

Süreç Hatalarının Analizinde Taksonomi Yöntemini Temel Alan Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Yöntem Önerisi

A Novel Integrated Hesitant Fuzzy Method for Process Failure Analysis Based on Taxonomy Method

Cansu SAKARYA¹ , Kumru Didem ATALAY¹ , Esra DİNLER¹ 

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Öz

Siparişe özel üretim sistemlerinde üretim aşamasına geçmeden önce mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme süreci firmaların kilit görevi gören süreçlerinin başında gelmektedir. Bu sürecin verimliliği sonraki aşamalar için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yer alan bir firmada mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılmasına yönelik Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi önerilmiştir. Çalışmanın amacı, sipariş işleme sürecindeki mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümleri önem düzeylerine göre sıralamaktır. Önerilen yöntemde, kriterlerin farklı karar vericiler tarafından değerlendirilmesi ve karar vericilerin kendi görüşlerinde net olmaması gibi nedenlerle tereddütlü bulanık sayılar kullanılmıştır. Kriterlerin önem ağırlıklarını bulmak amacıyla Tereddütlü Bulanık Entropi Yöntemi kullanılmıştır. Hataların kaynaklandığı bölümlerin önem düzeylerine göre sıralanmasında birbirinden bağımsız kriterlerin bulunduğu durumlarda kullanılan taksonomi yöntemi geliştirilmiş şekliyle uygulanmıştır. Önerilen yeni bütünleşik yöntem ile elde edilen sonuçlar farklı yöntemler ile karşılaştırılmış ve sıralamalar arasında istatistiksel bir fark olup olmadığını gözlemlemek amacıyla Spearman Rank Korelasyon uygulanmıştır. Çalışmanın ilgili literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, belirsizlik içeren bir yapıda bulunan veride düzensiz bilginin ortadan kaldırması, ikincisi ise süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik yeni bir yöntem geliştirilmiş olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Tereddütlü bulanık entropi, Geliştirilmiş taksonomi yöntemi, Süreç hata analizi, Siparişe özel üretim sistemleri, Çok kriterli karar verme

Abstract

In make-to-order systems, order processing, in which engineering and design activities are carried out before the production phase, is one of the leading key processes of the companies. The efficiency of this process is very important for the next stages. In this study, a New Integrated Hesitant Fuzzy Entropy Based Improved Taxonomy Method is proposed to reduce the failures occurring in order processing in which engineering and design activities are carried out of a company operating in the automotive industry. The aim of the study is to rank the departments causing failures that lead to the repetition of engineering and design activities in order to process according to their importance levels. In the proposed method, hesitant fuzzy numbers are used because of reasons such as the criteria have been evaluated by different decision makers. Hesitant Fuzzy Entropy Method is used to find the importance weights of the criteria. In ranking the departments leading to failures according to their importance levels, the taxonomy method, used in cases where there are independent criteria from each other is applied in its developed form. The results obtained with the proposed new integrated method are compared with different methods and the Spearman Rank Correlation is applied to observe whether there is a statistical difference between the rankings. The study has two important contributions to the related literature. The first one is the elimination of disordered information in uncertain structured data and the second one is the development of a new method to increase process efficiency.

Keywords: Hesitant fuzzy entropy, Improved taxonomy method, Process failure analysis, Make-to-order systems, Multi-criteria decision making

I. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi, teknolojik ve yönetsel yeniliklerin yanı sıra büyüme ve istihdamın dünya çapındaki en önemli itici güçlerinden biridir. Giderek daha karmaşık ve rekabetçi hale gelen küresel pazar nedeniyle, otomotiv firmaları kârlı kalabilmek için operasyonlarını iyileştirmenin yeni yollarını aramaktadırlar. Otomotiv endüstrisinin özelliklerinden biri, aynı anda geliştirilen birkaç yeni ürünün yönetimi ile ilgilidir. Otomotiv firmaları genellikle birkaç ürün hattına sahiptir ve mevcut ürünleri değiştirmek veya tamamen yeni ürün hatları eklemek için sürekli

olarak yeni ürünler geliştirir. Teknolojinin gelişmesi genel anlamda zihinlerde makine ve ekipmanların gelişmesi olarak düşünülmektedir. Ancak son dönemlerde teknolojik gelişmelerden en çok etkilenen alanlardan bir tanesi de Araştırma Geliştirme (Ar-Ge). Ar-Ge alanında faaliyet gösteren işletmeler incelendiğinde bu alandaki kaynakların ağırlıklı olarak işgücü ve zaman parametrelerinden oluştuğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla bu alanda gerçekleştirilen her birim işgücü ve zaman tasarrufu işletmenin giderlerini direkt olarak azaltır, verimlilik ve kâr artışını sağlamaktadır. Bu alandaki kaynakların verimini arttırmanın en iyi yolu ise yapılan hataları azaltarak, tekrar eden işleri ve bundan dolayı ortaya çıkan iş gücü ve zaman kaybını önlemektir.

Bu çalışmada, tasarım ve mühendislik alanında yoğun çalışmalar yürüten, otomotiv sektöründe yer alan çok uluslu bir firmada mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılmasına yönelik bütünleşik bir yöntem önerilmiş ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi ile hataların azaltılması veya erken tespit edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği firma birçok farklı araç tipi üretmekte ve her bir araç tipinde siparişe özel müşteri isteklerine göre modifikasyonlar yapmaktadır. Bundan dolayı her sipariş için üretim aşamasından önce siparişe özel kapsamlı mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinden geçmektedir. Bu süreç boyunca gerçekleştirilen mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine yol açan her bir hata maliyetlerin artması ile sürecin kritik noktalarında tespit edilmesi durumunda projenin zaman planını riske atmaktadır. Bu hataların azaltılması ve erken tespitinin sağlanması direkt olarak firmanın mühendislik çalışma maliyetini azaltarak verimlilik artışını sağlayacağından ve projelerin risk düzeyini azaltacağından sipariş işleme sürecinde gerçekleştirilecek hata analizi çalışmasının sonucunun firmaya büyük ölçüde fayda sağlayacağı açıkça görülmektedir.

Çalışmanın amacı sipariş işleme süreci boyunca mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümleri önem düzeylerine göre sıralamak olduğu için, bu önem düzeylerini belirlemede önem teşkil eden kriterler karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Seçilen kriterlerin farklı karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda derecelendirmelerin farklı olması ve bunun yanı sıra kendi görüşlerinin net olmaması nedeni ile değerlendirmede tereddütlü bulanık sayılar kullanılmıştır. Seçilen her kriterin farklı bir önceliği olduğu için uygun önem ağırlığını bulmak amacıyla objektif bir değerlendirme yöntemi olan ve bilgi teorisinde tesadüfî bir değişkenle ilişkili belirsizliğin ölçüsü olarak tanımlanan entropi

kavramını baz alan Tereddütlü Bulanık Entropi Yöntemi kullanılmıştır [1]. Seçilen kriterlerin ağırlıklandırması gerçekleştirildikten sonra hataların kaynaklandığı bölümlerin önem düzeylerine göre sıralanması amacıyla birbirinden bağımsız kriterlerin bulunduğu durumlarda kullanılan taksonomi yöntemi geliştirilmiş şekliyle uygulanmıştır [2].

