

AKSİYOMLARLA TASARIM YÖNTEMİ İLE GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN SERT KÖPÜK BONCUK HAMMADESİ SEÇİMİ

Kübra ÇELİK^{1*}, Hacer Elif PEHLİVANOĞLU², Selen AVCI³, Zerrin ALADAĞ⁴

¹Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8851-0122>

²Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2112-3504>

³Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-7433-5696>

⁴Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-5986-7210>

Anahtar Kelimeler	Öz
Aksiyomatik tasarım, Analitik hiyerarşi prosesi, Malzeme seçimi, Satınalma, Tasarım aralığı.	İşletmeler, günümüzün rekabetçi ortamında ayakta kalabilmek için stratejik olarak doğru kararlar alarak kaynaklarını iyi yönetmek mecburiyetindedir. Bu bağlamda, tedarik zinciri yönetiminde satın alma biriminin aldığı kararlar hayati öneme sahiptir. Globalleşen dünyada, hammadde satın alma sürecinde tedarik edilecek malzemelerin yalnızca bulunabilirliğinin ve fiyatının dikkate alınması yanlış kararlar verilmesine yol açabilir. Satın alma süreçlerinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri literatürde sıklıkla kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada, binaların dış cepheleri için yalıtım malzemesi olarak kullanılan Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS) levhanın hammaddesi olan boncuk EPS'nin satın alma sürecine ÇKKV yöntemlerinden Aksiyomatik Tasarım ile yaklaşımda bulunulmuştur. Kriterler (malzemenin birim fiyatı, tedarik süresi, araca yüklenebilecek maksimum miktar, termine uyum oranı ve kalite red oranı) ve yöntemin uygulanması için gerekli olan tasarım aralıkları uzman görüşü ile belirlenmiştir. Çalışmada önce ölçüt ağırlıkları eşit alınarak sıralama yapılmıştır. Sonrasında yine bir ÇKKV yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile kriter ağırlıkları elde edilmiş ve sıralama yeniden yapılmıştır. Son olarak, tasarım aralığı genişliği farklılaştırılarak bu aralığın sonuçlara etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

SELECTION OF EXPANDED POLYSTYRENE FOAM BEAD RAW MATERIAL WITH AXIOMATIC DESIGN METHOD

Keywords	Abstract
Axiomatic design, Analytical hierarchy process, Material selection, Purchasing, Design range.	In order to survive in today's competitive environment, businesses have to make strategically true decisions and manage their resources correctly. In this context, decisions made by the purchasing unit in supply chain management are vital. In the buying raw materials process, decision-makers can make mistakes if they consider only the availability and price of the materials only. In purchasing processes, Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods have been used frequently and successful results have been obtained. In this study, the approach to the procurement process of bead EPS, which is the raw material of EPS (Expanded Polystyrene Hard Foam) board used as insulation material for facades of buildings, has been approached with Axiomatic Design, one of the MCDM methods. Criteria (unit price of material, lead time, maximum quantity loaded on the vehicle, term compliance ratio and quality rejection rate) and design intervals required for the application of the method were determined by expert opinion. In the study, we first considered the criterion weights equal and made a ranking. Afterwards, we calculated the criterion weights with the Analytical Hierarchy Process (AHP), which is also an MCDM method, and redesigned the ranking. Finally, we examined the effect of the width of the design range on the results and interpreted our results.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 31.10.2019	Submission Date : 31.10.2019
Kabul Tarihi : 16.01.2020	Accepted Date : 16.01.2020

*Sorumlu yazar; e-posta : selen.avci@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

Günümüzün zorlu pazar koşulları, firmaların değişkenlik gösteren müşteri isteklerine hızlıca yanıt vermelerini zorunlu kılmaktadır. Bunun sağlanabilmesi, tedarikçi ile müşteri arasındaki malzeme ve bilgi akışını sağlayan tedarik zincirinin doğru bir şekilde yönetilmesi ile mümkündür (Özel ve Özyörük, 2007).

Firmalar, rekabet gücüne sahip olabilmek için tedarik zinciri yönetiminde satın alma süreçlerini başarıyla yürütmek durumundadır. Tedarik edilecek malzeme seçiminde başarılı kararlar vermek; alternatiflerin fiyat ve bulunabilirliğinin yanı sıra birçok kriter ile birlikte değerlendirilmesi ile mümkündür. Malzemenin dinamiğine ve özelliğine göre firmadan firmaya değişebilecek olsa da “tedarik süresi, minimum sipariş miktarı, ambalaj tipi, termine uyum” gibi değişkenler dikkate alınması gereken kriterlere örnek olarak sıralanabilir. Bu gibi birden fazla ve genelde birbirine zıt kriterlere sahip karar problemlerinin çözümü için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılabilir (Ersöz ve Kabak, 2010).

Aksiyomatik Tasarım (Axiomatic Design, AD) temel olarak tasarımları bilimsel bir temele oturtmak ve tasarımcıya mantıksal bir düşünce süreci sunmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. AD, bağımsızlık ve bilgi olmak üzere iki aksiyoma dayanmakta olup bilgi aksiyomu alternatifler arasında sıralama yapmayı mümkün kılmaktadır. Farklı kriterler doğrultusunda minimum bilgi içeriğine sahip alternatifin en iyi alternatif olarak değerlendirilmesi ile AD literatürde bir ÇKKV yöntemi olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Özel ve Özyörük, 2007).

