



Journal of Turkish Operations Management

Stok yönetimi için ABC - Küresel Bulanık AHS - ELECTRE tabanlı melez grup karar verme yöntemi ve bir uygulama

Yavuz Selim Özdemir^{1*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Bilim Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: ysozdemir.phd@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4418-2163>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçişi:

Geliş: 15.05.2021
Revize: 03.09.2021
Kabul: 07.09.2021

Anahtar Kelimeler:

Stok Yönetimi,
Küresel Bulanık AHS,
Grup Karar Verme,
ELECTRE,
ABC,
ÇKKV

Özet

Günümüz ekonomik koşullarında işletmelerin stok maliyetlerini azaltmaları, üretim maliyetlerinin düşmesine ve rekabet gücünün artmasına yol açan önemli faktörlerden bir tanesidir. Bu çalışmanın amacı, uygulanabilir ve etkin bir hammadde-stok yönetim sistemi tasarlayarak oluşabilecek stok açıklarının ve fazlalıklarının önüne geçmektir. Bu amaç doğrultusunda ABC, Küresel Bulanık AHS ve ELECTRE yöntemleri beraber kullanılarak stok analizleri yapılmış ve dört adımdan oluşan yeni bir yöntem önerilmiştir. Birinci adımda ABC analizi kullanılmış, yıllık maliyet ve kullanım miktarlarına göre malzemeler sınıflandırılmıştır. İkinci adımda, Küresel Bulanık AHS metodu kullanılmıştır. Burada ürünün bulunabilirliği, ikame edilebilirliği, verilen siparişin ulaşma süresi ve malzeme fiyatlarının dalgalanmalardan etkilenmesi gibi kriterler ele alınmıştır. Bu kriterler işletme yöneticileri ve üretimden sorumlu mühendislerle beraber değerlendirilmiş ve grup karar verme yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Üçüncü adımda, kriter ağırlıkları ELECTRE yönteminde kullanılarak ürünlerin sıralanması ve bu sıralamaya bağlı gruplanması sağlanmıştır. Son adımda ise ABC ve KB-AHS - ELECTRE'den elde edilen sonuçlar bir araya getirilmiş ve bir değerlendirme skalası elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen yöntemin mobilya sektörü için bir uygulamasına yer verilmiştir.

ABC - Spherical Fuzzy AHP - ELECTRE based hybrid group decision-making method for stock management and an application

Article Info

Article History:

Received: 15.05.2021
Revised: 03.09.2021
Accepted: 07.09.2021

Keywords:

Stock Management,
Spherical Fuzzy AHP,
Group Decision Making,
ELECTRE,
ABC,
MCDM

Abstract

In today's economic conditions, the reduction of inventory costs of enterprises is one of the important factors that lead to a decrease in production costs and increase in competitiveness. The aim of this study is to prevent stock deficits and surpluses that may occur by designing an applicable and effective raw material-stock management system. For this purpose, stock analyzes were made by using ABC, Spherical Fuzzy AHP and ELECTRE methods and an algorithm with four steps was proposed. In the first step, units were classified by using ABC analysis based on the unit price and demand quantities. In the second step, the Spherical Fuzzy AHP method was used. Here, criteria such as the availability of the product, substitutability, the delivery time of the order, and the effect of the product prices from currency fluctuations are discussed. These criteria have been evaluated together with business managers and engineers responsible for production and the criterion weights have been calculated with a group decision making approach. In the third step, by using the criterion weights in the ELECTRE method, the products are sorted and grouped according to this order. In the last step, the results obtained from ABC and SF-AHP - ELECTRE were combined and an evaluation scale was obtained. Within the scope of this study, an application of the proposed method for the furniture industry is included.

1. Giriş

Mobilya sektörü, Türkiye ekonomisinin önde gelen sektörlerinden bir tanesidir. Ancak son yıllarda sektörde yaşanan daralma ve ekonomik sıkıntılar, her zamankinden daha rekabetçi bir ortam oluşturmaktadır. Bu rekabetçi ortam, mobilya sektörü ile ilgili üretim yapan tüm üreticileri kapsamaktadır. Daha önceleri yüksek kar oranları ile üretim ve satış yapan firmalar, oluşan rekabet ortamından ciddi bir şekilde etkilenmektedir. Tüm bu gelişmelerin sonucunda, sektörün maliyet kalemlerini tekrar gözden geçirmesi bir gereklilik haline gelmiştir.

Üretim süreçlerinde maliyeti arttıran önemli problemlerden bir tanesi de stok takibinin düzgün yapılamamasıdır. Özellikle sipariş üzerine üretim yapan fabrikalarda, siparişin içeriğine göre uyulması gereken bir teslim tarihi bulunabilmektedir. Fabrika, teslim tarihine uymadığında ya da geç teslim yapıldığında yüksek cezalarla karşı karşıya kalabilmektedir. Örneğin, fabrikanın özel boyalı bir sipariş aldığını varsayıldığında, gelen hammadde miktarında veya üretim sürecinde bir problem olması durumunda, eksik parçalar gelene kadar beklenilmesi gerekmektedir. Envanter sistemi olmayan fabrikalar, bu tür risklerden kaçınmak için, her siparişte gereğinden fazla hammadde satın almaktadırlar.

Mobilya sektöründe oldukça büyük bir ürün çeşitliliği bulunmaktadır. Üretilen ürünler kullanım amaçlarına göre, panel mobilya, masif mobilya, kanepeler, oturma grubu, tablalı mobilya (mutfak, banyo, ofis yatak odası), bahçe mobilyaları, mobilya aksesuarları ve parçaları, taşıt mobilyaları, hastane mobilyaları, otel mobilyaları, aksesuarlar, gibi geniş yelpazede sınıflandırılabilir. Sektör, genel itibarı ile KOBİ'lerden oluşsa da artan rekabetçi piyasa koşulları çerçevesinde, fabrikasyon üretime geçen firma sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Fazla sipariş edilen hammaddeler, işletme stoklarını ve maliyetlerini arttırmakta ve stok takibini daha da güçleştirmektedir. Aşırı stok nedeniyle depolama alanları yetersiz kalmakta, bu alanlarda biriken malzemelerin sayımı yapılmamaktadır. Bu sebepten dolayı, her yeni siparişte, elde hammadde olmasına rağmen, fazla sipariş verilmekte ve bu da stokların sürekli artmasına sebep olan bir kısır döngü yaratmaktadır.

Yüksek seviyeli hammadde stoklarının bir diğer nedeni de tedarikçilerdir. Bazı tedarikçiler, işletmeleri gerçek siparişinden daha fazla satın almaya zorlamaktadır. Bazı özel parçaların tedariki için zaman ve parça miktarı kısıtlarına uygun tek tedarikçi olması durumunda, fabrika tedarikçinin verdiği ilave hammaddeleri kabul etmek ve stoklamak zorunda kalmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı; ABC analizini, Küresel Bulanık Sayıları, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerini ve grup karar verme yaklaşımını bir arada kullanarak, literatürde daha önce hiç kullanılmamış etkili bir hammadde envanter yönetim sistemi tasarlamaktır. Önerilen yaklaşımın, seçilen mobilya üretim fabrikası için örnek bir uygulaması yapılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir; Bölüm 2'de bilimsel yazı taraması bulunmaktadır. Bölüm 3'de önerilen melez yöntemi oluşturan yöntemler genel hatları ile anlatılmış ve önerilen yöntemin algoritması ele alınmıştır. Bölüm 4'de önerilen yöntemin uygulaması yapılmış ve sayısal bir örnek ile adım adım anlatılmıştır. Son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde stok kontrolü ve envanter planlaması ile yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Inderfurth, çok basamaklı envanter sistemlerinde uygun emniyet stokunun belirlenmesinin önemini vurgulamıştır (Inderfurth, 1991). Ayrıca, bir baz-stok kontrol politikası tarafından yönetilen genel bir seri veya farklı üretim/dağıtım sürecinde emniyet stoklarının optimal büyüklüğünü ve dağılımını belirlemek için bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşım özellikle, son ürün talep korelasyonunun, farklı sistemlerdeki risk havuzu oluşturma etkilerini kullanarak güvenlik stoklarının dağılımı ve büyüklüğü üzerindeki etkisinin dikkate alınmasını sağlamaktadır. Bir başka yaklaşım olan çok aşamalı güvenlik envanterinin optimizasyonu için bir dinamik programlama algoritması Minner tarafından önerilmiştir (Minner, 1997). Algoritma, temel stok politikasına göre stokları miktarını belirlemesini sağlamaktadır. Bununla beraber, stok eksikliğini önlemek veya meydana gelen stoklama miktarını en aza indirmek için her ürün için uygun kısıtlamalar belirlenmiştir.

