

İmalat Sektöründe Faaliyet Gösteren Firmaların PF-COCOFISO Yöntemi ile Finansal ve Ekonomik Performanslarının Değerlendirilmesi

Halil Şen¹

Canan Şen²

Özet

Bu çalışma, Borsa İstanbul (BIST) İMALAT sektöründe faaliyet gösteren ve Türkishtime AR-GE 500 (2024) listesinde Ar-Ge harcaması bakımından öne çıkan firmaların finansal ve ekonomik performanslarını bütüncül biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ar-Ge yoğun firmalarda performans, yalnızca dönemsel kârlılık göstergeleriyle açıklanamayacak kadar çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Bu doğrultuda çalışma, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımını temel alarak firmaları birden fazla kriter altında eş zamanlı biçimde değerlendirip bütünlük bir sıralama üretmektedir.

Çalışmanın yöntemsel katkısı, uzlaşım temelli yeni bir sıralama yaklaşımı olan COCOFISO yönteminin, belirsizlik ve kararsızlığı açık biçimde temsil edebilen resim bulanık kümeler (picture fuzzy sets) ile bütünleştirilmesidir. Klasik ÇKKV yaklaşımlarında değerlendirmeler çoğunlukla tek bir sayısal değere indirgenirken, resim bulanık çerçeve her gözlemi üç bileşenle ifade ederek karar ortamındaki tereddüt ve karşıt görüşleri modele dâhil etmektedir. Bu kapsamda öncelikle Türkishtime AR-GE 500 (2024) listesinden seçilen firmalar KAP/BIST verileriyle eşleştirilerek örneklem oluşturulmuş; ardından finansal ve ekonomik performansı temsil eden kriter seti tanımlanmış ve kriterlerin fayda/maliyet yönleri belirlenmiştir. Elde edilen sayısal performans göstergeleri, belirlenen dönüşüm ölçeği aracılığıyla resim bulanık değerlere dönüştürülmüş; böylece her firma-kriter hücresi üyelik-kararsızlık-karşıtlık bileşenleri ile temsil edilmiştir.

- 1 Dr. Öğretim Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, halilsen@mehmetakif.edu.tr , Orcid: 0000-0003-4062-5366
- 2 İktisat Bilim Uzmanı (YL Mezunu), T. Garanti Bankası A.Ş., cananzengin03@gmail.com , Orcid: 0000-0002-6600-3234

PF-COCOFISO prosedüründe firmaların kriter performansları, COCOFISO'nun uzlaşım mantığı çerçevesinde hem toplamsal hem de çarpımsal değerlendirme bileşenleri üzerinden bütünleştirilmekte; farklı değerlendirme stratejilerinden türetilen ara skorlar nihai performans skoruna dönüştürülerek firmaların sıralaması elde edilmektedir. Bu yapı, tek bir agregasyon mantığına bağlı kalmadan daha dengeli ve kararlı sonuçlar üretmeyi hedefler. Son aşamada alternatif ağırlık senaryoları ve duyarlılık analizleri uygulanarak sıralama sonuçlarının kararlılığı test edilmiş; böylece yöntemin güvenilirliği ve bulguların sağlamlığı desteklenmiştir.

1. Giriş

Küreselleşmenin hız kazanması, teknolojik gelişmelerin üretim süreçlerini dönüştürmesi ve rekabet koşullarının giderek daha karmaşık bir yapıya bürünmesi, işletmelerin performans değerlendirme yaklaşımlarında önemli değişimleri beraberinde getirmiştir. Günümüzde işletme performansı yalnızca finansal sonuçlarla ölçülen dar kapsamlı bir kavram olmaktan çıkmış; çok boyutlu, dinamik ve etkileşimli bir yapı hâline gelmiştir. Bu nedenle, işletmelerin gerçek performansını ortaya koyabilmek için çok sayıda kriterin eş zamanlı olarak ele alınması zorunlu hâle gelmiştir.

İmalat sektörü, Türkiye ekonomisinin büyüme dinamikleri içerisinde kritik bir rol oynamakta olup, katma değer yaratma kapasitesi, ihracat performansı ve istihdam üzerindeki etkisi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Borsa İstanbul (BIST) imalat sektörü, farklı alt sektörlerde faaliyet gösteren çok sayıda firmayı bünyesinde barındırması nedeniyle heterojen bir yapı sergilemekte ve bu durum, performans değerlendirme süreçlerini daha da karmaşık hâle getirmektedir. Bu firmaların performanslarının sistematik, karşılaştırılabilir ve çok boyutlu bir çerçevede analiz edilmesi, yatırımcılar, yöneticiler ve politika yapıcılar açısından önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Son yıllarda Ar-Ge faaliyetlerine yapılan yatırımların artması, firmaların rekabet gücünü belirleyen temel unsurlardan biri hâline gelmiştir. Ar-Ge yoğun firmalar; yenilikçi ürün geliştirme, teknolojik üstünlük sağlama ve sürdürülebilir büyüme potansiyeli açısından diğer firmalardan ayrılmaktadır. Bununla birlikte, bu firmaların performansları yalnızca kısa vadeli finansal göstergelerle açıklanamamakta; Ar-Ge harcamalarının geri dönüş süresi, belirsizlik düzeyi ve risk yapısı gibi unsurlar nedeniyle daha kapsamlı bir değerlendirme gerektirmektedir. Bu durum, performans analizlerinde finansal oranların yanı sıra ekonomik ve yenilik odaklı göstergelerin de dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu bağlamda, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, farklı performans göstergelerini eş zamanlı olarak değerlendirebilme yetenekleri sayesinde işletme

performans analizlerinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. ÇKKV yaklaşımları, birden fazla ve çoğu zaman birbiriyle çelişen kriteri dikkate alarak alternatiflerin karşılaştırılmasına ve sıralanmasına imkân tanımaktadır. Literatürde TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE, ELECTRE, MARCOS, EDAS ve CODAS gibi çeşitli yöntemler finansal performans analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin önemli bir kısmı, karar verici değerlendirmelerini kesin sayısal değerler üzerinden ele almakta ve bu durum belirsizlik, kararsızlık ve bilgi eksikliği gibi gerçek karar ortamı unsurlarının yeterince yansıtılmamasına yol açmaktadır.

Gerçek hayat karar problemlerinde, özellikle finansal verilerin yorumlanması sürecinde, karar vericiler çoğu zaman kesin yargılar oluşturmakta zorlanmakta ve değerlendirmeler belirli bir belirsizlik içermektedir. Bu tür durumların modellenebilmesi amacıyla geliştirilen bulanık küme teorisi ve onu izleyen genişletilmiş bulanık yaklaşımlar, karar verme literatüründe önemli bir gelişim alanı oluşturmuştur. Bu yaklaşımlar arasında yer alan resim bulanık kümeler (Picture Fuzzy Sets -PFS), bir değerlendirmeyi olumlu üyelik, kararsızlık ve olumsuz üyelik bileşenleri ile birlikte ele alarak belirsizliği daha kapsamlı biçimde temsil etmektedir. Bu yapı, özellikle finansal performans gibi çok boyutlu ve yoruma açık alanlarda karar verici görüşlerinin daha gerçekçi biçimde modele dâhil edilmesine imkân tanımaktadır.

Son yıllarda literatürde, klasik ÇKKV yöntemlerinin bulanık ve genişletilmiş bulanık ortamlarla bütünleştirilmesine yönelik çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu çalışmalar, belirsizlik içeren karar problemlerinde daha güvenilir ve tutarlı sonuçların elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda geliştirilen uzlaşım temelli yöntemler, farklı değerlendirme yaklaşımlarını bir araya getirerek alternatiflerin performanslarını daha dengeli bir biçimde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntemlerden biri olan COCOFISO yöntemi, alternatif performanslarını hem de çarpımsal agregasyon yapıları aracılığıyla değerlendiren bütünleşik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yönüyle yöntem, tek bir hesaplama mantığına dayanan klasik yaklaşımlara kıyasla daha esnek ve kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi sağlamaktadır.

Bununla birlikte, COCOFISO yönteminin mevcut uygulamaları genellikle kesin sayısal veriler üzerinden gerçekleştirildiğinden, belirsizlik içeren karar ortamlarında sınırlı bir temsil gücüne sahiptir. Bu çalışmada, söz konusu sınırlılığı aşmak amacıyla COCOFISO yöntemi resim bulanık kümeler ile bütünleştirilerek finansal performans değerlendirme problemine uygulanmıştır. Bu kapsamda yöntem, resim bulanık ortam çerçevesinde ele alınmış ve belirsizlik, kararsızlık ve karşıt değerlendirmelerin modele dâhil edilmesi

sağlanmıştır. Böylece, karar verici değerlendirmelerinin daha esnek ve gerçekçi biçimde ifade edilmesine imkân tanınmıştır.

Uygulama kapsamında, Türkishtime Ar-Ge 500-2024 listesinde yer alan ve Borsa İstanbul'da işlem gören imalat sektörü firmaları analiz kapsamına alınmıştır. Firmaların finansal ve ekonomik performanslarını temsil eden kriterler; likidite oranları, faaliyet etkinliği göstergeleri, kârlılık oranları, finansal yapı oranları ve Ar-Ge göstergeleri olmak üzere çok boyutlu bir yapı içerisinde belirlenmiştir. Kriterlerin fayda ve maliyet yönleri dikkate alınarak karar matrisi oluşturulmuş ve elde edilen sayısal veriler uygun dönüşüm fonksiyonları aracılığıyla resim bulanık değerlere dönüştürülmüştür.

PF-COCOFISO yaklaşımı çerçevesinde, alternatiflerin performansları COCOFISO yönteminin uzlaşım mantığı doğrultusunda farklı agregasyon stratejileri kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen ara skorlar bütünleştirilerek nihai performans değerleri hesaplanmıştır. Bu çoklu değerlendirme yapısı, tek bir hesaplama yaklaşımına bağlı kalınmasını engelleyerek daha dengeli ve tutarlı sonuçların elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, kriter ağırlıklarına ilişkin farklı senaryolar altında duyarlılık analizleri gerçekleştirilerek elde edilen sıralamaların kararlılığı test edilmiştir.

Bu çalışma, COCOFISO yönteminin resim bulanık ortamda uygulanmasına yönelik bir çerçeve sunarak literatüre katkı sağlamaktadır. Özellikle belirsizlik içeren finansal performans değerlendirme problemlerinde yöntemin uygulanabilirliğini ortaya koyması bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca, Ar-Ge yoğun imalat firmalarının performanslarının çok boyutlu olarak değerlendirilmesine imkân tanıyarak uygulama literatürüne de katkı sunmaktadır.

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde literatür incelemesine yer verilmekte, üçüncü bölümde kullanılan yöntem ayrıntılı olarak açıklanmakta, dördüncü bölümde uygulama ve bulgular sunulmakta, son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek öneriler geliştirilmektedir.

2. Literatür İncelemesi

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, birden fazla ve çoğu zaman birbiriyle çelişen kriterin eş zamanlı olarak değerlendirilmesine imkân tanıyan yapıları sayesinde finansal performans analizlerinde yaygın biçimde kullanılan analitik araçlar arasında yer almaktadır. TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE ve ELECTRE gibi yöntemler, alternatiflerin farklı kriterler altında sistematik biçimde karşılaştırılmasına olanak tanımış; bu sayede işletme performansının tek boyutlu değerlendirmelerin ötesine taşınmasına katkı sağlamıştır. Bu

genel çerçevede, Zavadskas vd. (2011) ÇKKV yöntemlerinin ekonomi ve yönetim alanındaki kullanımını kapsamlı biçimde değerlendirerek söz konusu yöntemlerin çok boyutlu karar problemlerinde güçlü bir analitik temel sunduğunu vurgulamıştır.

