



YALIN ÜRETİM SİSTEMLERİNDE RİSK ANALİZİ: BULANIK VIKOR YÖNTEMİ İLE SERAMİK FİRMASINDA BİR UYGULAMA

Veysel ÇOBAN^{1*}, Güngör ÇAKIR²

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Bilecik ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7885-1935>
²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Bilecik ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-4374-1971>

Anahtar Kelimeler Öz

Yalın üretim,
Risk faktörü,
Bulanık mantık,
Yamuk aralıklı tip-2 bulanık küme,
VIKOR

Ticaret sınırlarının ortadan kalkması pazarın genişlemesine ve rekabetinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. İşletmelerin küresel rekabette ayakta kalabilmesi müşterilere kaliteli ürünleri en uygun fiyatta sunmasına bağlıdır. Müşterilere sunulan uygun fiyatla birlikte kârın arttırılması yalnız maliyetlerin düşürülmesi ile gerçekleştirilebilir. Üretimde gereksiz kaynak kullanımı ortadan kaldırarak verim artışı sağlayan ve maliyetleri düşüren yalın üretim (YÜ) yaklaşımı kritik bir üretim yönetim felsefesi olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, yalın üretim araçlarının çözmeye çalıştığı başlıklar işletme risk faktörleri olarak tanımlanmıştır ve bu faktörlerin etkilerinin gözlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Bilecik merkezli seramik üretim tesislerinden toplanan veriler ile yalın üretim uygulamalarının gerçekleştirilme önceliğini belirleyen risk faktörleri ve faktörlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Veriler çalışanların bilgi ve tecrübelerine dayalı söylem değerlendirmelerinden elde edilmiştir. Değerlendirmelerdeki bilgi kaybını azaltmak için bulanık mantık teorisine dayalı yamuk aralıklı tip-2 bulanık kümelerine başvurulmuştur. Literatür taraması

*Sorumlu yazar; e-posta : veysel.coban@bilecik.edu.tr

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1393555>

ve seramik sektöründeki çalışan tecrübeleri yalın üretim uygulamalarının çözmeye çalıştığı on kritik risk faktörünü öne çıkarmıştır. Uzmanlar tarafından önem ağırlıkları söylem olarak değerlendirilen risk faktörlerinin yamuk aralıklı tip-2 bulanık hesaplamalarına göre on risk faktörünün sıralama değerleri 0,1274-0,1554 arasında değişmiştir ve faktörler arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Bu durum 23 faktör arasından ön değerlendirme ile 10 faktörün kritik faktörler olarak seçilmesinden kaynaklanmıştır. İşletme koşulları ve çalışan farkındalığının risk faktörleri ile uyumuna göre yalın üretim araçlarının uygulanabilirliğini açıklamak için seramik üretimi gerçekleştiren üç farklı tesis için bir çalışma yapılmıştır. Tesisler risk faktörlerine göre söylem olarak değerlendirilmiş ve yamuk aralıklı tip-2 bulanık kümelere dayalı bulanık VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) karar verme yöntemi ile yalın üretim araçlarının uygulanabileceği en uygun tesis belirlenmiştir.

RISK ANALYSIS IN LEAN MANUFACTURING SYSTEMS: AN APPLICATION IN A CERAMICS COMPANY with THE FUZZY VIKOR METHOD

Keywords

Lean manufacturing, Risk factor, Fuzzy logic, Trapezoidal type-2 fuzzy set, VIKOR.

Abstract

The disappearance of trade borders leads to market expansion and competition intensification. The survival of businesses in global competition depends on offering quality products to customers at affordable prices. Reducing costs allows the business to make a profit from the lower price offered to customers. The lean production approach, which increases efficiency and reduces costs by eliminating unnecessary resource use in production, emerges as a critical production management philosophy. In this study, inappropriate situations at the focus of lean production are defined as corporate risk factors and the effects of these factors are observed. The data collected from Bilecik-centred ceramic production facilities determines the risk factors for which YÜ seeks solutions and defines the importance weights of the factors. The data was obtained from employees' linguistic evaluations based on their knowledge and experience. Trapezoidal spaced type-2 fuzzy sets based on fuzzy logic theory have

been used to reduce information loss in evaluations. Literature review and employee experiences in the ceramics industry have highlighted ten critical risk factors that lean manufacturing seeks to solve. Trapezoidal interval type-2 fuzzy calculations of risk factors whose importance weights are evaluated linguistically by experts define the ranking values of ten risk factors in the range of 0.1274-0.1554 and do not indicate a significant difference between the factors. This situation arises from the preliminary evaluation of 23 factors and the pre-selection of 10 factors as critical factors. The sample application based on three different facilities producing ceramics explains the applicability of lean production tools according to the compliance of operating conditions and employee awareness with risk factors. Facilities are evaluated linguistically according to risk factors, and the most suitable facility for lean production applicability is determined by the fuzzy VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) decision-making method based on trapezoidal spaced type-2 fuzzy sets.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 21.11.2023	Submission Date : 21.11.2023
Kabul Tarihi : 04.04.2024	Accepted Date : 04.04.2024

1. Giriş

Kültürel, sosyal, ekonomik ve teknolojik değişimler müşteri beklenti ve ihtiyaçlarının hızla değişmesine neden olmuştur. İşletmeler de rekabetin esas unsuru olan bu değişime ayak uydurabildiği sürece hayatta kalabilirler (Atmaca, Bulut ve Kalender, 2023). Küreselleşen rekabet, işletmelere etkinliği, verimliliği ve müşteri memnuniyeti yüksek ürün ve hizmetler geliştirmeyi zorunlu kılar (Ovalı, 2014; Yalçın, Selin, Elmas, Murat ve Gündüz, 2020). Modern rekabetin içinde yer alan seramik üretim firmaları da yüksek verimlilikte üretimler ile kârlılıklarını arttıran yenilikçi yönetim ve imalat yöntemlerine yönelmiştir. Yenilikçi yöntemler, işletmelerin kaynaklarını ve işlemlerini gereksiz kullanımdan uzaklaştırarak birim maliyetin düşürülmesini, kârlılığı ve yatırımları arttırmayı sağlar (Bhadu, Singh ve Bhamu, 2022; Bhalaji, Bathrinath ve Saravanasankar, 2021). Ayrıca tasarım, üretim ve yönetimdeki yenilikler işletmenin malzeme ve enerji tüketimini azaltmaya katkıda bulunur. İşletmeler için aşırı yüklemeler, fazla üretim ve işleme, yeniden işlem yapma, gereksiz beklentiler ve envanter genel sorunları oluşturur (Chan, Ismail, Ahmad, Zaman ve Lim, 2019). Seramik imalat işletmelerinde de yer alan bu israf kaynaklarının ortadan kaldırılması ve daha verimli işletme ortamının oluşturulması için yalın üretim yaklaşımının uygulanması planlanmıştır.

Yalın üretim kavramı ilk kez "Dünyayı değiştiren makine" adlı kitapta Toyota'nın özel üretim uygulamalarını tanımlamak için kullanılmıştır ve Toyota Üretim Sistemi (TÜS) ile eş anlamlı olarak anılır (Samuel ve diğ., 2015). Seri üretimden farklı olarak daha az kaynak kullanımı ve daha az envanter tutulumu ile yüksek verim ve çeşitlilikte üretimin sağlanması istenir. Yalın üretim müşterilerin kaliteli ve verimli ürün taleplerini en kısa sürede etkili bir şekilde karşılamayı da amaçlar (Özmez, 2006). Yalın üretim uygulamasının amaçlarını yerine getirebilmesi için işletmenin mevcut ve potansiyel engeller tanımlanmalı ve uygun araçlar belirlenmelidir (Apak, 2022). Yalın üretimin çözüm aradığı risk faktörlerinin belirlenmesi ve bunlara uygun YÜ araçlarının seçimi, uygulamaların etkinliğini arttırmaya katkı sağlayacaktır (Widiasih, Karningsih ve Ciptomulyono, 2015). İmalat firmaları üzerine yapılan çalışmalarda (Marodin ve Saurin, 2015; Widiasih ve diğ., 2015) çalışan eğitimlerinin eksikliği, organizasyon kültürü ve bilgi edinimi başlıkları yalın üretim uygulamalarını etkileyen en önemli faktörler olarak tanımlanır. Kalite güvencesi, bakım/onarım sistemleri ve organizasyonel yapı da yalın üretim uygulamaları için itici güçler olarak tanımlanır ((Başak, Yılmaz ve Deniz, 2019; Tortorella, de Castro Fettermann, Frank ve Marodin, 2018). Yalın üretim uygulamalarının gıda işletmesi üzerine yapılan başka bir çalışmada eğitim eksikliği, ürün kalitesi, stoklar, zamanında teslimat ve teslim süreleri kritik faktörler olarak tanımlanır (Dora, Kumar ve Gellynck, 2016). Otomobil üretimi üzerine yapılan çalışmada yalın üretimi etkileyen temel faktörler atölye çalışanlarının tutumları ve yalın üretim kavramlarının eksiklikleri olarak belirlenmiştir (Nordin, Md Deros ve Abd Wahab, 2010). Seramik üretim firmasında yapılan bir çalışma vasıflı çalışan eksikliği ve çalışanlar arasında bağlılığın bulunmaması yalın üretim uygulamaları için en önemli engeller olarak gösterilir (Singh, Bhamu ve Mehta, 2014). Risk faktörlerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar yalın üretimin etkinliğinin yöntem ve araçların yanı sıra çalışan davranışları, üst yönetim taahhütleri ve organizasyon kültürüne bağlı olduğunu gösterir (Jadhav, Mantha ve Rane, 2014).

Karar verme problemi olarak ele alınan çalışmada risk faktörlerinin değerlendirilmesi uzmanların öznel görüşlerine dayandığı için belirsizlik ve kararsızlık içerir. Belirsizlik ve kararsızlıkları karar verme sürecine dahil edebilmek için bulanık mantık teorisine başvurulur (Zadeh ve Aliev, 2018; Golec ve Kahya, 2007). Karmaşık karar verme problemlerinde bulanık durumları ele almak için Zadeh tarafından önerilen Tip-1 bulanık kümeler öncül yöntemler olarak ortaya çıkar (Kahraman, Öztayşi, Sarı ve Turanoğlu, 2014). Tip-2 bulanık kümeler değerlendirme ve hesaplamalarda daha fazla esneklik sağlamak için [0,1] aralığında birincil ve ikincil üyelikleri tanımlayan üç boyutlu bir yapıda Tip-1 bulanık kümelerin genişlemesi olarak ortaya çıkar (Mendel ve John, 2002; Rubio ve diğ., 2017). Avantajlarının yanında karmaşık hesaplamalar içeren Tip-2 bulanık kümelerle basitleştirilmiş çözümler sunan Aralık Tip-2 (AT-2) bulanık kümeler önerilir (Kahraman ve diğ., 2014; Wu ve Mendel, 2007). Aralık değerli üyelik fonksiyonları ile tanımlanan aralık Tip-2 bulanık kümeler kesin aralıklı

üyelik değerlerini içererek karmaşık hesaplamalara yardımcı olur. Aralık tip-2 bulanık kümelerin bu avantajı farklı birleştirme metotları ve karar verme yöntemleri ile birlikte problemlerin çözümünde kullanılır.