Bu çalışmada önerilen bütünleşik yöntem, bilgi içeriği veya belirsizlik miktarını ölçebilen ve bilgiye dayalı bir yaklaşım olan Tereddütlü Bulanık Entropi Yönetimi kriter ağırlıklarını belirlemek amacı ile tercih edilmiştir. Ayrıca hataların sıralandırılması için kullanılan Taksonomi Yöntemi tutarlı ve bilinçli kararlar almayı sağladığı için avantajlıdır.

İkinci bölümde verilen literatür araştırmasının ardından üçüncü bölümde önerilen Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi adımlarıyla detaylı olarak açıklandıktan sonra dördüncü bölümde önerilen yeni yöntemin ilgili firmadaki sipariş işleme sürecindeki hata analizinde uygulamasına yer verilmiştir. Çalışma, beşinci bölümde sonuçların karşılaştırılması ve ardından altıncı bölümde sonuçlar verilerek tamamlanacaktır.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Üretim aşamasından önce siparişe özel kapsamlı mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme süreci firmaların kilit görevi gören süreçlerinin başında gelmektedir. Bu sürecin verimliliği ileride gerçekleştirilen faaliyetler için oldukça önemlidir. Literatürde sipariş işleme sürecinin verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalarda daha çok tedarik ve lojistik konuları ele alınmış ve bu çalışmaların da oldukça sınırlı olduğu gözlenmiştir. Uthayakumar ve Rameswari [3] sipariş işleme süresinin azaltılması ve kalite iyileştirme yatırım değerlendirmeleri koşulları altında entegre bir envanter modeli sunmuşlardır. Çalışmalarında önerdikleri model, sipariş işleme süresinin azaltılması ve kalite iyileştirmenin entegre envanter modeli üzerindeki etkilerinin araştırılmasında öncü bir çalışma olmuştur. Acero vd. [4] yedek parçalar için tedarik zinciri yönetimi süreçlerine odaklanarak yalın metodolojilerin kullanımını değerlendirmişlerdir. Değer akışı analizi metodolojilerini uygulayarak malzeme siparişi işleme prosedürlerini iyileştirmek için bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, sürekli iyileştirme ve yalın düşünce ile uyumlu bir şekilde yalın ve Altı Sigma yaklaşımlarını bütünleştirmeye yönelik uygulanmıştır.

Üretim firmaları rekabetçi avantaj sağlamak için, süreç iyileştirmeleri yaparak süreç verimliliğini arttırmaya çalışır. Bu nedenle süreç verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar son yıllarda farklı alanlarda farklı metodların geliştirilmesi ile büyük önem kazanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde süreçlerin iyileştirilmesi için çok kriterli karar verme

yöntemlerinin sık kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak gerçek hayat problemlerinde verilerin net olmaması durumunda uygulanan yöntemler belirsizliğin ele alındığı yöntemler olmuştur. Toklu vd. [5] çalışmalarında SWOT analizi, Kök Neden Analizi, değiştirilmiş Bolden taksonomisi ve bulanık ANP metodolojilerinden oluşan sıralı bir model önermişlerdir. Firmanın güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek için SWOT analizini, zayıflıkların ana ve alt nedenlerini tanımlamak için kök neden analizini, sorunları sosyal bakış açısıyla değerlendirmeye yardımcı olan yeni bir yön ekleyerek Bolden'in sınıflandırmasını geliştirmişlerdir. Zayıflığın temel nedenlerinden türetilen iyileştirmeye açık alanları, olası eylem planlarıyla eşleştirmek için değiştirilmiş Bolden taksonomisini kullanmışlar ve bu eylem planlarını iyileştirmeye açık alanların önemine göre önceliklendirmek için bulanık ANP'yi kullanmışlardır. Önerdikleri Bulanık Sıralı Model, hangi eylem planının organizasyonu daha fazla etkileyeceğini belirlemeye yardımcı olmuştur. Yadav vd. [6] çalışmalarında, atık azaltma ve kalite iyileştirme zorluklarının üstesinden gelmede uygulamaları kolaylaştırmak için çözüm yaklaşımlarının önceliklendirilmesine dayanan yalın altı sigmada hibrit bir çerçeve önermeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında bulanık AHP-PROMETHEE kullanmışlar ve önerdikleri yöntemi bir üretim firmasında uygulamasını gerçekleştirerek uygunluğunu test etmişlerdir. Tian vd. [7] hata türlerinin uygulanabilir ve etkili bir risk önceliği sıralamasını formüle etmek için bulanık en iyi-en kötü yöntemi ve bağıl entropiyi birleştirerek Hata Türleri ve Etkileri Analizi için kapsamlı bir bulanık Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımı önermişlerdir. Gupta vd. [8] Mikro Küçük Orta Ölçekli İşletmeler organizasyonu için bir Altı Sigma uygulama gerçekleştirmiştir. Önerdikleri yöntemi, Hindistan'daki bir firmada vaka çalışması yardımıyla ayrıntılı olarak göstermişlerdir. Bu çalışmanın uygulanmasından sonra elde edilen sonuçlar, çok kriterli karar verme yöntemlerinin Altı Sigma'ya dahil edilmesinin, yeterli verinin olmamasına rağmen firmanın sigma seviyesinde önemli bir iyileşmeye yol açtığını göstermektedir. Akbar vd. [9] Nesnelerin İnterneti'nin güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilecek faktörlerin bir sınıflandırmasını geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada, uzmanların nitel tahminini nicel önceliklendirme değerlerine dönüştürmek için bulanık AHP yaklaşımını kullanmışlardır. Taksonomi, literatür taraması ve uzmanlarla yürütülen endüstriyel çalışma sırasında belirlenen zorlu faktörlere dayanmaktadır ve belirsizlikler getirebilecek uzman görüşlerine dayalı birden fazla faktöre öncelik vermek zordur. Gerçekleştirilen çalışma, uygulayıcıların ve araştırma topluluğunun güvenli Nesnelerin İnternet'i için yeni stratejileri gözden geçirmesine ve geliştirmesine yardımcı olabilecek, faktörlerin önceliklendirmesine dayalı bir sınıflandırmayı sağlayarak katkıda bulunmaktadır.