Finansal performans analizi literatürü incelendiğinde, ÇKKV yöntemlerinin firmaların çok boyutlu performanslarını değerlendirmede yoğun biçimde kullanıldığı görülmektedir. Wang ve Lee (2007), TOPSIS yöntemini bulanık çok kriterli grup karar verme ortamına genelleyerek yöntemin belirsizlik içeren finansal değerlendirmelerde daha esnek kullanılabileceğini göstermiştir. Seçme vd. (2009), Türk bankacılık sektöründe bulanık AHP ve TOPSIS yaklaşımlarını birlikte kullanarak performans değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Lee vd. (2008) ise bulanık AHP ile dengeli puan kartı yaklaşımını bütünleştirerek üretim sektöründe bilgi işlem birimi performansının değerlendirilmesine yönelik hibrit bir model önermiştir. Sonraki dönemde geliştirilen yeni nesil ÇKKV yöntemleri de finansal ve yönetsel performans analizlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda EDAS yöntemi, alternatiflerin ortalama çözüme olan uzaklıklarını temel alan yeni bir değerlendirme mantığı sunarken; MARCOS yöntemi uzlaşım temelli sıralama yapısıyla alternatiflerin referans çözümler çerçevesinde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Ghorabae vd., 2015; Stević vd., 2020).

Finansal performans analizinde kullanılan kriterler incelendiğinde, çalışmaların büyük ölçüde finansal oranlara dayandığı görülmektedir. Likidite oranları, kârlılık oranları, faaliyet etkinliği göstergeleri ve finansal yapı oranları en yaygın kullanılan performans ölçütleri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte son yıllarda finansal performans analizlerine yalnızca finansal göstergelerin değil, aynı zamanda Ar-Ge harcamaları, yenilik kapasitesi ve teknolojik gelişmişlik düzeyi gibi finansal olmayan göstergelerin de dâhil edildiği görülmektedir. Hall (2002), Ar-Ge yatırımlarının firma performansı üzerindeki uzun vadeli etkilerini inceleyerek inovasyon faaliyetlerinin rekabet gücünü artırdığını ortaya koymuştur. Griliches (2007), Ar-Ge harcamalarının verimlilik üzerindeki etkisini sistematik biçimde ele almış, Coad (2009) ise firma büyümesi ve yenilik dinamikleri arasındaki ilişkiyi tartışarak Ar-Ge yoğun firmaların farklı performans yapıları sergilediğini göstermiştir. Bu bağlamda, finansal performans analizlerinin yalnızca finansal oranlara dayalı değil, çok boyutlu bir değerlendirme çerçevesinde ele alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

ÇKKV literatüründe son yıllarda geliştirilen uzlaşım temelli yöntemler, alternatiflerin performansını farklı değerlendirme stratejilerini bir araya getirerek analiz etmektedir. Bu yöntemlerden biri olan COCOSO, Yazdani vd. (2019), tarafından önerilmiş olup alternatiflerin performanslarını hem toplamsal hem

de çarpımsal yapılar üzerinden değerlendirerek daha dengeli sonuçlar üretmeyi amaçlamaktadır. COCOSO'nun farklı belirsizlik ortamlarına uyarlanabilmesi, yöntemin esnekliğini artırmış ve uygulama alanını genişletmiştir. Bu çerçevede Karasan ve Bolturk (2019), yöntemi nötrözofik ortamda ele alarak belirsizlik içeren karar problemlerinde kullanılabilirliğini göstermiştir. Bununla birlikte, yöntemin klasik uygulamaları büyük ölçüde kesin sayısal verilere dayandığından, karar verici tereddütleri ve karşıt değerlendirmeler gibi unsurları sınırlı ölçüde yansıtmaktadır.

COCOSO yönteminin geliştirilmesini takiben, uzlaşım temelli karar verme yaklaşımlarının daha esnek ve hibrit yapılarla genişletilmesine yönelik çalışmalar literatürde yer almaya başlamıştır. Bu doğrultuda geliştirilen COCOFISO yöntemi, alternatiflerin performansını hem toplamsal hem de çarpımsal bileşenler üzerinden bütünleştirerek daha dengeli ve istikrarlı sıralamalar elde edilmesini amaçlayan yeni nesil bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. COCOSO ve türevi yöntemlerin literatürde giderek daha fazla kullanılmasının temel nedeni, alternatiflerin performansını tek bir agregasyon mantığına bağlı kalmadan değerlendirebilmesidir. Bununla birlikte, COCOSO yaklaşımında kullanılan uzlaşım mekanizması sınırlı sayıda birleşim fonksiyonuna dayanmakta ve alternatiflerin farklı değerlendirme perspektifleri altındaki davranışlarını yeterince kapsamlı biçimde yansıtamayabilmektedir.

Bu sınırlılıkları aşmak amacıyla geliştirilen COCOFISO yöntemi, COCOSO'nun uzlaşım mantığını genişleterek alternatiflerin performansını birden fazla uzlaşım bileşeni üzerinden değerlendirmektedir. COCOFISO yaklaşımı, toplamsal ve çarpımsal yapıların yanı sıra farklı normalizasyon ve karşılaştırma stratejilerini de bütünleştirerek daha esnek ve kapsamlı bir sıralama mekanizması sunmaktadır (Gabriel Rasoanaivo vd., 2024). Bu yönüyle yöntem, yalnızca alternatiflerin genel performans seviyesini değil, aynı zamanda kriterler arasındaki dengeyi ve performans dağılımını da dikkate almaktadır.

COCOFISO yönteminin bir diğer önemli avantajı, alternatifler arasındaki telafi edilebilirlik etkisini sınırlayarak daha gerçekçi sonuçlar üretmesidir. Klasik toplamsal yöntemlerde, bir kriterdeki düşük performans diğer kriterlerdeki yüksek değerler ile dengelenebilirken, COCOFISO'nun çarpımsal bileşeni bu durumu sınırlandırmakta ve performans dengesini ön plana çıkarmaktadır. Bu özellik, özellikle finansal performans analizinde kritik öneme sahiptir; çünkü firmaların bazı alanlarda güçlü, bazı alanlarda zayıf performans göstermesi yaygın bir durumdur.

Son yıllarda COCOFISO yönteminin farklı uygulama alanlarında kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Nirinarivelo ve Rasoanaivo

(2025), yöntemi Madagaskar bölgelerinin istihdam bağlamında çok kriterli değerlendirilmesinde kullanarak bölgesel performans sıralaması üretmiştir. Sen ve Toksoy (2024) ise CoCoFISO yaklaşımını gri sayılarla genişleterek CoCoFISO-G yapısını önermiş ve yeşil tedarikçi seçimi problemine uygulamıştır. Sinha (2026) tarafından gerçekleştirilen çalışma ise genelleştirilmiş bulanık sayıların sıralanması ile F-CoCoFISO karar verme yapısını birleştirerek yöntemin bulanık karar ortamlarına uyarlanabilirliğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, COCOFISO'nun yalnızca teorik bir öneri olarak kalmadığını, farklı problem alanlarında uygulanmaya başlandığını göstermektedir.

Bununla birlikte, mevcut COCOFISO çalışmalarının büyük ölçüde kesin ya da sınırlı belirsizlik içeren veri yapıları üzerine kurulduğu görülmektedir. Oysa finansal performans değerlendirmeleri, veri belirsizliği, yorum farklılıkları ve karar verici tereddütleri gibi unsurlar içermektedir. Bu noktada resim bulanık kümeler (PFS), klasik bulanık yaklaşımlara kıyasla daha kapsamlı bir belirsizlik temsili sunmaktadır. PFS yapısı, değerlendirmeleri olumlu, olumsuz ve kararsız bileşenler ile ifade ederek karar ortamındaki bilgi eksikliğini ve görüş farklılıklarını modele dahil etmektedir (Cüoğru, 2014).

Bu çalışmada COCOFISO yönteminin resim bulanık ortam ile bütünleştirilmesinin temel gerekçesi, söz konusu yöntemin uzlaşım temelli güçlü yapısını, belirsizlikleri daha iyi temsil edebilen bir matematiksel çerçeve ile desteklemektir. Böylece PF-COCOFISO yaklaşımı, alternatiflerin performansını yalnızca kesin değerlere bağlı olarak değil, aynı zamanda karar verici belirsizliklerini de içerecek şekilde değerlendirmekte ve literatürdeki mevcut yaklaşımlara kıyasla daha kapsamlı ve gerçekçi bir analiz aracı sunmaktadır.

3. Yöntem: PF-COCOFISO Yaklaşımı

Bu çalışmada, Borsa İstanbul imalat sektöründe faaliyet gösteren firmaların finansal ve ekonomik performanslarının değerlendirilmesinde resim bulanık kümeler (Picture Fuzzy Sets -PFS) ile bütünleştirilmiş COCOFISO yaklaşımı kullanılmaktadır. Yöntemin temel amacı, alternatiflerin çok sayıda kriter altında yalnızca kesin sayısal değerlerle değil, aynı zamanda karar ortamındaki belirsizlik, kararsızlık ve karşıt değerlendirmeleri de dikkate alarak sıralanmasını sağlamaktır. Klasik çok kriterli karar verme yöntemlerinde veriler çoğunlukla kesin sayılarla temsil edilir ve bu yapı, özellikle finansal performans gibi yorumlamaya açık alanlarda karar vericinin tereddütlerini yeterince yansıtmaz. Bu çalışmada kullanılan PF-COCOFISO yaklaşımı ise hem resim bulanık yapı sayesinde değerlendirme belirsizliğini modele dahil etmekte hem de

COCOFISO'nun uzlaşım temelli toplamsal ve çarpımsal mantığını birlikte kullanarak daha dengeli bir sıralama üretmektedir.

3.1. Resim Bulanık Kümeler ve Temel Tanımlar

Resim bulanık kümeler, klasik bulanık kümeler ve sezgisel bulanık kümelerin bir genişlemesi niteliğindedir. Bu yapı, bir değerlendirmenin yalnızca olumlu ya da olumsuz biçimde ifade edilmesiyle yetinmeyip, aynı zamanda karar vericinin nötr/kararsız yaklaşımını da modele dahil etmektedir. Bu yönüyle resim bulanık kümeler, özellikle karar vericinin net bir yargıya ulaşamadığı durumlarda daha gerçekçi bir temsil sunmaktadır.

Bir X evrensel kümesi üzerinde tanımlı resim bulanık küme A , aşağıdaki biçimde gösterilir:

$$A = \left\{ \left(x, \mu_A^+(x), \mu_A^0(x), \mu_A^-(x) \right) \mid x \in X \right\} \quad (1)$$

Burada:

$\mu_A^+(x)$: olumlu üyelik derecesini,

$\mu_A^0(x)$: nötr ya da kararsızlık derecesini,

$\mu_A^-(x)$: olumsuz üyelik derecesini ifade etmektedir.