Son yıllarda, enerji sektöründe artan maliyetler ve çevresel endişeler dünyada olduğu gibi Türkiye’de de enerji verimliliği konusunu gündeme getirmiştir. Bu noktada binaların dış cephelerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılan Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS) levhaya olan talep artmıştır. Bu çalışmada, kimya sektöründe faaliyet gösteren bir firmada EPS bloklarının hammaddesi olan boncuk EPS’nin seçimi için AD yönteminden yararlanılmıştır. Söz konusu malzeme yurtdışından tedarik edilmekte olup verilecek yanlış bir kararın firmaya maliyeti yüksek olacaktır. Problem, çok kriterli yapıya sahip olması ve her bir kriter için sistem ve tasarım aralıklarına uyumlu seçimler gerektirmesi sebebiyle AD yapısına uygun bulunmuş ve yöntemin söz konusu seçim problemindeki başarısı sınanmıştır. Çalışmada kriterler; “malzemenin birim fiyatı, tedarik süresi, araca yüklenen maksimum miktar

(parti büyüklüğü), termine uyum oranı ve kalite red oranı” olarak belirlenmiştir. Seçim önce kriterler ağırlıklandırılmadan gerçekleştirilmiş sonrasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile kriterler ağırlıklandırılarak bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son olarak, AD’de önemli bir parametre olan tasarım aralığı genişliğinin farklılaşmasının sonuçlara etkisi yorumlanmıştır.

2. Yazın Taraması

Aksiyomatik tasarım (AD) yöntemi farklı alanlara uygulanabilmesi sayesinde birçok çalışmaya konu olmuştur (Ulutürk, Yurdakul ve İç, 2019). Bu bölümde, son 10 yıl içinde AD ile ilgili yapılmış bazı çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Karataş ve Akman (2009) on altı makine üreticisi firmaya uygulanan anketler ile makine imalatı yapan firmaların yenilikçi kültür yapılarını AD’nin bilgi aksiyomunu kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada kriterler hem ağırlıklandırılmadan hem de ağırlıklandırılarak çözüm yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kahraman ve Çebi (2009) bulanık AD yöntemini hiyerarşik yapılar için genişletmiş ve geliştirilen yöntemin kullanılabilirliğini göstermek için asistan seçim problemine bu yöntemi uygulamışlardır. Sonuç olarak, bu metodolojinin bir sıralama yöntemi olarak kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Celik, Kahraman, Cebi ve Er (2009) gemi işletmecilerine karar desteği sağlamak amacıyla tersane yerleşimine dair bulanık AD’ye dayanan sistematik bir performans değerlendirme modeli geliştirmiştir. Çalışmada hem bulanık AD’nin teorik çerçevesi güçlendirilmiş hem de Türkiye denizcilik endüstrisine dair gerçek bir olay ele alınmıştır.

Carnevali, Miguel ve Calarge (2010) kalite yayılım fonksiyonu (QFD)’nin kullanım zorluğunu azaltmak için QFD ile AD’yi birlikte kullanan teorik bir model geliştirmiştir. Model teorik olarak uygulanabilir gözükse de deneysel uygulama ile geçerliliğinin test edilmesi gerektiği önerilmiştir.

Artan talep miktarları ve çevresel zorunluluklar bir arada düşünüldüğünde, takım tezgahlarında enerji kullanımı ile ilgili iyileştirme önlemlerinin alınması zorunlu bir hale gelmiştir. Zein, Li, Herrmann ve Kara (2011) AD kullanarak, tezgahların enerji verimliliğini artırmanın fonksiyonel gereksinimlerini tasarım parametreleriyle ilişkilendiren bir matris geliştirmiştir. Ogot (2011) AD ve TRIZ yöntemlerini beraber kullanarak her yöntemin güçlü yanlarından yararlanan ve aynı

zamanda yöntemlerin zayıflıklarını en aza indiren sentez bir model geliştirmiştir. Çalışmada AD bağımsızlık aksiyomu prensipleri bir TRIZ çerçevesi içinde kullanılmıştır.

Maldonado, Garcia, Alvarado ve Balderrama (2013) gelişmiş üretim teknolojisi (Advanced Manufacturing Technology – AMT) seçim ve değerlendirme süreçlerini desteklemek için bulanık AD'ye dayanan bir model önermiştir. Model; maliyet, zaman, hız, hassasiyet gibi somut özellikler ile birlikte insan faktörleri ve ergonomik özellikleri de dikkate alınmasıyla literatürdeki benzer AMT seçim çalışmalarından ayrılmaktadır.

Yazgan, Kır, Özbakır ve Sezik (2014) tam zamanında üretim yapan bir gıda firmasında çizelgeleme problemini çözmek için bulanık AD kullanmıştır. Çizelgeleme yaparken erken ve geç üretimlerin cezalandırılmasıyla bir maliyet fonksiyonu elde edilmiş ve bu fonksiyonu minimize edecek bir model oluşturulmuştur. Erken ve geç üretim için ceza katsayıları belirlenirken ise bulanık AD'den yararlanılmıştır. Kannan, Govindan ve Rajendran (2014) Singapur merkezli bir plastik imalat şirketi için en iyi yeşil tedarikçiyi seçmek amacıyla çevresel kriterler ve şirket gereksinimlerine dayanan geleneksel kriterler doğrultusunda bulanık AD yöntemini kullanmıştır. Bu metodoloji ile hem üreticinin (tasarım ihtiyaçları) hem de tedarikçinin (fonksiyonel ihtiyaçlar) gereksinimleri değerlendirildiğinden başarılı bir çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

Akman ve Alkan (2016) Kocaeli ilinin İzmit ilçesi için en iyi toplu taşıma yönteminin belirlenebilmesi için AD yöntemini kullanmıştır. Çalışmada beş kriter kullanılarak beş alternatif değerlendirilmiş ve sonuç olarak en iyi alternatif metrobüs ve hafif raylı sistemler olarak seçilmiştir.