Üretim sistemlerinde süreç iyileştirme çalışmaları incelendiğinde, bu çalışmada önerilen bütünleşik yapıda kullanılan Entropi ve Taksonomi yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak çok kriterli karar vermede Entropi ve Taksonomi yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Rafi vd. [10] çalışmalarında geliştirme ve operasyon ekipleri arasındaki iletişim, koordinasyon ve entegrasyon yollarını iyileştirmek için DevOps olarak bilinen bir paradigma benimsemişlerdir ve DevOps süreç iyileştirmesine yardımcı olacak DevOps başarı faktörlerini belirlemişlerdir. DevOps mantıksal ilişki ve kriterlerine dayalı olarak başarı faktörlerinin sıralamasına dayalı bir taksonomi geliştirmişlerdir. Khan vd. [11] Çin Küresel Yazılım Geliştirme endüstrisindeki çevik yöntemlerin ölçeklendirme sürecini olumlu yönde etkileyebilecek faktörlerin bir taksonomisini geliştirmişlerdir. Çalışmada Bulanık AHP yaklaşımı kullanılarak faktörler kategorize edilmiş, önceliklendirilmiş ve taksonomileri geliştirilmiştir. Verilen taksonomi, Küresel Yazılım Geliştirme endüstrisinin çevik yöntemlerin ölçeklendirme sürecini değerlendirmesi ve geliştirmesi için önemli ve ileridir. Jing vd. [12] Tahran Menkul Kıymetler Borsası'nda işlem gören şirketlerde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak en uygun hisse senedi portföyü seçimi için kapsamlı bir modelleme yapmışlardır. Tahran Menkul Kıymetler Borsasındaki endeks, hisse senedi portföyü için kapsamlı ve optimal bir model sağlamak için farklı çok endeksli karar verme yöntemleri, TOPSIS, Taksonomi, ARAS, VIKOR, COPRAS ve WASPAS yöntemlerini kullanarak optimum hisse senedi portföyünü ve en yüksek getiri için en iyi hisse senedi portföyünü belirlemeyi hedeflemişlerdir. Yang vd. [13] olasılıksal tereddütlü bulanık kümeler için üstel olasılıksal tereddütlü bulanık entropi olarak adlandırılan yeni bir bulanık entropi önermişlerdir. Buna bağlı olarak kardinal uzlaşma yöntemi ve TODIM yöntemine dayalı, öznel ağırlığının entegrasyon sonuçlarının üstel olasılıksal tereddütlü bulanık entropisi tarafından belirlendiği birçok kriterli karar verme problemi önermişlerdir. Bu yöntemin etkinliğini göstermek adına yeşil binada bir uygulama örneği vermişlerdir. Deveci vd. [14] çalışmalarında belirli bir rota için en uygun uçak tipinin seçiminde Entropi Tabanlı Ağırlıklı Toplu Toplam Ürün Değerlendirmesi yöntemini ve aralıklı tip-2 kararsız bulanık kümeleri entegre eden yeni birçok kriterli karar verme yaklaşımı önermişlerdir. Belirli bir vaka çalışması kullanılarak bu yöntem test edilmiştir. Wan vd. [15] çok kriterli grup karar verme için tereddütlü bir bulanık Tercih Derecelendirme Organizasyon Yöntemi geliştirmişler ve bunu yeşil tedarikçi seçimine uygulamışlardır. Tereddütlü bulanık eleman için yeni bir tereddüt indeksi tanımlayarak, üyelik değerlerinin bireysel sapması ve tereddüt indeksini eş zamanlı olarak dikkate almışlar ve genelleştirilmiş bir tereddütlü bulanık Hausdorff mesafesi önermişlerdir. Tereddütlü bulanık elemanın tanımlanmış bulanıklık entropisi ve tereddüt entropisini

entegre eden birleşik bir tereddütlü bulanık entropi sunmuşlardır.

III.YENİ BÜTÜNLEŞİK TEREDDÜTLÜ BULANIK ENTROPİ TABANLI GELİŞTİRİLMİŞ TAKSONOMİ YÖNTEMİ

Bu çalışmada önerilen bütünleşik yöntem Tereddütlü Bulanık Yaklaşım tabanlı Entropi yöntemi ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Taksonomi yöntemlerini içermektedir. Bu bölümde önerilen bütünleşik yöntem içerisinde kullanılan metotlara ilişkin temel bilgiler ve kavramlar açıklanmıştır.

Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan belirsizlik içeren gerçek hayat problemlerinde sıklıkla kullanılan bulanık küme teorisinin geliştirilmiş versiyonları karar verme süreçlerinde etkili bir yöntemdir. Bu yöntemler incelendiğinde Tip-2, sezgisel, tereddütlü, nötrosofik, polihedron gibi farklı yaklaşımlar olduğu gözlenmiştir. Bu yaklaşımlardan problemdeki bulanıklığın yapısına göre uygun yöntemin seçilmesi gerekir. Tereddütlü bulanık yaklaşım, karar verme problemlerinde birden fazla karar vericinin olduğu ve bu karar vericilerin verdiği kararlarda kesin yargılara varamadığı durumlarda tercih edilebilir [16]. Bu yaklaşımda karar vericilerin görüşleri birden fazla üyelik derecesi ile ifade edilir. Tereddütlü Bulanık yaklaşım ile karar verme yöntemi nitel kriterlerin değerlendirilmesinde karar vericinin kararsız doğasına yakın ve esnek bir şekilde değerlendirmesini sağlamaktadır. Bu yöntem sayesinde karar vericilerin görüşlerindeki belirsizlik göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılabilir [17]. Tereddütlü Bulanık yaklaşımda, elemanların üyelik derecelerinin bir bulanık kümeye atanması sırasında ortaya çıkabilecek kararsızlıktan kaynaklanan belirsizliği modellemeyi amaçlayan bulanık kümelerin bir uzantısıdır [18]. Tereddütlü Bulanık Küme ve Tereddütlü Bulanık Eleman (TBE) kavramları Tanım 1 ile verilmiştir.

Tanım 1: X boş olmayan bir küme iken, X üzerinde tanımlı Tereddütlü Bulanık Küme A , $[0,1]$ değerlerinden oluşan bir alt kümedir ve Eşitlik (1) ile verilmiştir.

$$A = \{x, \alpha(x) > |x \in X\} \quad (1)$$

Burada $\alpha(x)$, $x \in X$ 'in A kümesine ait üyelik derecelerini gösterir. $\alpha(x)$ Tereddütlü Bulanık Eleman olarak adlandırılır ve H bu elemanların oluşturduğu bir kümedir [19]. TBE'ler farklı sayıda elemanlara sahip olabildiği için $\alpha(x)$ 'in içerdiği eleman sayıları l_x ile gösterilmiştir. $\alpha(x) = \{\alpha^{\lambda(j)}(x)\}_{j=1}^{l_x}$ olmak üzere, burada $\alpha^{\lambda(j)}(x)$, $\alpha(x)$ içindeki j inci en büyük değeri temsil eder. Eleman sayılarını eşit hale getirmek amacı ile $\alpha(x)$ 'in içerdiği elemanlar artan sıraya göre düzenlenir ve eksik olan elemanlar en büyük eleman ekleme yöntemi ile her biri eşit sayıda olacak şekilde

düzenlenerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilir [20].

Entropi kavramı ise, bilim ve mühendislik dalları olan fizik, bilgi teorisi ve matematik, termodinamik alanında gelişmiş ve ardından bilgi entropisi ortaya çıkmıştır. Entropi ilk olarak, Rudolph tarafından 1865'te termodinamik alanında geliştirilmiş ve 1948'de Shannon tarafından bilgi entropisi kavramı ortaya atılmıştır [1]. Bilgi teorisinde entropi yöntemi, eldeki verinin sağladığı faydalı bilginin miktarının ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Karar probleminin hiyerarşik yapısını oluşturmadan, kriterlerin önem düzeylerinin ortaya çıkarılmasında kullanılan bu yöntem, ağırlıkların hesaplanması için objektif bir değerlendirme yöntemidir [21].

Tanım 2: α TBE olmak üzere, α için entropi $E_A(\alpha)$ Eşitlik (2) ile verilmiştir [14].

$$E_A(\alpha) = 1 - \frac{2}{l_x T} \sum_{i=1}^{l_x} \left(\frac{(1+q\alpha_{\lambda(i)}) \ln(1+q\alpha_{\lambda(i)}) + (1+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)})) \ln(1+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)}))}{2} - \frac{2+q\alpha_{\lambda(i)}+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)})}{2} \ln \frac{2+q\alpha_{\lambda(i)}+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)})}{2} \right), q > 0 \quad (2)$$

Burada $T = (1+q) \ln(1+q) - (2+q)(\ln(2+q)) - \ln 2$ 'dir. q ise tereddüt düzeyini kontrol eden parametredir. Genellikle $[1, \infty)$ aralığında bir değer alır ve $q = 1$ olduğunda, formül klasik bulanık entropiye karşılık gelir. q değeri arttıkça, belirsizlik düzeyi daha fazla vurgulanır ve homojenliği öne çıkarır.