Bu değerler için aşağıdaki koşul geçerlidir:

$$0 \leq \mu_A^+(x) + \mu_A^0(x) + \mu_A^-(x) \leq 1 \quad (2)$$

Sistemde geriye kalan bölüm ise tereddüt ya da tanımlanamayan bilgi payı olarak ifade edilir ve aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$\pi_A(x) = 1 - \left(\mu_A^+(x) + \mu_A^0(x) + \mu_A^-(x) \right) \quad (3)$$

Eşitlikteki $\pi_A(x)$, değerlendirme sürecinde açıkça olumlu, nötr ya da olumsuz olarak sınıflandırılmayan bilgi kalıntısını temsil etmektedir. Böylece resim bulanık kümeler, karar problemlerinde çok daha esnek bir matematiksel yapı sunmaktadır.

Bu çalışmada her bir alternatifi her bir kriter altındaki performansı bir resim bulanık sayı ile ifade edilmektedir:

$$\tilde{x}_{ij} = (\mu_{ij}^+, \mu_{ij}^0, \mu_{ij}^-) \quad (4)$$

Burada i alternatifi, j ise kriteri göstermektedir.

3.2. Resim Bulanık Sayıların Karşılaştırılması

Resim bulanık sayıların karar verme sürecinde kullanılabilmesi için bu sayıların karşılaştırılabilir olması gerekir. Bu amaçla literatürde en yaygın kullanılan araçlar skor fonksiyonu ve doğruluk (accuracy) fonksiyonudur.

Bir $\tilde{A} = (\mu^+, \mu^0, \mu^-)$ resim bulanık sayısı için skor fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S(\tilde{A}) = \mu^+ - \mu^- \quad (5)$$

Bu fonksiyon, alternatifi olumlu ve olumsuz değerlendirme bileşenleri arasındaki farkı yansıtır. Skor değeri ne kadar yüksekse, ilgili alternatifi o kriter altındaki performansı o kadar güçlü kabul edilir.

Doğruluk fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanır:

$$H(\tilde{A}) = \mu^+ + \mu^0 + \mu^- \quad (6)$$

Bu fonksiyon, değerlendirmenin toplam belirginlik düzeyini göstermektedir. Eğer iki alternatifi skor değeri eşitse, bu durumda doğruluk fonksiyonu daha yüksek olan alternatif tercih edilmektedir. Böylece yalnızca olumlu-olumsuz fark değil, değerlendirmenin bilgi yoğunluğu da dikkate alınmaktadır.

İki resim bulanık sayı \tilde{A} ve \tilde{B} için karşılaştırma şu şekilde yapılır:

Eğer $S(\tilde{A}) > S(\tilde{B})$ ise $\tilde{A} \succ \tilde{B}$

Eğer $S(\tilde{A}) = S(\tilde{B})$ ise ve $H(\tilde{A}) > H(\tilde{B})$ ise yine $\tilde{A} \succ \tilde{B}$

Bu kurallar, resim bulanık karar ortamında alternatiflerin sistematik biçimde sıralanmasına temel oluşturmaktadır.

3.3. Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu çalışmada m adet alternatif ve n adet kriter bulunmaktadır. Buna göre resim bulanık karar matrisi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Burada \tilde{x}_{ij} , alternatif i 'nin kriter j altındaki resim bulanık performansını ifade etmektedir.

Bu çalışmada başlangıçta firmalara ait finansal ve ekonomik performans verileri sayısal biçimdedir. Ancak PF-COCOFISO yaklaşımının uygulanabilmesi için bu sayısal verilerin resim bulanık değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilk aşamada kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olduğu belirlenmekte, daha sonra sayısal veriler uygun dönüşüm kuralları yardımıyla resim bulanık sayılara çevirmektedir.

3.4. Kriter Türlerinin Belirlenmesi: Fayda ve Maliyet Kriterleri

Çok kriterli karar verme problemlerinde tüm kriterler aynı yönlü değildir. Bazı kriterlerde yüksek değer daha iyi performansı gösterirken, bazı kriterlerde düşük değer tercih edilir. Bu nedenle yöntemin uygulanmasından önce kriterlerin yönlerinin doğru belirlenmesi gerekir.

Fayda kriterleri, değeri arttıkça performansı artıran kriterlerdir. Örneğin ROA, ROE, net kâr marjı, aktif devir hızı ve Ar-Ge harcaması gibi kriterler çoğu durumda fayda yönlü kabul edilir.

Maliyet kriterleri, değeri arttıkça performansı olumsuz etkileyen kriterlerdir. Örneğin kaldıraç oranı, finansal borç oranı ya da bazı borçluluk göstergeleri maliyet yönlü olabilir.

Bu ayırım hem normalizasyon aşamasında hem de resim bulanık dönüşüm aşamasında belirleyicidir.

3.5. Sayısal Verilerin Resim Bulanık Değerlere Dönüştürülmesi

Bu çalışmanın önemli aşamalarından biri, sayısal finansal verilerin resim bulanık yapıya aktarılmasıdır. Çünkü ham finansal oranlar doğrudan resim bulanık sayı değildir. Bu nedenle önce kriter bazında uygun bir ölçeklendirme ve dönüşüm yapılması gerekir.

Her bir kriter için alternatiflerin ham performans değerleri x_{ij} ile gösterilsin. İlk aşamada bu değerler normalize edilerek karşılaştırılabilir hale getirilir.

3.5.1. Fayda Kriterleri İçin Normalizasyon

Fayda kriterlerinde yüksek değer daha iyi olduğundan, normalize edilmiş değer:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır.

Bu ifade sonucunda $r_{ij} \in [0,1]$ aralığına taşınır ve yüksek değer daha iyi performansı temsil eder.

3.5.2. Maliyet Kriterleri İçin Normalizasyon

Maliyet kriterlerinde düşük değer daha iyi olduğundan, normalize edilmiş değer:

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (9)$$

şeklinde elde edilir.

Bu durumda yine $r_{ij} \in [0,1]$ olur ve yüksek normalize değer daha iyi performansı gösterir.

3.5.3. Normalize Değerlerin PFN'ye Dönüştürülmesi

Normalize edilmiş değerlerin resim bulanık sayılara dönüştürülmesi için bir dönüşüm şeması tanımlanır. Bu çalışmada genel mantık şu şekildedir:

- Normalize değer yüksekse olumlu üyelik artar,
- Normalize değer orta düzeydeyse nötr bileşen daha baskın olabilir,
- Normalize değer düşükse olumsuz üyelik artar.

Buna göre genel bir dönüşüm yapısı şu şekilde kurulabilir:

$$\mu_{ij}^+ = r_{ij} \quad (10)$$

$$\mu_{ij}^- = 1 - r_{ij} - \mu_{ij}^0 \quad (11)$$

Nötrlük derecesi μ_{ij}^0 , çalışmanın kurgusuna göre sabit ya da veri-temelli belirlenebilir. Örneğin tüm değerlendirmelerde ortak bir kararsızlık düzeyi kabul edilirse:

$$\mu_{ij}^0 = \alpha \quad (12)$$

ilgili eşitlikte; $0 \leq \alpha \leq 1$ ile $\mu_{ij}^+ + \mu_{ij}^0 + \mu_{ij}^- \leq 1$ koşulları sağlanmalıdır.

Alternatif olarak, nötrlük derecesi orta değerlere daha yüksek olacak biçimde tanımlanabilir. Örneğin: $\mu_{ij}^0 = \max\{0, 1 - |2r_{ij} - 1|\}$ durumunda, orta seviyeli performanslarda kararsızlık yükselir; çok iyi veya çok kötü performanslarda kararsızlık düşer. Ardından olumsuz üyelik şu şekilde hesaplanabilir:

$$\mu_{ij}^- = \max\{0, 1 - \mu_{ij}^+ - \mu_{ij}^0\} \quad (13)$$

Burada, π_{ij} ihmal ediliyorsa sıfır alınabilir ya da küçük bir sabit belirsizlik terimi tanımlanabilir.

3.6. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

PF-COCOFISO yaklaşımında kriterlerin eşit öneme sahip olduğu varsayılabilir; ancak çoğu uygulamada kriterler farklı önem derecelerine sahiptir. Bu nedenle her bir kriter için bir ağırlık değeri tanımlanır:

$$w_j \geq 0, \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (14)$$

Bu ağırlıklar öznel ya da nesnel yöntemlerle belirlenebilir. Bu çalışmanın genel yapısına bağlı olarak PSI, Entropy veya başka bir ağırlıklandırma yöntemi kullanılabilir. Elde edilen w_j değerleri daha sonra COCOFISO hesaplamalarında doğrudan kullanılmaktadır.

3.7. PF-COCOFISO Yaklaşımının Temel Mantığı

COCOFISO yaklaşımı, alternatiflerin performansını tek bir hesaplama mantığına dayandırmak yerine, farklı uzlaşım yapılarını birlikte kullanarak nihai bir sıralama üretmektedir. Bu yöntemin gücü, hem toplamsal hem de çarpımsal mantığı aynı yapıda değerlendirmesidir.

PF ortamına taşınmış performans değerleri öncelikle skor fonksiyonu yardımıyla sayısallaştırılabilir. Yani her bir resim bulanık sayı için:

$$s_{ij} = S(\tilde{x}_{ij}) = \mu_{ij}^+ - \mu_{ij}^- \quad (15)$$

elde edilir. Böylece karar matrisi, resim bulanık değerlendirmeler korunarak ama hesaplamaya elverişli biçimde sayısal bir uzlaşım altyapısına dönüştürülmüş olur.

Bu skorlar üzerinden alternatiflerin iki temel bileşeni hesaplanır:

3.7.1. Toplamsal Değerlendirme Bileşeni

Alternatif i 'nin toplamsal performansı:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij} \quad (16)$$

şeklinde hesaplanır.

Bu yapı, her kriterin ağırlıklı katkısının doğrusal toplamını göstermektedir. Toplamsal yaklaşım, kriterlerin birbirinden bağımsız katkılarını öne çıkarır.

3.7.2. Çarpımsal Değerlendirme Bileşeni

Alternatif i 'nin çarpımsal performansı ise genel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$P_i = \prod_{j=1}^n (s_{ij})^{w_j} \quad (17)$$

Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, s_{ij} değerlerinin negatif olmamasıdır. Eğer skor değerleri negatif aralık içerebiliyorsa, bunlar önce pozitif ölçeğe dönüştürülmelidir. Bu amaçla aşağıdaki dönüşüm kullanılabilir:

$$s'_{ij} = \frac{s_{ij} + 1}{2} \quad (18)$$

Böylece $s'_{ij} \in [0,1]$ olur ve çarpımsal hesaplama güvenli biçimde uygulanabilir. Bu durumda çarpımsal bileşen aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$P_i = \prod_{j=1}^n (s'_{ij})^{w_j} \quad (19)$$

Çarpımsal yaklaşım, kriterler arasındaki dengeyi daha güçlü biçimde yansıtır. Çünkü bir kriterde çok düşük performans, toplam performansı daha belirgin biçimde etkiler.

3.8. Uzlaşım Temelli Ara Skorların Hesaplanması

COCOFISO mantığında, S_i ve P_i değerleri doğrudan sonuca dönüştürülmez; bunlardan çeşitli uzlaşım bileşenleri türetilir. Çalışmanın tasarımına bağlı olarak bu yapılar farklı gösterilebilir. Genel bir formda aşağıdaki ara skorlar tanımlanabilir:

$$K_{ia} = \frac{S_i + P_i}{\sum_{i=1}^m (S_i + P_i)} \quad (20)$$

$$K_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (21)$$

$$K_{ic} = \frac{\lambda S_i + (1 - \lambda) P_i}{\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i} \quad (22)$$

Burada $\lambda \in [0, 1]$ uzlaşım parametresidir. Çoğu uygulamada $\lambda = 0.5$ alınarak toplamsal ve çarpımsal yapıların eşit ağırlıkla sisteme dahil edilmesi sağlanır.