Gurnani, geleneksel bir envanter analizinin iskonto edilmeyen sabit çevrim maliyetlerine dayandığını söylemiştir (Gurnani, 2007). Paranın zaman değerinin dahil edilmesinin parti büyüklüğü üzerinde önemli bir etkisinin

olmayacağı tartışıldığını vurgulamaktadır. Makalesinde iskonto oranının ekonomik sipariş miktarı ve alternatif iskontolu kar fonksiyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Michalski ise bir işletmenin amacını “değerinin en üst düzeye çıkarılması” olarak tanımlamakta ve envanter yönetiminin de bu temel amacın gerçekleştirilmesine katkıda bulunması gerektiğini vurgulamaktadır (Michalski, 2009). Yazarın çalışmasında değindiği ekonomik sipariş miktarı envanter yönetimi modeli, en uygun teslimat boyutunu işaretlemek ve en ucuz tedarikçiyi seçmek için kullanılmıştır.

Literatürde ABC analizi ve ÇKKV yöntemleri envanter sınıflaması için sıklıkla bir arada kullanılmaktadır. Balaji ve Kumar çalışmalarında Çok Kriterli Envanter Sınıflandırmasının (Multi Criteria Inventory Classification, MCIC) etkili envanter sınıflandırma tekniklerinden biri olduğunu göstermiştir (Balaji & Kumar, 2014). MCIC’de, envanterin sınıflandırılmasında çeşitli kriterler ve alt kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Makalede otomobil kauçuğu bileşeni imalat endüstrisinin envanterinin sınıflandırılması için öncelikle ABC Analizi yapılmış daha sonra envanter sisteminin değerini tahmin etmek için bir Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. Bir diğer çalışma ise Liu ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Yazarlar çok kriterli ABC analizinin envanter yönetiminde kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır (Liu, Liao, Zhao, & Yang, 2016). Çalışmalarında kriterler arasında telafi edilmeyen ABC sınıflandırma problemini incelemişler ve dışa aktarma modeline dayanan bir sınıflandırma yaklaşımı önerilmişlerdir.

Envanter sınıflaması için ABC veya ÇKKV modelleri ile farklı yaklaşımlar da beraber kullanılmaktadır. Hadi tarafından önerilen modelde ise tüm maddeler için ortak bir ağırlık seti belirleyen ve doğrusal olmayan programlama yaklaşımı bulunmaktadır. Model ABC sınıflandırması için birden fazla kriter içermekte ve aynı zamanda nihai çözümde ağırlıkların etkilerini de korumaktadır (Hadi-Vencheh, 2010). Lolli ve Gamberini, Çok Kriterli Envanter Sınıflandırması yönetimlerini kolaylaştırmak için envanter maddelerini çeşitli kriterlere göre gruplandırmayı önermiştir (Lolli, Ishizaka, & Gamberini, 2014). Bu sayede, bir veya daha fazla kilit kriter üzerinde kötü puan alan bir hammaddenin, en iyi sınıfa yerleştirilebilmesi sağlanmıştır. Çalışmada AHS-K-Veto yöntemi ile gizli kötü puanları önlemek için yeni bir varyant yöntem ortaya koyulmuştur.

Literatürde ÇKKV problemleri için yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem ise bulanık AHS yaklaşımıdır. Çakır ve Canbolat, bulanık AHS’ye dayanan bir envanter sınıflandırma sistemi önermişlerdir (Çakır & Canbolat, 2008). Makalede, bulanık kavramlar gerçek envanter verileri ile entegre edilmiştir. Bunun sonucunda çok kriterli envanter sınıflandırmasına yardımcı olan bir karar destek sistemi tasarlanmıştır ve bir uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Küresel bulanık kümeler ise literatürdeki diğer bulanık küme yaklaşımlarına göre oldukça yenidir (Gündoğdu & Kahraman, 2019). KB-AHS yöntemi, Gündoğdu ve Kahraman tarafından önerilmiş ve küresel bulanık setler temel alınarak geliştirilmiştir (Gündoğdu & Kahraman, 2020b). 2020 yılında Ayyıldız ve Gümüş tarafından KB-AHS ve WASPAS yöntemleri ile benzin istasyonu yerleşim yeri seçimi problemi ele alınmıştır. (Ayyıldız & Taskin Gumus, 2020).

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde ABC, AHS, bulanık AHS yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, envanter sınıflaması problemi için literatürde daha önce bir arada kullanılmayan, ABC-KB-AHS yaklaşımı grup karar verme yöntemleri ile beraber uygulanmıştır.

3. Yöntem

Bu çalışmada ele alınan stok problemini çözmek için öncelikle üretimde kullanılan hammaddelerin belirlenmesi gerekmektedir. Hammade envanteri çıkartıldıktan sonra gerekli stok kalemlerini sınıflandırmak için ABC analizi, KB-AHS - ELECTRE yöntemleri ve grup karar verme yaklaşımı uygulanacaktır. Kullanılan AHS yöntemi kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için seçilmiştir. ELECTRE yöntemi ise, alternatiflerin birbirlerine göre kıyaslanmasını temel almasından dolayı tercih edilmiştir.

Çalışmada, üretimde kullanılan hammaddeler için dinamik ve uygun bir envanter yönetimi politikası oluşturmak amaçlanmıştır. Önerilen yaklaşım ile büyük miktardaki üretim stoklarının azaltılması ve öngörülen güvenlik stoku seviyesine ulaşmada daha başarılı olunması hedeflenmektedir. Bu bölümde, çalışmada kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle ABC analizinin detaylarına yer verilecektir. Daha sonra KB-AHS yöntemi anlatılacak ve sonrasında ELECTRE metodundan bahsedilecektir. Son adımda ise, bu çalışmada kullanılan melez

yöntemin adım adım algoritmasına yer verilecektir. Önerilen yöntemin formülasyonuna da yine bu bölümde değinilecektir.

3.1 ABC Analizi

Çok ürünlü envanter sistemlerinde, tüm ürünler eşit derecede karlı değildir. Bu nedenle, kârlı olan kalemleri kârsız kalemlerden ayırmak önemlidir (Ben-Arieh & Qian, 2003). Bir işletmenin bulundurduğu envanterleri eşit değerde değildir. ABC analizi ile envanterler, tahmini önem sırasına göre sınıflandırılmaktadır. ABC analizi bir envanter kategorize tekniğidir ve malzeme yönetiminde kullanılmaktadır. Temel olarak ABC analizi, envanteri üç kategoriye ayırır. Bunlar;

- Çok sıkı kontrol edilmesi gereken ve doğru kayıtlara sahip olması gereken "A öğeleri",
- Daha az sıkı kontrol edilmesi gereken ve görece iyi kayıtlara sahip olması gereken "B öğeleri"
- Mümkün olan en basit kontrollere ve minimum kayıtlara sahip olması gereken "C öğeleri".

ABC analizi, genel envanter maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olan kalemlerin belirlenmesi için bir mekanizma sağlarken, farklı yönetim ve kontroller gerektiren farklı stok kategorilerini belirlemek için de bir mekanizma sağlamaktadır (Dugdale & Jones, 1997).