ÇKKV araçları karar vericilerin alternatifler arasından uzlaşmacı değerlendirme yapmalarına ve en uygun alternatif seçimine imkân vermektedir (Brauers ve Zavadskas, 2009). Opricovic tarafından geliştirilen VIKOR (Opricovic, 1998), birbirleriyle çelişen çok kriterli karmaşık problemlere grup karar verme ve uzlaşmacı çözümler üretir (Brauers, 2013; Maghsoodi, 2020). Özellikle karar vericilerin tercihlerini ifade etmede yetersiz kalmaları durumunda VIKOR önem bir ÇKKV aracı olarak ortaya çıkar. Karar vericilerin kriter ağırlıklarına dayanarak alternatifleri değerlendirmeleri uzlaşma çözümlerin temelinde yer alır. VIKOR sunduğu uzlaşmacı çözüm ile grubun tamamı için en yüksek faydayı sağlar (Lopez, Ishizaka, Qin ve Alvarez-Carrillo, 2023). VIKOR birbirinden farklı özellikteki faktörler arasında sıralama ve seçim yapmaya yardımcı olan bir karar verme yöntemidir (Mardani, Zavadskas, Govindan, Amat Senin ve Jusoh, 2016). Bulanık karar verme problemlerinin çözümünde bulanık yöntemlerle bütünleşik bir yöntem olarak gelişen VIKOR aralık tip-2 bulanık kümeler ile de genişlemiştir (Qin ve Pedrycz, 2015).

Bu çalışma, yalın üretim uygulamalarını gerçekleştirme önceliğini belirleyen kurumsal risk faktörlerini seramik üretim işletmesi için tanımlayarak literatüre katkıda bulunmayı amaçlar. Risk faktörlerini belirleme ve yalın üretim uygulamalarına en çok ihtiyaç duyan tesisin seçiminde, bulanık karar verme yöntemlerinin kullanılması ile karar vericilerin değerlendirmelerini daha rahat yansıtmasını sağlar. Bu özellikler çalışmanın özgün yapısını oluşturmuştur. Çalışmada uygulanan yöntemlerin ve elde edilen sonuçların seramik ve diğer imalat işletmeleri için yalın üretim araçlarının uygulanabilirliği hakkında yol gösterici olması beklenir.

Çalışmanın takip eden anlatımları şu bölümlerden oluşur: Bölüm 2; yalın üretim araçlarının uygulaması için kurumsal risk faktörlerinin tanımlanmasından ve Bölüm 3; uygulama araçlarının temeli oluşturan aralık tip-2 bulanık kümelerden ve aralık tip-2 bulanık kümelere dayalı VIKOR karar verme yönteminden bahseder. Bölüm 4, alternatif seramik üretim tesisleri arasından yalın üretim uygulaması için en uygun tesis seçimi örnek vakasını ele alır. Bölüm 5, uygulamadan elde edilen sonuçlar hakkında değerlendirmede bulunularak gelecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulur.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Bu bölüm çalışmanın uygulamasında başvuru temel kaynaklardan bahseder. Literatür taraması yapılarak yalın üretim uygulamalarının çözüm aradığı kurumsal risk faktörleri tanımlanır. Bu bölümde tanımlanan faktörlerin öncelik sıralamaları yöntemler bölümünde gerçekleştirilir.

Yalın üretim israfları en aza indirerek kaynak kullanım verimini en üst düzeye çıkarmak için geliştirilmiş sürekli iyileştirme felsefesidir (Tortorella ve diğ., 2018). 2. Dünya savaşından yenik ayrılan Japonya'da ortaya çıkan kaynak kıtlığı yalın üretimin gelişme ortamını oluşturur. Japon otomobil endüstrisinde kaynakların verimli kullanılması, yüksek kalite, güvenliği artırma, çalışan moralini yükseltme, maliyeti düşürme ve teslim süresini kısaltma felsefelerine dayanan çalışmalar Eiji Toyoda ve Taiichi Ohno tarafından daha sonra "Yalın Üretim" olarak isimlendirilen "Toyota Üretim Sistemi" olarak tanıtıldı (Adalı ve Erdem, 2017; Becker, 1998; Ohno, 1988). Yalın üretim, mevcut yapının incelenmesi ile üretimde israfın azaltılması ve üretim boyunca maliyetin en aza indirilmesi için uygulanan bir yaklaşımdır (Apak, 2022).

Üretim için gerekli en uygun seviyedeki işçilik süresi, malzeme, ekipman ve parçalar dışındaki fazla üretim, envanter, gereksiz işlem, taşıma, hareket ve kusurlu ürün israf olarak tanımlanır. İsrâfların anlamlandırılması ve çözümler üretilmesi için YÜ kalite, maliyet, sürekli iyileştirme ve müşteri memnuniyetini bütünsel olarak ele alır. YÜ, kurum içi ve dışı israfları ortadan kaldırarak ürüne katma değer katan çözümler üretir (Panwar, Jain ve Rathore, 2015). YÜ aynı zamanda oluşturduğu çözüm üreten sürekli iyileştirme kültürünün sürdürülebilirliğini sağlamayı da amaç edinir.

Kaynaklarına göre sınıflandırılan israflar, ürün tasarımının kontrolüne dayanarak analiz edilir ve en uygun yalın üretim stratejileri geliştirilerek azaltılır. Küreselleşmenin getirdiği teknolojik, sosyal, kültürel ve ekonomik değişimler rekabetçi üretim yapısının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Ndahi, 2006). Rekabetçi yapının oluşturulması ve sürdürülebilmesi için işletmeler yalın üretim ilkelerinin uygulamalarına yönelmiştir. Yalın düşüncenin işletmedeki esnekliği, üretkenliği ve güvenilirliği teşvik etme becerisi küresel kabulünü ve yayılımını arttırmıştır (Tikici, Aksoy ve Derin, 2006).

YÜ uygulamaları ile işletmeler operasyonel, ekonomik, çevresel ve sosyal kazanımlar elde etmeyi amaçlar (Singh, Singh ve Singh, 2018). Bu amaçların yerine getirilmesi için mevcut problemlerin tanımlanması ve uygun YÜ araçlarının belirlenmesi gerekir. YÜ uygulamaları ile çözüm aranan problem başlıkları şu şekildedir:

- Operasyonel problemler: Yüksek kurulum süreleri ve süreçteki envanter yoğunluğu üretim sürelerinin artmasına, süreç performanslarının düşmesine ve üretim verimliliğinin azalmasına neden olur (Tu, Vonderembse, Ragu-Nathan ve Sharkey, 2006). Düşük performanslı, modern olmayan ve düşük kaliteli sistemlere sahip kuruluşlar düşük üretkenlik, esnek olmayan ürün ve hizmet hacmi, uzayan teslimat süreleri ve yüksek maliyet problemleri ile karşılaşır (Shah ve Ward, 2003). YÜ ile sağlanan süreç ve kalite iyileştirmeleri üretim kapasitelerinin, müşteri memnuniyetinin ve ekonomik

kazanımların artmasını sağlar (Keykavoussi ve Ebrahimi, 2020; Prabowo ve Adesta, 2017).

- Ekonomik problemler: Kâr amacı güden işletme faaliyetleri; kar artırımı ve ortaklarına elde ettiği kazanımları dağıtma vaadi temelinde gerçekleşir. Hammadde, makine ve çalışan aksamaları ve israflarının yüksek olması üretim maliyetlerinin artmasına neden olurken işletmenin kar amaçları ulaşmasına engel olur (Basu, Chatterjee, Ghosh ve Dan, 2021). Yüksek partiler halinde ve kesikli zamanlar ile çekilen hammaddeler ve hızlı değişen müşteri beklentilerini karşılamakta yetersiz kalan sistemler ekonomik faydaların sağlanmasına engel olacaktır (Ramadas, Satish ve Mathew, 2018).
- Çevresel Problemler: Çevresel problemlerin temelinde süreç içi ve dışı israflar yer alır. Hammaddelerin uygunsuz kullanılması ve üretim süreci hataları atıl parçaların oluşmasına veya yeniden işleme faaliyetlerini oluşturur. Atıl parçaların doğada uzun sürede yok olması ve yeniden işleme faaliyetleri ile harcanan enerji çevresel sorunlara neden olur (Chen, Lujan-Blanco, Fortuny-Santos ve Ruiz-de-Arbulo-López, 2020). Çevresel sorumlulukların yerine getirilmemesi işletme için yerel ve ulusal kuralların ve düzenlemelerin ihlalini ortaya çıkarır. Bu durum işletmeye ceza veya iş durdurma şeklinde ekonomik yaptırımlar ile döner (Kalyar, Shafique ve Abid, 2019). Üretim sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkan zararlı emisyonların salınımı da düşük çevresel performansı yansıtır. YÜ uygulamaları atıkların, süreç hatalarından kaynaklı yüksek enerji kullanımlarının ve zararlı salınımların önüne geçerek çevresel sorumluluğa katkıda bulunur (Bai, Satir ve Sarkis, 2019).
- Sosyal problemler: Üretim hattı çalışanlarının fiziksel ve kimyasal risk taşıyan malzemeler ile etkileşim halinde olmaları güvenlik sorunları ortaya çıkarır. Bu risklerin ortadan kaldırılmasında rol oynayan YÜ araçları kuruluşun sosyal sürdürülebilirliğine katkıda bulunur (Salentijn, Beijer ve Antony, 2021). Çalışanların yeteneklerini geliştiren, değişimlere ayak uyduracak yetkinliklerini arttıran ve mesleki bilgi düzeylerini zamana ayak uyduran eğitimlerin ve yönlendirmelerin eksik olması üretim süreçlerinde kişilerde yetersizlik duygusu doğurur. Çalışma ortamındaki memnuniyetsizliklerin artması çalışanların sosyal sürdürülebilirliğine engel olacaktır. Sosyal etkinlikteki azalmalar çalışanların operasyonel etkinliğinin azalmasına, iş kazalarının artmasına ve motivasyonun düşmesine neden olur (Sahoo, 2020).