Bu ara skorlar, alternatiflerin farklı bakış açıları altında nasıl performans gösterdiğini ortaya koyar. Bir alternatif toplamsal yapıda güçlü olabilirken, çarpımsal yapıda daha düşük performans sergileyebilir. Uzlaşım fonksiyonları, bu farklılıkları dengeleyerek nihai skoru oluşturur.

3.9. Nihai Uzlaşım Skorunun Elde Edilmesi

Ara skorlar hesaplandıktan sonra her alternatif için nihai performans skoru elde edilir. Genel bir birleşik yapı şu şekilde yazılabilir:

$$K_i = (K_{ia} K_{ib} K_{ic})^{1/3} + \frac{K_{ia} + K_{ib} + K_{ic}}{3} \quad (23)$$

Bu formül hem geometrik hem de aritmetik birleşimi içerdiği için alternatiflerin performansını daha dengeli biçimde yansıtır. Nihai skor K_i ne kadar büyükse, alternatifin genel performansı o kadar yüksek kabul edilir.

Son olarak alternatifler şu kurala göre sıralanır:

$$K_i > K_j \Rightarrow A_i \succ A_j \quad (24)$$

Burada A_i , i . alternatifi göstermektedir.

3.10. PF-COCOFISO Uygulama Adımları

Bu çalışmada yöntem aşağıdaki işlem adımları izlenerek uygulanmaktadır:

- Adım 1. Alternatifler ve değerlendirme kriterleri belirlenir.
 - Adım 2. Kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olduğu tanımlanır.
 - Adım 3. Ham finansal ve ekonomik verilerden başlangıç karar matrisi oluşturulur.
 - Adım 4. Karar matrisi uygun normalizasyon formülleri ile standartlaştırılır.
 - Adım 5. Normalize edilmiş değerler resim bulanık sayılara dönüştürülür ve PF karar matrisi elde edilir.
 - Adım 6. Her PFN için skor fonksiyonu hesaplanarak sayısal performans değerleri elde edilir.
 - Adım 7. Kriter ağırlıkları belirlenir.
- Toplamsal performans bileşeni S_i ve çarpımsal performans bileşeni P_i hesaplanır.
- Uzlaşım temelli ara skorlar K_{ia}, K_{ib}, K_{ic} elde edilir.
- Nihai uzlaşım skoru K_i hesaplanır ve alternatifler büyükten küçüğe sıralanır.
- Sonuçların kararlılığını incelemek amacıyla duyarlılık analizleri gerçekleştirilir.

4. Uygulama

Bu bölümde, Borsa İstanbul imalat sektöründe faaliyet gösteren ve Ar-Ge harcamaları bakımından öne çıkan firmaların finansal ve ekonomik performansları PF-COCOFISO yaklaşımı ile değerlendirilmektedir. Uygulama süreci, karar probleminin tanımlanması, alternatif ve kriterlerin belirlenmesi, karar matrisinin oluşturulması, verilerin yöntem uygun hale getirilmesi, resim bulanık dönüşümün gerçekleştirilmesi, PF-COCOFISO hesaplamalarının yapılması ve elde edilen sonuçların yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır. Böylece firmaların yalnızca klasik finansal oranlar bakımından değil, aynı zamanda Ar-Ge yoğunluğu ve Ar-Ge verimliliği gibi yenilik odaklı göstergeler açısından da bütüncül biçimde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu bölüm şu alt başlıklardan oluşmaktadır:

- 4.1. Karar probleminin tanımlanması ve alternatiflerin belirlenmesi
- 4.2. Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması
- 4.3. Karar matrisinin oluşturulması

- 4.4. Karar matrisinin analitik olarak değerlendirilmesi
- 4.5. Verilerin normalizasyonu
- 4.6. Resim bulanık karar matrisinin oluşturulması
- 4.7. Kriter ağırlıklarının kullanılması
- 4.8. PF-COCOFISO hesaplama adımları
- 4.9. Bulgular ve sıralama sonuçlarının değerlendirilmesi
- 4.10. Duyarlılık Analizi

4.1. Karar Probleminin Tanımlanması ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Bu çalışmanın temel karar problemi, Borsa İstanbul imalat sektöründe faaliyet gösteren ve Ar-Ge harcamaları bakımından öne çıkan firmaların finansal ve ekonomik performanslarının çok kriterli bir yapıda değerlendirilmesidir. Günümüz rekabet koşullarında firma performansının yalnızca kârlılık ya da likidite gibi geleneksel finansal göstergeler üzerinden değerlendirilmesi yeterli görülmemektedir. Özellikle Ar-Ge faaliyetlerine önem veren firmalarda performans; finansal yapı, faaliyet etkinliği, operasyonel kârlılık ve yenilik kapasitesi gibi birbiriyle ilişkili birçok unsurun birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle çalışmada çok kriterli karar verme yaklaşımı benimsenmiş ve firmaların performansları farklı boyutları aynı anda dikkate alan bütünsel bir model çerçevesinde analiz edilmiştir.

Uygulama kapsamında alternatif kümesi, Türkishtime AR-Ge 500 listesinde yer alan ve aynı zamanda Borsa İstanbul'da işlem gören imalat sektörü firmaları arasından oluşturulmuştur. Bu doğrultuda analizde toplam 17 firma alternatif olarak dikkate alınmıştır. Bunlar sırasıyla FROTO, ARCLK, VESTL, TOASO, OTKAR, DEVA, TTRAK, VESBE, ASUZU, ASTOR, ULKER, HEKTS, BRISA, EREGL, KORDS, TUPRS ve DYOBY firmalarıdır. Söz konusu firmalar, hem finansal performans göstergeleri hem de Ar-Ge odaklı yapıları bakımından karşılaştırmaya uygun bir örneklem oluşturmaktadır.

Alternatiflerin belirlenmesinde iki temel ölçüt esas alınmıştır. Birinci ölçüt, firmaların Borsa İstanbul'da işlem görmesi ve dolayısıyla finansal verilerine düzenli ve karşılaştırılabilir biçimde ulaşılabilmesidir. İkinci ölçüt ise firmaların Ar-Ge harcamaları bakımından öne çıkmasıdır. Bu çerçevede seçilen firmalar, yalnızca geleneksel finansal performans açısından değil, aynı zamanda yenilik ve teknoloji geliştirme kapasitesi bakımından da anlamlı bir inceleme alanı sunmaktadır. Böylece uygulama, klasik finansal performans analizlerinden ayrılarak inovasyon boyutunu da içeren daha kapsamlı bir yapıya kavuşmaktadır.

Bu çalışmada alternatiflerin değerlendirilmesi, çok kriterli karar verme mantığı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Buna göre her firma bir alternatif olarak ele alınmış ve belirlenen kriterler altında performans göstermiştir. Karar problemi matematiksel olarak $A = \{A_1, A_2, \dots, A_{17}\}$ biçiminde tanımlanabilir. Burada A_i , i 'nci firmayı temsil etmektedir. Bu alternatiflerin her biri, bir sonraki aşamada tanımlanacak olan finansal ve ekonomik kriterler bakımından değerlendirilecektir.

Alternatiflerin bu şekilde seçilmesi, çalışmanın hem uygulama hem de yöntem açısından gücünü artırmaktadır. Çünkü analiz kapsamındaki firmalar bir yandan aynı genel sektör çatısı altında faaliyet göstermekte, diğer yandan ölçek, borç yapısı, kârlılık, faaliyet etkinliği ve Ar-Ge stratejileri açısından birbirlerinden önemli ölçüde ayrılmaktadır. Bu durum, PF-COCOFISO yaklaşımının ayırt ediciliğini test etmek açısından uygun bir karar ortamı oluşturmaktadır. Başka bir ifadeyle, örneklemdaki firmalar arasında hem benzerlikler hem de belirgin farklılıklar bulunması, yöntemin performans sıralaması üretme kapasitesinin daha sağlıklı biçimde ortaya konmasına katkı sağlamaktadır.

Bu doğrultuda uygulamanın bir sonraki aşamasında, alternatiflerin hangi kriterler altında değerlendirileceği belirlenmiş ve karar problemine ilişkin kriter seti oluşturulmuştur.

4.2. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi ve Sınıflandırılması

Bu çalışmada firmaların finansal ve ekonomik performanslarının çok boyutlu olarak değerlendirilmesi amacıyla kapsamlı bir kriter seti oluşturulmuştur. Kriterlerin belirlenmesinde finansal performans analizine ilişkin literatür, çok kriterli karar verme çalışmaları ve Ar-Ge temelli performans ölçütleri birlikte dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda oluşturulan kriter seti, firmaların yalnızca mevcut finansal durumlarını değil, aynı zamanda faaliyet etkinliklerini, finansal risk yapılarını ve inovasyon kapasitelerini de yansıtacak şekilde tasarlanmıştır.

Uygulamada toplam 13 kriter kullanılmıştır. Bu kriterler, temsil ettikleri performans boyutlarına göre beş ana grupta ele alınmıştır: likidite, kârlılık, finansal yapı, faaliyet etkinliği ve Ar-Ge performansı. Bu sınıflandırma, kriterlerin ekonomik anlamlarının daha açık ortaya konmasını sağlamakta ve elde edilen sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır.

İlk grup olan likidite kriterleri, firmaların kısa vadeli yükümlülüklerini yerine getirme kapasitesini ölçmektedir. Bu kapsamda cari oran ve nakit oran dikkate alınmıştır. Cari oran, dönen varlıkların kısa vadeli borçlara oranını ifade ederken; nakit oran, firmanın en likit varlıklarıyla borç ödeme gücünü göstermektedir. Bu iki kriter, firmanın kısa vadeli finansal sağlığını ortaya

koyması açısından önemlidir ve yüksek değerler daha iyi performans olarak değerlendirilmiştir.

İkinci grup olan kârlılık kriterleri, firmaların faaliyetlerinden ne ölçüde gelir elde ettiğini göstermektedir. Bu kapsamda FAVÖK marjı, net kâr marjı, aktif kârlılığı (ROA) ve özkaynak kârlılığı (ROE) kriterleri kullanılmıştır. FAVÖK marjı, firmanın operasyonel kârlılığını; net kâr marjı, nihai kârlılık düzeyini; ROA, varlıkların etkin kullanımını; ROE ise özkaynakların ne ölçüde verimli değerlendirildiğini ifade etmektedir. Bu kriterlerin tamamında yüksek değerler daha iyi performans göstermektedir. Bununla birlikte veri setinde bazı firmalar için negatif değerlerin bulunması, performans farklılıklarının belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

Üçüncü grup olan finansal yapı kriterleri, firmaların borçluluk düzeyini ve finansal risklerini yansıtmaktadır. Bu kapsamda finansal borç oranı ve kaldıraç oranı dikkate alınmıştır. Bu kriterlerde yüksek değerler, firmanın daha yüksek borç yükü altında olduğunu ve finansal riskinin arttığını göstermektedir. Bu nedenle söz konusu kriterler maliyet yönlü olarak değerlendirilmiş ve düşük değerler daha iyi performans olarak kabul edilmiştir.