3.1. Taksonomi Yöntemi

Taksonomi yöntemi, 1763 yılında Adanson tarafından geliştirilmiştir [22]. 1968 yılında Hellwing bu yöntemi bir sınıflandırma aracı olarak tanıtmıştır [23]. Bu yöntem farklı alternatiflerin, belirli fayda ve maliyet kriterleri bazında derecelendirilmesi, sınıflandırılması ve karşılaştırılması için uygundur. Taksonomi yöntemi, karmaşık karar verme problemlerinde birden fazla kriterin dikkate alınmasını ve sistematik bir şekilde alternatiflerin sınıflandırılmasını sağlar. Bu yöntem, karar vericilere bir yapı ve yönlendirme sağlar ve analitik bir karar verme süreci sunar. Yöntemin temelinde taksonomik sınıflandırma bulunmaktadır ve değerlendirme sonuçlarına dayanarak, alternatifler taksonomik sınıflandırma yöntemiyle sınıflandırılır. Bu sınıflandırma, alternatiflerin önceliklerine veya performanslarına dayanarak gruplandırma yapılmasını sağlar. En iyi performansla sahip alternatifler en üst taksonlarda yer alırken, daha düşük performansla sahip alternatifler alt taksonlarda yer alır. Taksonomi yöntemi, çok kriterli karar verme süreçlerinde kullanılan bir yöntemdir ve karmaşık karar verme süreçlerinde önceliklendirme gerektiren durumlarda, bilgi ve veri sınıflandırmasının yapılması gerektiğinde kullanılır. Bu yöntem tutarlı ve bilinçli kararlar almayı sağlar. Karar vericilerden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulan kriter ağırlıklarını kullanan ve alternatifleri önem derecelerine göre sıralayan bir yöntemdir.

Taksonomi yönteminde, sınıflandırma ve gelişme derecesini belirlemede bir araç olarak kabul edildiğinden, pek çok uygulaması olan, alternatiflerin sıralanması için gelişmişlik indeksi kullanılır. Bu tekniğin bir dezavantajı uygulanması zor bir yöntem olmasıdır [2]. Ancak yöntemin birçok avantajı bulunmaktadır. Karmaşık karar verme süreçlerinde hiyerarşik bir yapıda düzenleme yaparak yapılandırılmış bir yaklaşım sunar. Bu, karar vericilere adımları takip etme ve kararları analiz etme konusunda rehberlik eder. Ayrıca kriterler ve alternatifler hiyerarşik bir yapıda düzenlendiği için analiz süreci daha net ve kapsamlı olur. Değerlendirme süreci, kriterlerin ve ölçüklerin kullanımıyla objektif bir şekilde gerçekleştirilir. Bu, seçeneklerin performansını daha iyi değerlendirmeyi sağlar. Bunlara ek olarak yöntem, bilgi veya verilerin sınıflandırılması gereken durumlarda kullanılabilir. Büyük veri setlerinde veya bilgi ağlarında sınıflandırma yapmak için taksonomik yaklaşımın kullanılması, bilgi yönetimini ve analizini kolaylaştırır.

3.2. Entropi Yöntemi

Entropi yöntemi kriterler arasındaki bilgi içeriği veya belirsizlik miktarını ölçerek kriterlerin önem derecelerini belirlemeyi amaçlar. Entropi yönteminde, her bir kriterin değeri dağılımının ne kadar homojen veya heterojen olduğu dikkate alınır. Eğer bir kriterin değeri tüm seçenekler için aynıysa, bu kriterin bilgi içeriği veya belirsizlik miktarı düşüktür. Ancak, değerler arasında büyük farklılıklar varsa, kriterin bilgi içeriği yüksek olur. Bu sebeple karar verme sürecine daha fazla veri odaklılık ve bilgiye dayalı bir yaklaşım getirir. Ayrıca bu yöntem kriter değerlerindeki değişikliklerin sonuçlar üzerindeki etkisini daha hassas bir şekilde değerlendirerek duyarlılık analizine olanak sağlar. Kriterlerin değer dağılımlarını dikkate aldığı için tutarlı bir karar verme süreci sağlar. Bu yöntem farklı alanlardaki çeşitli karar verme süreçlerine uygulanabilir esnek bir yöntemdir. Bu özellikleri ile Entropi yöntemi çok kriterli karar verme süreçlerinde tercih edilen bir yöntemdir.

Bulanık küme teorisinde, bir veri kümesinin belirsizlik veya tereddüt düzeyi, bulanık entropi ile ölçülebilir. Bulanık entropi, bir kümenin homojenliğini veya belirsizliğini temsil eder. Bu entropi, kümelerin elemanları arasındaki benzerlik veya ayrımcılık ölçüleriyle ilişkilidir. Tereddütlü Bulanık Entropi ise Bulanık Entropi yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu olup belirsizlikleri daha ayrıntılı ve doğru bir şekilde ifade edebilme yollarından biridir.

İşleyişi tanımlanabilen bir süreçte ortaya çıkan hataların analizi için yukarıda açıklanan yöntemlerin kullanılması ile Şekil 1’de akışı verilen yeni bütünlük bir algoritma önerilmiş ve adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: Tereddütlü bulanık karar matrisini oluşturun.

m alternatif $A_i (i = 1, \dots, m)$, n kriter $C_j (j = 1, \dots, n)$ ve k karar verici $KV_k (k = 1, \dots, v)$ ’nin bulunduğu bir süreç ele alınsın. k . karar verici tarafından j . kriter için belirlediği TBE α_{kj} olsun. $l_{\alpha_{kj}}$ ise TBE α_{kj} ’nin uzunluğunu (eleman sayısını) gösterir. TBE α_{kj} ’lerden oluşan tereddütlü bulanık karar matrisi Eşitlik (3) ile verilmiştir.

$$TBKM = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{v1} & \dots & \alpha_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n}; \quad (3)$$

Adım 2: Normalize tereddütlü bulanık karar matrisini oluşturun.

Her bir TBE α_{kj} farklı uzunluklarda olduğu için elemanları küçükten büyüğe doğru sıralanır ve uzunluğu en büyük olan TBE ye eşit olacak şekilde sahip olduğu en büyük üyelik derecesi eklenerek Eşitlik (4) ile gösterilen normalize tereddütlü bulanık karar matrisi A elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} \alpha'_{11} & \dots & \alpha'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha'_{v1} & \dots & \alpha'_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4)$$

Adım 3: Normalize TBE α'_{kj} için Çapraz entropi değerlerini hesapla.

Normalize TBE α'_{kj} için çapraz entropi değeri $E(\alpha'_{kj})$, Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanır.

Adım 4: Tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi E’yi oluşturun.

Adım 3’te hesaplanan $E(\alpha'_{kj})$ $k = 1, \dots, v, j = 1, \dots, n$ çapraz entropi değerleri kullanılarak tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi E, Eşitlik (5) ‘deki gibi oluşturulur.

$$E = \begin{bmatrix} E(\alpha'_{11}) & \dots & E(\alpha'_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E(\alpha'_{v1}) & \dots & E(\alpha'_{vn}) \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (5)$$

Adım 5: Her bir kriter için entropi değerini hesapla.