YÜ'in çözüm aradığı ve işletme için risk olarak tanımlanan faktörler literatürde operasyonel, ekonomik, çevresel ve sosyal problemler başlıklarında ele alınmıştır. Bu başlıklar altında yüksek kurulum süreleri ve envanter yoğunluğu operasyonel risk faktörleri; hammadde, makine ve çalışan israfları, uygunsuz zamansal ve miktarsal hammadde siparişleri ve müşteri değişimlerine hızlı tepki

verememe ekonomik risk faktörleri; uygunsuz hammadde kullanımı ve yüksek üretim hatalarından oluşan atıklar ve enerji verimsizliği, ve yasal yaptırımlara neden olacak zararlı emisyonların salınımları çevresel risk faktörleri; çalışanların riskli çalışma koşulları, çalışanların gelişimini sağlayacak imkanların sunulmaması ve çalışan memnuniyetsizliğine neden olan koşullar sosyal risk faktörleri olarak ortaya çıkar. YÜ işletmeleri bu israf kaynaklarından uzaklaştırarak müşteri taleplerine hızlı cevap verebilen rekabetçi bir yapıya dönüştürür. Üretim sürecindeki içsel ve dışsal değişkenlik kaynaklarının YÜ ile azaltılması ürün kalitesi ve değerinde artışlar meydana getirir (Marodin, G., Frank, Tortorella ve Netland, 2018). Zincir reaksiyon etkisini oluşturan bu durum ile yüksek kalite ve düşük fiyatlar müşteri beklentilerini en üst düzeyde sağlamış olur.

Bu çalışmada seramik üretimi gerçekleştiren üç farklı tesiste yalnız üretim yöntemlerini uygulama gerekliliklerini ve önceliklerini belirleyen bir örnek ele alınır. Uygulama tesislerindeki uzman görüşleri ile kapsamlı risk faktörleri (23 faktör) tanımlanır ve YÜ için öncelikli olanlar için ayrıca alt grup (10 faktör) oluşturulur. İşletme içi özgün değerlendirmelerden türetilen risk faktörleri literatür taramasından elde edilen faktörler ile uyumlu olarak tanımlanır. Böylece seramik işletmelerinin YÜ uygulamaları ile çözüm aradığı risk faktörleri tanımlanmış ve önceliklendirilmiş olur. Sonuçların YÜ literatürüne katkıda bulunması ve seramik işletmelerinde gerçekleşecek YÜ uygulamalarına örnek oluşturması beklenir.

3. Yöntemler

Bu bölüm çalışmanın uygulamasında başvurulan yöntemler tanıtlır. Yalnız üretim uygulamalarının çözüm aradığı kurumsal risk faktörlerinin öncelik sıralamalarını yapmak için başvurulan değerlendirme ve hesaplama yöntemleri alt başlıklarda ele alınır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1 Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler

[0,1] aralığında kesin üyelik değerlerini tanımlayan tip-1 bulanık kümeler 1965 yılında Zadeh tarafından tanıtılmıştır (Zadeh ve Aliev, 2018). Tip-1 bulanık kümelerin bir uzantısı olarak geliştirilen tip-2 bulanık kümeler birincil ve ikincil üyelik değerleri ile tanımlanır. Böylece belirsizlikleri tanımlamak için kullanılan tip-1 bulanık kümelerdeki belirsizlikler de ele alınmış olur. Üç boyutlu tanımlanan tip-2 bulanık kümeler, [0,1] aralığında daha fazla esneklik derecesi sağlayarak ÇKKV problemlerinde belirsizliği modellemede yardımcı olur (Ecer, 2022). Söylem modellemelerinde tip-1 bulanık kümelerin bilimsel uygunsuzluğu sonucu (Mendel, 2007) söylem temelli karar verme çalışmalarında tip-2 bulanık kümelerin kullanımına yöneltmiştir. ÇKKV problemi olarak ele alınan bu

çalışmada karar vericilerin söylem değerlendirmelerindeki belirsizlikleri karar verme sürecine dahil etmede tip-2 bulanık kümeler tercih edilmiştir.

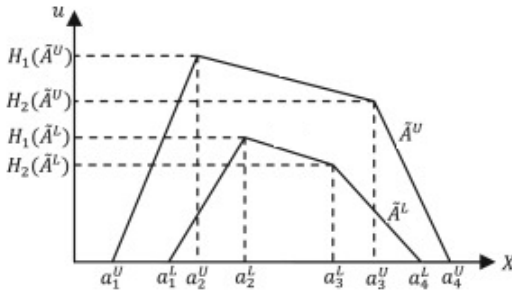
Bir tip-2 bulanık kümenin, \tilde{A} üyelik değerleri ile tanımlanması şu şekildedir (Mendel ve John, 2002):

$$\tilde{A} = \left\{ \left((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \right) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}} \leq 1 \right\} \quad (1)$$

$\mu_{\tilde{A}}$, \tilde{A} 'nın ikincil üyelik fonksiyonunu tanımlar ve birincil üyelik fonksiyonunu belirten $J_x [0,1]$ aralığındadır. Tip-2 bulanık kümede tüm $\mu_{\tilde{A}}(x, u)=1$ olması özel durum olan aralık tip-2 bulanık kümeleri oluşturur (Kahraman ve diğ., 2014). Birincil üyelik fonksiyonlardaki belirsiz sınırlı bölgeler Belirsizliğin Ayak İzi (BAİ) olarak adlandırılır ve üst üyelik fonksiyonu (ÜÜF) ve alt üyelik fonksiyonu (AÜF) ile tanımlanır. Söylem ifadelerinin üyelik fonksiyonlarının asimetrisi ve destek noktaları tanımlanabildiği için çalışmada yamuk bulanık sayılar tercih edilmiştir. Ayrıca dört üyelik fonksiyonu ile daha fazla belirsizliği tanımlayabilen yamuk bulanık kümelerin alt kümesi olan üçgen bulanık sayılardan daha iyi çözüm vermektedir (Zhang ve Zhang, 2013). ÜÜF ve AÜF yamuk bulanık sayılar ile tanımlanan aralık tip-2 bulanık sayılar yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar olarak adlandırılır ve şu şekilde ifade edilir (Castillo, Amador-Angulo, Castro ve Garcia-Valdez, 2016):

$$\tilde{A} = (\tilde{A}: T \in \{U, L\}) = (a_i^T; H_1(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{A}^T): T \in \{U, L\}, i = 1,2,3,4) \quad (2)$$

Eşitlikte ÜÜF ve AÜF sırasıyla \tilde{A}^U ve \tilde{A}^L ile ifade edilir. $H_j(\tilde{A}^T) \in [0,1]$, $j=1,2$ karşılık gelen elementin (a_{i+1}^T) üyelik değerini temsil eder (Şekil 1).



Şekil 1. Yamuk Aralık Tip-2 Bulanık Sayı

Yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar \tilde{A} ve \tilde{B} için sırasıyla toplama, çıkarma, çarpma, bölme ve bir sayı ile çarpma aritmetik işlemler şu şekildedir (Ayyildiz, E., Taskin Gumus ve Erkan, 2020; Castillo ve diğ., 2016):

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = \left(a_i^T + b_i^T; \min \left(H_1(\tilde{A}^T), H_1(\tilde{B}^T) \right), \min \left(H_2(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{B}^T) \right) : T \right) \quad (3)$$

$$\in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4$$

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = \left(a_i^T - b_{5-i}^T; \min \left(H_1(\tilde{A}^T), H_1(\tilde{B}^T) \right), \min \left(H_2(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{B}^T) \right) : T \right) \quad (4)$$

$$\in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4$$

$$\tilde{A}(\times) \tilde{B} = \left(X_i^T; \min \left(H_1(\tilde{A}^T), H_1(\tilde{B}^T) \right), \min \left(H_2(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{B}^T) \right) : T \right) \quad (5)$$

$$\in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4$$

$$X_i^T = \begin{cases} \min(a_i^T b_i^T, a_i^T b_{5-i}^T, a_{5-i}^T b_i^T, a_{5-i}^T b_{5-i}^T), & \text{eğer } i = 1, 2 \\ \max(a_i^T b_i^T, a_i^T b_{5-i}^T, a_{5-i}^T b_i^T, a_{5-i}^T b_{5-i}^T), & \text{eğer } i = 3, 4 \end{cases} \quad (6)$$

$$\tilde{A}(\div) \tilde{B} = \left(Y_i^T; \min \left(H_1(\tilde{A}^T), H_1(\tilde{B}^T) \right), \min \left(H_2(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{B}^T) \right) : T \right) \quad (7)$$

$$\in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4$$

$$Y_i^T = \begin{cases} \min(a_i^T / b_i^T, a_i^T / b_{5-i}^T, a_{5-i}^T / b_i^T, a_{5-i}^T / b_{5-i}^T), & \text{eğer } i = 1, 2 \\ \max(a_i^T / b_i^T, a_i^T / b_{5-i}^T, a_{5-i}^T / b_i^T, a_{5-i}^T / b_{5-i}^T), & \text{eğer } i = 3, 4 \end{cases} \quad (8)$$

$$\alpha \tilde{A} = \begin{cases} (\alpha a_i^T; H_1(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{A}^T) : T \in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4), & \text{eğer } \alpha \geq 0 \\ (\alpha a_{5-i}^T; H_1(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{A}^T) : T \in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4), & \text{eğer } \alpha < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Yamuk aralık tip-2 $\tilde{A} = ((a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L; H(A^L)), (a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U); H(A^U))$ sayısının klasik sayı dönüşümü şu şekilde hesaplanır (Tian, Song, Zhou, Pang ve Wei, 2023):

$$Cr(\tilde{A}) = \frac{1}{2} \left(\frac{a_1^L + (1 + H(A^L))a_2^L + (1 + H(A^U))a_3^L + a_4^L}{4 + H(A^L) + H(A^U)} + \frac{a_1^U + (1 + H(A^U))a_2^U + (1 + H(A^L))a_3^U + a_4^U}{4 + H(A^L) + H(A^U)} \right) \quad (10)$$

3.2 Yamuk Aralık Tip-2 Bulanık Kümelerin Sıralaması

Yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar ile tanımlanan söylem ifadelerine dayalı değerlendirmelerin karşılaştırmalı derecelendirilmesi risk faktörlerinin ağırlıklarının belirlenmesi ve örnek tesislerin önceliklendirilmesinde önemli bir aşamadır. Yamuk aralık tip-2 bulanık kümeleri, \tilde{A}_j sıralamak için geliştirilen yöntem şu şekilde tanımlanır (Ghorabae, 2016; Ghorabae ve diğ., 2014):

$$\tilde{A}_j = (\tilde{A}_j^T: T \in \{U, L\}) = (a_{ji}^T; H_1(\tilde{A}_j^T), H_2(\tilde{A}_j^T): T \in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4) \quad (11)$$

\tilde{A}_j yamuk aralık tip-2 bulanık kümesinin ÜÜF ve AÜF'lerinin merkez noktaları sırasıyla şu şekilde hesaplanır:

$$M_x^T(\tilde{A}_j) = \frac{1}{3} \left(a_{j1}^T + a_{j2}^T + a_{j3}^T + a_{j4}^T - \frac{a_{j3}^T a_{j4}^T - a_{j1}^T a_{j2}^T}{(a_{j3}^T + a_{j4}^T) - (a_{j1}^T + a_{j2}^T)} \right), T \in \{U, L\} \quad (12)$$

$$M_y^T(\tilde{A}_j) = \frac{w^T}{3} \left(1 + \frac{a_{j3}^T - a_{j2}^T}{(a_{j3}^T + a_{j4}^T) - (a_{j1}^T + a_{j2}^T)} \right), T \in \{U, L\} \quad (13)$$

$$w^T = \frac{H_1(\tilde{A}_j^T) + H_2(\tilde{A}_j^T)}{2}, T \in \{U, L\} \quad (14)$$