Büyüközkan ve Göçer (2017) tedarikçi değerlendirilmesi ve seçim süreci için yeni bir model geliştirmiştir. Modelde, tedarikçileri değerlendirmek için belirlenen kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için bulanık sezgisel Analitik Hiyerarşi Prosesi (IF AHP) kullanılmıştır. Genel performanslarına göre alternatifleri sıralamaya yönelik prensipler ise sezgisel AD (IF AD) ile belirlenmiştir. Önerilen bütünlük modelin geçerliliğini test etmek için, Türkiye'den bir vaka çalışması da sunulmuştur. Güngör (2017) sızdırmaz conta malzemesinin seçiminde AD yöntemini kullanmıştır. Minimum bilgi değerine sahip malzemeyi seçmek amacıyla, alternatif contaların her birine ait ortak aralıkları ve bilgi değerlerini elde etmiştir. Yönteme dair her

adımı ayrıntılı olarak açıklamış ve sonuç olarak PP-PoliPropilen malzemesi seçilmiştir.

Batur ve Özyörük (2018) Türkiye pazarında büyük payı olan bir bebek maması firmasının tedarikçi seçim problemini kriterler arasında hem nicel hem nitel faktörler olması sebebiyle bulanık AD yöntemi ile çözmüştür. Çalışmada, geliştirilen hiyerarşik tedarikçi seçim modeli bulanık bilgi aksiyomu ile çözüme kavuşturulmuştur.

Ulutürk ve diğ. (2019) tüfeklerde kullanılan dipçik modellerinin AD yöntemindeki bağımsızlık aksiyom kriterini sağlamadığını tespit etmiş ve bu kriteri sağlayacak yenilikçi bir model geliştirmiştir. Böylece müşteri ihtiyaçlarını daha iyi karşılayabilecek bir tasarım elde edilmiştir.

3. Yöntem

3.1 Aksiyomatik Tasarım (AD)

AD; sistem, süreç ve ürün tasarımının bilimsel temeller ile yapılmasını sağlamak ve tasarımcıyı mantıklı düşünce süreçlerine yönlendirmek amacıyla Suh tarafından 1990 yılında geliştirilmiştir. Bunların yanında AD metodolojisi ve aksiyomlarıyla, tasarımcıların yaratıcılığını geliştirmek, gelişigüzel araştırma süreçlerini azaltmak, hatayı önceden fark etmek, önerilen tasarım seçenekleri arasından en iyi olanı seçmek, karar verilmesini sağlamak vb. faydalar sağlar. Yöntemde her bir alternatif diğerlerinden bağımsız olarak değerlendirildiğinden sürece eklenen farklı bir alternatifin mevcut alternatiflerin sırasında değişikliğe sebep olup olmadığı açıkça görülür. AD'de herhangi bir kriter tasarım aralığı içinde değilse alternatif reddedilir. Kriterin tasarım aralığından daha iyi bir sistem aralığına sahip olması ise tasarım aralığının bilgi içeriğine kayda değer bir katkı sağlamaz. Diğer bir deyişle; bir kriter için sistem aralığının, hedeflenen aralıktan daha iyi bir değer alması ile hedeflenen aralık ile aynı değeri alması arasında hiçbir fark yoktur. Yöntem tasarım aralığının dışındaki değerler için kayıtsız kalır.

AD'de en önemli kavramlar tasarım aksiyomlarıdır. Aşağıda tanımları verilen tasarım aksiyomları kullanılarak ürün, süreç veya sistem tasarımları oluşturulup sunulan çözümlerden en iyisini seçmek hedeflenir.

Aksiyomlar aşağıdaki gibidir:

- **Aksiyom 1 (Bağımsızlık Aksiyomu):** Fonksiyonel gereksinimlerin bağımsızlığını

karşılması. Fonksiyonel ihtiyaçlar birbirini olumlu ya da olumsuz herhangi bir şekilde etkilemeden bağımsızlık aksiyomunu sağlamalıdır.

- **Aksiyom 2 (Bilgi Aksiyomu):** Bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarım alternatifleri belirlenir. Bunların içinden minimum bilgi içeriğine sahip olan tasarım en iyi tasarım olup bağımsızlık aksiyomunu sağlamış olur.

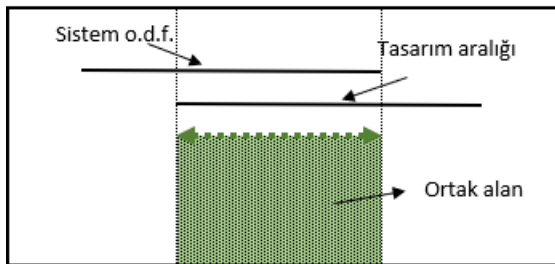
Tasarım çözümü iki ya da daha fazla fonksiyonel gereksinimin olduğu durumlarda bir diğer fonksiyonel gereksinimi etkilemeden hepsini tek tek karşılamalıdır. Böylece bağımsızlık aksiyomunu koruyarak bilgi aksiyomunu da sağlamış olur. Bağımsızlık aksiyomunu sağlamış olan tasarımların içinde en iyi tasarım, minimum bilgi içeriğine sahip olan tasarımdır.