Eşitlik (5)’ de verilen çapraz entropi değerleri kullanılarak j . kriterin kriter entropi değeri E_j Eşitlik (6) ile hesaplanır.

$$E_j = \frac{1}{v} \sum_{k=1}^v E(\alpha_{kj}) ; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Adım 6: Her bir kriter için entropi kriter ağırlığını hesapla.

Eşitlik (6) ile verilen kriter entropi değerleri kullanılarak j . kriterin entropi kriter ağırlığı w_j , Eşitlik (7) ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j} ; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Adım 7: Alternatiflerin kriterlere göre karar matrisini oluşturun.

Taksonomi yöntemini uygulayabilmek için karar matrisi X oluşturulmuş Eşitlik (8) ile verilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (8) \quad F_i = \frac{G_i}{G}; \quad i = 1, \dots, m \quad (15)$$

Burada r_{ij} karar matrisi X'in i. alternatifin j. kritere göre oluşturulan her bir elemanını göstermektedir.

Adım 8: Kriterlerin ortalama ve standart sapmalarını hesapla.

j. kriterin ortalaması \bar{r}_j ve j. kriterin standart sapması sırasıyla Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) ile hesaplanır.

$$\bar{r}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij}; \quad j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}; \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Adım 9: Standardize Z karar matrisini oluştur.

Eşitlik (9)-(10) kullanılarak i. alternatifin j. kritere göre standardize karar matrisi Z Eşitlik (11) ile verilmiştir.

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (11)$$

Burada standardize karar matrisi Z'nin elemanları, $z_{ij} = \frac{r_{ij} - \bar{r}_j}{s_j}; \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ ile hesaplanır.

Adım 10: Ağırlıklandırılmış standardize B karar matrisini oluştur.

Eşitlik (7) ile verilen entropi kriter ağırlıkları kullanılarak, ağırlıklandırılmış standardize B karar matrisi oluşturulur. Burada B karar matrisinin elemanları $b_{ij} = w_j * z_{ij}; \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ ile elde edilir ve Eşitlik (12) ile gösterilir.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (12)$$

Adım 11: Geliştirilmiş alternatif değeri G_i 'yi hesapla.

Her bir alternatif $i = 1, \dots, m$ için, geliştirilmiş alternatif değeri G_i , Eşitlik (13) ile hesaplanır.

$$G_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_{ij} - b_j)^2}; \quad i = 1, \dots, m \quad (13)$$

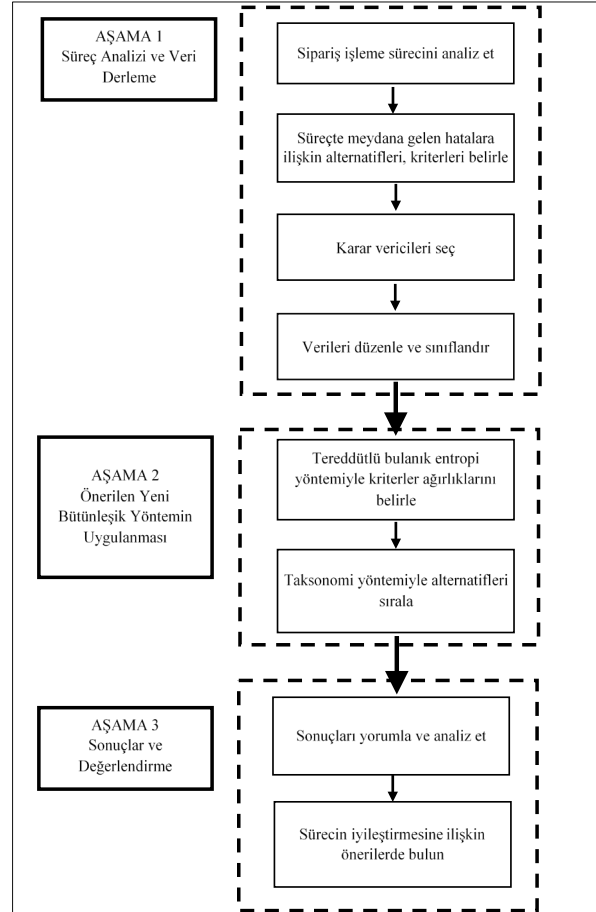
Burada b_j , j. kriterin ideal değeri olup, maksimize edilmek istenen bir kriter için B matrisinde ait olduğu kriterin aldığı en büyük değeri ve minimize edilmek istenen bir kriter için ise en küçük değeri ifade eder.

Adım 12: Geliştirilmiş alternatif değeri üst sınır G'yi, geliştirilmiş alternatif önem değeri F_i 'yi hesapla ve alternatifleri sırala.

Geliştirilmiş alternatif değeri üst sınır G ve geliştirilmiş alternatif önem değeri F_i , $i = 1, \dots, m$ sırasıyla Eşitlik (14) ve Eşitlik (15) kullanılarak hesaplanır.

$$G = \bar{G}_i + 2s_{G_i}; \quad i = 1, \dots, m \quad (14)$$

Eşitlik (15) ile elde edilen F_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatif sıralamaları elde edilir. Burada en küçük geliştirilmiş alternatif önem değerine sahip olan en önemli alternatiftir.



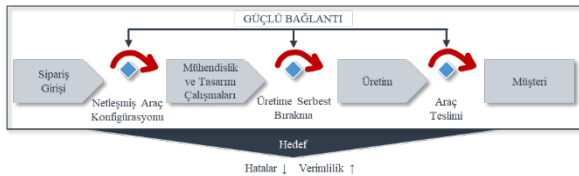
Şekil 1. Önerilen yönteme ilişkin akış şeması

IV. ÖNERİLEN YENİ BÜTÜNLEŞİK YÖNTEMİN SİPARİŞ İŞLEME SÜRECİNE UYGULANMASI

Önerilen yeni bütünleşik yöntem, otomotiv sektörü sipariş işleme sürecinde, mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin tekrar edilmesine sebep olan hataların analiz edilip, hangi bölümlerin en önemli hatalara sahip olduğunu belirlenmesinde kullanılmıştır. Üretim sistemlerinde sipariş işleme süreçleri maliyet ve verimlilik kriterleri açısından kritik bir süreçtir. Bu süreçte ortaya çıkan hataların analiz edilmesi ve önlenmesi çok önemlidir. Bu hataların analiz sürecinin bilinçli, tutarlı, hassas ve kapsamlı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak bu çalışmada bilgi içeriği veya belirsizlik miktarını ölçebilen ve bilgiye dayalı bir yaklaşım olan Tereddütlü Bulanık Entropi Yönetimi kriter ağırlıklarını belirlemek amacı ile tercih edilmiştir. Ayrıca hataların sıralandırılması için tutarlı

ve bilinçli kararlar almayı sağlayan Taksonomi Yöntemi kullanılmıştır.