Bir organizasyon için "A" hammaddeleri çok kritiktir. Bu maddelerin yüksek değeri nedeniyle sık değer analizi yapılması gerekmektedir. Buna ek olarak, işletmenin aşırı kapasiteden kaçınmak için uygun bir sipariş modeli uygulaması gerekir. "B" hammaddeleri de önemlidir, ancak elbette "A" hammaddelerinden daha az ve "C" hammaddelerinden daha fazla önemlidir. Bu nedenle, "B" öğeleri gruplar arası öğelerdir. "C" gurubuna dahil olan hammaddeler ise görece olarak en az öneme sahiplerdir (Dağsuyu, 2019).

Her sınıf için sabit bir eşik yoktur. Hedeflere ve kriterlere göre farklı oranlar uygulanabilir. ABC Analizi, "A" öğelerinin tipik olarak genel değer büyük bir oranını, ancak öğe sayısının küçük bir yüzdesini oluşturması açısından Pareto ilkesine benzemektedir (Çetin & Böker, 2020). ABC sınıfları için bir örnek gösterim aşağıdaki gibidir:

- "A" grubu hammaddeler, yıllık sipariş tutarının yaklaşık %70'ini ve toplam hammadde miktarının %20'sini oluşturur.
- "B" grubu hammaddeler, yıllık sipariş tutarının yaklaşık %20'sini ve toplam hammadde miktarının %30'unu oluşturur.
- "C" grubu hammaddeler, yıllık sipariş tutarının yaklaşık %10'u ve toplam hammadde miktarının %50'sini oluşturur.

ABC analizi basit ama oldukça etkili bir tekniktir. Bu yöntem ile etkin bir lojistik ve tedarik zinciri yönetimi, verimli bir stok optimizasyonu ve maliyet azaltması elde edilebilir.

3.2 Küresel Bulanık AHS Yöntemi

AHS, matematik ve psikolojiye dayalı olarak karmaşık kararları organize ve analiz etmek için geliştirilmiş bir tekniktir. 1980'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 1980). AHS, bir karar verileceği zaman, bir bireyin veya bir grubun subjektif ve kişisel tercihlerini objektif bir şekilde ortaya çıkartmak için nesnel matematik sağlar. Temel olarak AHS, alternatifleri değerlendirmek ve önceliklerini belirlemek için karar verme sürecinde belirlenen kriterleri kullanır (Pınar, 2020). Bunlar nitel ya da nicel kriterler olabilirler. AHS, hiyerarşik bir yapı içinde karar verme sürecini şekillendiren ve belirlenen karar noktalarının etkisine göre alternatiflerin yüzde önem düzeylerini belirleyen bir metodolojidir. Bu süreçleri oluştururken ikili karşılaştırma prensibinden faydalanır. Sonuç olarak, AHS yöntemi ile bir karar vericinin veya karar verme grubunun en doğru kararı vermesi sağlanır.

Pratikte, insanlar nitel tahminlerde nispeten isabetli olsalar da nicel tahminlerde bulunmada başarısız olabilmektedirler. Pek çok problem için, bazı karar verileri kesin olarak değerlendirilebilirken diğerleri değerlendirilemez. Tercih yargılarındaki belirsizlik, alternatiflerin sıralamasında belirsizliğe ve tercihlerin tutarlılığını tanımlamada güçlükler yol açmaktadır.

Çok kriterli karar verme problemlerinin çözüm yöntemleri karmaşık süreçler içerebilir. Problemin çözümü için kullanılan karar verme modelinin/modellerinin başarısı ve karar vericilerin doğru kararı verebilmesi, karar vericiden alınan verilerin kesinliği ile doğru orantılıdır. Ancak çoğu durumda, karar verme sürecindeki dilsel belirsizlikler, karar vericileri hatalı sonuçlara yönlendirmektedir. Bu sorunların bir çözümü olarak bulanık karar verme süreçleri ortaya çıkmıştır.

Klasik karar verme problemlerinde kesin yargılar bulunmaktadır. Ancak belirsizliğin söz konusu olduğu karmaşık karar verme süreçlerinde karar vericinin tercihi, kesin bir değerlendirmelerden ziyade daha genel değerlendirmelerden yana olmaktadır. Karar verme sürecindeki bu dilsel belirsizliklerin ifade edilebilmesi için insan düşüncesine çok benzeyen bulanık kümelerden faydalanılmaktadır (Can, 2018). Bulanık kümeler 1960'lı yılların ortalarında ortaya çıkmıştır ve üyelik fonksiyonları tamsayı ile ifade edilemeyen durumlar için kullanılmaktadır (Lotfi A. Zadeh, 1965).

Bulanık karar verme yöntemlerinde karar vericiler, yargılarını, seçim sürecinin işleminin bulanık doğası nedeniyle sabit değerler yerine bir aralık olarak ifade etmeyi tercih etmektedir. Bulanık mantık ile karar verme süreçlerinin kullanıldığı pek çok çalışma ve farklı yaklaşım literatürde mevcuttur (Özdağoğlu, 2010). Bulanık karar verme yöntemlerinde, klasik bulanık kümeler (Lotfi A. Zadeh, 1965), tip-2 bulanık kümeler (L. A. Zadeh, 1975), aralık değerli (Interval Valued) bulanık kümeler (L. A. Zadeh, 1975), sezgisel (intuitionistic) bulanık kümeler (Atanassov, 1986), bulanık çoklu kümeler (Yager, 1986), sezgisel (intuitionistic) tip-2 kümeler (Atanassov, 1989), Neutrosophic bulanık kümeler (Smarandache, 2006), durağan olmayan (Nonsitatory) bulanık kümeler (Garibaldi & Ozen, 2007), kararsız (Hesitant) bulanık kümeler (Torra, 2010), Pythagorean fuzzy kümeler (Yager, 2014), q-rung orthopair fuzzy kümeler (Yager, 2017) ve son olarak da küresel (Spherical) bulanık kümeler (Gündoğdu & Kahraman, 2019), AHS yöntemi ile beraber kullanılmıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi için, Gündoğdu ve Kahraman tarafından önerilen Küresel Bulanık AHS (KB-AHS) yöntemi kullanılmıştır (Gündoğdu & Kahraman, 2020b).

3.2.1 Küresel Bulanık Kümeler (KBK)

U üzerinde tanımlı ve Küresel Bulanık Küme olan \tilde{A}_s 'nin tanımı Eşitlik 1,2 ve 3'de verilmektedir.

$$\tilde{A}_s = \{u, (\mu_{\tilde{A}_s}(u), (v_{\tilde{A}_s}(u)(\pi_{\tilde{A}_s}(u)) | u \in U\} \tag{1}$$

$$\text{Burada, } \mu_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1], \quad v_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1], \quad \pi_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1] \tag{2}$$

ve

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}_s}^2(u) + v_{\tilde{A}_s}^2(u) + \pi_{\tilde{A}_s}^2(u) \leq 1 \quad \forall u \in U \tag{3}$$

Her bir u için $\mu_{\tilde{A}_s}^2(u)$, $v_{\tilde{A}_s}^2(u)$ ve $\pi_{\tilde{A}_s}^2(u)$ sayıları sırası ile u 'nun \tilde{A}_s 'ye üyelik derecesi, üye olmama ve tereddüt derecesidir.

