

ŞANTİYELERİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK DÜZEYLERİNE GÖRE KEMIRA-M YÖNTEMİ İLE SIRALANMASI

Pelin TOKTAŞ^{1*}, Gülin Feryal CAN²

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
e-posta : ptoktas@baskent.edu.tr, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-6622-4646>

²Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
e-posta : gfcan@baskent.edu.tr, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7275-2012>

ŞANTİYELERİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK DÜZEYLERİNE GÖRE KEMIRA-M YÖNTEMİ İLE SIRALANMASI

Anahtar Kelimeler	Öz
KEMIRA-M Kalite Fonksiyon Yayılımı Risk Değerlendirme İş Sağlığı ve Güvenliği	<i>İnşaat sektörü diğer sektörler ile karşılaştırıldığında iş kazalarının yaşanma sıklığı ve bu kazaların sonuçlarının ağırlığı açısından ilk sırada yer almaktadır. Bu nedenle şantiyelerde iş sağlığı ve güvenliği açısından risk düzeyinin belirlenerek bu düzeyin düşürülmesi önem taşımaktadır. Risk düzeyi belirlenirken birçok faktörün gerçek değerleri ile dikkate alınması, uzman görüşlerinden faydalanılması ve risk faktörlerinin olası riskler ile ilişkileri büyük önem taşımaktadır. Büyük ölçekli inşaat firmaları açısından düşünüldüğünde ise birden fazla şantiye için risk düzeyi açısından önceliklendirmenin yapılması ve önleme çabalarının en riskli şantiyeye odaklanması firma açısından fayda sağlayacaktır. Bu kapsamda çalışmada, nitel ve nicel kriterlerle çalışabilen ve aynı zamanda uzmanların görüşlerini de dikkate alan çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan KEMIRA-M (Modified KEmeny Median Indicator Ranks Accordance) yöntemi şantiyelerin risk düzeyi açısından sıralamalarının yapılması amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada, kriterler sayısal göstergeler ve tedbir göstergeleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Ortalama iş kazası sayısı, ölen işçi sayısı, sürekli iş göremezlik sayısı, meslek hastalığı, yaralanan işçi sayısı ve ortalama kayıp süre sayısal göstergeleri oluştururken ortalama iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinde harcanan süre, ortalama iş sağlığı ve güvenliği eğitimi alan işçi sayısı, ortalama iş sağlığı ve güvenliği denetimi sayısı, ortalama deneyim süresi ve ortalama çalışan sayısı tedbir göstergelerini oluşturmaktadır. Söz konusu kriterlerin ve 4 iş sağlığı ve güvenliği uzmanının değerlendirmelerinin dikkate alınmasıyla bir inşaat firmasının 9 farklı şantiyesi sıralanmıştır. Kriterlerin uzmanlar tarafından önem sıralamaları belirlenirken, şantiyelerde yaşanabilecek risk türleri açısından kriterlerin yaratabilecekleri etkilerin de değerlendirmeye alınması amacıyla kalite yayılım fonksiyonu (Quality Function Deployment-QFD)'dan yararlanılmıştır. Çalışma, iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarına karar verme sürecinde destek olabilecek bir nitelik taşımaktadır.</i>

RANKING OF CONSTRUCTION SITES ACCORDING TO RISK LEVELS IN TERMS OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY WITH KEMIRA-M METHOD

Keywords	Abstract
KEMIRA-M Quality Function Deployment Risk Assessment Occupational Health and Safety	<i>The construction sector is the first rank in terms of the frequency of occupational accidents and the severity of the consequences of these accidents when it compared to other sectors. Therefore, determining the level of risk in terms of occupational health and safety in construction sites is important to reduce this level. When determining the level of risk, it is important to take into account the real values of many factors, to benefit from expert opinions and to correlate risk factors with potential risks. For large-scale construction companies, prioritization in terms of risk level for multiple construction sites and focusing on the most risky construction site will provide benefit for the company. In this study, the KEMIRA-M method is used to rank the construction sites in terms of risk levels. This method is one of the multi-criteria decision-making methods that can work with qualitative and quantitative criteria and take into account the opinions of experts. In the study, the criteria are divided into two groups</i>

* Sorumlu yazar; Tel : 0.312.246 66 64 / 1233

as numerical indicators and measure indicators. While the average number of occupational accidents, number of deaths, number of continuous disabilities, occupational diseases, number of injured workers and mean lost time constitute numerical indicators, and time spent in average occupational health and safety training, the number of workers getting occupational health and safety training, the number of occupational health and safety inspections, average experience time and average number of employees constitute the measure indicators. Nine construction sites of a company are ranked taking into account of risk levels and evaluations of 4 occupational health and safety experts. While determining the importance rankings of the criteria by the experts, the quality function deployment is utilized to evaluate the effects of the criteria in terms of the types of risks that may be experienced in the construction sites. The study has a qualification to support occupational health and safety experts in the decision-making process.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 08.11.2018