\tilde{A} ve \tilde{B} iki yamuk aralık tip-2 bulanık kümeler olmak üzere aralarındaki güç ilişkileri sırasıyla (E'_x, E'_y) şu şekilde gösterilir (Ghorabae, 2016; Ghorabae, Amiri, Salehi Sadaghiani ve Hassani Goodarzi, 2014):

$$\tilde{A} = (\tilde{A}^T: T \in \{U, L\}) = (a_i^T; H_1(\tilde{A}^T), H_2(\tilde{A}^T): T \in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4) \quad (15)$$

$$\tilde{B} = (\tilde{B}^T: T \in \{U, L\}) = (b_i^T; H_1(\tilde{B}^T), H_2(\tilde{B}^T): T \in \{U, L\}, i = 1, 2, 3, 4) \quad (16)$$

$$E_x = \frac{\left(M_x^U(\tilde{B}) + M_x^L(\tilde{B}) \right) - \left(M_x^U(\tilde{A}) + M_x^L(\tilde{A}) \right)}{\left| M_x^U(\tilde{B}) + M_x^L(\tilde{B}) \right| + \left| M_x^U(\tilde{A}) + M_x^L(\tilde{A}) \right|} \quad (17)$$

$$E'_x = \text{mak}((1 - \text{mak}(E_x, 0)), 0) \quad (18)$$

$$E_y = \frac{\left(M_y^U(\tilde{B}) + M_y^L(\tilde{B}) \right) - \left(M_y^U(\tilde{A}) + M_y^L(\tilde{A}) \right)}{M_y^U(\tilde{B}) + M_y^L(\tilde{B}) + M_y^U(\tilde{A}) + M_y^L(\tilde{A})} \quad (19)$$

$$E'_y = \text{mak}((1 - \text{mak}(E_y, 0)), 0) \quad (20)$$

$$C = \tau E'_x + (1 - \tau) E'_y \quad (21)$$

Eşitlikte τ , E_x ve E_y arasında değişim faktörü olarak tanımlanır. \tilde{A} 'nın \tilde{B} 'ye göre olasılık derecesi şu şekilde gösterilir:

$$p(\tilde{A} \geq \tilde{B}) = \min(C, 1) \quad (22)$$

m yamuk aralık tip-2 bulanık kümenin karşılaştırılmasında elde edilen olasılık derece matrisi (P) şu şekildedir:

$$P = \begin{bmatrix} p(\tilde{A}_1 \geq \tilde{A}_1) & p(\tilde{A}_1 \geq \tilde{A}_2) & \dots & p(\tilde{A}_1 \geq \tilde{A}_m) \\ p(\tilde{A}_2 \geq \tilde{A}_1) & p(\tilde{A}_2 \geq \tilde{A}_2) & \dots & p(\tilde{A}_2 \geq \tilde{A}_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p(\tilde{A}_m \geq \tilde{A}_1) & p(\tilde{A}_m \geq \tilde{A}_2) & \dots & p(\tilde{A}_m \geq \tilde{A}_m) \end{bmatrix} \quad (23)$$

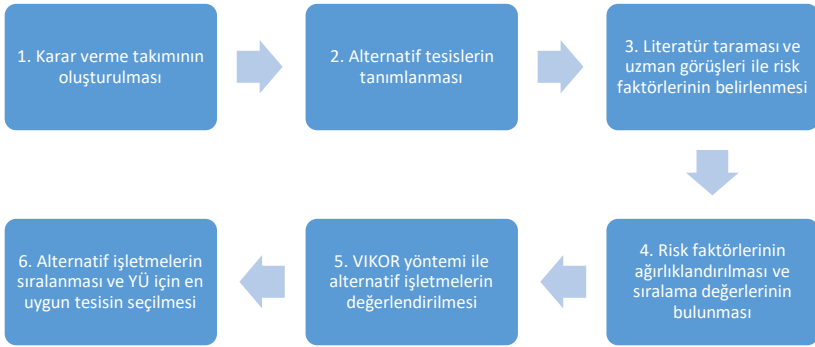
m adet yamuk aralıklı tip-2 bulanık kümenin, \tilde{A}_i ($i=1, 2, \dots, m$) karşılaştırılması ile elde edilen olasılık dereceleri matrisine göre sıralama değeri (SD) şu şekilde hesaplanır (Xu, 2004):

$$SD(\tilde{A}_i) = \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{j=1}^m p(\tilde{A}_i \geq \tilde{A}_j) + \frac{m}{2} - 1 \right), i \in [1, m] \quad (24)$$

İşletmeleri yalın üretime yönlendiren ve YÜ ile çözülmesi amaçlanan risk faktörleri sıralama değerleri ile karşılaştırılır ve önceliklendirilir. Yamuk aralıklı tip-2 bulanık sayıları karşılaştıran SD değerleri azalan olarak sıralanır ve en yüksek değer en önemli faktörü işaret eder. Benzer şekilde tesislerin ağırlıklı değerlendirme matrisi üzerinden hesaplanan SD değerlerine göre en yüksek değeri en uygun tesisi işaret eder.

3.3 Aralık Tip-2 Bulanık Küme Temelli Bulanık VIKOR

Ölçülemeyen ve birlerine karşıt özellikteki ölçütleri içeren karar verme problemleri için geliştirilen VIKOR yöntemi ideal ve ideal olmayan çözümlere göre uzlaşmacı bir sonuç üretir (Mardani ve diğ., 2016). Deterministik temellerde geliştirilen VIKOR yöntemi karar verme problemlerinin doğasında yer alan belirsizlik ve kararsızlıkları değerlendirme sürecine dahil edebilmek için bulanık mantık teorisi ile genişletilir (Bhalaji ve diğ., 2021). Bu çalışmada VIKOR yöntemi aralık tip-2 bulanık kümelerin bir uzantısı olarak kullanılır. Karar verme sürecinin aşamaları şu şekildedir (Şekil 2):



Şekil 2. Karar Verme Süreci Aşamaları

Risk faktörlerine dayalı karar verme probleminin çözümünde başvurulan yöntem aralık tip-2 bulanık küme işlemlerinden ve bulanık sıralama aracından faydalanır (Ghorabae, 2016). Karar verme probleminde alternatifler kümesi $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, kriterler kümesi $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ ve karar vericiler K_1, K_2, \dots, K_k şeklinde tanımlanır. Çalışmada uygulanan yöntem adımları şu şekildedir (Ghorabae, 2016; Jing, Tang ve Yan, 2018):

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması

$$D_d = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11}^d & \tilde{X}_{12}^d & \dots & \tilde{X}_{1n}^d \\ \tilde{X}_{21}^d & \tilde{X}_{22}^d & & \tilde{X}_{2n}^d \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{X}_{m1}^d & \tilde{X}_{m2}^d & \dots & \tilde{X}_{mn}^d \end{bmatrix} \quad (25)$$

\tilde{X}_{ij}^d , d. (d=1, 2, ..., k) karar verici tarafından c_j (j=1, 2, ..., n) kriterine göre alternatif a_i 'nin (i=1, 2, ..., m) performans değerini ifade eder.

Adım 2: Ortalama karar matrisinin oluşturulması

$$\tilde{X}_{ij} = \left(\tilde{X}_{ij}^1 (+) \tilde{X}_{ij}^2 (+) \dots (+) \tilde{X}_{ij}^k \right) / k \quad (26)$$

$$\bar{X} = \left[\tilde{X}_{ij} \right]_{m \times n} \quad (27)$$

Eşitliklerde \tilde{X}_{ij} , alternatif a_i 'nin c_j kriterine göre ortalama performans değerini gösterir ve \bar{X} ortalama performans değerleri matrisi olarak tanımlanır.

Adım 3: Risk faktörlerinin ağırlık matrisinin oluşturulması

$$W_p = \left[\tilde{w}_1^p \tilde{w}_2^p \dots \tilde{w}_n^p \right]^T \quad (28)$$

Eşitlikte \tilde{w}_j^p , p. karar verici tarafından atanan c_j kriterinin ağırlık değerini ifade eder.

Adım 4: Ortalama ağırlıklı matrisin oluşturulması

$$\tilde{w}_j = \left(\tilde{w}_j^1 (+) \tilde{w}_j^2 (+) \dots (+) \tilde{w}_j^k \right) / k \quad (29)$$

$$\bar{W} = \left[\tilde{w}_j \right]_{n \times 1} \quad (30)$$

Adım 5: Fayda ve maliyet kriterlerine göre ideal (\tilde{X}_j^+) ve ideal olmayan (\tilde{X}_j^-) değerlerin belirlenmesi

$$\tilde{X}_j^+ = \max_i \tilde{X}_{ij}, \tilde{X}_j^- = \min_i \tilde{X}_{ij} \text{ (fayda kriterleri için)} \quad (31)$$

$$\tilde{X}_j^+ = \min_i \tilde{X}_{ij}, \tilde{X}_j^- = \max_i \tilde{X}_{ij} \text{ (maliyet kriterleri için)} \quad (32)$$

Adım 6: Normalize bulanık farkların hesaplanması

$$\tilde{d}_{ij} = \left(\tilde{X}_j^+(-) \tilde{X}_{ij} \right) / \gamma_a \text{ (fayda kriterleri için)} \quad (33)$$

$$\tilde{d}_{ij} = \left(\tilde{X}_{ij}(-) \tilde{X}_j^+ \right) / \gamma_b \text{ (maliyet kriterleri için)} \quad (34)$$

$$\gamma_a = \frac{M_x^U \left(\tilde{X}_j^+(-) \tilde{X}_j^- \right) + M_x^L \left(\tilde{X}_j^+(-) \tilde{X}_j^- \right)}{2} \quad (35)$$

$$\gamma_b = \frac{M_x^U \left(\tilde{X}_j^-(+) \tilde{X}_j^+ \right) + M_x^L \left(\tilde{X}_j^-(+) \tilde{X}_j^+ \right)}{2} \quad (36)$$

Adım 7: Tüm alternatifler için \tilde{S} ve \tilde{R} değerlerinin belirlenmesi

$$\tilde{S}_i = \sum_{l=1}^n \tilde{w}_l (+) \tilde{d}_{il} \quad (37)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j \left(\tilde{w}_j (\times) \tilde{d}_{ij} \right) \quad (38)$$

\tilde{S}_i , i . alternatiflerin tüm kriterlere göre en yüksek bulanık değere uzaklığını \tilde{R}_i ise j . kritere göre i . alternatifin en kötü değere olan en yüksek uzaklığını ifade eder.