Bilgi içeriği I , verilen bir fonksiyonel ihtiyaç (F_i)'yi sağlama olasılığı ile tanımlanır. Eğer verilen bir F_i 'yi sağlama başarısının olasılığı p ise, olasılıkla ilgili bilgi içeriği I , Eşitlik 1 ile ifade edilir.

$$I_i = \log_2 \frac{1}{p_i} = -\log_2 p_i \quad (1)$$

Birden çok fonksiyonel ihtiyaç karşılanması gerektiğinden bilgi içeriği logaritmik fonksiyon ile eklenir. N tane F_i olduğundan bilgi içeriği toplamı tüm bu olasılıkların toplamına eşittir. Bir veya daha fazla olasılık 0 ise bilgi içeriği sonsuzdur. Tüm olasılıklar toplamı 1 olduğunda da bilgi içeriği 0'dır.

Şekil 1'de bir F_i 'nin sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform olduğunda, tasarımcının belirlediği 'tasarım aralığı' ve sistemin gerçekleştirdiği "sistem aralığı"nın kesiştiği bölgenin kabul edilebilir çözümün bulunduğu alan olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Tasarım Aralığı, Sistem Aralığı, Ortak Ağırlık ve Olasılık Dağılım Fonksiyonu

Sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform olduğunda F_i 'nin gerçekleşme olasılığı Eşitlik 2 ile hesaplanır:

$$P_i = \frac{\text{ortak aralık}}{\text{sistem aralığı}} \quad (2)$$

Bilgi içeriği Eşitlik 2'den yola çıkılarak Eşitlik 3 ile hesaplanır:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{sistem aralığı}}{\text{ortak aralık}} \right) \quad (3)$$

Bu bölüme kadar her bir kriterin ağırlığının eşit olduğu varsayılmıştır. Kriterler, w_j gibi bir ağırlık değerine sahip olduğunda ise bilgi içeriklerini hesaplamak için mevcut formülasyona ek olarak Eşitlik 4 dikkate alınmalıdır (Alkan, Diyaroğlu, Avcı ve Aladağ, 2018).

$$\left[\begin{array}{cc} \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{w_j} & 0 \leq I_{ij} \leq 1 \\ \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{w_j} & I_{ij} \geq 1 \\ w_j & I_{ij} = 1 \end{array} \right] \quad (4)$$

3.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Bir ÇKKV yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 1970'li yıllarda Saaty tarafından geliştirilmiş olup iki veya daha fazla kriter içeren problemlerde ikili karşılaştırmalara dayanarak bu kriterlerin ağırlıklandırılmasını ve alternatiflerin sıralanmasını sağlamaktadır. İkili karşılaştırmalar yapılırken Saaty tarafından önerilen 1 - 9 skalası kullanılabilir. AHP, karar vericilerin sürece objektif ve subjektif olarak dahil olmasına fırsat verir. AHP uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. *Adım:* Karar verme probleminin tanımlanması. Alternatiflerin ve kriterlerin tanımlanması ile karar problemi tanımlanmış olur.

2. *Adım:* Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması. Birinci adımda belirlenen kriterler ve bu kriterler doğrultusunda alternatifler ikili olarak karşılaştırılır. Karşılaştırmalar matrisin köşegeninin üstünde kalan değerler için yapılırken köşegenin altında kalan değerler Denklem 5'te gösterilen formül ile hesaplanır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (5)$$

3. *Adım:* Kriterlerin yüzde önem dağılımlarının belirlenmesi. Karşılaştırma matrisi, kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirli bir mantık çerçevesinde gösterirken, kriterlerin bütün içerisindeki ağırlıklarının bilgisini veremez. Bunun için kriter sayısı kadar B vektörü oluşturulur. B vektörü oluşturulurken Denklem 6 kullanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (6)$$

Hesaplanan B vektörleri bir matris formatında bir araya getirilerek C matrisi oluşturulur. C matrisinden yararlanılarak faktörlerin önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilir. Bu işlem için Denklem 7'den faydalanılır ve öncelik vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (7)$$

4. *Adım:* Karşılaştırma matrislerinin tutarlılığının belirlenmesi. Kriterlerin birbirine göre önem dereceleri karar verici tarafından sübjektif olarak belirlendiği için tutarlılığın ölçülmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranı (CR) hesaplanırken A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörü matrisi çarpımından D sütun vektörü elde edilir. Ardından, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak özdeğer (λ) hesaplanır.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (9)$$

λ Hesaplandıktan sonra Denklem 10'dan yararlanılarak Tutarlılık Göstergesi (CI) hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (10)$$

Son aşamada ise CI , Rassal Gösterge (RI) tablosunda kriter sayısına karşılık gelen değere bölünerek CR hesaplanır. Hesaplanan CR değeri 0,10 değerinden küçük olduğu durumlarda karşılaştırmalar tutarlı bir şekilde yapılmıştır denebilir.

5. *Adım:* Her bir kriter için yüzde önem dağılımlarının bulunması. Karar noktaları birbiri içinde karşılaştırılırken faktörlerin karşılaştırılmasındaki işlemler tekrarlanır. Kriter sayısı kadar, $m \times m$ boyutunda G karşılaştırma matrisi oluşturulur. Sonuç olarak, $m \times 1$ boyutlu S sütun vektörleri elde edilir.