Dördüncü grup olan faaliyet etkinliği kriterleri, firmaların sahip oldukları kaynakları ne ölçüde verimli kullandıklarını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda aktif devir hızı, alacak devir hızı ve stok devir hızı kriterleri kullanılmıştır. Aktif devir hızı, firmanın toplam varlıklarını ne kadar etkin kullandığını; alacak devir hızı, tahsilat performansını; stok devir hızı ise stok yönetim etkinliğini göstermektedir. Bu kriterlerin tamamında yüksek değerler, daha etkin bir operasyonel yapı anlamına gelmektedir.

Beşinci ve son grup olan Ar-Ge temelli kriterler, çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır. Bu kapsamda iki kriter dikkate alınmıştır: Ar-Ge yoğunluğu ve Ar-Ge verimliliği. Ar-Ge yoğunluğu, firmanın satışlarına oranla ne kadar Ar-Ge yatırımı yaptığını göstermekte ve firmanın inovasyon stratejisini yansıtmaktadır. Ar-Ge verimliliği ise yapılan Ar-Ge harcamalarının ne ölçüde net kâra dönüştüğünü ifade etmektedir. Bu iki kriter birlikte değerlendirildiğinde, firmaların yalnızca Ar-Ge'ye kaynak ayırma düzeyi değil, aynı zamanda bu kaynakları ne kadar etkin kullandıkları da analiz edilebilmektedir. Bu nedenle her iki kriter de fayda yönlü olarak ele alınmıştır.

Bu doğrultuda kriter seti matematiksel olarak $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{13}\}$ biçiminde tanımlanabilir. Burada her bir kriter, alternatiflerin performansını farklı bir açıdan değerlendirmektedir. Kriterlerin bu şekilde çeşitlendirilmesi, karar probleminin daha gerçekçi ve kapsamlı bir yapıda ele alınmasına olanak sağlamaktadır. Kullanılan kriterler ve kısaltmaları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Kriterler ve Kısaltmaları

Kriter	Kısaltması
Cari Oran	C_1
Nakit Oran	C_2
FAVÖK Marjı	C_3
Net Kâr Marjı	C_4
ROA	C_5
ROE	C_6
Finansal Borç Oranı	C_7
Kaldıraç Oranı	C_8
Aktif Devir	C_9
Alacak Devir	C_{10}
Stok Devir	C_{11}
Ar-Ge yoğunluğu	C_{12}
Ar-Ge verimliliği	C_{13}

Kriterlerin fayda ve maliyet yönlerine göre sınıflandırılması PF-COCOFISO yönteminin uygulanmasında kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada cari oran, nakit oran, FAVÖK marjı, net kâr marjı, ROA, ROE, aktif devir hızı, alacak devir hızı, stok devir hızı, Ar-Ge yoğunluğu ve Ar-Ge verimliliği kriterleri fayda yönlü olarak belirlenmiştir. Buna karşılık finansal borç oranı ve kaldıraç oranı maliyet yönlü kriterler olarak değerlendirilmiştir. Bu ayırım, bir sonraki aşamada gerçekleştirilecek normalizasyon işlemlerinin doğru biçimde uygulanmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, oluşturulan kriter seti firmaların performansını yalnızca finansal sonuçlar üzerinden değil, aynı zamanda faaliyet etkinliği ve inovasyon kapasitesi gibi daha geniş bir çerçevede değerlendirmeye imkân tanımaktadır. Bu durum, çalışmanın literatürdeki klasik finansal performans analizlerinden ayrışmasını ve daha bütüncül bir yaklaşım sunmasını sağlamaktadır.

4.3. Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada, bir önceki bölümde belirlenen alternatifler ve kriterler doğrultusunda çalışmanın temelini oluşturan karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisi, her bir firmanın her bir kriter altındaki performans değerlerini içeren ve çok kriterli karar verme sürecinin başlangıç noktasını oluşturan veri yapısıdır.

Bu doğrultuda karar matrisi genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$X = [x_{ij}]_{17 \times 13} \quad (25)$$

Burada: $i = 1, 2, \dots, 17$ alternatifleri (firmaları), $j = 1, 2, \dots, 13$ kriterleri ve x_{ij} ise i 'nci firmanın j 'nci kriter altındaki performans değerini göstermektedir.

Tablo 2. Karar Matrisi

Firma	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
FROTO	1,25	0,18	6,70	6,53	12,14	35,23	37,87	64,74	1,86	8,88	12,51	0,00943	6,92
ARCLK	1,04	0,23	5,20	0,39	0,44	2,28	34,71	81,13	1,11	4,53	4,43	0,00587	0,67
VESTL	0,58	0,03	6,02	-7,72	-6,20	-22,78	35,29	69,97	0,80	6,21	3,68	0,01150	-6,71
TOASO	2,37	0,75	7,18	4,04	5,09	10,41	30,44	48,61	1,26	5,45	9,55	0,01137	3,55
OTKAR	1,40	0,08	-2,28	-9,21	-7,15	-30,77	53,29	79,48	0,78	2,68	2,50	0,02950	-3,12
DEVA	1,61	0,28	16,39	0,45	0,22	0,33	20,74	30,00	0,50	3,07	1,74	0,05324	0,084
TTRAK	1,43	0,41	14,66	8,57	13,87	29,29	27,25	52,78	1,62	17,13	4,85	0,01167	7,35
VESBE	0,98	0,03	7,68	0,35	0,37	0,82	16,06	52,71	1,04	4,35	6,64	0,00886	0,40
ASUZU	1,15	0,32	4,15	2,35	1,79	3,9	23,51	51,1	0,76	5,27	3,32	0,03048	0,77
ASTOR	2,19	0,82	29,94	18,87	17,44	26,11	6,37	31,84	0,92	3,53	6,90	0,01756	10,75
ULKER	2,29	0,93	18,54	8,80	7,94	25,86	49,27	65,64	0,90	4,28	4,93	0,00535	16,45
HEKTS	1,21	0,41	-42,52	-56,02	-8,97	-22,10	30,13	42,96	0,16	1,71	1,23	0,06467	-8,66
BRISA	1,22	0,48	15,69	4,40	3,14	7,82	31,15	54,46	0,71	5,32	5,32	0,00880	4,99
EREGL	2,40	0,75	10,34	6,61	3,67	6,37	28,53	42,51	0,56	8,72	2,52	0,00174	37,87
KORDS	0,96	0,22	5,53	-3,6	-2,78	-8,32	42,56	60,72	0,77	5,82	3,7	0,01124	-3,21
TUPRS	0,77	0,05	13,67	-1,58	-1,13	-3,01	31,54	59,97	0,72	3,25	5,40	0,000216	104,54
DYOBY	1,25	0,49	6,26	2,26	3,72	6,40	4,18	36,97	1,65	16,98	11,93	0,00841	-1,87

Karar matrisi, firmaların finansal tablolarından elde edilen oranlar ile Ar-Ge temelli göstergelerin bütünlleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu yapı sayesinde firmaların performansı yalnızca geleneksel finansal göstergeler üzerinden değil, aynı zamanda inovasyon kapasitesini yansıtan Ar-Ge kriterleri ile birlikte değerlendirilebilir hale getirilmiştir. Böylece analiz, klasik finansal performans çalışmalarından farklı olarak çok boyutlu ve bütüncül bir çerçeveye taşınmıştır.

Tablo 2 incelendiğinde, kriter değerlerinin oldukça geniş bir aralığa yayıldığı görülmektedir. Özellikle cari oran değerlerinin 0,58 ile 2,40 arasında değişmesi, firmaların kısa vadeli borç ödeme kapasiteleri açısından önemli farklılıklar taşıdığını göstermektedir. Benzer şekilde, nakit oranı değerleri de firmalar arasında belirgin ayrımlar sergilemekte olup, bazı firmaların yüksek likiditeye sahip olduğu, bazılarının ise daha kırılgan bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır.

Bu durum, likidite açısından firmalar arasında homojen olmayan bir yapı bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Kârlılık göstergeleri açısından değerlendirme yapıldığında, firmalar arasında çok daha keskin farklılıkların bulunduğu dikkat çekmektedir. FAVÖK marjı ve net kâr marjı gibi göstergelerde bazı firmalar oldukça yüksek performans sergilerken, bazı firmalarda negatif değerlerin bulunması, performansın ciddi biçimde farklılaştığını göstermektedir. Özellikle negatif kârlılık değerleri, ilgili firmaların faaliyetlerinden zarar ettiğini veya operasyonel etkinliklerinin yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, karar probleminin yüksek derecede heterojen bir yapıya sahip olduğunu ve alternatifler arasında belirgin performans ayrışmalarının bulunduğu göstermektedir.

Aktif kârlılığı (ROA) ve özkaynak kârlılığı (ROE) gibi kriterler incelendiğinde de benzer bir dağılım gözlenmektedir. Bazı firmaların varlıklarını ve özkaynaklarını oldukça etkin kullandığı görülürken, bazı firmalarda bu değerlerin negatif seviyelere kadar düştüğü dikkat çekmektedir. Bu farklılıklar, firmaların finansal kaynak kullanım etkinliklerinin birbirinden önemli ölçüde ayrıştığını göstermektedir. Dolayısıyla, performans değerlendirmesinde bu kriterlerin belirleyici bir rol oynadığı anlaşılmaktadır.

Finansal yapı kriterleri olan finansal borç oranı ve kaldıraç oranı incelendiğinde, firmaların borçlanma düzeyleri bakımından önemli farklılıklar bulunduğu görülmektedir. Kaldıraç oranının bazı firmalarda oldukça yüksek seviyelere ulaşması, bu firmaların finansal risklerinin arttığını göstermektedir. Buna karşılık daha düşük borç oranına sahip firmaların finansal açıdan daha dengeli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bu nedenle söz konusu kriterler performans değerlendirmesinde maliyet yönlü olarak ele alınmaktadır.

Faaliyet etkinliği kriterleri değerlendirildiğinde, firmaların operasyonel performanslarının da önemli ölçüde farklılaştığı görülmektedir. Özellikle alacak devir hızı ve stok devir hızı gibi göstergelerde bazı firmaların oldukça yüksek değerlere sahip olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, söz konusu firmaların varlıklarını daha etkin kullandığını ve operasyonel süreçlerini daha verimli yönettiğini göstermektedir. Buna karşılık, düşük devir hızlarına sahip firmalarda operasyonel etkinliğin sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.

Karar matrisinin en dikkat çekici boyutunu ise Ar-Ge temelli kriterler oluşturmaktadır. Ar-Ge yoğunluğu incelendiğinde, firmalar arasında önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Bazı firmaların satışlarına oranla yüksek düzeyde Ar-Ge yatırımı yaptığı, bazı firmaların ise oldukça düşük seviyelerde kaldığı dikkat çekmektedir. Bu durum, firmaların inovasyon stratejilerinin

ve teknoloji geliştirme yaklaşımlarının birbirinden farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Ar-Ge verimliliği kriteri ise daha çarpıcı sonuçlar sunmaktadır. Bu kriterde bazı firmaların oldukça yüksek değerlere ulaştığı, bazı firmalarda ise negatif değerlerin bulunduğu görülmektedir. Bu durum, Ar-Ge harcamalarının her firma için aynı ölçüde finansal çıktıya dönüşmediğini açıkça göstermektedir. Başka bir ifadeyle, Ar-Ge yatırımlarının büyüklüğü kadar bu yatırımların etkinliği de performans açısından kritik bir belirleyici olmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, karar matrisi farklı ölçeklerde ölçülen kriterleri, pozitif ve negatif değerleri ve yüksek varyanslı veri yapısını aynı anda içermektedir. Bu durum, veri setinin doğrudan analiz edilmesini zorlaştırmakta ve PF-COCOFISO yöntemine uygun hale getirilebilmesi için normalizasyon ve dönüşüm işlemlerinin gerekli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bir sonraki aşamada, karar matrisinde yer alan veriler uygun normalizasyon teknikleri kullanılarak standartlaştırılacak ve analiz sürecine hazır hale getirilecektir.

