drilling Process on CFRP: Multi-Criteria Decision-Making with Entropy Weight Using Grey-TOPSIS Method. *Applied Sciences* 10, 7207.
- [17] Wang Y. Zhang Y. Yang W. ve Ji Hu. (2015). Selection of Low-Temperature Phase-Change Materials for Thermal Energy Storage Based on the VIKOR Method. *Energy Technology* 3:84-89.
- [18] Ceyhan MB. (2020). L7 Tipi Elektrikli Bir Aracın Yüksek Şasili Olarak Tasarım, Alternatif Malzeme ve Birleştirme Teknikleri ile Prototip Üretimi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- [19] Görener A. (2013). Tedarik Zinciri Stratejisi Seçimi: Bulanık VIKOR Yöntemiyle İmalat Sektöründe Bir Uygulama, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi* 5(3):47-62.
- [20] Anık S. Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar. GEV Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü.
- [21] Net; <https://atgdemircelik.com/alasim-elementlerinin-celice-etkisi-s21.html>
- [22] Alvalı GT. (2019). Raylı Sistem Araç Teknolojisine Mühendislik ve Ekonomi Yaklaşımlarının Uygulanması: Yük Vagonu Bojisi Örneği. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- [23] Çetin MH. ve Alvalı GT. (2020). Yük Vagonu Bojisi Tasarımında Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Malzeme Seçimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 8(1): 91-104.
- [24] Vahdani B., Mousavi SM., Tavakkoli-Moghaddam R. ve Hashemi H. (2013). A New Design Of The Elimination And Choice Translating Reality Method For Multi-Criteria Group Decision-Making in An Intuitionistic Fuzzy Environment. *Applied Mathematical Modelling* 37:1781–1799.