6. *Adım:* Karar noktalarındaki sonuç dağılımlarının bulunması. Öncelikle n tane S vektörü kullanılarak $m \times n$ boyutlu K karar matrisi oluşturulur. K karar matrisi ile W öncelik vektörü çarpıldığında m elemanı olan L sütun vektörü elde edilir ve bu elemanların toplamı 1'dir. L vektörü önem sırasını göstermektedir (Dündar, 2008).

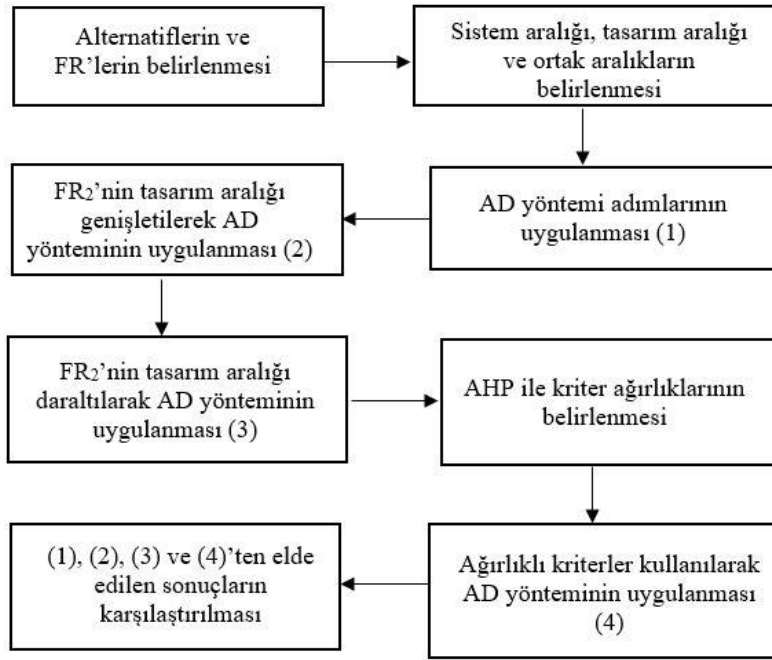
AHP yöntemi kriterlerin kolaylıkla ağırlıklandırılmasını sağlayan başarılı bir yöntem olduğundan diğer ÇKKV yöntemleriyle sık sık bir arada kullanılır. Bu çalışmada, AHP ile AD yöntemleri bütünleşik olarak kullanılmıştır.

4. Uygulama

4.1 Problemin Tanımı

Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS- Expanded Polystyrene Foam), stiren monomerinin polimerizasyonu ile petrolden elde edilen köpük halde, beyaz renkli termoplastik bir malzemedir. Malzeme; esnek yapısı, darbe ve mekanik kuvvetlere karşı dayanıklı olması, hem ısı yalıtım hem de koruma özelliği olması ve %100 geri dönüştürülebilmesi sayesinde çevre dostu olması ile sınırsız kullanım alanına sahip önemli bir hammaddedir (Isı Yalıtımında EPS, 2019). Bu çalışmada, söz konusu maddenin seçimi ile ilgili bir problem ele alınmıştır.

Problemin çözümünde izlenecek adımlar Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çözüm Adımları

Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler aşağıda sıralanmış olup bu kriterler uzman görüşü ile belirlenmiştir.

Fonksiyonel ihtiyaçlar olarak belirlenen kriterler:

- FR1: Birim fiyat (€/ton), (Seçilen malzemelerin teklif edilen birim fiyatı)
- FR2: Tedarik süresi (gün), (Sipariş edildikten sonra malzemenin teslim olma süresi)
- FR3: Yüklenen maksimum miktar (kg/tır) (1 tira yüklenen maksimum parti büyüklüğü)
- FR4: Termine uyum (%), (Malzemenin talep edildiği tarihe teslim edilme performansı)
- FR5: Kalite red oranı (%), (1 yıl içinde malzemenin giriş kaliteden red oranı, spektidışı durum)

Tasarım parametreleri ve sınırları:

- DP1: Kabul edilen birim fiyat aralığı, 1400-1500 €/ton arası,
- DP2: Tedarik süresi, 40 güne kadar,
- DP3: Tıra yüklenen miktar, 20.000 kg'dan büyük olmalı
- DP4: Termine uyum performansı, %85 den yüksek olmalı

- DP5: Malzemenin 1 yıl içindeki red oranını, %8 in üzerinde olmamalı.

AD algoritmasının uygulama adımları aşağıda kısaca verilmiştir:

Adım 1: Veriler incelendiğinde dilsel terim kullanılmadığı görülür. Bu nedenle çözüm için Bulanık AD önerilmez.

Adım 2: FR_i ve DP_i 'ler için fonksiyonel ve tasarım aralıklarından oluşan veri tablosu oluşturulur ve aksiyomlar belirlenir.

Adım 3: Bilgi içeriği için gerekli olan $1/p_i$ değerleri için, FR 'lerin gerçekleşme olasılıkları hesaplanır.

Adım 4: Bilgi içerikleri tek tek hesaplanarak satırlar toplanır ve alternatifler minimumdan maksimuma doğru sıralanır. En küçük bilgi içeriğine sahip alternatif seçilir.

Çalışmada kullanılan veriler, Tablo 1'de özetlenmiştir. Tabloda, malzeme ve tedarikçi isimleri gizli tutulmuştur. Kullanılan veriler firmadan alınmış olup çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla gerçeği yansıtmaktadır.