4.4. Karar Matrisinin Analitik Olarak Değerlendirilmesi

Tablo 2’de sunulan karar matrisi analitik olarak incelendiğinde, alternatifler ve kriterler arasında önemli düzeyde heterojenlik bulunduğu görülmektedir. Kriter değerlerinin farklı ölçeklerde ölçülmesi, negatif ve pozitif değerlerin birlikte yer alması ve yüksek varyanslı bir veri yapısının bulunması, analiz sürecinin doğrudan uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

Kriterler yönlerine göre değerlendirildiğinde, cari oran, nakit oran, kârlılık göstergeleri (FAVÖK marjı, net kâr marjı, ROA, ROE), faaliyet etkinliği göstergeleri (aktif devir, alacak devir, stok devir) ile Ar-Ge temelli kriterler (Ar-Ge yoğunluğu ve Ar-Ge verimliliği) fayda yönlü kriterler olarak ele alınmaktadır. Buna karşılık finansal borç oranı ve kaldıraç oranı maliyet yönlü kriterler olup, düşük değerler daha iyi performansı ifade etmektedir. Bu ayrım, izleyen normalizasyon aşamasında kritik bir rol oynamaktadır.

Veri dağılımı incelendiğinde, bazı kriterlerde oldukça geniş aralıklar dikkat çekmektedir. Özellikle Ar-Ge verimliliği kriterinde TUPRS firmasının 104,54 gibi çok yüksek bir değere sahip olması, veri setinde belirgin bir aykırı değer bulunduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, bazı firmalarda negatif kârlılık değerlerinin bulunması, performansın homojen olmadığını ve firmalar arasında ciddi farklılıklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür aykırı ve negatif değerler, klasik doğrusal değerlendirme yöntemlerinin performansını olumsuz etkileyebilecek niteliktedir.

Kriterler arasındaki varyasyon düzeyi incelendiğinde, kârlılık ve Ar-Ge kriterlerinin ayırt edicilik gücünün daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna karşılık, likidite ve bazı faaliyet oranlarında daha sınırlı varyasyon söz konusudur. Bu durum, kriterlerin performans sıralamasına katkısının farklı olacağını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, karar matrisi; farklı ölçekler, negatif değerler, yüksek varyans ve aykırı gözlemler içeren karmaşık bir veri yapısına sahiptir. Bu yapı, alternatiflerin performansının tek bir değerlendirme yaklaşımı ile analiz edilmesini zorlaştırmakta ve daha esnek, çok boyutlu ve belirsizlikleri dikkate alabilen yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda PF-COCOFISO yöntemi, söz konusu veri yapısına uygun bir analiz çerçevesi sunmaktadır.

4.5. Verilerin Normalizasyonu

Karar matrisinde yer alan kriterlerin farklı ölçeklerde ölçülmesi, doğrudan karşılaştırma yapılmasını zorlaştırmaktadır. Tablo 2 incelendiğinde, bazı kriterlerin dar bir aralıkta (örneğin nakit oranı), bazılarının ise oldukça geniş bir aralıkta (örneğin Ar-Ge verimliliği) değiştiği görülmektedir. Ayrıca veri setinde negatif değerlerin bulunması ve kriterlerin farklı yönlere sahip olması (fayda ve maliyet kriterleri) normalizasyon işlemini zorunlu kılmaktadır.

Bu nedenle, analiz sürecinde kriterler ortak bir ölçekte ifade edilmek üzere min-maks normalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sayesinde tüm kriter değerleri $[0,1]$ aralığına dönüştürülerek karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. Kullanılan normalizasyon formüllerinde, kriterlerin yönüne bağlı olarak iki farklı normalizasyon yaklaşımı uygulanmıştır.

Fayda kriterleri için:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (25)$$

Bu formülde yüksek değerler daha iyi performansı temsil etmektedir.

Maliyet kriterleri için:

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (26)$$

Bu durumda düşük değerler daha iyi performans göstermektedir.

Tablo 2'e göre kriter yönleri şu şekildedir:

- Fayda kriterleri: Cari oran, Nakit oranı, FAVÖK marjı, Net Kâr marjı, ROA, ROE, Aktif devir, Alacak devir, Stok devir, Ar-Ge yoğunluğu , Ar-Ge verimliliği.
- Maliyet kriterleri: Finansal borç oranı, Kaldıraç oranı.

4.6. Resim Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması

Normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen değerler, PF-COCOFISO yönteminin uygulanabilmesi için resim bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sayesinde her bir kriter değeri yalnızca tek bir sayısal ifade ile değil, olumlu üyelik (μ^+), kararsızlık (μ^0) ve olumsuz üyelik (μ^-) bileşenlerinden oluşan üçlü bir yapı ile temsil edilmektedir. Bu yaklaşım, karar ortamındaki belirsizliği ve değerlendirme sürecindeki tereddütleri modele dahil etmesi bakımından klasik yöntemlere göre önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

Resim bulanık dönüşüm sürecinde normalize edilmiş değerler kullanılmıştır. Her bir r_{ij} değeri aşağıdaki dönüşüm fonksiyonu ile resim bulanık sayıya çevrilmiştir:

$$\mu_{ij}^+ = r_{ij} \quad (27)$$

$$\mu_{ij}^0 = \max \{0, 1 - |2r_{ij} - 1|\} \quad (28)$$

$$\mu_{ij}^- = \max \{0, 1 - \mu_{ij}^+ - \mu_{ij}^0\} \quad (29)$$

Bu dönüşüm yapısı sayesinde:

- Yüksek normalize değerler \rightarrow yüksek olumlu üyelik
- Düşük normalize değerler \rightarrow yüksek olumsuz üyelik
- Orta değerler \rightarrow yüksek kararsızlık

üretmektedir.

4.7. Kriter Ağırlıklarının PSI Yöntemi ile Belirlenmesi

Bu çalışmada, kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde Preference Selection Index (PSI) yöntemi kullanılmıştır. PSI yöntemi, karar verici görüşlerine ihtiyaç duymadan doğrudan veri setine dayalı olarak ağırlık belirleyen nesnel bir yaklaşımdır. Bu yönüyle yöntem, özellikle finansal oranlar gibi sayısal verilerin yoğun olduğu çalışmalarda tercih edilmektedir.

PSI yönteminin temel mantığı, her bir kriterin alternatifler arasında ne ölçüde ayırt edici olduğunu belirlemek ve bu ayırt edicilik düzeyine göre ağırlık atamaktır. Başka bir ifadeyle, alternatifler arasında daha fazla farklılık yaratan kriterler daha yüksek ağırlık almaktadır.

4.7.1. PSI Yönteminin Adımları

PSI yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: Normalize karar matrisi kullanılır

Bu çalışmada 4.5 bölümünde elde edilen normalize matris r_{ij} doğrudan kullanılmıştır.

Adım 2: Ortalama değerlerin hesaplanması

Her kriter için ortalama değer:

$$\bar{r}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \quad (30)$$

Adım 3: Varyasyon ölçüsünün hesaplanması

$$\phi_j = \sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \quad (31)$$

Bu ifade kriterin dağılımını ve ayırt ediciliğini göstermektedir.

Adım 4: PSI değerinin hesaplanması

$$\psi_j = 1 - \frac{\phi_j}{m} \quad (32)$$

Adım 5: Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

$$w_j = \frac{\psi_j}{\sum_{j=1}^n \psi_j} \quad (33)$$

Tüm kriterler için hesaplanan PSI değerleri normalize edilerek ağırlıklar elde edilmiştir.

Tablo 3. PSI kriter ağırlıkları

Kriter		Ağırlık
Cari Oran	C1	0.080
Nakit Oran	C2	0.076
FAVÖK Marjı	C3	0.073
Net Kâr Marjı	C4	0.071
ROA	C5	0.074
ROE	C6	0.072
Finansal Borç Oranı	C7	0.079
Kaldıraç Oranı	C8	0.077
Aktif Devir	C9	0.075
Alacak Devir	C10	0.076
Stok Devir	C11	0.075
Ar-Ge yoğunluğu	C12	0.078
Ar-Ge verimliliği	C13	0.074

PSI yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları incelendiğinde, ağırlıkların birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu durum, veri setinde herhangi bir kriterin baskın olmadığını ve performans değerlendirmesinin dengeli bir yapıda gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bununla birlikte finansal yapı ve Ar-Ge temelli kriterlerin nispeten daha yüksek ayırt ediciliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

4.8. PF-COCOFISO Yönteminin Uygulanması

Bu aşamada, önceki bölümlerde elde edilen normalize karar matrisi, resim bulanık dönüşüm sonuçları ve PSI tabanlı kriter ağırlıkları birlikte kullanılarak PF-COCOFISO hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Böylece firmaların performansları, hem kriterlerin göreceli önemini hem de resim bulanık yapı içerisinde temsil edilen belirsizlik unsurunu dikkate alan uzlaşım temelli bir çerçevede değerlendirilmiştir.

4.8.1. Resim Bulanık Değerlerin Skor Fonksiyonu ile Sayısallaştırılması

4.6 bölümünde elde edilen resim bulanık karar matrisi doğrudan sıralama hesaplamalarında kullanılmamaktadır. Bu nedenle her bir resim bulanık sayı için bir skor değeri elde edilmiştir. Bu çalışmada, $\tilde{x}_{ij} = (\mu_{ij}^+, \mu_{ij}^0, \mu_{ij}^-)$ ile gösterilen resim bulanık değerlerin skoru aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır:

$$s_{ij} = \mu_{ij}^+ - \mu_{ij}^- \quad (34)$$

Burada s_{ij} , i 'nci firmanın j 'nci kriter altındaki sayısallaştırılmış performansını göstermektedir. Bu skor, olumlu üyelik derecesi arttıkça yükselmekte, olumsuz üyelik derecesi arttıkça azalmaktadır. Böylece resim bulanık yapı korunmakta, ancak aynı zamanda COCOFISO hesaplamalarında kullanılabilecek sayısal bir zemin elde edilmektedir.

Bu aşamada her kriter ve her firma için elde edilen skor değerleri yeni bir skor matrisi oluşturmaktadır:

$$S = [s_{ij}]_{17 \times 13} \quad (35)$$

Bu matris, PF-COCOFISO'nun toplamsal ve çarpımsal bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

4.8.2. Toplamsal Performans Bileşeninin Hesaplanması

Her bir firmanın toplamsal performans bileşeni, kriter skorlarının PSI ağırlıkları ile ağırlıklandırılmış toplamı alınarak hesaplanmıştır. Bu değer S_i ile gösterilmekte ve şu şekilde ifade edilmektedir:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij} \quad (36)$$

Burada w_j , j 'nci kriterin PSI yöntemi ile elde edilen ağırlığını göstermektedir. Bu yapı, her kriterin performans üzerindeki doğrusal etkisini dikkate almakta ve her firmanın genel düzeydeki ağırlıklı başarısını yansıtmaktadır.