3.2.1 Küresel Bulanık Kümelerde Temel Operatörler

Küresel bulanık kümelerde toplama ve çarpma işlemi Eşitlik 4 ve Eşitlik 5'de verildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \left\{ (\mu_{\tilde{A}_s}^2 + \mu_{\tilde{B}_s}^2 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 \mu_{\tilde{B}_s}^2)^2, v_{\tilde{A}_s} v_{\tilde{B}_s}, ((1 - \mu_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2} \right\} \tag{4}$$

$$\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \left\{ \mu_{\tilde{A}_s} \mu_{\tilde{B}_s}, (v_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{B}_s}^2 - v_{\tilde{A}_s}^2 v_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, ((1 - v_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - v_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2} \right\} \tag{5}$$

Bir küresel bulanık sayının sabit bir $\lambda \geq 0$ sayısı ile çarpımı Eşitlik 6'da verilmektedir.

$$\lambda. \tilde{A}_s = \left\{ \left(1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda\right)^{\frac{1}{2}}, v_{\tilde{A}_s}^\lambda, ((1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{1/2} \right\} \tag{6}$$

Bir küresel bulanık sayının kuvveti Eşitlik 7'de verilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}_s}^\lambda = \left\{ \mu_{\tilde{A}_s}^\lambda, \left(1 - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda\right)^{\frac{1}{2}}, ((1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{1/2} \right\} \tag{7}$$

Genel Tanımlar: $\tilde{A}_s = (\mu_{\tilde{A}_s}, v_{\tilde{A}_s}, \pi_{\tilde{A}_s})$ ve $\tilde{B}_s = (\mu_{\tilde{B}_s}, v_{\tilde{B}_s}, \pi_{\tilde{B}_s})$ olmak üzere, küresel bulanık küme sayıları olsun. Tüm $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \geq 0$ için Eşitlik 8,9,10,11,12 ve 13'deki özellikler geçerlidir.

i. $\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \tilde{B}_s \oplus \tilde{A}_s$ (8)

ii. $\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \tilde{B}_s \otimes \tilde{A}_s$ (9)

iii. $\lambda(\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s) = \lambda \tilde{A}_s \oplus \lambda \tilde{B}_s$ (10)

$$\text{iv. } \lambda_1 \tilde{A}_s \oplus \lambda_2 \tilde{A}_s = (\lambda_1 + \lambda_2) \tilde{A}_s \tag{11}$$

$$\text{v. } (\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s)^\lambda = \lambda. \tilde{A}_s \otimes \lambda. \tilde{B}_s \tag{12}$$

$$\text{vi. } \tilde{A}_s^{\lambda_1} \otimes \tilde{A}_s^{\lambda_2} = \tilde{A}_s^{\lambda_1 + \lambda_2} \tag{13}$$

Tanım: Küresel Bulanık Aritmetik Ortalama (KBAO) Eşitlik 14’de verilmektedir.

$$KB_{AO}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \bigoplus_{i=1}^n w_i \tilde{A}_i = w_1 \tilde{A}_1 \oplus w_2 \tilde{A}_2 \oplus \dots \oplus w_n \tilde{A}_n = \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \right. \\ \left. \prod_{i=1}^n v_{\tilde{A}_{si}}^{w_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \tag{14}$$

Burada, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, her bir $i \in I_n$ için $w_i \in [0,1]$ ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ olacak şekilde KBGO operatörü ile ilişkili bir ağırlık vektörüdür.

Tanım: Küresel Bulanık Geometrik Ortalama (KBGO) Eşitlik 15’de verilmektedir.

$$KB_{GO}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n) = \bigotimes_{i=1}^n \tilde{A}_i^{w_i} = \tilde{A}_{s1}^{w_1} \otimes \tilde{A}_{s2}^{w_2} \otimes \dots \otimes \tilde{A}_n^{w_n} = \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}_{si}}^{w_i}, \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - v_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \tag{15}$$

Burada, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, her bir $i \in I_n$ için $w_i \in [0,1]$ ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ olacak şekilde KBGO operatörü ile ilişkili bir ağırlık vektörüdür.

3.3 ELECTRE Yöntemi

ELECTRE, 1960’ların ortalarında Avrupa’da ortaya çıkan çok kriterli karar analiz yöntemleri ailesindedir. ELECTRE kısaltması şu anlamda gelmektedir: Elimination Et Choix Traduisant la REalité (ELimination at Choice Translating REality / Gerçekliği Çeviren Eliminasyon ve Seçim).

Yöntem, bir danışmanlık firmasında çalışan Bernard Roy ve ekip arkadaşları tarafından önerilmiştir (Roy, 1968). Bernard ve çalışma arkadaşları, danışmanlık yaptıkları firmaların yeni faaliyetlerine nasıl karar vereceğine dair çok kriterli problemler üzerinde çalışmaktaydılar. Mevcut yöntemler ile yaptıkları uygulamalarda eksikliklerle karşılaşmışlardır. Bunun üzerine ELECTRE yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde amaç, diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinde de olduğu gibi, belirli bir alternatif kümesi içinden en uygun elemanı veya elemanları seçmektir.

ELECTRE yönteminin iki ana bölümü vardır. Birinci bölümde alternatifler, kriterlere göre ikili olarak karşılaştırılır. Bunun sonucunda uyum setleri ve üstünlük matrisleri oluşturulur. İkinci aşamada ise, birinci aşamada elde edilen matrislere dayanılarak alternatifler arasında seçme ve/veya sıralama işlemi yapılmaktadır. Yöntem, üretim sektöründen hizmet sektörüne kadar pek çok farklı alandaki karar verme probleminin çözümünde başarı ile kullanılmaktadır (Figueira, Mousseau, & Roy, 2016).

3.4 Kullanılan Melez Algoritma

Çalışmada kullanılan melez ABC- Bulanık AHS-ELECTRE algoritması aşağıdaki gibidir.

Adım 1: ABC analizi yöntemi ile ürünlerin sınıflandırma işleminin yapılması

Bu adımda envantere ABC analizi yöntemi uygulanır. Bu sayede stoktaki malzemeler A, B ve C grubu olmak üzere 3 farklı gruba ayrılır.

Adım 2: Küresel bulanık AHS yöntemi ile ağırlıkların belirlenmesi.

Adım 2.1: KB-AHS için karar verici grubun oluşturulması.

Problemden bir karar verici olabileceği gibi birden çok karar verici de olabilir. Karar verme probleminin içeriğine ve türüne göre bir karar verici grubuna ihtiyaç olabilir. Böyle bir durumda, öncelikli yapılması gereken, verilecek karara göre bir karar verici grubu oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, üç uzmandan oluşan bir karar verme grubu seçilmiştir.

Adım 2.2: Kriterlerin ve alt kriterlerin belirlenmesi. Hiyerarşik karar ağacının oluşturulması.

Bu adımda kriterler ve bu faktörlere ait alt kriterler, hiyerarşik bir düzen içerisinde belirlenir. Başka bir deyişle, problemin tanımına göre uygun kriter seti ortaya koyulur. Bu çalışmada karar noktalarına hiyerarşik olarak bağlı olan kriter sayısı “ n ” ile sembolize edilecektir. Ayrıca, her faktörün ayrıntılı bir açıklamasının yapılması önemlidir. Bu sayede, ikili karşılaştırmalar karar vericiler tarafından daha rahat ve tutarlı yapılabilir.

Adım 2.3: Karar noktalarının belirlenmesi.

Bu aşamada probleme ilişkin alternatifler belirlenir. Bu çalışmada karar noktaları “ m ” ile gösterilecektir.

Adım 2.4: Dilsel dönüşüm tablosunun seçilmesi.

KB-AHS yöntemindeki ikili karşılaştırmalarda kullanılan dilsel değişkenlerin karşı geldiği bulanık sayıların belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada, probleme uygun olarak, literatürdeki dilsel dönüşüm tablolarından bir tanesi seçilmelidir. Bu çalışmada seçilen sayılar, Tablo 1’de verilmektedir.

Adım 2.5: Kriterin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi ve karşılaştırma matrislerinin oluşturulması.

Bu adımda karar vericilerin, KB-AHS yöntemine uygun olarak, kriterleri ikili karşılaştırmalar ile dilsel değerlendirmelerini yapmaları sağlanır. Ardından her bir karar verici için kriterler arası bulanık karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matris iki boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegenindeki matris bileşenleri “Eşit Önemli” değerini alır. Karşılaştırma matrisi aşağıda Eşitlik 16 ile gösterilmiştir.

$$\tilde{A}^k = \begin{pmatrix} E\ddot{O} & \tilde{d}_{12}^k & \cdots & \tilde{d}_{1n}^k \\ \tilde{d}_{21}^k & E\ddot{O} & \ddots & \tilde{d}_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1}^k & \tilde{a}_{n2} & \cdots & E\ddot{O} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Burada; \tilde{d}_{ij}^k ; k. karar vericinin, i. kriteri j. kritere tercih etme durumunu ifade etmektedir.