Tablo 1
Tedarikçilerin Fonksiyonel İhtiyaçları Karşılama Düzeyleri

Yalıtım Malzemesi	Tedarikçi	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5
		Birim fiyat	Tedarik süresi (gün)	Yüklenen maksimum miktar (kg/tır)	Termine uyum (%)	Kalite red oranı (%)
Malzeme 1	Tedarikçi 1	1470	28	21500	% 88	% 2
Malzeme 2	Tedarikçi 2	1550	35	22000	% 95	% 1
Malzeme 3	Tedarikçi 3	1580	45	22000	% 90	% 9
Malzeme 4	Tedarikçi 4	1570	30	22000	% 90	% 1
Malzeme 5	Tedarikçi 5	1440	42	21500	% 88	% 3
Malzeme 6	Tedarikçi 6	1560	14	23000	% 88	% 6
Malzeme 7	Tedarikçi 7	1510	28	21500	% 90	% 2
Malzeme 8	Tedarikçi 8	1410	5	23000	% 95	% 7
Tasarım Aralığı		1400-1600	<40	>20000	>85	<8

4.2 Bulgular

Tablo 2'de, Tablo 1'deki veriler kullanılarak hesaplanan $1/p_i$ değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2
 $1/p_i$ Değerleri

Yalıtım Malzemesi	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5
	Birim fiyat	Tedarik süresi (gün)	Yüklenen maksimum miktar (kg/tır)	Termine uyum (%)	Kalite red oranı (%)
Malzeme 1	21,00	1,00	14,33	29,33	1,00
Malzeme 2	10,33	1,00	11,00	9,50	1,00
Malzeme 3	8,78	1,13	11,00	18,00	1,13
Malzeme 4	9,24	1,00	11,00	18,00	1,00
Malzeme 5	36,00	1,05	14,33	29,33	1,00
Malzeme 6	9,75	1,00	7,67	29,33	1,00
Malzeme 7	13,73	1,00	14,33	18,00	1,00
Malzeme 8	141,00	1,00	7,67	9,50	1,00
Tasarım Aralığı	1400-1600	<40	>20000	>85	<8

Malzeme 1 için hesaplama ayrıntıları aşağıdaki gibidir:

$$FR1 \text{ için } \frac{1}{p_i} = \frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} = \frac{1470-0}{1470-1400} = 21$$

$$FR2 \text{ için } \frac{1}{p_i} = \frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} = \frac{28-0}{28-0} = 1$$

$$FR3 \text{ için } \frac{1}{p_i} = \frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} = \frac{21500-0}{21500-20000} = 14,33$$

$$FR4 \text{ için } \frac{1}{p_i} = \frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} = \frac{88-0}{88-85} = 29,33$$

$$FR5 \text{ için } \frac{1}{p_i} = \frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} = \frac{2-0}{2-0} = 1$$

Sonrasında Eşitlik 3 kullanılarak bilgi içerikleri hesaplanmış ve Tablo 3 oluşturulmuştur. Her malzeme için toplam bilgi içeriği FR1, FR2, FR3, FR4 ve FR5'ten elde edilen bilgi içeriklerinin toplanmasıyla elde edilmiştir.

Tablo 3
Bilgi İçeriği ve Sıralama Tablosu

	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5		
Yalıtım Malzemesi	Birim fiyat	Tedarik süresi (gün)	Yüklenen maksimum miktar (kg/tır)	Termine uyum (%)	Kalite red oranı (%)	Toplam Bilgi İçeriği	Sıra
Malzeme 1	4,39	0,00	3,84	4,87	0,00	13,108	6
Malzeme 2	3,37	0,00	3,46	3,25	0,00	10,076	1
Malzeme 3	3,13	0,17	3,46	4,17	0,17	11,116	4
Malzeme 4	3,21	0,00	3,46	4,17	0,00	10,837	2
Malzeme 5	5,17	0,07	3,84	4,87	0,00	13,956	7
Malzeme 6	3,29	0,00	2,94	4,87	0,00	11,099	3
Malzeme 7	3,78	0,00	3,84	4,17	0,00	11,790	5
Malzeme 8	7,14	0,00	2,94	3,25	0,00	13,327	6

Tedarik süresi tasarım parametresinin 50 gün olması durumunda sıralamaya dahil olabilecek tedarikçilerin durumunun analiz edilmesi ve tedarik stratejisi esnekliğinin sağlanması için yapılmış olan

hesaplamalar Tablo 4'te verilmektedir. Benzer şekilde 30 günlük tedarik süresinin firma ve tedarikçiler açısından sağlayabileceği fırsatlar da Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 4
Tedarik Süresi Kriterinin Tasarım Parametresinin Genişletilmesi (50 Gün)

	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5		
Yalıtım Malzemesi	Birim fiyat	Tedarik süresi (gün)	Yüklenen maksimum miktar (kg/tır)	Termine uyum (%)	Kalite red oranı (%)	Toplam Bilgi İçeriği	Sıra
Malzeme 1	4,39	0,00	3,84	4,87	0,00	13,108	6
Malzeme 2	3,37	0,00	3,46	3,25	0,00	10,077	1
Malzeme 3	3,13	0,00	3,46	4,17	0,17	10,933	3
Malzeme 4	3,21	0,00	3,46	4,17	0,00	10,837	2
Malzeme 5	5,17	0,00	3,84	4,87	0,00	13,886	8
Malzeme 6	3,29	0,00	2,94	4,87	0,00	11,098	4
Malzeme 7	3,78	0,00	3,84	4,17	0,00	11,790	5
Malzeme 8	7,14	0,00	2,94	3,25	0,00	13,326	7