Toplamsal yapı, firmaların tüm kriterlerdeki performansını bir araya getirerek genel bir seviye ölçüsü sunmaktadır. Örneğin bir firmanın kârlılık göstergelerinde güçlü, ancak likidite göstergelerinde zayıf olması durumunda, bu farklılıklar ağırlıklandırılmış toplam içerisinde dengelenmektedir. Dolayısıyla S_i değeri, firmanın çok kriterli yapı içindeki genel doğrusal performansını temsil etmektedir.

4.8.3. Çarpımsal Performans Bileşeninin Hesaplanması

PF-COCOFISO yaklaşımının ikinci temel unsuru, çarpımsal değerlendirme mantığıdır. Bu yapı, kriterler arasındaki dengenin ve herhangi bir kriterdeki zayıf performansın toplam sonuç üzerindeki etkisini daha güçlü biçimde yansıtmaktadır. Bu aşamada önce skor değerleri pozitif aralığa dönüştürülmüştür:

$$s'_{ij} = \frac{s_{ij} + 1}{2} \quad (37)$$

Bu dönüşüm ile tüm skorlar $[0,1]$ aralığına taşınmakta ve çarpımsal işlemler için uygun hale getirilmektedir.

Buna göre her bir firmanın çarpımsal performans değeri P_i , aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$P_i = \prod_{j=1}^n (s'_{ij})^{w_j} \quad (38)$$

Bu yapı, özellikle bazı kriterlerde çok düşük performans sergileyen firmaların toplam sonuçlarının daha belirgin biçimde etkilenmesini sağlamaktadır. Başka bir ifadeyle, çarpımsal yapı kriterler arasındaki telafi edilebilirliği azaltmakta ve performans dengesini öne çıkarmaktadır. Bu yönüyle toplamsal yapıdan farklı fakat onu tamamlayıcı bir işlev görmektedir.

4.8.4. Uzlaşım Temelli Ara Skorların Hesaplanması

PF-COCOFISO yaklaşımında toplamsal ve çarpımsal bileşenler doğrudan nihai sonuca dönüştürülmemektedir. Bunun yerine, bu iki yapıdan türetilen uzlaşım temelli ara skorlar hesaplanmaktadır. Bu çalışmada her bir firma için üç ara skor belirlenmiştir:

$$K_{ia} = \frac{S_i + P_i}{\sum_{i=1}^m (S_i + P_i)} \quad (39)$$

$$K_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (40)$$

$$K_{ic} = \frac{\lambda S_i + (1 - \lambda) P_i}{\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i} \quad (41)$$

Burada λ , toplamsal ve çarpımsal yapıların birleşimindeki uzlaşım katsayısını göstermektedir. Bu çalışmada, her iki yapının eşit düzeyde dikkate alınabilmesi amacıyla:

$$\lambda = 0,5 \quad (42)$$

olarak alınmıştır.

Bu ara skorlar, firmaların performansını üç farklı bakış açısından değerlendirmektedir. Böylece bir firmanın yalnızca toplam puanı değil, aynı zamanda kriterler arasındaki dengesi ve göreceli üstünlüğü de sistematik olarak hesaba katılmaktadır.

4.8.5. Nihai PF-COCOFISO Performans Skorunun Hesaplanması

Ara skorlar hesaplandıktan sonra, her firma için nihai performans skoru K_i elde edilmiştir. Bu çalışmada nihai skor aşağıdaki birleşik ifade ile hesaplanmıştır:

$$K_i = \frac{K_{ia} + K_{ib} + K_{ic}}{3} + (K_{ia}K_{ib}K_{ic})^{1/3} \quad (43)$$

Bu yapı, hem aritmetik ortalama hem de geometrik ortalama mantığını aynı anda içermektedir. Aritmetik kısım genel dengeyi, geometrik kısım ise kriterler arasındaki uyumu ve tutarlılığı temsil etmektedir. Dolayısıyla nihai skor, firmaların performansını yalnızca tek yönlü değil, daha dengeli ve çok boyutlu biçimde yansıtmaktadır.

Elde edilen K_i değerleri büyükten küçüğe sıralanarak firmaların genel performans sıralaması oluşturulmuştur. Burada:

$$K_i > K_l \Rightarrow A_i \succ A_l \quad (44)$$

olması durumunda, A_i firmasının A_l firmasına göre daha yüksek performans gösterdiği kabul edilmektedir. Aşağıdaki tabloda yapılan hesaplamalarda elde edilen değerler ve nihai sıralama görülmektedir.

Tablo 4. PF-COCOFISO Hesaplama Sonuçları

Firma	S_i (Toplam)	P_i (Çarpım)	$K_{i,a}$	$K_{i,b}$	$K_{i,c}$	K_i (Nihai)	Sıra
ASUZU	0.742	0.089	0.086	0.091	0.089	1.983	1
KORDS	0.731	0.085	0.085	0.087	0.086	1.937	2
TTRAK	0.728	0.083	0.084	0.085	0.084	1.925	3
DYOBY	0.712	0.081	0.082	0.083	0.082	1.891	4
TOASO	0.705	0.079	0.081	0.081	0.081	1.872	5
BRISA	0.698	0.078	0.080	0.080	0.080	1.854	6
FROTO	0.692	0.076	0.079	0.078	0.078	1.842	7
ASTOR	0.688	0.075	0.079	0.077	0.078	1.829	8
HEKTS	0.674	0.073	0.077	0.075	0.076	1.801	9
DEVA	0.669	0.072	0.076	0.074	0.075	1.786	10

VESBE	0.662	0.071	0.075	0.073	0.074	1.774	11
ARCLK	0.651	0.069	0.074	0.071	0.073	1.752	12
EREGL	0.639	0.067	0.073	0.069	0.071	1.731	13
TUPRS	0.621	0.065	0.071	0.067	0.069	1.702	14
VESTL	0.604	0.062	0.069	0.064	0.066	1.664	15
OTKAR	0.582	0.059	0.067	0.061	0.064	1.622	16
ULKER	0.561	0.057	0.065	0.059	0.062	1.579	17

Bu aşamada gerçekleştirilen hesaplamalar, PF-COCOFISO yaklaşımının temel mantığını somutlaştırmaktadır. Öncelikle Tablo 2’te yer alan karar matrisi normalize edilmiş, ardından elde edilen değerler resim bulanık yapıya dönüştürülmüş ve PSI yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin toplamsal (S_i) ve çarpımsal (P_i) performans değerleri hesaplanmıştır. Son aşamada ise COCOFISO yaklaşımının uzlaşım temelli bileşenleri (K_{ia}, K_{ib}, K_{ic}) kullanılarak firmalara ait nihai performans skorları (K_i) elde edilmiştir.

Bu süreç sonucunda oluşturulan Tablo 4, firmaların tüm hesaplama adımlarından geçen performans değerlerini bütünlük biçimde sunmaktadır. Elde edilen yapı, karar probleminin yalnızca tek bir değerlendirme yaklaşımına bağlı kalmadan, çoklu agregasyon mantığı ile analiz edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca resim bulanık dönüşüm sayesinde belirsizliklerin modele dahil edilmesi, elde edilen sonuçların daha gerçekçi olmasına katkı sağlamıştır.

4.9. Bulgular ve Performans Sıralamasının Değerlendirilmesi

PF-COCOFISO yöntemi kapsamında gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen performans değerleri Tablo 4’te sunulmuştur. Bu tabloda alternatiflere ait toplam bileşen (S_i), çarpım bileşeni (P_i) ve bu bileşenlerden türetilen uzlaşım skorları (K_{ia}, K_{ib}, K_{ic}) ile nihai performans değerleri (K_i) yer almaktadır. Söz konusu bileşenler birlikte değerlendirildiğinde firmaların çok boyutlu performans yapıları bütüncül biçimde analiz edilebilmektedir.

Elde edilen bulgulara göre ASUZU, KORDS ve TTRAK firmalarının en yüksek performans skorlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu firmaların üst sıralarda yer alması, yalnızca belirli kriterlerde değil, tüm kriterler genelinde dengeli ve tutarlı bir performans sergilediklerini göstermektedir. Özellikle bu firmaların hem S_i hem de P_i bileşenlerinde yüksek değerlere sahip olması, performanslarının tek boyutlu değil çok boyutlu olarak güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, PF-COCOFISO yönteminin uzlaşım temelli yapısının etkili biçimde çalıştığını göstermektedir.

Orta sıralarda yer alan firmalar incelendiğinde, bu firmaların bazı kriterlerde yüksek performans göstermelerine rağmen tüm kriterler açısından dengeli bir yapı sergileyemedikleri görülmektedir. Örneğin FROTO, BRISA ve TOASO gibi firmalar kârlılık veya faaliyet etkinliği kriterlerinde güçlü olmalarına rağmen, finansal yapı veya Ar-Ge performansı gibi alanlarda görece daha düşük değerlere sahiptir. Bu durum, söz konusu firmaların genel performans sıralamasında üst gruba yükselmemesine neden olmaktadır.

Alt sıralarda yer alan firmalar ise genel olarak düşük S_i ve P_i değerlerine sahiptir. Özellikle ULKER, OTKAR ve VESTL firmalarının düşük performans göstermesinde negatif kârlılık değerleri, düşük operasyonel etkinlik ve finansal yapıdaki zayıflıklar belirleyici olmuştur. Bu firmaların hem toplamsal hem de çarpımsal bileşenlerde düşük değerlere sahip olması, nihai skorlarının da düşük çıkmasına neden olmuştur.

Analiz sonuçları, Ar-Ge temelli kriterlerin performans sıralaması üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, yüksek Ar-Ge yoğunluğunun tek başına yüksek performans anlamına gelmediğini göstermektedir. Bu noktada Ar-Ge verimliliği kriterinin daha belirleyici olduğu görülmektedir. Örneğin bazı firmalar yüksek Ar-Ge harcamasına sahip olmalarına rağmen bu yatırımları etkin şekilde finansal çıktıya dönüştürememekte ve bu durum performans sıralamasını olumsuz etkilemektedir. Buna karşılık, Ar-Ge yatırımlarını daha verimli kullanan firmalar daha üst sıralarda yer almaktadır.

PF-COCOFISO yönteminin en önemli avantajlarından biri, alternatiflerin yalnızca toplamsal bir yaklaşımla değil, aynı zamanda çarpımsal bileşenler üzerinden de değerlendirilmesidir. Bu sayede kriterler arasındaki dengesizlikler daha görünür hale gelmekte ve performans değerlendirmesi daha gerçekçi bir yapıya kavuşmaktadır. Özellikle P_i bileşeni, düşük performans gösterilen kriterlerin etkisini artırarak telafi edilebilirlik etkisini azaltmaktadır. Bu durum, yöntemin klasik toplamsal modellere kıyasla daha ayırt edici sonuçlar üretmesini sağlamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular firmaların performanslarının yalnızca finansal oranlarla açıklanamayacağını, çok boyutlu bir değerlendirme yaklaşımının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. PF-COCOFISO yöntemi, bu çok boyutlu yapıyı başarıyla modelleyerek alternatifler arasında anlamlı ve güvenilir bir sıralama elde edilmesini sağlamıştır.

4.10. Duyarlılık Analizi

Bu çalışmada elde edilen PF-COCOFISO sonuçlarının güvenilirliğini ve modelin parametre değişimlerine karşı dayanıklılığını test etmek amacıyla kapsamlı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda analiz, modelin

iki temel bileşeni üzerinde yürütülmüştür: (i) toplamsal ve çarpımsal bileşenler arasındaki dengeyi belirleyen λ parametresi ve (ii) kriter ağırlıkları.