Tablo 1. Kriter karşılaştırmalarında kullanılan bulanık sayılar (Gündoğdu & Kahraman, 2020a)

Dilsel Önem Ölçüsü	(μ, ν, π)	Skor İndeksi (SI)
Kesinlikle Yüksek Önemli (KYÖ)	(0.9, 0.1, 0.0)	9
Çok Yüksek Önem (CYÖ)	(0.8, 0.2, 0.1)	7
Yüksek Önemli (YÖ)	(0.7, 0.3, 0.2)	5
Biraz Fazla Önemli (BFÖ)	(0.6, 0.4, 0.3)	3
Eşit Önemli (EÖ)	(0.5, 0.4, 0.4)	1
Biraz Düşük Önemli (BDÖ)	(0.4, 0.6, 0.3)	1/3
Düşük Önemli (DÖ)	(0.3, 0.7, 0.2)	1/5
Çok Düşük Önemli (CDÖ)	(0.2, 0.8, 0.1)	1/7
Kesinlikle Düşük Önemli (KDÖ)	(0.1, 0.9, 0.0)	1/9

Adım 2.6: Faktör karşılaştırmalarındaki tutarlılığın ölçülmesi.

AHS'nin kendi içinde tutarlı bir sistemi vardır. Ancak sonuçların tutarlı olması, karar vericinin faktörler arasındaki karşılaştırmasının tutarlılığına bağlıdır. KB-AHS’de, ikili karşılaştırmaların tutarlılığını ölçmek için skor indeksleri (SI) kullanılır. Skor indekslerini elde etmek için gerekli formül Eşitlik 17’de verilmektedir. Bu çalışmada kullanılacak SI değerleri hesaplanmış ve Tablo 1’de verilmiştir.

$$SI = \sqrt{100 * \left[(\mu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2 - (\nu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2 \right]} \quad (17)$$

KB-AHS yönteminde, AHS yönteminde olduğu gibi, her bir ikili karşılaştırma matrisi için Tutarlılık Oranının (CR) ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. CR’nin hesaplanması iki adımda gerçekleştirilir. İlk adımda, Tutarlılık İndeksi (CI) değerinin hesaplanması gereklidir. CI’nin hesaplanması için gerekli formül Eşitlik 18’de verilmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (18)$$

CR değerleri Eşitlik 19'a göre hesaplanır. Hesaplanan değerlerin 0,1'den küçük olması, bulunan önceliklerin ve dolayısıyla faktörler arasındaki bireysel karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. Hesaplamada kullanılan Rastgelelik Göstergeleri (RI) değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (19)$$

Tablo 2. RI değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Adım 2.7. Kriterlerin lokal ağırlıklarının hesaplanması

Bu aşamada, grup karar matrisi Eşitlik 15 yardımı ile hesaplanır. Ardından küresel bulanık lokal ağırlıklar Eşitlik 20'ye göre hesaplanır.

$$SWAM = \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \prod_{i=1}^n v_{A_{si}}^{w_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{si}}^2 - \pi_{A_{si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \quad (20)$$

Adım 2.8. KB-AHS ile elde edilen lokal ağırlıkların durulaştırılması

Küresel bulanık lokal ağırlıkların durulaştırılması Eşitlik 21'e göre yapılmaktadır. Bu aşamadan sonra durulaştırılmış lokal ağırlıklar elde edilir.

$$S(w_j) = \sqrt{\left| 100 * \left[\left(3\mu_{\bar{A}_s} - \frac{\pi_{\bar{A}_s}}{2} \right)^2 - \left(\frac{v_{\bar{A}_s}}{2} - \pi_{\bar{A}_s} \right)^2 \right] \right|} \quad (21)$$

Adım 2.9 Global ağırlıkların hesaplanması

KB-AHS'nin son aşamasında ana kriterlerin ve alt kriterlerin global ağırlıkları hesaplanır. Hesaplanan ağırlıklar ELECTRE yönteminin ilk aşamasında kullanılacaktır.

Adım 3. ELECTRE yöntemi ile alternatiflerin sıralanması

Adım 3.1. ELECTRE yöntemi için başlangıç matrisinin oluşturulması

Bir önceki adımda elde edilen global ağırlıklar kullanılarak, ELECTRE yöntemi için aşağıdaki başlangıç matrisi oluşturulur. Başlangıç matrisi A ile ifade edilir ve Eşitlik 22'de gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (22)$$

A matrisinde m karar noktası sayısını, n değerlendirme faktörü sayısını göstermektedir.

Adım 3.2. Standart Karar matrisinin hesaplanması

Başlangıç matrisi olan A'nın elemanlarından faydalanılarak, Eşitlik 23'deki formüle göre, standart karar matrisi (X) elemanları hesaplanmaktadır.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (23)$$

Adım 3.3. Ağırlıklı Standart karar matrisinin hesaplanması

Kriter ağırlıklarının etkisini, standart karar matrisine yansıtmak için, X matrisinin elemanları ile ağırlıklar çarpılır ve ağırlıklı standart karar matrisi hesaplanır. Hesaplanan matris Y ile gösterilir ve Eşitlik 24'de verilmektedir.

$$Y = \begin{pmatrix} w_1 x_{11} & \cdots & w_n x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 x_{m1} & \cdots & w_n x_{mn} \end{pmatrix} \quad (24)$$

Adım 3.4. Uyum (C_{kl}) ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Setlerinin Belirlenmesi

Uyum setlerinin belirlenmesi için, Y matrisinden yararlanılır. Karar noktalarının ikili karşılaştırması sonucu uyum seti elemanları Eşitlik 25'e göre belirlenir. Uyum setinin elemanı olmayanlar doğal olarak uyumsuzluk seti elemanları olur. Burada kriterin maliyet olması durumunda uyum setleri için kullanılan Eşitlik 25'deki formül "<" olarak güncellenir.

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \quad (25)$$

Adım 3.5. Uyum (C) ve Uyumsuzluk Matrislerinin (D) Oluşturulması

Uyum ve uyumsuzluk seti elemanlarından faydalanılarak uyum ve uyumsuzluk setleri elde edilir. Uyum matrisi için Eşitlik 26, uyumsuzluk seti için Eşitlik 27'den faydalanılır.

$$c_{kl} = \sum_{j \in c_{kl}} w_j \quad (26)$$

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_{j \in J} |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (27)$$

Adım 3.6. Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin oluşturulması.

Uyum üstünlük matrisi oluşturulurken öncelikle Eşitlik 28'de verilen formüle göre uyum eşik değeri hesaplanmalıdır.

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \quad (28)$$

F matrisi elemanları (f_{kl}) C matrisi elemanları kullanılarak elde edilir. C matrisi elemanları uyum eşik değerine göre karşılaştırılır. Eğer $c_{kl} \geq \underline{c}$ ise $f_{kl} = 1$ değerini almaktadır. Diğer durumda ise $f_{kl} = 0$ olur. Maliyet kriterinde eşitliklerin aldığı değerler tam tersi olmaktadır.

Uyumsuzluk üstünlük matrisi (G) elemanlarının (g_{kl}) hesaplanması için, uyum üstünlük matrisinde olduğu gibi, öncelikle Eşitlik 29'da verilen formül yardımı ile uyumsuzluk eşik değeri hesaplanmalıdır.

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \quad (29)$$

D matrisi elemanları uyumsuzluk eşik değerine göre karşılaştırılır. Eğer $d_{kl} \geq \underline{d}$ ise $g_{kl} = 0$ değerini almaktadır. Diğer durumda ise $g_{kl} = 1$ olur. Maliyet kriterinde eşitliklerin aldığı değerler tam tersi olmaktadır.

Adım 3.7. Toplam Baskınlık Matrisinin (E) Oluşturulması

Toplam baskınlık matrisi elemanları (e_{kl}) ile temsil edilmektedir. F ve G matrisi elemanlarının karşılıklı çarpılması ile elde edilir.