Adım 8: Alternatifler arasından en iyi \tilde{S} ve \tilde{R} değerlerinin hesaplanması

$$\tilde{S}'_i = \min_i \tilde{S}_i \text{ ve } \tilde{R}'_i = \min_i \tilde{R}_i \quad (39)$$

Adım 9: Alternatifler için \tilde{Q} değerinin hesaplanması

$$\tilde{Q}_i = \omega \left(\left(\tilde{S}_i(-) \tilde{S}'_i \right) / (s^- - s_{i1}^{+U}) \right) (+) (1 - \omega) \left(\left(\tilde{R}_i(-) \tilde{R}'_i \right) / (r^- - r_{i1}^{+U}) \right) \quad (40)$$

Eşitlikte ω en yüksek grup fayda stratejisinin ağırlığı, $(1-\omega)$ bireysel pişmanlık ağırlığı, $s^- = \max_i s_{i4}^U$ ve $r^- = \max_i r_{i4}^U$ olarak tanımlanır.

Adım 10: \tilde{Q}_i artan değerlerine göre alternatifler sıralanır. Sıralamada en küçük \tilde{Q}_i değeri en uygun alternatif olarak seçilir.

Adım 11: En iyi alternatifin uzlaştırıcı özelliğinin kontrolü için \tilde{S}_i , \tilde{R}_i ve \tilde{Q}_i değerleri sırasına dayanarak kabul edilebilir avantaj (C1, 1. koşul) ve kabul edilebilir istikrar (C2, 2. koşul) kümeleri belirlenir. Öncelikle kabul edilebilir avantaj koşulu kontrol edilir (Eşitlik(41)) (Yıldız ve Deveci, 2013).

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ \quad (41)$$

$$DQ = \frac{1}{n-1} \quad (42)$$

Eşitlikte A^1 ve A^2 sırasıyla en iyi birinci ve ikinci alternatifi temsil ederken n alternatif sayısını tanımlar. Kabul edilebilirlik koşulunda ise en uygun alternatifin \tilde{S} ve \tilde{R} değerinin en az birinde en iyi değere sahip olması beklenir. 1. koşulun sağlanamaması durumunda $Q(A^n) - Q(A^1) \leq DQ$ durumu gerçekleşirse A^n ve A^1 uzlaştırıcı çözümler olurlar. 2. koşulun sağlanamaması durumunda A^2 'nin göreceli üstünlüğüne rağmen karar vermede tutarsızlık oluşur ve A^1, A^2 uzlaştırıcı çözümleri aynı olur.

4. Uygulama ve Bulgular

İşletmeler ulusal ve uluslararası rekabet gücü kazanmak için ürün değerini arttıran yüksek kalite ve düşük maliyet faaliyetleri ile müşteri beklenti ve ihtiyaçlarını karşılamalıdır. Yalın üretim uygulamaları, işletmelerin bu amaçlarını yerine getirmede karşılaştıkları temel engel olan israfları ortadan kaldırmada başvurulan önemli bir yöntemdir. Örgütsel değişim ve kabulleri gerektiren yalın üretimin oluşumu ve sürdürülmesi çözüm aranan risk faktörlerinin belirlenmesine dayanır. Bu bölümde seramik üretimi gerçekleştiren üç farklı tesiste yalın üretime geçişi önceliklendiren risk faktörlerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve uygulama için en uygun tesisin tanımlanması gerçekleştirir. Çalışma süresince araştırma ve yayın etiğine uygun faaliyetler gerçekleştirilmiştir. Karar verme süreci aşamalarına (Şekil 2) bağlı kalarak uygulama adımları şu şekilde gerçekleşir:

Adım 1. Karar verme takımının oluşturulması: Risk faktörlerini değerlendirme ve işletmelerin yalın üretim sürecine uygunluklarını derecelendirmede üç kişilik uzman ekip seçilir. Seçilen uzmanlardan biri kimya mühendisi olup 14 yıllık AR-GE mühendisliği tecrübesi ile üretim müdürü olarak görevine devam etmektedir.

Makine mühendisi olan uzmanlarımızdan biri 4 yıllık dekor mühendisliğini takiben 14 yıldır ebatlama/paketleme şefi olarak görev yapmaktadır. Diğer makine mühendisi olan uzman 12 yıllık şekillendirme mühendisliği ve 3 yıllık şekillendirme şefliğini takiben yalın ofis şefi olarak görev yapmaktadır.

Adım 2. Tesislerin tanımlanması: Yer ve duvar seramiği üretmekte olan iki farklı fabrikanın Bilecik (1) ve İnönü (2) tesisleri, yalın üretim gerekliliklerini değerlendirmek için ele alınmıştır. 2006 yılında faaliyete başlayan Bilecik tesisi (Tesis1) 102.496 m² toplam alanında 315'den fazla çalışanı ile 7.100.000 m²/yıl üretim kapasitesine sahiptir. Aynı fabrikanın 2012 yılında faaliyete başlayan İnönü tesisi 565.095 m² alana kurulu olup 285'den fazla çalışanı ile 7.313.776 m²/yıl üretim kapasitesine sahiptir. Farklı fabrikanın İnönü'de 2009 yılında faaliyete geçen tesisi 333.666 m² (50.766 m² kapalı alan, 282.900 m² açık alan) alana sahip olup 305 çalışanı ile 7.207.000 m²/yıl üretim kapasitesine sahiptir.

Adım 3. Literatür taraması ve uzman görüşleri ile risk faktörlerinin belirlenmesi: Karar verme ekibi üyeleri (K1, K2, K3) alternatif tesisleri değerlendirmede sürecinde başvurduğu 10 risk faktörünü bilgi, tecrübe ve literatür verilerine dayanarak şu şekilde tanımlar:

- Yüksek enerji maliyeti (R1): Yer-duvar karosu (seramik) üretiminde enerji (doğalgaz-elektrik) kullanım veriminin düşük olmasından dolayı m² başına oluşan yüksek maliyettir (Bai ve diğ., 2019; Widiasih ve diğ., 2015).
- Yüksek fireler (R2): Toplam hammaddenin ürün için kullanılmayan yani boşa giden hammadde kayıplarıdır (Bhalaji ve diğ., 2021; Chen ve diğ., 2020).
- Uygun olmayan çalışma ortamı (R3): Düzensizliklerden kaynaklı işin düzgün ve zamanında yapılmasını olumsuz etkileyen çalışma ortamıdır (Bhalaji ve diğ., 2021; Jadhav ve diğ., 2014).
- Tecrübeli eleman eksikliği (R4): Çalışan elemanların seramik üretimiyle ve yaptığı işle ilgili yeterli tecrübesinin olmamasıdır (Bhalaji ve diğ., 2021; Sahoo, 2020).
- Yüksek işçilik maliyeti (R5): Çalışana verilen ücretin yüksek olmasıdır (Bhalaji ve diğ., 2021; Prabowo ve Adesta, 2017).
- İletişim eksikliği (R6): Bölümler arası veya kişiler arası uygun iletişim kanallarının uygunsuzluğundan dolayı bilgi aktarımının sağlanamamasıdır (Widiasih ve diğ., 2015).
- Yetersiz süreç kontrolü (R7): Üretim sürecinde yapılan kontrol sayılarının ve kapsamının yetersiz olmasıdır (Bhalaji ve diğ., 2021; Shah ve Ward, 2003).

- Müşteri siparişlerinde dalgalanma (R8): Gelen siparişlerin dönemsel farklılıklar göstermesidir (Bhalaji ve diğ., 2021; Keykavoussi ve Ebrahimi, 2020).
- Küçük üretim partileri (R9): Ürün çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı farklı ürün gruplarından küçük partilerde siparişlerin gelmesi ve üretim hazırlık sayısı ve sürelerinin yüksek olmasıdır (Bhalaji ve diğ., 2021; Ramadas ve diğ., 2018).
- Stoğa üretim (R10): Sık üretim değişiminin yapılmaması ve kalite tahminine göre üretim miktarı planlanmasından dolayı siparişten fazla üretim yapılmasıdır (Dora ve diğ., 2016; Tu ve diğ., 2006).

Bu çalışma seramik üretimi gerçekleştiren işletmelerin yalnız üretim uygulamalarına geçişine neden olan mevcut engelleri tanımlamayı ve etkilerini gözlemlemeyi amaçlar. Uzman görüşleri ile yapılan söylem değerlendirmeleri hesaplamalara dahil etmek için yamuk AT-2 bulanık kümeler kullanılır. Hesaplamalarda AT-2 bulanık işlem operatörleri kullanılarak bulanık değerlendirmelerin karar verme sürecindeki yansıtma gücü artırılır.

Adım 4. Risk faktörlerinin ağırlıklandırılması ve sıralama değerlerinin bulunması: Risk faktörlerinin tamamı fayda faktörü olarak tanımlanır. Karar vericiler risk faktörlerinin önemini derecelendirmek ve işletmeleri risk faktörlerine göre değerlendirmek için Tablo 1'deki söylem terimlerine başvurur.

Tablo 1

Dilsel Terimler Ve Karşılık Gelen Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler

Dilsel terimler	Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler
Çok düşük (CD)	(0, 0, 0, 0,1; 1, 1), (0, 0, 0, 0,05; 0,9, 0,9)
Düşük (D)	(0, 0,1, 0,15, 0,3; 1, 1), (0,05, 0,1, 0,15, 0,2; 0,9, 0,9)
Orta düşük (OD)	(0,1, 0,3, 0,35, 0,5; 1, 1), (0,2, 0,3, 0,35, 0,4; 0,9, 0,9)
Orta (O)	(0,3, 0,5, 0,55, 0,7; 1, 1), (0,4, 0,5, 0,55, 0,6; 0,9, 0,9)
Orta yüksek (OY)	(0,5, 0,7, 0,75, 0,9; 1, 1), (0,6, 0,7, 0,75, 0,8; 0,9, 0,9)
Yüksek (Y)	(0,7, 0,85, 0,9, 1; 1, 1), (0,8, 0,85, 0,9, 0,95; 0,9, 0,9)
Çok yüksek (CY)	(0,9, 1, 1, 1; 1, 1), (0,95, 1, 1, 1; 0,9, 0,9)

Karar vericiler tarafından yapılan risk faktörlerinin önem ağırlıkları Tablo 2'de ve işletme alternatiflerinin risk faktörleri altında yapılan söylem değerlendirmeleri ve AT-2 bulanık derecelendirmeleri Tablo 3'de gösterilir.

Tablo 2

Risk Faktörlerinin Önem Ağırlıklarının Söylem İfadeleri

Karar vericiler	Risk faktörleri									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
K1	CY	CY	OY	Y	O	Y	O	D	D	CY
K2	CY	Y	OD	Y	CD	OY	OD	OD	Y	Y
K3	Y	Y	O	Y	OY	O	Y	O	O	Y

Karar vericiler tarafından söylem tanımlanan (Tablo 2) risk faktörlerin önem değerlendirmelerinin ortalama ağırlıklarının Eşitlik(29)'e göre hesaplamalarının AT-2 bulanık değerleri Tablo 4'de verilir. AT-2 bulanık ortalama ağırlık değerlerine Eşitlik(17-24) uygulanarak risk faktörleri için sıralama değerleri hesaplanır ve risk faktörleri için önem sırası oluşturulur.