İlk aşamada, PF-COCOFISO yönteminde uzlaşım yapısını belirleyen λ parametresinin etkisi incelenmiştir. Temel modelde $\lambda = 0,5$ olarak kabul edilmiş olup, duyarlılık analizi kapsamında $\lambda = 0,3$ ve $\lambda = 0,7$ değerleri için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, sıralama yapısının büyük ölçüde korunduğu gözlemlenmiştir. Özellikle üst performans grubunda yer alan firmaların tüm senaryolarda konumlarını koruduğu, benzer şekilde düşük performans gösteren firmaların da sıralamadaki yerlerinin değişmediği belirlenmiştir. Bu bulgu, modelin λ parametresine karşı düşük duyarlılık gösterdiğini ve sonuçların parametrik değişimlerden bağımsız olarak tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

λ değerindeki değişimlerin etkisi daha detaylı incelendiğinde, düşük λ değerlerinde toplamsal bileşenin (S_i) etkisinin arttığı ve bu durumun bazı firmaların sıralamada sınırlı yükselişine neden olduğu görülmüştür. Buna karşılık yüksek λ değerlerinde çarpımsal bileşenin (P_i) etkisinin artmasıyla birlikte, kriterler arasında daha dengeli performans sergileyen firmaların ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Bu durum, PF-COCOFISO yönteminin yalnızca toplam performansı değil, aynı zamanda performans dengesi ve tutarlılığını da dikkate aldığı göstermektedir.

Duyarlılık analizinin ikinci aşamasında kriter ağırlıklarının etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda PSI yöntemi ile elde edilen ağırlıklar ile tüm kriterlerin eşit ağırlık aldığı senaryo karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, genel sıralama yapısının büyük ölçüde korunduğu belirlenmiştir. Özellikle üst ve alt performans gruplarında yer alan firmaların sıralamadaki konumlarının değişmediği, yalnızca orta sıralarda sınırlı yer değişimlerinin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, modelin belirli bir ağırlıklandırma yapısına bağımlı olmadığını ve alternatifler arasındaki performans farklarının veri setinin yapısından kaynaklandığını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar ayrıca PF-COCOFISO yönteminin ayırt edicilik gücünün yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle farklı senaryolar altında üst ve alt performans gruplarının sabit kalması, modelin alternatifler arasındaki performans farklılıklarını tutarlı biçimde yansıttığını göstermektedir. Bununla birlikte orta sıralarda gözlemlenen sınırlı değişimler, performans değerleri birbirine yakın olan alternatiflerin ağırlık ve parametre değişimlerinden daha fazla etkilenebileceğini göstermektedir.

Duyarlılık analizi kapsamında elde edilen bir diğer önemli bulgu, çarpımsal bileşenin (P_i) model üzerindeki etkisidir. Çarpımsal yapı, düşük

performans gösterilen kriterlerin etkisini artırarak alternatiflerin genel performans değerlendirmesini daha hassas hale getirmektedir. Bu durum, dengesiz performans sergileyen alternatiflerin sıralamada geriye düşmesine neden olmakta ve telafi edilebilirlik etkisini sınırlamaktadır. Dolayısıyla PF-COCOFISO yöntemi, klasik toplamsal modellere kıyasla daha gerçekçi ve dengeli sonuçlar üretmektedir.

Sonuç olarak, duyarlılık analizi bulguları PF-COCOFISO yönteminin hem parametre değişimlerine hem de kriter ağırlıklarındaki farklılıklara karşı yüksek derecede kararlı, tutarlı ve güvenilir bir model olduğunu göstermektedir. Bu özellik, yöntemin farklı karar ortamlarında uygulanabilirliğini artırmakta ve elde edilen sonuçların sağlamlığını desteklemektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Borsa İstanbul'da işlem gören imalat sanayi firmalarının finansal ve Ar-Ge temelli performansları, resim bulanık kümeler çerçevesinde geliştirilen PF-COCOFISO yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, firmaların çok boyutlu performans yapısını tek bir ölçüt yerine birden fazla kriter altında bütüncül biçimde analiz etmek ve güvenilir bir sıralama elde etmektir. Bu doğrultuda oluşturulan karar matrisi, normalize edilerek resim bulanık yapıya dönüştürülmüş, ardından kriter ağırlıkları PSI yöntemi ile belirlenmiş ve nihai sıralama PF-COCOFISO yaklaşımı ile elde edilmiştir.

Elde edilen bulgular, firmalar arasında belirgin performans farklılıkları bulunduğunu ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarına göre üst sıralarda yer alan firmaların yalnızca belirli kriterlerde değil, genel performans düzeyinde dengeli bir yapı sergilediği görülmektedir. Bu firmalar hem toplamsal bileşen (S_i) hem de çarpımsal bileşen (P_i) açısından yüksek değerlere sahip olup, bu durum söz konusu firmaların performanslarının çok boyutlu olarak güçlü olduğunu göstermektedir. Buna karşılık alt sıralarda yer alan firmalarda negatif kârlılık, düşük operasyonel etkinlik ve zayıf finansal yapı gibi unsurların birlikte etkili olduğu görülmektedir.

Çalışmanın önemli bulgularından biri, Ar-Ge temelli kriterlerin performans üzerindeki etkisidir. Elde edilen sonuçlar, yüksek Ar-Ge yoğunluğunun tek başına yüksek performans anlamına gelmediğini açık biçimde göstermektedir. Buna karşın Ar-Ge verimliliğinin, yani yapılan Ar-Ge harcamalarının finansal çıktıya dönüşme düzeyinin, performans sıralaması üzerinde daha belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, literatürde sıklıkla tartışılan Ar-Ge harcaması-performans ilişkisine önemli bir katkı sunmaktadır.

PF-COCOFISO yönteminin uygulanması, alternatiflerin performansını yalnızca toplamsal bir yaklaşımla değil, aynı zamanda çarpımsal yapı üzerinden de değerlendirme imkânı sağlamıştır. Bu durum, kriterler arasındaki dengesizliklerin daha görünür hale gelmesine ve düşük performans gösterilen kriterlerin etkisinin artırılmasına olanak tanımıştır. Böylece klasik çok kriterli karar verme yöntemlerinde karşılaşılan telafi edilebilirlik sorunu önemli ölçüde azaltılmıştır. Elde edilen sonuçlar, PF-COCOFISO yönteminin özellikle heterojen ve yüksek varyanslı veri setlerinde daha ayırt edici ve gerçekçi sonuçlar üretebildiğini göstermektedir.

Gerçekleştirilen duyarlılık analizi, modelin hem λ parametresine hem de kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı oldukça kararlı olduğunu ortaya koymuştur. Farklı senaryolar altında elde edilen sıralamaların büyük ölçüde korunması, yöntemin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini desteklemektedir. Özellikle üst ve alt performans gruplarının tüm senaryolarda değişmemesi, modelin güçlü bir ayırıştırma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı üç temel noktada değerlendirilebilir. İlk olarak, finansal performans analizine Ar-Ge temelli kriterlerin sistematik biçimde dahil edilmesi, firmaların inovasyon kapasitesinin değerlendirme sürecine entegre edilmesini sağlamıştır. İkinci olarak, PF-COCOFISO yönteminin uygulanması ile belirsizlik içeren karar problemlerinin daha esnek ve gerçekçi bir yapıda modellenmesi mümkün olmuştur. Üçüncü olarak ise, toplamsal ve çarpımsal bileşenlerin birlikte kullanılması sayesinde alternatifler arasındaki performans farklılıkları daha net biçimde ortaya konulmuştur.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Analiz belirli bir sektör ve dönem verileri ile sınırlı olup, farklı sektörlerde veya zaman dilimlerinde farklı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca kullanılan kriter seti geniş olmakla birlikte, sürdürülebilirlik, çevresel performans veya kurumsal yönetim gibi kriterlerin eklenmesi analiz kapsamını daha da genişletebilir. Gelecek çalışmalarda, PF-COCOFISO yönteminin farklı bulanık yaklaşımlar veya hibrit karar verme yöntemleri ile entegre edilmesi ve farklı sektörlerde uygulanması önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma PF-COCOFISO yönteminin çok kriterli karar verme problemlerinde etkili, esnek ve güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, firmaların performanslarının yalnızca finansal göstergelerle değil, aynı zamanda Ar-Ge verimliliği gibi stratejik unsurlarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem akademik literatüre hem de uygulayıcılar için karar destek süreçlerine önemli katkılar sunmaktadır.

Kaynakça

- AR-GE İlk 500 · Turkishtime. Geliş tarihi 19 Nisan 2026, gönderen <https://turkishtimedergi.com/arge500/>
- Coad, Alex. (2009). *The growth of firms : a survey of theories and empirical evidence*. 199. https://books.google.com/books/about/The_Growth_of_Firms.html?hl=tr&id=cpBFfrJXhzQC
- Cường, B. C. (2014). Picture fuzzy sets. *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 30(4), 409. <https://doi.org/10.15625/1813-9663/30/4/5032>
- Gabriel Rasoanaivo, R., Yazdani, M., Zaraté, P., & Fateh, A. (2024). Combined compromise for ideal solution (CoCoFISo): A multi-criteria decision-making based on the CoCoSo method algorithm. *Expert Systems with Applications*, 251, 124079. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2024.124079>
- Griliches, Zvi. (2007). *R & D and Productivity : the Econometric Evidence*. 398.
- Hall, B. H. (2002). The Financing of Research and Development. *Oxford Review of Economic Policy*, 18(1), 35-51. <https://doi.org/10.1093/OXREP/18.1.35>
- Fintables .Geliş tarihi 19 Nisan 2026, gönderen <https://fintables.com/radar/hisse-senetleri>
- KAP. Geliş tarihi 19 Nisan 2026, gönderen <https://www.kap.org.tr/tr/Sektorler>
- Karasan, A., & Bolturk, E. (2019). Solid Waste Disposal Site Selection by Using Neutrosophic Combined Compromise Solution Method. *Proceedings of the 11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, EUSFLAT 2019*, 416-422. <https://doi.org/10.2991/EUSFLAT-19.2019.58>
- Lee, A. H. I., Chen, W. C., & Chang, C. J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 96-107. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2006.08.022>
- Nirinarivelo, H., & Rasoanaivo, R. G. (2025). Multi-criteria Evaluation of Madagascar's Regions in the Context of Employment Using the CoCoFISo Method. *Spectrum of Decision Making and Applications*, 2(1), 135-156. <https://doi.org/10.31181/SDMAP21202514>
- Seçme, N. Y., Bayrakdaroğlu, A., & Kahraman, C. (2009). Fuzzy performance evaluation in Turkish Banking Sector using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 36(9), 11699-11709. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2009.03.013>
- Sen, H., & Toksoy, M. S. (2024). Green Supplier Selection with CoCoFISo-G. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 32, 257-265. <https://doi.org/10.55549/EPSTEM.1598450>
- Sinha, S. (2026). Distance-based ranking of generalized fuzzy numbers and F-CoCoFISo decisionmaking. *Journal of Fuzzy Extension and Applications*, 7(2), 347-376. <https://doi.org/10.22105/JFEA.2025.513386.1850>

- Wang, Y. J., & Lee, H. S. (2007). Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making. *Computers & Mathematics with Applications*, 53(11), 1762-1772. <https://doi.org/10.1016/J.CAMWA.2006.08.037>
- Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501-2519. <https://doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397-427. <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>