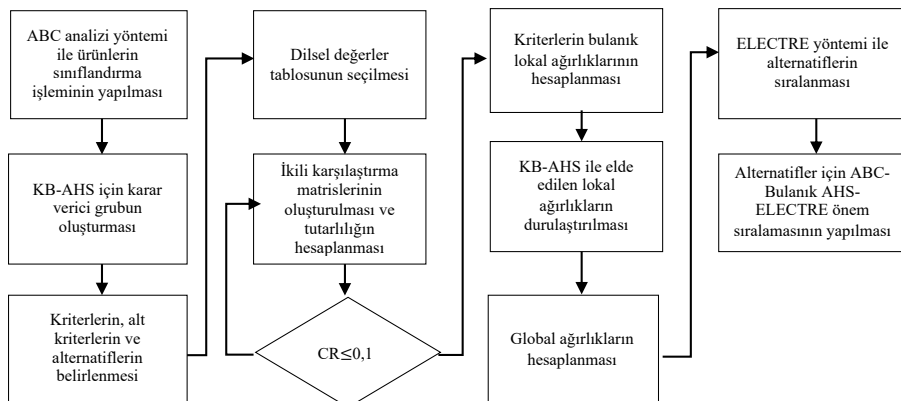
Adım 3.8. Karar Noktalarının Önem Sırasının Belirlenmesi

Toplam baskınlık matrisinde alternatiflerin birbirine göre üstünlükleri gösterilir. E matrisi satır toplamları bulunarak, alternatiflerin toplam baskınlık değerleri elde edilir ve bu değerlere göre alternatiflerin sıralaması yapılır.

Adım 4. Alternatifler için ABC-Bulanık AHS-ELECTRE önem sıralamasının yapılması

ELECTRE yöntemi ile sıralanan alternatifler 3 gruba ayrılır. Örneğin 9 alternatif varsa ilk üç alternatif birinci grup elemanı olur. 7. 8. ve 9. Sıradaki alternatifler de üçüncü sınıfta yer alır.

ABC analizi ile sınıflandırılan alternatifler ile ELECTRE yöntemi sonucu elde edilen üç grup birlikte değerlendirilerek yeni bir sıralama skalası elde edilir. Bu skala sonucunda, envanter listesindeki her bir parça "A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3" gruplarından bir tanesine dahil olur. Önerilen algoritmanın akış şeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Önerilen Algoritmanın Akış Şeması

4. Uygulama

Uygulamanın yapıldığı mevcut sistemde, firma sadece özel projeler ve siparişler üzerine üretim yapmaktadır. Ürünler, genellikle siparişin önceliğine göre üretilir. Siparişlerin %70'i firmalardan %30'u ise bireysel müşterilerden gelmektedir. Firmanın aktif çalıştığı tedarikçi sayısı, üretilen ürün yoğunluğuna bağlı olmakla beraber, zaman zaman %100'e ulaşmaktadır. Mevcut durumda firma, talep tahmini için herhangi bir matematiksel model veya metodoloji kullanmamaktadır. Talepler, sezgisel olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca mobilya fabrikasında rastgele dağıtılan depolama alanlarında hammadde stokları yapılmaktadır.

Adım 1: ABC Analizi için firmanın yatak odası mobilyası üretimi yapan bölümü seçilmiştir. Bu bölümde kullanılan parçalar numaralandırılmış ve Tablo 3'de kilogram bazında birim fiyatları, yıllık kullanım miktarları, birikimli yıllık kullanım miktarları, birikimli kullanım yüzdeleri, yıllık maliyetler, birikimli yıllık maliyetler, birikimli yüzde maliyetler ve ABC analizine göre yapılan sınıflandırma sonuçları verilmiştir.

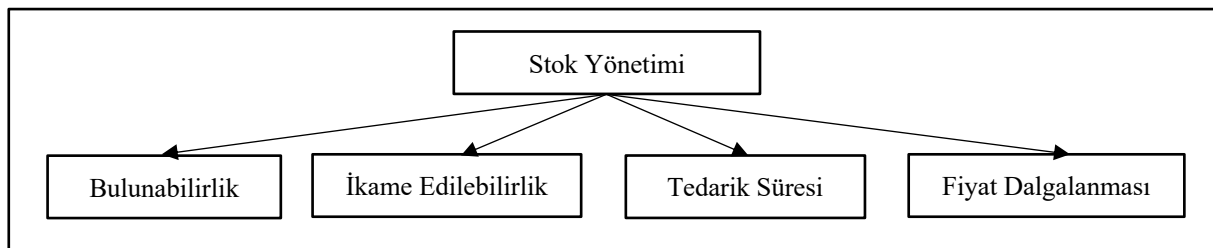
Tablo 3. ABC Analizi

Parça No	Fiyat/kg	Yıllık Kullanım (kg)	Birikimli Kullanım (kg)	Birikimli Kullanım Yüzdesi	Yıllık Maliyet (TL)	Birikimli Maliyet (TL)	Birikimli Maliyet Yüzdesi	Kategori
Parça-1	243,84₺	800	800	%4,30	195.072,00₺	195.072,00₺	%22,00	A
Parça-2	220,82₺	900	1700	%9,13	198.738,00₺	393.810,00₺	%44,40	A
Parça-3	193,34₺	1200	2900	%15,57	232.008,00₺	625.818,00₺	%70,57	A
Parça-4	46,62₺	1560	4460	%23,95	72.727,20₺	698.545,20₺	%78,77	B
Parça-5	38,98₺	1560	6020	%32,33	60.808,80₺	759.354,00₺	%85,62	B
Parça-6	19,80₺	1760	7780	%41,78	34.848,00₺	794.202,00₺	%89,55	B
Parça-7	18,00₺	1920	9700	%52,09	34.560,00₺	828.762,00₺	%93,45	C
Parça-8	9,90₺	3800	13500	%72,50	37.620,00₺	866.382,00₺	%97,69	C
Parça-9	4,00₺	5120	18620	%100,00	20.480,00₺	886.862,00₺	%100,00	C

Tablo 3'de görüldüğü üzere, parça 1, parça 2 ve parça 3 A grubu hammaddelerdir. Toplam maliyetin yaklaşık %70'ini oluştururken, toplam parça adetinin %15'ini oluşturmaktadırlar. Parça 4, parça 5 ve parça 6 B grubu hammaddelerdir. Toplam maliyetin %20'si bu gruptaki hammaddelerden oluşmaktadır. Bununla beraber, bu kategorideki hammaddeler toplam kullanımının %26'sını oluşturmaktadır. Son olarak C grubu parçalar bulunmaktadır. Bu gruptaki parçalar toplam maliyetin %10'unu oluştururken, toplam kullanımının %59'unu oluşturmaktadır.

Adım 2. Küresel Bulanık AHS

Bu çalışmada kullanılan KB-AHS yöntemi için üç karar verici ve dört adet kriter seçilmiştir. Tedarik sırasında istenilen kalite ürünlerin kolay bulunabilmesi, hammaddenin ikame edilebilirliği, siparişin tedarik süresi ve hammaddenin piyasadaki dalgalanmalardan dolayı fiyat değişimlerinden etkilenme oranı olarak belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesi için öncelikle detaylı bir yazın taraması yapılmış ve en sık kullanılan kriterler belirlenmiştir. Bulunan bu kriterler uzmanlar ile beraber değerlendirilmiştir ve çalışmada kullanılan kriterler seçilmiştir. ABC analizinde kullanılan fiyat ve miktar kriterleri, iki kere değerlendirme yapılmaması için özellikle tercih edilmemiştir. KB-AHS hiyerarşisi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. BK-AHS Hiyerarşik Yapısı

K1 - Bulunabilirlik: Pek çok alanda olduğu gibi, mobilya sektöründe kullanılan hammaddeler farklı marka ve kalitelerde olabilmektedir. Hedeflenen kalite standartlarını tutturabilmek için gerekli olan hammaddenin bulunabilirliğidir. Düşük değer bulunabilirliğin az olduğunu, yüksek değer hammaddenin kolay bulunabildiğini ifade eder.

K2 - İkame Edilebilirlik: İhtiyaç duyulan hammaddenin yerine, imalathane içinden başka bir malzemenin ikame edilebilir olmasıdır. Düşük değer ikame edilebilirliğin az olduğunu, yüksek değer hammaddenin kolaylıkla ikame edilebileceğini ifade eder.