Uygulamanın gerçekleştirildiği firmada karma birçok farklı araç tipi tasarlanıp, üretilmesinin yanı sıra her araç tipinde de siparişe özel müşteri isteklerine göre modifikasyonlar yapılmaktadır. Müşteri özel istekleriyle aracın iç, dış, mekanik ve elektrik gibi her türlü sistemi ve donanımı değişebilmektedir. Müşteri özel isteklerinin kabulünden önce, araç konfigürasyonu Ar-Ge birimindeki ilgili bölüm çalışanları tarafından teknik yapılabilirlik ve üretimdeki uygulanabilirlik açısından teyit edilmektedir. Araç konfigürasyonu netleştikten sonra gerekli tüm mühendislik ve tasarım çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Müşteri talep ettiği araç için bir veya birden fazla sipariş verebilmektedir. Bu durumda tüm çalışmalar sadece bir defa yapılmaktadır. Aracın üretilmesi ve müşteriye teslim edilmesiyle son bulan sipariş işleme süreci Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Sipariş işleme sürecinin iş akışı

Sipariş işleme sürecinde gerçekleştirilen mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hatalar ortaya çıkabilmektedir. Bu hatalar aynı işlerin tekrar edilmesiyle işgücü kapasitesinin gereksiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, hataların sipariş işleme sürecinin sonlarına doğru ortaya çıkması durumunda, projenin zaman planını ciddi ölçüde riske atmaktadır. İşletmenin amacı, hataların azaltılması ve erken tespitinin sağlanmasıyla mühendislik çalışma maliyetinde azalma ve verimlilikte artış elde etmektir.

Çalışma kapsamında sipariş işleme sürecinde mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümler yani alternatifler belirlenmiş, bu bölümlerde meydana gelen hataların sürecin hangi aşamalarında ortaya çıktıkları tespit edilmiştir. Otomotiv sektöründeki firma yetkililerinden oluşan karar vericiler sipariş işleme sürecindeki hataların meydana geldiği bölümlerin önem sıralamasını gerçekleştirmek amacıyla ele alınacak kriterleri belirlemişlerdir. Bu kriterler, siparişteki araç sayısı (C_1), hatanın sürecin hangi aşamasında tespit edildiği (C_2), hatanın düzeltilmesi için parça ihtiyacının olup olmaması (C_3) ve hatanın düzeltilmesi için harcanan mühendislik çalışma süresi (C_4) olmak üzere dört ana başlık altında incelenmiştir. Bu kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için dört karar vericinin görüşleri alınmıştır. Değerlendirmeleri sonucunda karar vericilerin aralarında farklı derecelendirmeler bulunduğu ve kendi derecelendirmelerinde de net olmadıklarından

dolayı TBE'lerden oluşan tereddütlü bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve matrisin elemanları Tablo 1'de verilmiştir. Bu matristeki her bir TBE'nin değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır.

Tablo 1. Tereddütlü bulanık karar matrisi elemanları tablosu

	C_1	C_2	C_3	C_4
KV ₁	{0,2;0,4}	{0,4;0,5;0,7}	{0,3;0,4;0,5}	{0,2;0,4;0,6;0,7}
KV ₂	{0,4;0,5}	{0,6;0,8}	{0,3;0,5;0,8}	{0,1;0,2;0,4}
KV ₃	{0,3;0,5;0,6}	{0,4;0,5;0,6}	{0,3;0,4;0,7}	{0,1;0,5;0,6;0,7}
KV ₄	{0,3;0,6;0,7}	{0,5;0,6;0,7;0,8}	{0,4;0,5;0,7;0,8}	{0,2;0,3;0,5;0,6}

Her bir kriter için, farklı sayıda üyelik derecesi içeren TBE'lerin eleman sayılarını eşitlemek için normalize bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Bu amaçla ilgili kriterlere ait en uzun TBE'nin içerdiği değer sayısına ulaşıncaya kadar her bir TBE'nin sonuna, kendi içindeki en büyük üyelik derecesi eklenerek Tablo 2'de verilen normalize tereddütlü bulanık karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 2. Normalize tereddütlü bulanık karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4
KV ₁	{0,2;0,4;0,4}	{0,4;0,5;0,7;0,7}	{0,3;0,4;0,5;0,5}	{0,2;0,4;0,6;0,7}
KV ₂	{0,4;0,5;0,5}	{0,6;0,8;0,8;0,8}	{0,3;0,5;0,8;0,8}	{0,1;0,2;0,4;0,4}
KV ₃	{0,3;0,5;0,6}	{0,4;0,5;0,6;0,6}	{0,3;0,4;0,7;0,7}	{0,1;0,5;0,6;0,7}
KV ₄	{0,3;0,6;0,7}	{0,5;0,6;0,7;0,8}	{0,4;0,5;0,7;0,8}	{0,2;0,3;0,5;0,6}

Eşitlik (5) kullanılarak normalize tereddütlü bulanık karar matrisinde yer alan k. karar verici tarafından j. kriter için normalize TBE α'_{kj} için entropi değeri $E(\alpha'_{kj})$ hesaplanarak normalize tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi E Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4
KV ₁	0,88355	0,97577	0,97587	0,99490
KV ₂	0,99361	0,74755	0,95072	0,79857
KV ₃	0,99348	0,99521	0,99511	0,97415
KV ₄	0,98724	0,91255	0,96071	0,96071

Eşitlik (6) ile hesaplanan kriter entropi değerleri ve Eşitlik (7) ile hesaplanan kriter entropi ağırlıkları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Kriter entropi değerleri ve kriter entropi ağırlıklar

	C_1	C_2	C_3	C_4
E_j	0,9645	0,9078	0,9706	0,9321
w_j	0,1579	0,4098	0,1306	0,3018

Hataların kaynaklandığı on iki bölümün her bir kritere göre aldığı değerlerden oluşan alternatiflerin kriterlere göre karar matrisi X, Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Karar matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	4,0	14,0	0,571	3,0
A ₂	5,0	10,0	1,000	34,0
A ₃	5,0	32,0	0,690	5,0
A ₄	4,0	37,0	0,605	3,0
A ₅	4,0	37,0	1,000	6,4
A ₆	3,0	37,0	0,778	7,0
A ₇	3,5	37,0	0,333	5,0
A ₈	2,0	37,0	0,000	5,0
A ₉	5,5	23,5	1,000	8,0
A ₁₀	3,0	49,0	0,667	13,0
A ₁₁	4,0	37,0	0,565	9,5
A ₁₂	1,5	10,0	1,000	23,5

Kriterlerin ortalamaları Eşitlik (8)’e ve standart sapmaları Eşitlik (9)’a göre hesaplanmış ve Tablo 6 ile sunulmuştur.

Tablo 6. Ortalama ve standart sapma değerleri

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Ortalama	3,708	30,042	0,684	10,200
Standart Sapma	1,145	12,101	0,293	8,972

Eşitlik (10) kullanılarak Tablo 7’de verilen standardize karar matrisi Z oluşturulmuştur.

Tablo 7. Standardize karar matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	0,255	-1,326	-0,384	-0,802
A ₂	1,128	-1,656	1,077	2,653
A ₃	1,128	0,162	0,021	-0,580
A ₄	0,255	0,575	-0,269	-0,802
A ₅	0,255	0,575	1,077	-0,424
A ₆	-0,619	0,575	0,319	-0,357
A ₇	-0,182	0,575	-1,196	-0,580
A ₈	-1,492	0,575	-2,333	-0,580
A ₉	1,565	-0,541	1,077	-0,245
A ₁₀	-0,619	1,567	-0,060	0,312
A ₁₁	0,255	0,575	-0,406	-0,078
A ₁₂	-1,929	-1,656	1,077	1,482

Standardize matristeki her değer ilgili kritere ait Eşitlik (7) ile hesaplanan kriter ağırlığı ile çarpıldıktan sonra i. hatanın kaynaklandığı bölümün j. kritere göre ağırlıklandırılmış standardize edilmiş değeri b_{ij} hesaplanmış ve bu değerlerden oluşan ağırlıklandırılmış standardize B matrisi Tablo 8 ile verilmiştir.