Sıralama değer sonuçları yardımı ile yalın üretim uygulamalarının seramik sektöründe çözüm aradığı risk faktörleri önceliklendirilir. Genel olarak risk faktörlerinin sıralama değerleri birbirine çok yakındır. Bununla beraber yüksek fireler (R2) ve stoğa üretim (R10) ilk sırada, müşteri siparişlerinde dalgalanma (R8) düşük önem değeri ile son sırada yer alır (Tablo 4).

Tablo 3

İşletmelerin Risk Faktörlerine Göre Değerlendirme Derecelerinin Söylem İfadeleri Ve Ortalama Karar Matrisi

Riskler	Tesisler	Karar vericiler			Ortalama AT-2 bulanık değerler											
		K1	K2	K3	ÜÜF						AÜF					
R1	T1	CY	CY	O	0,70	0,83	0,85	0,90	1	1	0,77	0,83	0,85	0,87	0,9	0,9
	T2	CY	CY	CY	0,90	1,00	1,00	1,00	1	1	0,95	1,00	1,00	1,00	0,9	0,9
	T3	OD	OY	OD	0,23	0,43	0,48	0,63	1	1	0,33	0,43	0,48	0,53	0,9	0,9
R2	T1	Y	OD	D	0,27	0,42	0,47	0,60	1	1	0,35	0,42	0,47	0,52	0,9	0,9
	T2	OD	D	D	0,03	0,17	0,22	0,37	1	1	0,10	0,17	0,22	0,27	0,9	0,9
	T3	OD	CY	CD	0,33	0,43	0,45	0,53	1	1	0,38	0,43	0,45	0,48	0,9	0,9
R3	T1	OY	CD	D	0,17	0,27	0,30	0,43	1	1	0,22	0,27	0,30	0,35	0,9	0,9
	T2	O	D	O	0,20	0,37	0,42	0,57	1	1	0,28	0,37	0,42	0,47	0,9	0,9
	T3	Y	Y	OY	0,63	0,80	0,85	0,97	1	1	0,73	0,80	0,85	0,90	0,9	0,9
R4	T1	Y	Y	Y	0,70	0,85	0,90	1,00	1	1	0,80	0,85	0,90	0,95	0,9	0,9
	T2	CY	CY	Y	0,83	0,95	0,97	1,00	1	1	0,90	0,95	0,97	0,98	0,9	0,9
	T3	O	Y	O	0,43	0,62	0,67	0,80	1	1	0,53	0,62	0,67	0,72	0,9	0,9
R5	T1	D	D	O	0,10	0,23	0,28	0,43	1	1	0,17	0,23	0,28	0,33	0,9	0,9
	T2	D	CD	D	0,00	0,07	0,10	0,23	1	1	0,03	0,07	0,10	0,15	0,9	0,9
	T3	CD	OY	OY	0,33	0,47	0,50	0,63	1	1	0,40	0,47	0,50	0,55	0,9	0,9
R6	T1	OD	D	O	0,13	0,30	0,35	0,50	1	1	0,22	0,30	0,35	0,40	0,9	0,9
	T2	OD	D	D	0,03	0,17	0,22	0,37	1	1	0,10	0,17	0,22	0,27	0,9	0,9
	T3	CD	CY	CD	0,30	0,33	0,33	0,40	1	1	0,32	0,33	0,33	0,37	0,9	0,9
R7	T1	O	D	D	0,10	0,23	0,28	0,43	1	1	0,17	0,23	0,28	0,33	0,9	0,9
	T2	D	D	O	0,10	0,23	0,28	0,43	1	1	0,17	0,23	0,28	0,33	0,9	0,9
	T3	O	Y	D	0,33	0,48	0,53	0,67	1	1	0,42	0,48	0,53	0,58	0,9	0,9
R8	T1	Y	Y	D	0,47	0,60	0,65	0,77	1	1	0,55	0,60	0,65	0,70	0,9	0,9
	T2	D	D	D	0,00	0,10	0,15	0,30	1	1	0,05	0,10	0,15	0,20	0,9	0,9
	T3	D	Y	Y	0,47	0,60	0,65	0,77	1	1	0,55	0,60	0,65	0,70	0,9	0,9
R9	T1	CY	CY	Y	0,83	0,95	0,97	1,00	1	1	0,90	0,95	0,97	0,98	0,9	0,9
	T2	Y	D	CY	0,53	0,65	0,68	0,77	1	1	0,60	0,65	0,68	0,72	0,9	0,9
	T3	CY	O	O	0,50	0,67	0,70	0,80	1	1	0,58	0,67	0,70	0,73	0,9	0,9
R10	T1	Y	Y	OY	0,63	0,80	0,85	0,97	1	1	0,73	0,80	0,85	0,90	0,9	0,9
	T2	CY	CY	Y	0,83	0,95	0,97	1,00	1	1	0,90	0,95	0,97	0,98	0,9	0,9
	T3	O	CD	O	0,20	0,33	0,37	0,50	1	1	0,27	0,33	0,37	0,42	0,9	0,9

Tablo 4

Risk Faktörlerinin Ortalama Ağırlık Matrisi (W_p)

	\tilde{w}_i^U										\tilde{w}_i^A		SD	Sıra
\tilde{w}_1	0,83	0,95	0,97	1,00	1,00	1,00	0,90	0,95	0,97	0,98	0,90	0,90	0,1552	3
\tilde{w}_2	0,77	0,90	0,93	1,00	1,00	1,00	0,85	0,90	0,93	0,97	0,90	0,90	0,1554	1
\tilde{w}_3	0,30	0,50	0,55	0,70	1,00	1,00	0,40	0,50	0,55	0,60	0,90	0,90	0,1437	7
\tilde{w}_4	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00	1,00	0,80	0,85	0,90	0,95	0,90	0,90	0,1548	4
\tilde{w}_5	0,27	0,40	0,43	0,57	1,00	1,00	0,33	0,40	0,43	0,48	0,90	0,90	0,1367	9
\tilde{w}_6	0,50	0,68	0,73	0,87	1,00	1,00	0,60	0,68	0,73	0,78	0,90	0,90	0,1509	5
\tilde{w}_7	0,37	0,55	0,60	0,73	1,00	1,00	0,47	0,55	0,60	0,65	0,90	0,90	0,1463	6
\tilde{w}_8	0,13	0,30	0,35	0,50	1,00	1,00	0,22	0,30	0,35	0,40	0,90	0,90	0,1274	10
\tilde{w}_9	0,33	0,48	0,53	0,67	1,00	1,00	0,42	0,48	0,53	0,58	0,90	0,90	0,1435	8
\tilde{w}_{10}	0,77	0,90	0,93	1,00	1,00	1,00	0,85	0,90	0,93	0,97	0,90	0,90	0,1554	1

Adım 5. VIKOR yöntemi ile alternatif işletmelerin değerlendirilmesi: Yalın üretimin işletme için gerekliliğini işaret eden ve YÜ ile çözülmesi gereken risk faktörleri fayda kriterleri olarak tanımlanır ve Eşitlik(31)'ye göre ideal (\tilde{X}_j^+) ve ideal olmayan (\tilde{X}_j^-) değerleri AT-2 bulanık formları sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5

Faktörler İçi İdeal Değerler (\tilde{X}_j^+)

	$\tilde{X}_j^+^U$										$\tilde{X}_j^+^A$	
\tilde{X}_1^+	0,83	0,95	0,97	1,00	1	1	0,90	0,95	0,97	0,98	0,9	0,9
\tilde{X}_2^+	0,33	0,43	0,47	0,60	1	1	0,38	0,43	0,47	0,52	0,9	0,9
\tilde{X}_3^+	0,63	0,80	0,85	0,97	1	1	0,73	0,80	0,85	0,90	0,9	0,9
\tilde{X}_4^+	0,83	0,95	0,97	1,00	1	1	0,90	0,95	0,97	0,98	0,9	0,9
\tilde{X}_5^+	0,33	0,47	0,50	0,63	1	1	0,40	0,47	0,50	0,55	0,9	0,9
\tilde{X}_6^+	0,30	0,33	0,35	0,50	1	1	0,32	0,33	0,35	0,40	0,9	0,9
\tilde{X}_7^+	0,33	0,48	0,53	0,67	1	1	0,42	0,48	0,53	0,58	0,9	0,9
\tilde{X}_8^+	0,47	0,60	0,65	0,77	1	1	0,55	0,60	0,65	0,70	0,9	0,9
\tilde{X}_9^+	0,83	0,95	0,97	1,00	1	1	0,90	0,95	0,97	0,98	0,9	0,9
\tilde{X}_{10}^+	0,83	0,95	0,97	1,00	1	1	0,90	0,95	0,97	0,98	0,9	0,9

Eşitlik(33) ve Eşitlik(35)'e göre hesaplanan normalize bulanık farklara göre alternatifler ağırlıklı normalize bulanık fark değerleri (\tilde{S}) ve en yüksek ağırlıklı normalize bulanık fark değerleri (\tilde{R}) hesaplanır (Tablo 7). Eşitlik(39)'a göre en iyi \tilde{S}_i^* ve \tilde{R}_i^* değerleri sırasıyla ((-103,07; 0,08; 6,89; 80,03; 1; 1), (-15,56; 0,08; 6,89; 31,67; 0,9; 0,9)) ve ((0,14; 1,50; 3,57; 16,15; 1; 1), (0,43; 1,50; 3,57; 7,54; 0,9; 0,9)) olarak belirlenir.