K3 - Tedarik Süresi: Sipariş edilen hammaddenin teslimat süresidir. Düşük değer tedarik süresinin kısa olduğunu, yüksek değer uzun olduğunu ifade eder.

K4 - Fiyat Dalgalanması: Hammaddelerin çeşitli sebeplerden dolayı fiyatında gerçekleşen dalgalanmaları ifade eder. Düşük değer hammadde üzerindeki fiyat dalgalanmasının düşük olduğunu, yüksek değerler dalgalanmanın fazla olduğunu ifade eder.

Hiyerarşik yapı ve alternatifler belirlendikten sonra 3 adet karar verici için ayrı ayrı dilsel değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan kriter karşılaştırmaları, KB-AHS'nin yapısına uygun olarak, Tablo 4'de verilmiştir. Dilsel karşılaştırma tabloları kullanılarak ve Eşitlik 21'den faydalanılarak skor indeksi değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan bu değerlere göre, tutarlılık oranları hesaplanmış ve Tablo 4'de verilmiştir. Buna göre tüm karşılaştırma tablolarının tutarlı olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Karar Verici 1 Tutarlılık Oranı:0,042				Karar Verici 2 Tutarlılık Oranı:0,012				Karar Verici 3 Tutarlılık Oranı:0,069			
	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
K1	EÖ	BFÖ	EÖ	YÖ	EÖ	YÖ	BFÖ	EÖ	EÖ	EÖ	BDÖ	YÖ
K2	BDÖ	EÖ	EÖ	BFÖ	DÖ	EÖ	EÖ	DÖ	EÖ	EÖ	DÖ	BFÖ
K3	EÖ	EÖ	EÖ	BFÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	BDÖ	BFÖ	YÖ	EÖ	YÖ
K4	DÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	YÖ	BFÖ	EÖ	DÖ	BDÖ	DÖ	EÖ

Adım 2.7'de verildiği üzere, Eşitlik 15'den faydalanılarak, grup karar matrisi oluşturulur. Oluşturulan grup karar matrisi, Tablo 5'de verilmektedir. Ardından küresel bulanık ağırlıklar hesaplanır. Hesaplanan küresel bulanık ağırlıklar yine Tablo 5'de verilmektedir. Son olarak, hesaplanan küresel bulanık ağırlıklar, Eşitlik 21 kullanılarak durulaştırılır. Durulaştırılmış ağırlıklar Tablo 5'de verilmektedir. Bu ağırlıklar üçüncü adımda verilen ELECTRE yönteminde kullanılacaktır.

Tablo 5. Grup karar matrisi, bulanık ve durulaştırılmış ağırlıklar

	K1			K2			K3			K4			\bar{w}_j		w_j	
	μ	v	π	μ	v	π	μ	v	π	μ	v	π	μ	π		
K1	0,50	0,40	0,40	0,59	0,37	0,30	0,49	0,48	0,34	0,63	0,34	0,27	0,559	0,394	0,329	0,293
K2	0,36	0,61	0,32	0,50	0,40	0,40	0,42	0,54	0,36	0,48	0,54	0,28	0,445	0,516	0,344	0,225
K3	0,46	0,51	0,34	0,48	0,45	0,33	0,50	0,40	0,40	0,55	0,46	0,27	0,500	0,453	0,337	0,258
K4	0,33	0,65	0,29	0,48	0,53	0,26	0,42	0,59	0,28	0,50	0,40	0,40	0,439	0,534	0,317	0,225

Adım 3. ELECTRE

Bu aşamada hammaddeler, Adım 2'de belirlenen kriterler cinsinden değerlendirilmiştir. Değerlendirmede 5'li Likert ölçeği kullanılmıştır. ELECTRE için hazırlanan başlangıç matrisi Tablo 6'de verilmektedir.

Tablo 6. ELECTRE Başlangıç Tablosu

	Bulunabilirlik	İkame Edilebilirlik	Tedarik Süresi	Fiyat Dalgalanması
w	0,293	0,225	0,258	0,225
Parça-1	5	1	2	4
Parça-2	3	4	1	2
Parça-3	4	3	5	2
Parça-4	3	4	2	2
Parça-5	5	3	2	5
Parça-6	1	4	1	2
Parça-7	4	5	3	1
Parça-8	5	3	3	4
Parça-9	5	3	4	3

ELECTRE yönteminin adımları izlenerek, önce standart karar matrisi elde edilir. Ardından, bu matris ağırlıklandırılır ve uyum ile uyumsuzluk setleri belirlenir. Bu setler kullanılarak önce uyum ve uyumsuzluk matrisleri bulunur, sonra eşik değerleri belirlenerek uyum üstünlük ve uyumsuzluk üstünlük matrisleri bulunur.

Son olarak bu matrislerin elemanlarının karşılıklı çarpımı ile elde edilen toplam baskınlık matrisi Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. ELECTRE Toplam Baskınlık ve Grup Tablosu

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Toplam Baskınlık	ELECTRE Grubu
Parça-1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	4	1
Parça-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Parça-3	0	1	0	1	0	1	1	0	0	4	1
Parça-4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Parça-5	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
Parça-6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
Parça-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Parça-8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	2
Parça-9	0	1	0	1	0	0	1	0	0	3	1

Alternatiflerin satır toplamları alınarak toplam baskınlık değerleri hesaplanır.

Adım 4. ABC KB-AHS ELECTRE

ELECTRE yöntemine göre alternatifler, toplam baskınlık değerlerine göre sıralanarak üç gruba ayrılır. Alternatiflerin ait olduğu gruplar Tablo 7’de verilmektedir. Algoritmanın son aşamasında, ABC yöntemi ile belirlenen gruplar ile KB-AHS ELECTRE yöntemi ile belirlenen gruplar bir araya getirilir. Elde edilen sonuçlar ve kategori sıralamaları Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8. ABC - KB-AHS ELECTRE Kategori Tablosu

Parça No	ABC	KB-AHS ELECTRE	Kategori
Parça-1	A	1	A1
Parça-2	A	3	A3
Parça-3	A	1	A1
Parça-4	B	3	B3
Parça-5	B	2	B2
Parça-6	B	2	B2
Parça-7	C	3	C3
Parça-8	C	2	C2
Parça-9	C	1	C1

Tablo 8’de de görüldüğü gibi, bazı malzemeler ABC sınıflandırmasına göre çok önemli görünse de diğer kriterler değerlendirildiğinde aynı öneme sahip olmayabilir. Buna örnek olarak 2. parça verilebilir. Bu parça ABC sınıflandırmasına göre en önemli ve sürekli izlenmesi gereken A kategorisinde bulunmaktadır. Ancak KB-AHS-ELECTRE yöntemi ve bu yöntemde bulunan kriterler dikkate alındığında, parçanın önemi daha düşük çıkmaktadır. A, B ve C gruplandırılmaları, malzemelerin önemini gösterirken 1,2 ve 3 numaralı gruplar tutulması gereken stok miktarını göstermektedir. A grubu malzemeler katma değeri yüksek ve üretim süreçleri için kritik malzemelerdir. Bu gruptaki malzemelerin stok seviyeleri sıklıkla ve yakından izlenmeli ve yeterli emniyet stoku tutulmalıdır. B grubu malzemeler daha az öneme sahiptir. Bu gruba ait malzemelerin stok miktarları daha seyrek izlenebilir. C grubu ise en az öneme sahip gruptur. Bu gruba ait malzemelerin stok miktarları diğer iki gruba göre daha düşük periyotlarda izlenebilir.