Tablo 8. Ağırlıklandırılmış standardize matris

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	0,041	-0,514	-0,065	-0,225
A ₂	0,184	-0,643	0,182	0,744
A ₃	0,184	0,063	0,004	-0,162
A ₄	0,041	0,223	-0,045	-0,225
A ₅	0,041	0,223	0,182	-0,119
A ₆	-0,101	0,223	0,054	-0,100
A ₇	-0,030	0,223	-0,202	-0,162
A ₈	-0,243	0,223	-0,394	-0,162
A ₉	0,255	-0,210	0,182	-0,069
A ₁₀	-0,101	0,608	-0,010	0,087
A ₁₁	0,041	0,223	-0,068	-0,022
A ₁₂	-0,314	-0,643	0,182	0,416

Eşitlik (13) ile i. hatanın kaynaklandığı bölümün geliştirilmiş alternatif değeri G_i hesaplandıktan sonra bu değerler kullanılarak Eşitlik (15) ile i. hatanın kaynaklandığı bölümün önem derecesini temsil eden F_i geliştirilmiş alternatif önem değeri hesaplanmıştır. Geliştirilmiş alternatif önem değerlerine göre hatanın kaynaklandığı her bölümün hangi önem sırasına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler Tablo 9’de verilmiştir.

Tablo 9. Geliştirilmiş alternatif değerleri, geliştirilmiş alternatif önem değerleri ve sıralama

	Geliştirilmiş alternatif değerleri	Geliştirilmiş alternatif önem değerleri	Sıralama
A ₁	0,041	-0,514	12
A ₂	0,184	-0,643	10
A ₃	0,184	0,063	5
A ₄	0,041	0,223	6
A ₅	0,041	0,223	3
A ₆	-0,101	0,223	4
A ₇	-0,030	0,223	7
A ₈	-0,243	0,223	9
A ₉	0,255	-0,210	8

A ₁₀	-0,101	0,608	1
A ₁₁	0,041	0,223	2
A ₁₂	-0,314	-0,643	11

V. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

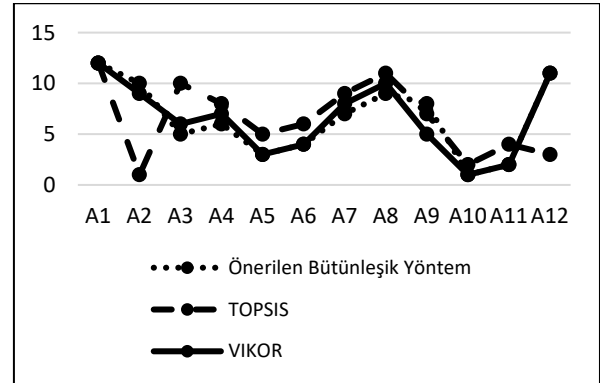
Önerilen yeni bütünleşik tereddütlü bulanık entropi tabanlı geliştirilmiş taksonomi yöntemi ile elde edilen sonuçların karşılaştırması amacıyla elde edilen sonuçlar literatürde sıkça kullanılan ve etkinliği birçok farklı çalışmada gösterilmiş iki farklı sıralama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında uygulamada kullanılan tereddütlü bulanık entropi yöntemiyle bulunan ağırlıklar kullanılmıştır. Ardından alternatifler TOPSIS ve VIKOR Yöntemi ile sıralanmış ve sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Sıralama değerleri karşılaştırması

Bütünleşik Tereddütlü	TOPSIS yöntemi ile		VIKOR
Bulanık Entropi Tabanlı	elde edilen sıralama		yöntemi ile
Geliştirilmiş Taksonomi	Yöntem ile sıralama		elde edilen
Yöntem ile sıralama			sıralama
A ₁	12	12	12
A ₂	10	1	9
A ₃	5	10	6
A ₄	6	8	7
A ₅	3	5	3
A ₆	4	6	4
A ₇	7	9	8
A ₈	9	11	10
A ₉	8	7	5
A ₁₀	1	2	1
A ₁₁	2	4	2
A ₁₂	11	3	11

Sonuçların analizi için sıralamalar arasında istatistiksel bir fark olup olmadığını gözlemlenmek amacıyla Spearman Rank Korelasyon uygulanmış ve önerilen yöntem ile VIKOR arasındaki sıralama korelasyonları anlamlı bulunmuştur. Korelasyon katsayısı 0,951'dir ($p < 0.05$). Yeni yöntem ile TOPSIS sıralamaları arasındaki korelasyon ise istatistiksel olarak anlamsızdır ($p > 0.05$). Önerilen yöntemin belirsizliği de içinde barındırması yanı sıra ortalama ve standart sapma gibi istatistikleri de kullanması daha gerçekçi ve analitik sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Bu çalışmada gerçek bir hayat problemi ele alınmıştır. Önerilen yeni yöntem ile elde edilen sonuçlar, çalışmanın gerçekleştirildiği firmadaki uzmanlar tarafından incelenerek uygunluğu onaylanmıştır ve tutarlı olduğu görüşüne varılmıştır.

Temel yaklaşım olarak Taksonomi yöntemi, karar verme sürecini sınıflandırma ve taksonomik bir yapıya dayandırırken, TOPSIS yöntemi karar verme sürecini performansa dayalı olarak sıralama ve ideal çözüme benzerlik ölçütlerine dayandırır. Taksonomi yöntemi, seçenekleri taksonomik düzende gruplara ayırır ve sınıflandırır. TOPSIS yöntemi ise seçenekleri ideal çözüme olan benzerliklerine göre sıralar. Ayrıca optimal ve ideal bir alternatifin seçimini hedefler. Alternatifler pozitif ideal çözüme olan benzerliğe göre sıralanır, en yüksek benzerliğe sahip alternatif en üstte yer alır. Bu yöntem ideal alternatiflere olan benzerlikleri vurgular ve diğer alternatiflerle kesin bir denge sağlamaz. Taksonomi yöntemine benzer olarak VIKOR yöntemi hem iyi sonuçları elde etmeyi hem de kötü sonuçları telafi etmeyi hedefler. Bu nedenle daha esnek bir yaklaşım sunar. Performansın dengelenme, süreç iyileştirme ve hata analizi gibi konularda kullanışlıdır. Bu yöntemler, kompleks sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiştir. "Yakınlığa" dayalı "ideal çözüm"ün birçok kritere göre ortaya konulmasıdır. İdeal alternatifte yakınlık ölçüsüne göre karşılaştırılarak uzlaşık sıralama yapılmaktadır. Bu sebeple VIKOR ve Taksonomi yöntemini içeren bütünleşik yaklaşım benzer sonuçlar verirken TOPSIS yönteminden elde edilen sıralama farklılaşmıştır.