Tablo 5

Tedarik Süresi Kriterinin Tasarım Parametresinin Daraltılması (30 Gün)

	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5		
Yalıtım Malzemesi	Birim fiyat	Tedarik süresi (gün)	Yüklenen maksimum miktar (kg/tır)	Termine uyum (%)	Kalite red oranı (%)	Toplam Bilgi İçeriği	Sıra
Malzeme 1	4,39	0,00	3,84	4,87	0,00	13,108	6
Malzeme 2	3,37	0,22	3,46	3,25	0,00	10,299	1
Malzeme 3	3,13	0,58	3,46	4,17	0,17	11,518	4
Malzeme 4	3,21	0,00	3,46	4,17	0,00	10,837	2
Malzeme 5	5,17	0,49	3,84	4,87	0,00	14,371	8
Malzeme 6	3,29	0,00	2,94	4,87	0,00	11,098	3
Malzeme 7	3,78	0,00	3,84	4,17	0,00	11,790	5
Malzeme 8	7,14	0,00	2,94	3,25	0,00	13,326	7

Çalışmada, AHP ile kriterler ağırlıklandırılmış ve analiz tekrarlanmıştır. Kriterlerin ikili karşılaştırılması bir uzman tarafından

gerçekleştirilmiş olup ikili karşılaştırma matrisi Tablo 6'da, önem vektörü ise Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 6

İkili Karşılaştırma Matrisi

	Birim fiyat	Tedarik süresi	Yüklenen maks. miktar	Termine uyum	Kalite red oranı
Birim fiyat	1	3	5	1/2	1/2
Tedarik süresi	1/3	1	3	1/4	1/2
Yüklenebilecek maks. miktar	1/5	1/3	1	1/5	1/6
Termine uyum	2	4	5	1	1/2
Kalite red oranı	2	2	6	2	1

Tablo 7
Kriterler Ağırlıklarının Belirlenmesi

	Birim fiyat	Tedarik süresi	Yüklenebilecek maks. miktar	Termine uyum	Kalite red oranı	W
Birim fiyat	0,18	0,29	0,25	0,12	0,18	0,21
Tedarik süresi	0,06	0,09	0,15	0,06	0,18	0,11
Yüklenebilecek maks. miktar	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05
Termine uyum	0,36	0,38	0,25	0,25	0,18	0,29
Kalite red oranı	0,36	0,19	0,30	0,50	0,37	0,35

Denklem 8,9 ve 10 kullanılarak karşılaştırma matrisinin tutarlılık kontrolü yapılmış ve Tablo 8'de

gösterilmiştir. CR 0,054 olup 0,1'den küçük olduğundan matris tutarlıdır.

Tablo 8
Tutarlılık Kontrolü

D	E	λ_{max}	RI	CI	CR
1,09	5,27				
0,57	5,07				
0,24	5,19	5,24	1,12	0,06	0,054172
1,55	5,40				
1,84	5,29				

Son olarak, kriterlerin ağırlıklandırılması sonrasında elde edilen sıralamalar Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9

Ağırlıklı Kriterler ile Sıralama

Yalıtım Malzemesi	Birim fiyat	Tedarik süresi (gün)	Yüklenen maksimum miktar (kg/tr)	Termine uyum (%)	Kalite red oranı (yıllık)	Toplam bilgi içeriği	Sıra
Malzeme 1	1,36	0,00	1,06	1,58	0,00	4,000	7
Malzeme 2	1,29	0,00	1,06	1,40	0,00	3,749	1
Malzeme 3	1,27	0,00	1,06	1,51	0,01	3,840	2
Malzeme 4	1,27	0,00	1,06	1,52	0,00	3,840	3
Malzeme 5	1,41	0,00	1,06	1,58	0,00	4,047	8
Malzeme 6	1,28	0,00	1,05	1,58	0,00	3,908	5
Malzeme 7	1,32	0,00	1,06	1,51	0,00	3,889	4
Malzeme 8	1,50	0,00	1,05	1,40	0,00	3,957	6

Malzeme 1 ve Malzeme 2 için hesaplama ayrıntıları aşağıda verilmiştir:

$$\sum I_{11}=4,39^{0,21}+0,00^{0,96}+3,84^{0,05}+4,87^{0,29}+0,00^{2,88}$$

$$\sum I_{12}=3,37^{0,21}+0,00^{0,96}+3,46^{0,05}+3,25^{0,29}+0,00^{2,88}$$

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, EPS bloklarının hammaddesi olan boncuk EPS'nin seçimi için AD yönteminden yararlanılmıştır. Kriterler ve bu kriterlerin tasarım aralıkları uzman görüşü ile belirlenmiştir. Toplam bilgi içerikleri öncelikle kriter ağırlıkları eşit kabul edilerek hesaplanmış ve alternatifler sıralanmıştır. AD'ye göre en iyi alternatif en küçük bilgi içeriğine sahip olan olduğundan eşit ağırlıklı değerlendirmeye göre en iyi alternatif olarak 2. alternatif seçilmiştir. Uygulamanın ikinci bölümünde, kriter ağırlıkları değiştirilmeden "tedarik süresi" kriteri için tasarım aralıkları daraltılıp genişletilerek değerlendirme tekrarlanmıştır. Bu değişiklikler ilk iki sırada yer alan alternatifleri değiştirmemiştir. Ancak tasarım aralığı genişletildiğinde ilk iki alternatif arasındaki toplam bilgi içeriği farkı değişmezken, tasarım aralığı daraltıldığında bu fark azalmıştır. Bunun sebebi, en iyi malzemenin üstün olan kriterinin tasarım aralığı ile sistem aralığının diğer alternatiflere göre daha fazla ortak alana sahip olmasıdır. Son olarak, AHP yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır. Kriterler önemlerine göre sırasıyla; kalite red oranı, termine uyum, birim fiyat, tedarik süresi ve yüklenebilecek maksimum miktar olarak belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları farklı