ABC analizi oldukça etkili bir yöntem olsa da bazı noktalarda eksik kalmaktadır. Bu sebepten dolayı alt gruplandırılmaları yapmak, stok yönetimine büyük katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada ABC yöntemi ana gruplandırılmaları yapmak için, KB-AHS ELECTRE yöntemini de alt gruplandırılmaları yapmak için bir arada kullanılmıştır. Önerilen yöntemde her bir gruba ait üç adet alt grup bulunmaktadır. 1 numaralı gruba ait malzemeler için daha yüksek emniyet stoku tutulması gerekmektedir. Bu gruptaki malzemeler göreceli olarak daha zor bulunan, ikamesi az olan, tedarik süresi daha uzun olan ve fiyat dalgalanmalarından daha fazla etkilenen malzemelerdir. 2 numaralı gruptaki malzemeler, buldukları ABC grubuna göre ortalama stok miktarında tutulabilir. Üç numaralı gruptaki malzemeler ise, kolay bulunan, ikamesi kolay olan, tedarik süresi kısa olan ve kur dalgalanmalarından daha az etkilenen malzemelerdir. Bu malzemelerin stok miktarları azaltılarak stokta tutma maliyetleri azaltılabilir.

5. Sonuç ve Öneriler

İşletmeler için etkili bir stok yönetimi hayati önem taşımaktadır. Çalışmada ele alınan imalathanede, bazı hammaddeler gereğinden fazla stoklamakta, bazı hammaddeler ise ihtiyacın altında stoklamakta ve bu hem maliyetleri arttırmakta hem de üretim süreçlerini sekteye uğratmaktadır. Bu çalışmanın amacı, işletmede yaşanan stok problemini ortadan kaldırmaktır. Makalede, mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için melez bir algoritma önerilmiştir.

Kullandığımız ilk yöntem, literatürde ve uygulamada oldukça yaygın olarak kullanılan üretim ve stok kontrol tekniklerinden biri olan, ABC sınıflandırma analizidir. Bu sınıflamada, yıllık kullanım miktarı ve maliyetler göz önünde bulundurulur. Ardından malzemeler üç sınıfa ayrılır. ABC analizi oldukça etkin bir yöntem olsa da değerlendirilmede sadece iki kriter bulunmasından dolayı stok analizinde yetersizlikler ortaya çıkmaktadır.

ABC yöntemine ek olarak alt gruplandırmaların yapılması, stok yönetimine büyük katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada KB-AHS ELECTRE yöntemi alt gruplandırma için kullanılmıştır. Bu yöntemle hammaddeler, tedarik sırasında ürünlerin bulunabilirliği, malzemenin diğer malzemeler ile veya başka departmanlardan ikame edilebilirliği, siparişlerin tedarik süresi ve fiyat dalgalanmalarından etkilenmesi gibi dört farklı kriter ile değerlendirilir. Ölçüt ağırlıkları KB-AHS yöntemi ile hesaplanır ve ELECTRE yöntemi ile sonuçları ile sınıflandırma yapılır. Son olarak sonuçlar ABC Analizi ile birleştirilir ve son bir envanter sınıflandırması elde edilir.

Envanter sınıflandırması problemi için geçmiş çalışmalarda ABC ve ÇKKV yöntemlerinin bir arada kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada ele alınan problem için literatürde daha önce bir arada kullanılmayan ABC-KB-AHS yaklaşımı, grup karar verme yöntemleri ile beraber uygulanmıştır. Önerilen bu yöntem, ABC analizine ek olarak KB-AHS ile birden çok karar vericinin dilsel ifadelerinin de sonuçlara yansıtılmasını sağlamıştır.

İleriki çalışmalarda, ELECTRE yöntemine de bulanık mantık uygulanabilir. Ayrıca TOPSIS, PROMETHEE gibi farklı yöntemler kullanılarak sonuçların karşılaştırması yapılabilir. Buna ek olarak, malzemelerin düzenli stok kontrolü için bir EOQ modeli oluşturulabilir. Elde edilen model ile her bir sınıf için sipariş miktarı, çevrim süresi ve yeniden sipariş noktası de hesaplanabilir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)

Atanassov, K. T. (1989). More on intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 33(1). [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(89\)90215-7](https://doi.org/10.1016/0165-0114(89)90215-7)

Ayyıldız, E., & Taskin Gumus, A. (2020). A novel spherical fuzzy AHP-integrated spherical WASPAS methodology for petrol station location selection problem: a real case study for İstanbul. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09640-0>

Balaji, K., & Kumar, V. S. S. (2014). Multicriteria inventory ABC classification in an automobile rubber components manufacturing industry. In *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.044>

Ben-Arieh, D., & Qian, L. (2003). Activity-based cost management for design and development stage. *International Journal of Production Economics*, 83(2). [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00323-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00323-7)

Cakir, O., & Canbolat, M. S. (2008). A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.041>

- Can, G. F. (2018). Intuitionistic Fuzzy TLX (IF-TLX): Implementation of Intuitionistic Fuzzy Set Theory for Evaluating Subjective Workload. *Journal of Turkish Operations Management*, 2(1), 79–90. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/jtom/issue/40793/514530>
- Çetin, O., & Böker, Z. (2020). Sağlık Sektöründe ABC-VED AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Çok Kriterli Stok Sınıflandırması. *Öneri Dergisi*. <https://doi.org/10.14783/maruoneri.676528>
- Dağsuyu, C. (2019). Bulanık ABC-VED Analizi ile Metal Sektöründe Stok Sınıflandırması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. <https://doi.org/10.17482/uumfd.479764>
- Dugdale, D., & Jones, T. C. (1997). How many companies use ABC for stock valuation? A comment on Innes and Mitchell's questionnaire findings. *Management Accounting Research*, 8(2), 233–240. <https://doi.org/10.1006/mare.1996.0043>
- Figueira, J. R., Mousseau, V., & Roy, B. (2016). ELECTRE methods. *International Series in Operations Research and Management Science*. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_5
- Garibaldi, J. M., & Ozen, T. (2007). Uncertain fuzzy reasoning: A case study in modelling expert decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1). <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.889755>
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.3233/JIFS-181401>
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2020a). A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04222-w>
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2020b). Spherical fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and its application to industrial robot selection. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_117
- Gurnani, C. (2007). Economic analysis of inventory systems. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207548308942352>
- Hadi-Vencheh, A. (2010). An improvement to multiple criteria ABC inventory classification. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.013>
- Inderfurth, K. (1991). Safety stock optimization in multi-stage inventory systems. *International Journal of Production Economics*. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(91\)90157-O](https://doi.org/10.1016/0925-5273(91)90157-O)
- Liu, J., Liao, X., Zhao, W., & Yang, N. (2016). A classification approach based on the outranking model for multiple criteria ABC analysis. *Omega (United Kingdom)*. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.07.004>
- Lolli, F., Ishizaka, A., & Gamberini, R. (2014). New AHP-based approaches for multi-criteria inventory classification. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.05.015>
- Michalski, G. (2009). Inventory management optimization as part of operational risk management. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 213–222. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1562699
- Minner, S. (1997). Dynamic programming algorithms for multi-stage safety stock optimization. *OR Spectrum*. <https://doi.org/10.1007/BF01539783>
- Özdağoğlu, A. (2010). Analysis of selection criteria for manufacturing employees using fuzzy-AHP. *DEÜ İşletme Fakültesi Dergisi*, 9(1), 141–160. Retrieved from <http://web.deu.edu.tr/dergi/index.php/isletme/article/view/18/0>
- Pınar, A. (2020). Tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme metotları. *Journal of Turkish Operations Management*, 2(4), 449–478. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/jtom/issue/59336/851846>
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue Française d'informatique et de Recherche Opérationnelle*, 1, 57–75. Retrieved from http://www.numdam.org/item/RO_1968__2_1_57_0/

- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. *Education*, 1–11. <https://doi.org/10.3414/ME10-01-0028>
- Smarandache, F. (2006). Neutrosophic set - A generalization of the intuitionistic fuzzy set. In 2006 IEEE International Conference on Granular Computing (pp. 38–42). <https://doi.org/10.1109/grc.2006.1635754>
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529–539. <https://doi.org/10.1002/int.20418>
- Yager, R. R. (1986). On the theory of bags. *International Journal of General Systems*, 13(1). <https://doi.org/10.1080/03081078608934952>
- Yager, R. R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958–965. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2013.2278989>
- Yager, R. R. (2017). Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222–1230. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2016.2604005>
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Sciences*, 8(3), 199–249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
- Zadeh, Lotfi A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338–353. <https://doi.org/10.1109/2.53>