Şekil 3. Farklı yöntemlere ait sonuçların karşılaştırılması

Şekil 3' de bu çalışmada önerilen bütünleşik yaklaşım ile TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile elde edilen sıralama sonuçlarının karşılaştırması verilmektedir. Buna göre önerilen bütünleşik yöntem ile VIKOR yöntemi ile elde edilen sıralama sonuçlarının benzerlik gösterdiği, ancak TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralama sonuçlarının farklılaştığı net olarak gözlenmektedir. Grafik sonuçları korelasyon testinden elde edilen sonuçları desteklemektedir.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada, birçok farklı çeşide sahip araç üreten bir otomotiv firmasında müşteriye özel araçların tasarım ve mühendislik faaliyetlerinin sipariş işleme süreç verimliliğinin artırılması yönelik yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem sayesinde sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılması, süreç

verimliliğinin artırılması ve hata kaynaklı maliyetlerin azaltılması hedeflenmiştir. Önerilen Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi projelerin risk düzeyini azaltacağından firmaya büyük ölçüde fayda sağlayacaktır. Önerilen yöntem bir gerçek hayat problemine uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde önerilen yaklaşımla elde edilen alternatif önceliklerinin mevcut yöntemlerle elde edilenlerden daha güvenilir olduğunu ve önerilen yöntemin süreç verimliliği için yararlı ve etkili bir araç sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca önerilen yöntem, firmalarda herhangi bir süreçte hataların veya problemlerin daha önemli bir role sahip olduğuna dair sıralamalar ve bilgiler vermektedir. Bu çalışmanın ilgili literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik bir yeni yöntem geliştirilmesidir. İkincisi, düzensiz bilgiyi ortadan kaldıran yani belirsizlik içeren bir yapıda bulunan veride bu durumu ortadan kaldırmasıdır. Ayrıca ortalama ve yayılım ölçülerini de kullanarak analitik yaklaşımlarla birlikte bilgi teorisi kavramıyla ağırlıkların belirlenmesi aşamaları da önerilen yöntemi güçlendiren katkılardandır. Önerilen yöntem yeni bir sıralama yaklaşımı ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalarda bulanık mantığın farklı uzantılarıyla birleştirilmiş farklı çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanarak bölümler için sıralamalar oluşturulabilir. Farklı departmanlardaki farklı bölümler farklı kriterlere göre incelenebilir. Bu çalışma kapsamında yapılan hata analizi literatürde bulunan ve sıklıkla kullanılan Hata Türü ve Etkileri Analizi ile çözümlenebilir. Buradan elde edilen sonuçlarla önerilen yöntem sonuçlarının karşılaştırması yapılabilir. Hata Türü ve Etkileri analizi kısımdaki olasılıklar stokastik modelleme yapılarak kurgulanabilir. Ayrıca, sipariş işleme sürecinde karşılaşılan hataların alt boyutlarına inilerek kök-neden analizleri yapılarak ayrıntılı incelemeler gerçekleştirilebilir. Böylelikle sorunları başlangıç aşamasında fark edebilme ve çözümleyebilme olanağı yakalanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, H., Gu, C., Gu, L. ve Zhang, Y. (2011). The Evaluation of Tourism Destination Competitiveness by TOPSIS & Information Entropy a case in the Yangtze River Delta of China. *Tourism Management*, 32, 443-451.
- [2] Alinezhad, A. ve Khalili, J. (2019). New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). *International Series in Operations Research & Management Science*, 277, 73-79.
- [3] Uthayakumar, R. ve Rameswari, M. (2012). An integrated inventory model for a single vendor and single buyer with order-processing cost reduction and process mean. *Int. J. Prod. Res.*, 50 (11), 2910-2924.
- [4] Acero, R., Torralba, M., Pérez-Moya, R. ve Pozo, J.A. (2019). Value Stream Analysis in Military Logistics: The Improvement in Order Processing Procedure. *Applied Sciences*, 10 (1), 106.
- [5] Toklu, M.C., Erdem, M.B. ve Taşkın, H. (2016). A fuzzy sequential model for realization of strategic planning in manufacturing firms. *Comput. Ind. Eng.*, 102, 512-519.
- [6] Yadav, G., Seth, D. ve Desai, T.N. (2018). Application of hybrid framework to facilitate lean six sigma implementation: a manufacturing company case experience. *Production Planning & Control*, 29 (3), 185-201.
- [7] Tian, Z.P., Wang, J.Q. ve Zhang, H.Y. (2018). An integrated approach for failure mode and effects analysis based on fuzzy best-worst, relative entropy, and VICOR methods. *Appl. Soft Comput.*, 72, 636-646.
- [8] Gupta, A., Sharma, P., Jain, A., Xue, H., Malik, S.C. ve Jha, P.C. (2019). An integrated DEMATEL Six Sigma hybrid framework for manufacturing process improvement. *Annals of Operations Research*, 1-41.
- [9] Akbar, M. A., Alsanad, A., Mahmood, S. ve Alothaim, A. (2021). A multicriteria decision making taxonomy of IoT security challenging factors. *IEEE Access*, 9, 128841-128861.
- [10] Rafi, S., Akbar, M. A., AlSanad, A. A., AlSuwaidan, L., Abdulaziz AL-ALShaikh, H., ve AlSagri, H. S. (2022). Decision-making taxonomy of devops success factors using preference ranking organization method of enrichment evaluation, *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1-15.
- [11] Khan, A. A., Shameem, M., Nadeem, M., ve Akbar, M. A. (2021). Agile trends in Chinese global software development industry: Fuzzy AHP based conceptual mapping, *Applied Soft Computing*, 102, 107090.
- [12] Jing, D., Imeni, M., Edalatpanah, S. A., Alburaihan, A., ve Khalifa, H. A. E. W. (2023). Optimal selection of stock portfolios using multi-criteria decision-making methods, *Mathematics*, 11(2), 415.
- [13] Yang, G., Ren, M., ve Hao, X. (2023). Multi-criteria decision-making problem based on the novel probabilistic hesitant fuzzy entropy and TODIM method, *Alexandria Engineering Journal*, 68, 437-451.
- [14] Deveci, M., Öner, S. C., Ciftci, M. E., Özcan, E., ve Pamucar, D. (2022). Interval type-2 hesitant fuzzy Entropy-based WASPAS approach for aircraft type selection, *Applied Soft Computing*, 114, 108076.

- [15] Wan, S. P., Zou, W. C., Zhong, L. G., & Dong, J. Y. (2020). Some new information measures for hesitant fuzzy PROMETHEE method and application to green supplier selection, *Soft Computing*, 24, 9179-9203.
- [16] Başar, A. (2017). Klasik ve sezgisel bulanık ikili karşılaştırma ile yazılım geliştirme projelerinin maliyet tahmini: uygulama örneği. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (2), 129–129.
- [17] Adar, T. ve Kılıç, E. (2018). Banka sektöründe insan hata analizi için yeni bir bütünleşik yöntem: İFASS&ÇK-KBDTK. *Ergonomi*, 1 (2), 108–122.
- [18] Rodriguez, R.M., Martinez, L., Torra, V., Xu, Z.S. ve Herrera, F. (2014). Hesitant fuzzy sets: State of the art and future directions. *Int. J. Intell. Syst.*, 29 (2), 495–524.
- [19] Xia, M. ve Xu, Z. (2011). Hesitant fuzzy information aggregation in decision making, *Int. J. Approximate Reasoning*, 52, 395–407.
- [20] Xu, Z. ve Xia, M. (2012). Hesitant Fuzzy Entropy and Cross-Entropy And Their Use in Multiattribute Decision-Making. *Int. J. Intell. Syst.*, 27, 799–822.
- [21] Ömürbek, N. ve Aksoy, E. (2016). Bir Petrol Şirketinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Performans Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (3), 723-756.
- [22] Adanson, M. (1763). *Familles des plantes par M. Adanson.* (Vol. 1). chez Vincent.
- [23] Hellwing, Z. (1968). Application of the taxonomic method in typological division of countries based on the level of their development and resources as well as skilled employees structure, *Przegld Statystyczny*, 4, 307-326.
- *

* Cansu Sakarya tarafından yapılan 2022 yılında Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezinin bir parçasıdır.