Tablo 6

Faktörler İçi İdeal Olmayan Değerler (\tilde{X}_j^-)

	\tilde{X}_j^{-U}						\tilde{X}_j^{-A}					
\tilde{X}_1^-	0,43	0,62	0,67	0,80	1	1	0,53	0,62	0,67	0,72	0,9	0,9
\tilde{X}_2^-	0,03	0,17	0,22	0,37	1	1	0,10	0,17	0,22	0,27	0,9	0,9
\tilde{X}_3^-	0,17	0,27	0,30	0,43	1	1	0,22	0,27	0,30	0,35	0,9	0,9
\tilde{X}_4^-	0,43	0,62	0,67	0,80	1	1	0,53	0,62	0,67	0,72	0,9	0,9
\tilde{X}_5^-	0,00	0,07	0,10	0,23	1	1	0,03	0,07	0,10	0,15	0,9	0,9
\tilde{X}_6^-	0,03	0,17	0,22	0,37	1	1	0,10	0,17	0,22	0,27	0,9	0,9
\tilde{X}_7^-	0,10	0,23	0,28	0,43	1	1	0,17	0,23	0,28	0,33	0,9	0,9
\tilde{X}_8^-	0,00	0,10	0,15	0,30	1	1	0,05	0,10	0,15	0,20	0,9	0,9
\tilde{X}_9^-	0,50	0,65	0,68	0,77	1	1	0,58	0,65	0,68	0,72	0,9	0,9
\tilde{X}_{10}^-	0,20	0,33	0,37	0,50	1	1	0,27	0,33	0,37	0,42	0,9	0,9

Tablo 7

Tesisler İçin \tilde{S} Ve \tilde{R} Değerleri

	\tilde{S}_i^U						\tilde{S}_i^A						$Cr(\tilde{S}_i)$	Sıra
\tilde{S}_1	-93,23	0,68	9,30	106,34	1	1	-13,50	0,68	9,30	43,99	0,9	0,9	7,066	2
\tilde{S}_2	-103,07	9,51	21,04	80,03	1	1	0,75	9,51	21,04	66,79	0,9	0,9	13,965	3
\tilde{S}_3	-85,20	0,08	6,89	124,49	1	1	-15,56	0,08	6,89	31,67	0,9	0,9	7,056	1
	\tilde{R}_i^U						\tilde{R}_i^A						$Cr(\tilde{R}_i)$	
\tilde{R}_1	0,14	1,50	3,68	30,37	1	1	0,43	1,50	3,68	16,58	0,9	0,9	5,756	1
\tilde{R}_2	0,15	2,51	6,65	16,15	1	1	0,90	2,51	6,65	27,14	0,9	0,9	6,822	2
\tilde{R}_3	0,54	2,21	3,57	54,59	1	1	1,05	2,21	3,57	7,54	0,9	0,9	7,321	3

Adım 6. Alternatif işletmelerin sıralanması ve YÜ için en uygun tesisin seçilmesi: Alternatifler için \tilde{Q} değeri hesaplanır ve \tilde{Q}_i artan değerlerine göre

sıralanır. AT-2 bulanık sayılar ile hesaplanan \tilde{Q}_i değerleri Eşitlik(10) ile klasik sayı $(Cr(\tilde{Q}_i))$ dönüşümleri gerçekleştirilir. $Cr(\tilde{Q}_i)$ değerlerinin artan sıralamasına (Tablo 8) göre en düşük Q değerine (0,027) sahip Tesis1 YÜ uygulamaları için en uygun tesis olarak belirlenirken Tesis3 ikinci (0,054) ve Tesis2 (0,032) üçüncü en uygun tesis olarak sıralanır.

Tablo 8

Tesislerin \tilde{Q} ($\Omega = 0,5$), Klasik Değerleri Ve Sıralamaları

	\tilde{Q}_i^U				\tilde{Q}_i^A				$Cr(\tilde{Q}_i)$				Sıra	
\tilde{Q}_1	-0,67	-0,03	0,04	0,85	1	1	-0,18	-0,03	0,04	0,27	0,9	0,9	0,027	1
\tilde{Q}_2	-0,70	0,01	0,09	0,70	1	1	-0,13	0,01	0,09	0,39	0,9	0,9	0,054	3
\tilde{Q}_3	-0,64	-0,03	0,03	1,00	1	1	-0,19	-0,03	0,03	0,19	0,9	0,9	0,032	2

En iyi alternatifin uzlaştırıcı özelliğinin kontrolü için kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar kümeleri belirlenir. Eşitlik(41) ve Eşitlik(42)'ye göre $Q(A^2) - Q(A^1) = (0,032 - 0,027) = 0,005 \geq DQ (\frac{1}{2} = 0,5)$ gerçekleşmediği için Tesis1'in kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlamadığı görülür. 2. kabul edilebilirlik koşulunda Tesis1'in \tilde{S} ve/veya \tilde{R} sıralamasında en iyi alternatif olması beklenir. Tablo 7'deki \tilde{R} indeks sıralamasına göre Tesis1 ilk sıradaki alternatif olduğu için kabul edilebilir istikrar koşulu sağlanmaktadır. 1. koşul sağlanmadığı için $Q(A^3) - Q(A^1) = (0,054 - 0,027) = 0,027 \leq 0,5$ kontrolü ile Tesis3 ve Tesis1 uzlaştırıcı çözümler olarak belirlenir.

Ayrıca işletmelerin risk faktörlerine göre ortalama karar matrisine (Tablo 3) ve risk faktörlerinin ortalama ağırlık matrisine (Tablo 4) dayanarak işletmeler için ağırlıklı değerlendirme matrisi hesaplanır (Tablo 9). Ağırlıklı değerlendirme matrisine dayanarak işletmelerin karşılaştırmalı olasılık dereceleri ve SD değerleri hesaplanır. Riskler değerlerinin yüksek olması YÜ uygulamaları gerekliliğini işaret edeceği için faktörler fayda kriteri olarak tanımlanır. Bundan dolayı işletmeler için SD karşılaştırmalı değerlendirmede yüksek değer üstünlüğü işaret edeceği için tercih sırasını da belirleyecektir. Tablo 9 değerlerine göre Tesis1 en yüksek SD değeri (0,583) ile YÜ uygulamaları için en uygun tesis olarak tanımlanır.

Tablo 9

Ağırlıklı Değerlendirme Matrisi, İşletmeler İçin SD Değerleri Ve Sıralamaları

	ÜÜF						AÜF						SD	Sıra
T_1	2,28	3,81	4,32	5,82	1	1	3,10	3,81	4,32	4,88	0,9	0,9	0,583	1
T_2	2,23	3,51	3,93	5,19	1	1	2,90	3,51	3,93	4,39	0,9	0,9	0,576	2
T_3	1,85	3,38	3,86	5,42	1	1	2,63	3,38	3,86	4,44	0,9	0,9	0,572	3

VIKOR değerlendirmeleri ile uyumlu olarak Tesis1 en uygun tesis olmasına rağmen Tesis2 ve Tesis3 öncelik sırası yer değiştirmiştir. SD hesaplamaları Tesis2 ve Tesis3 arasında önemli ayırım yapamazken VIKOR karar verme sürecindeki ideal ve ideal olmayan değerlere dayalı normalize hesaplamalar daha hassas ölçümler yaparak tesisler arasında ayrımları daha açık ortaya koymaktadır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Küreselleşen rekabette müşteri beklentilerini hızlı ve etkin bir şekilde karşılanması önemi ortaya çıkar. İsrafı ortadan kaldırarak verimliliği sağlayan yalın üretim ürünlere kalite/fiyat dengesinde değer katarak işletmelere rekabet yeteneği kazandırır. Toplam kalite yönetiminde müşteri talep değişimlerine etkin ayak uydurmada önemli bir araç olan yalın üretimin kurumsal kabulü ve uygulanması önünde engeller bulunur. Bu engellerin tanımlanması ve ortadan kaldırılması yalın üretim amaçlarına ve hedeflerine ulaşmada önemli katkı sağlar.

Bu çalışma yalın üretimin seramik üretim sektöründe kurumsal kabulü ve verimli uygulaması için çözüm aranan risk faktörlerini ele alır. Risk faktörleri literatür taraması ve Bilecik ilinde yer alan seramik fabrikasındaki uzman yöneticiler tarafından gerçek hayat uygulamalarına göre belirlenir. Faktörlerin değerlendirmeleri uzmanların bilgi ve tecrübelerine dayanarak söylem ifadelerle yapılır. Söylem ifadelerle değerlendirmelerdeki belirsizlikleri hesaplamalara dahil etmek ve daha doğru derecelendirme yapabilmek için bulanık mantığın bir genişlemesi olan aralık tip-2 bulanık kümelerle başvurulur. Değerlendirme ve derecelendirme hesaplamaları AT-2 bulanık değerlerine ve operatörlerine dayanarak yapılır. Böylece belirsizliklerin hesaplama sürecinin tamamında yer alması ve yansıtılması sağlanır.

Sonuç olarak yüksek fireler, stoğa üretim ve yüksek enerji maliyeti yalın üretimin seramik üretiminde çözüm aradığı ve YÜ'nin uygulanması gerekliliğini ortaya koyan en önemli riskler olarak ortaya çıkar. Müşteri siparişlerindeki dalgalanmalar, yüksek işçilik maliyetleri ve kısa üretim maliyetleri üretim sürecinin değiştirme ve iyileştirme potansiyeli düşük faktörleri olduğu için YÜ uygulamaları için öncelikli faktörler olarak tanımlanmazlar. Bu risk faktörlerine

dayanarak oluşturulan örnek vaka çalışması gerçek tesis ve değerlendirmeler ile gerçekleştirilir. Risk faktörlerine dayalı AT-2 bulanık hesaplamaları ile Tesis1, Tesis2 ve Tesis3 YÜ gerekliliklerine göre sıralanır ve Tesis1 YÜ uygulanması gereken öncelikli tesis olarak belirlenir. Gelecek çalışmalarda başvuru yöntemin farklı sektörlerde farklı risk faktörleri ile uygulanması önerilir. Ayrıca seramik üretiminde YÜ'nün çözüm aradığı risk faktörleri genişletilerek bulanık temelli AHP, ELECTRE, TOPSIS ve CODAS gibi karar verme ve sıralama yöntemleri ile en uygun tesis seçimi çalışmaları yapılabilir.

Teşekkür

Çalışmamızın geliştirilmesinde veri sağlama ve değerlendirmeleri ile katkıda bulunan seramik fabrikası yönetimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Veysel ÇOBAN, problem tanımlaması ve yöntem önerisi, literatür taraması, uygulama metotlarının araştırılması ve tanıtılması, uygulama çalışmasının oluşturulması ve çözümlenmesi konularında; Güngör ÇAKIR, literatür taraması ve faktörlerin tanımlanması, anket çalışması ve veri düzenleme, uygulama çalışmasının oluşturulması ve hesaplama konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Adalı, M. R. ve Erdem, H. (2017). Isıtma soğutma sistemleri üreten bir fabrikada yalın üretim araçları kullanılarak montaj hattı dengelenmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 28(2), 19-32. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/endustrimuhendisligi>
- Apak, S. (2022). Pandemi döneminde yalın üretim uygulamalarının önceliklendirilmesi: Otomotiv parçası üreticileri örneği. *Endüstri Mühendisliği (TMMOB)*, 33(1), 62-74. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/endustrimuhendisligi>
- Atmaca, E., Bulut, İ. ve Kalender, Y. (2023). Süreç iyileştirme: hizmet sektöründe bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(1), 1-16. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cuiibfd>