olduğunda, minimum bilgi içeriğine sahip olan alternatif aynı kalmış ancak ikinci sıradaki alternatif değişmiştir. "Kalite red oranı" 0,35 ağırlık değeri ile tedarikçi sıralamasında belirleyici olmuştur. Alternatif 2, söz konusu kriter ile sıralamada avantaja sahiptir. Tüm analizler göz önünde bulundurulduğunda Alternatif 2'nin seçilmesi firma için doğru strateji gibi görülmektedir. AD yönteminde kriterin tasarım aralığından daha iyi bir sistem aralığına sahip olması tasarım aralığının bilgi içeriğine kayda değer bir katkı sağlamaz. Bu sebeple ilerleyen çalışmalarda, kriter tasarım aralıklarının bu özellik dikkate alınarak belirlenmesi ve azalan, artan kriterlerin daha iyi değerlerine duyarlı çözüm sürecinin geliştirilmesi yönünde çalışılmalıdır.

Kaynaklar

- Akman, G. ve Alkan, A. (2016). İzmit kent içi ulaşımda alternatif toplu taşıma sistemlerinin aksiyomlarla tasarım yöntemi ile değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 54-63. doi: <https://doi.org/10.5505/pages.2015.55376>
- Alkan, A., Diyaroğlu, D., Avcı, S. & Aladağ, Z. (2018). Analytic network process & axiomatic design: a study in fast moving consumer goods industry. *International Journal of Research -Granthaalayah*, 6(11), 7-22. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1708230>
- Batur, G. D. ve Özyörük, B. (2018). Aksiyomatik tasarım ile tedarikçi seçimi: bebek maması üretimi için Türkiye'de bir

- uygulama. *International Journal of Informatics Technologies*, 11(2), 195-201. doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.392093>
- Büyüközkan, G. & Göçer, F. (2017). Application of a new combined intuitionistic fuzzy MCDM approach based on axiomatic design methodology for the supplier selection problem. *Applied Soft Computing*, 52 (1), 1222-1238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.08.051>
- Carnevali, J. A., Miguel, P. A. C. & Calarge, F. A. (2010). Axiomatic design application for minimising the difficulties of QFD usage. *International Journal of Production Economics*, 125(1), 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.01.002>
- Celik, M., Kahraman, C., Cebi, S. & Er, I. D. (2009). Fuzzy axiomatic design-based performance evaluation model for docking facilities in shipbuilding industry: The case of Turkish shipyards. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 599-615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.09.055>
- Dündar, S. (2008). Ders seçiminde analitik hiyerarşi proses uygulaması, *Süleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 13(2), 217-226.
- Ersöz, F. ve Kabak, M. (2010). Savunma sanayi uygulamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin literatür araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97-125. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/khosbd/issue/19228/204327>
- Güngör, F. (2017). Sızdırmaz conta malzemesinin aksiyomatik tasarım medoduyla seçilmesi. *El-Cezeri Journal Of Science And Engineering*, 4(1), 1-10. doi: <https://doi.org/10.31202/ecjse.289632>
- Isı Yalıtımında EPS. (2019). Erişim adresi: <https://www.epsder.org.tr/tr/page/9/isi-yalitiminda-eps>
- Kannan, D., Govindan, K. & Rajendran, S. (2015). Fuzzy axiomatic design approach based green supplier selection: a case study from Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 96 (1), 194-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.076>
- Karataş, M. ve Akman, G. (2009). Makine imalatı yapan firmaların yenilikçi kültür yapılarının aksiyomatik tasarım ile değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20, 45-62. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/dpufbed/issue/36099/405706>
- Kahraman, C. & Çebi, S. (2009). A new multi-attribute decision making method: hierarchical fuzzy axiomatic design. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4848-4861. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.05.041>
- Maldonado, A., García, J. L., Alvarado, A. & Balderrama, C. O. (2013). A hierarchical fuzzy axiomatic design methodology for ergonomic compatibility evaluation of advanced manufacturing technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(1-4), 171-186. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4316-8>
- Ogot, M. (2011). Conceptual design using axiomatic design in a TRIZ framework. *Procedia Engineering*, 9, 736-744. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.163>
- Özel, B. ve Özyörük, B. (2007). Bulanık aksiyomatik tasarım ile tedarikçi firma seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 415-423. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6673/88412>
- Ulutürk, İ., Yurdakul, M. ve İç, Y. T. (2019). Aksiyomatik tasarım yöntemi ile yenilikçi ürün geliştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*). doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.591154>
- Yazgan, H. R., Kır, S., Özbakır, S. ve Sezik, E. (2014). Sıra bağımlı tek makineli çizelgeleme probleminde erkenlik ve geçlik katsayılarının bulanık aksiyomatik tasarım yöntemi ile belirlenmesi. *Journal of Industrial Engineering*, 25(3), 25-32. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/endustrimuhenisligi/issue/46771/586368>
- Zein, A., Li, W., Herrmann, C. & Kara, S. (2011). *Glocalized solutions for sustainability in manufacturing : Energy efficiency measures for the design and operation of machine tools: an axiomatic approach*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-19692-8_48