- Ayyildiz, E., Taskin Gumus, A. ve Erkan, M. (2020). Individual credit ranking by an integrated interval type-2 trapezoidal fuzzy Electre methodology. *Soft Computing*, 24, 16149-16163. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-020-04929-1>
- Bai, C., Satir, A., ve Sarkis, J. (2019). Investing in lean manufacturing practices: An environmental and operational perspective. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1037-1051. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1498986>
- Basu, P., Chatterjee, D., Ghosh, I., ve Dan, P. K. (2021). Lean manufacturing implementation and performance: The role of economic volatility in an emerging economy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(6), 1188-1223. Doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2019-0455>
- Başak, E. E., Yılmaz, İ. S. ve Deniz, N. (2019). Endüstriyel ürün imalatı yapan bir işletmede yalın üretim uygulaması. *Endüstri Mühendisliği*, 30(3), 157-172. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/endustrimuhendisligi>
- Becker, R. M. (1998). Lean manufacturing and the Toyota production system. *Encyclopedia of world biography*. Erişim adresi: <http://vietnamsupplychain.com/>
- Bhadu, J., Singh, D. ve Bhamu, J. (2022). Analysis of lean implementation barriers in Indian ceramic industries: Modeling through an interpretive ranking process. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(8), 3606-3635. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2020-0540>
- Bhalaji, R., Bathrinath, S. ve Saravanasankar, S. (2021). A Fuzzy VIKOR method to analyze the risks in lean manufacturing implementation. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1294-1299. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.123>
- Brauers, W. K., ve Zavadskas, E. K. (2009). Robustness of the multi-objective MOORA method with a test for the facilities sector. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(2), 352-375. Doi: <https://doi.org/10.3846/1392-8619.2009.15.352-375>
- Brauers, W. K. M. (2013). Multi-objective seaport planning by MOORA decision making. *Annals of Operations Research*, 206, 39-58. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1314-7>
- Castillo, O., Amador-Angulo, L., Castro, J. R. ve Garcia-Valdez, M. (2016). A comparative study of type-1 fuzzy logic systems, interval type-2 fuzzy logic systems and generalized type-2 fuzzy logic systems in control problems. *Information Sciences*, 354, 257-274. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.03.026>

- Chan, S. W., Ismail, F., Ahmad, M., Zaman, I. ve Lim, H. Q. (2019). Factors and barriers influencing Lean Production System adoption in manufacturing industries. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(2), 939-946. Erişim adresi: <http://excelingtech.co.uk/>
- Chen, P.-K., Lujan-Blanco, I., Fortuny-Santos, J., ve Ruiz-de-Arbulo-López, P. (2020). Lean manufacturing and environmental sustainability: The effects of employee involvement, stakeholder pressure and ISO 14001. *Sustainability*, 12(18), 7258. Doi: <https://doi.org/10.3390/su12187258>
- Dora, M., Kumar, M. ve Gellynck, X. (2016). Determinants and barriers to lean implementation in food-processing SMEs—a multiple case analysis. *Production Planning & Control*, 27(1), 1-23. Doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1050477>
- Ecer, F. (2022). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: a case study of a home appliance manufacturer. *Operational Research*, 22(1), 199-233. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00552-y>
- Ghorabae, M. K. (2016). Developing an MCDM method for robot selection with interval type-2 fuzzy sets. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 37, 221-232. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.04.007>
- Golec, A., ve Kahya, E. (2007). A fuzzy model for competency-based employee evaluation and selection. *Computers and Industrial Engineering*, 52(1), 143-161. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.11.004>
- Jadhav, J. R., Mantha, S. S. ve Rane, S. B. (2014). Exploring barriers in lean implementation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(2), 122-148. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2012-0014>
- Jing, S., Tang, Y. ve Yan, J. (2018). The application of fuzzy VIKOR for the design scheme selection in lean management. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1155/2018/9253643>
- Kahraman, C., Öztayşi, B., Sarı, İ. U. ve Turanoğlu, E. (2014). Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*, 59, 48-57. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.02.001>
- Kalyar, M. N., Shafique, I., ve Abid, A. (2019). Role of lean manufacturing and environmental management practices in eliciting environmental and financial performance: The contingent effect of institutional pressures. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 24967-24978. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05729-3>
- Ghorabae, K. M., Amiri, M., Salehi Sadaghiani, J., ve Hassani Goodarzi, G. (2014). Multiple criteria group decision-making for supplier selection based on COPRAS method with interval type-2 fuzzy sets. *The International Journal of*

Advanced Manufacturing Technology, 75, 1115-1130. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6142-7>

- Keykavoussi, A., ve Ebrahimi, A. (2020). Using fuzzy cost-time profile for effective implementation of lean programmes; SAIPA automotive manufacturer, case study. *Total Quality Management and Business Excellence*, 31(13-14), 1519-1543. Doi: <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1490639>
- Lopez, L. M., Ishizaka, A., Qin, J., ve Alvarez-Carrillo, P. A. (2023). *Multi-Criteria Decision-Making Sorting Methods: Applications to Real-World Problems*. Academic Press.
- Maghsoodi, A. I., Rasoulipannah, H., López, L. M., Liao, H., ve Zavadskas, E. K. (2020). Integrating interval-valued multi-granular 2-tuple linguistic BWM-CODAS approach with target-based attributes: Site selection for a construction project. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106147. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106147>
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Govindan, K., Amat Senin, A. ve Jusoh, A. (2016). VIKOR technique: A systematic review of the state of the art literature on methodologies and applications. *Sustainability*, 8(1), 37. Doi: <https://doi.org/10.3390/su8010037>
- Marodin, G. A. ve Saurin, T. A. (2015). Classification and relationships between risks that affect lean production implementation: A study in Southern Brazil. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26(1), 57-79. Doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2012-0113>
- Marodin, G., Frank, A. G., Tortorella, G. L., ve Netland, T. (2018). Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects. *International Journal of Production Economics*, 203, 301-310. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.009>
- Mendel, J. M. (2007). Computing with words: Zadeh, turing, popper and occam. *IEEE computational intelligence magazine*, 2(4), 10-17. Doi: <https://doi.org/10.1109/MCI.2007.9066897>
- Mendel, J. M. ve John, R. B. (2002). Type-2 fuzzy sets made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(2), 117-127. Doi: <https://doi.org/10.1109/91.995115>
- Ndahi, H. B. (2006). Lean manufacturing in a global and competitive market. *Technology and Engineering Teacher*, 66(3), 14. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/>
- Nordin, N., Md Deros, B. ve Abd Wahab, D. (2010). A survey on lean manufacturing implementation in Malaysian automotive industry. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(4), 374-380. Erişim adresi: <http://www.ijimt.org/>

- Ohno, T. (1988). Toyota production system: Beyond large-scale production. CRC Press. Erişim adresi: <http://www.taylorfrancis.com>
- Opricovic, S. (1998). *Multicriteria optimization of civil engineering systems*. Faculty of civil engineering, Belgrade, 2(1), 5-21.
- Ovali, S. (2014). Küresel rekabet gücü açısından Türkiye'nin konumu üzerine bir değerlendirme. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 13, 17-36. Doi: <https://doi.org/10.18092/ijeas.58881>
- Özmez, D. (2006). Bir Üretim Organizasyonu Olarak Yalın Üretim Sistemi (Doctoral dissertation, *Bursa Uludağ University* (Turkey)). Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11452/9214>
- Panwar, A., Jain, R., ve Rathore, A. (2015). Lean implementation in Indian process industries—some empirical evidence. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26(1), 131-160. Doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2013-0049>
- Prabowo, H. A., ve Adesta, E. Y. T. (2017). A study of total productive maintenance (TPM) and lean manufacturing tools and their impact on manufacturing performance. *Economics*, 1990, 1. Erişim adresi: <https://www.ijrte.org>
- Qin, J., Liu, X. ve Pedrycz, W. (2015). An extended VIKOR method based on prospect theory for multiple attribute decision making under interval type-2 fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, 86, 116-130. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.05.025>
- Ramadas, T., Satish, K., ve Mathew, K. A. (2018). A model to identify the factors of supplier communication and financial availability to support the lean manufacturing implementation in small and medium scale enterprises. *International Journal of Services and Operations Management*, 31(4), 480-493. Doi: <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2018.096169>
- Rubio, E., Castillo, O., Valdez, F., Melin, P., Gonzalez, C. I. ve Martinez, G. (2017). An extension of the fuzzy possibilistic clustering algorithm using type-2 fuzzy logic techniques. *Advances in Fuzzy Systems*, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.05.025>
- Sahoo, S. (2020). Assessing lean implementation and benefits within Indian automotive component manufacturing SMEs. *Benchmarking: An International Journal*, 27(3), 1042-1084. Doi: <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2019-0299>
- Salentijn, W., Beijer, S., ve Antony, J. (2021). Exploring the dark side of Lean: A systematic review of the lean factors that influence social outcomes. *The TQM Journal*, 33(6), 1469-1483. Doi: <https://doi.org/10.1108/TQM-09-2020-0218>
- Samuel, D., Found, P. ve Williams, S. J. (2015). How did the publication of the book *The Machine That Changed The World* change management thinking? Exploring 25 years of lean literature. *International Journal of Operations &*

Production Management, 35(10), 1386-1407. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2013-0555>

Shah, R., ve Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2), 129-149. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)

Singh, J., Singh, H., ve Singh, G. (2018). Productivity improvement using lean manufacturing in manufacturing industry of Northern India: A case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(8), 1394-1415. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2017-0037>

Singh Sangwan, K., Bhamu, J. ve Mehta, D. (2014). Development of lean manufacturing implementation drivers for Indian ceramic industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(5), 569-587. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2013-0105>

Tian, Y., Song, S., Zhou, D., Pang, S., Wei, C. (2023). Canonical triangular interval type-2 fuzzy set linguistic distribution assessment TODIM approach: A case study of FMEA for electric vehicles DC charging piles. *Expert Systems with Applications*, 223, 119826. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119826>

Tikici, M., Aksoy, A. ve Derin, N. (2006). Toplam Kalite Yönetiminin Radikal Unsurlarından Birisi Olarak Yalın Yönetim. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(15), 20-33. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/esosder>

Tortorella, G. L., de Castro Fettermann, D., Frank, A. ve Marodin, G. (2018). Lean manufacturing implementation: Leadership styles and contextual variables. *International Journal of Operations & Production Management*. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2016-0453>

Tu, Q., Vonderembse, M. A., Ragu-Nathan, T., ve Sharkey, T. W. (2006). Absorptive capacity: Enhancing the assimilation of time-based manufacturing practices. *Journal of Operations Management*, 24(5), 692-710. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.05.004>

Widiasih, W., Karningsih, P. D. ve Ciptomulyono, U. (2015). Development of integrated model for managing risk in lean manufacturing implementation: A case study in an Indonesian manufacturing company. *Procedia Manufacturing*, 4, 282-290. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.042>

Wu, D. ve Mendel, J. M. (2007). Uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets. *Information Sciences*, 177(23), 5378-5393. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.07.012>

Xu, Z. S. (2004). A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations. *Information Sciences*, 166(1-4), 19-30. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2003.10.006>

- Yalçın, S. E., Selin, A., ELMAS, B., Murat, E. ve Gündüz, T. (2020). Çelik boru imalatında hazırlık sürelerine yönelik yalın üretim ve SMED çalışması. Endüstri Mühendisliği, 31(1), 87-104. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/endustrimuhendisligi>
- Yıldız, A., Deveci, M. (2013). Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci/Based on Fuzzy VIKOR Approach to Personnel Selection Process. Ege Akademik Bakis, 13(4), 427. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/eab>
- Zadeh, L. A. ve Aliev, R. A. (2018). Fuzzy logic theory and applications: Part I and part II. World Scientific Publishing. Erişim adresi: <https://www.worldscientific.com/>
- Zhang, Z., Zhang, S. (2013). A novel approach to multi attribute group decision making based on trapezoidal interval type-2 fuzzy soft sets. Applied Mathematical Modelling, 37(7), 4948-4971. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.10.006>