Submission Date : 08.11.2018

Kabul Tarihi : 15.11.2018

Accepted Date : 15.11.2018

1. Giriş

Ülkemizde iş kazaları ve meslek hastalıklarının en yoğun olarak yaşandığı sektörlerden birisi inşaat sektörüdür. Bunun en önemli nedeni inşaat sektörünün kendine özgü çalışma koşulları olmasıdır. Bu sektörde farklı inşaat projeleri gerçekleştirilmekte ve her projenin çalışma koşulları bir diğerinden farklılık göstermektedir. Çalışma koşulları farklılaştıkça çalışanlar, farklı risk türleri ile karşı karşıya kalmaktadırlar (Baradan, 2006). Bununla birlikte inşaat sektöründe gerçekleştirilen projelerde çok sayıda işçi çalışmakta ve bu işçiler genelde geçici işgücünü oluşturmaktadırlar. Çalışanların sık değişimi söz konusu olmakta ve bu durum da işçi eğitimini güçleştirmektedir. Ayrıca işçiler uzun çalışma saatleri boyunca gün içerisinde çalışmakta ya da çalışma saatleri düzensiz olmaktadır. Bütün bu faktörler inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine engel olmaktadır. Bu kapsamda inşaat sektörü yüksek riskli bir çalışma alanı haline gelmektedir (Ercan, 2010).

Ancak söz konusu durumu kabullenmeyip gereken önlemlerin alınması insan sağlığının tehlikeye atılmaması açısından önem taşımaktadır. Risk düzeyini mümkün olan en az seviyeye indirmek için devlet, işveren ve işçilere düşen bir takım görevler vardır. Devlet, inşaat sahalarını sık aralıklarla denetlemeli ve kural dışı bir durumla karşılaşıldığında caydırıcı yaptırımlar uygulamalıdır. İşveren ise, işçilerin güvenlik kurallarına uyup uymadığını sürekli kontrol etmeli, gerekli koruyucu materyalleri kullanıp kullanmadıklarını denetlemeli ve işçileri bu konuda bilinçlendirmek için gerekli eğitimleri vermelidir. Ayrıca işveren tarafından inşaat sahalarında iş güvenliği uzmanları çalıştırılmalıdır. İşçilerin yükümlülükleri açısından bakıldığında ise alınan eğitimlerde öğretilen kuralları ve iş yapış tarzlarını benimsemeli, işveren tarafından sağlanan kişisel koruyucu donanım gibi her türlü imkânı kullanmalı ve tehlikeli bir durumu fark ettiklerinde hemen iş güvenliği uzmanına

bildirmeliler (Ercan, 2010). Ancak devlet, işveren ve işçi arasındaki iş birliği ile sektördeki kazalar azaltılabilecektir.

İnşaat sektöründeki iş kazalarının en olumsuz özelliği ölümlerle sonuçlanan kaza oranının fazla olmasıdır. Ülkemizdeki tüm iş kazalarının % 1,6 sı ölümlerle sonuçlanırken inşaat sektöründeki iş kazalarının % 4,7'si ölümlerle sonuçlanmaktadır. Bununla birlikte Türkiye'deki tüm iş kazalarının yaklaşık %8,7'si inşaat sektöründe meydana gelirken, sürekli iş göremezlikle sonuçlanan iş kazalarının %22'si, ölümlerle sonuçlanan iş kazalarının ise %26'sı inşaat sektöründe meydana gelmektedir.

İnşaat sektöründe en çok yaşanan kazalar arasında insan düşmesi önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle de işçinin ölümüne yol açabilecek bir kaza olması nedeniyle üzerinde durulmalıdır. Bunun dışında, elektrik çarpması, malzeme düşmesi, yapı makinesi kazaları ve kazı kenarının çökmesi, şantiye içi trafik kazaları ve kazı kenarının göçmesi kazaları da sıklıkla karşılaşılan riskler arasındadır. Şantiye sahası içinde araç devrilmesi, çalışanlara çarpması, ezmesi gibi kazalar da şantiye içi trafik kazaları olarak bilinmektedir (Müngen ve Güranlı, 2005).

Çalışmada, inşaat sektöründe yer alan firmalara ait şantiyelerin risk değerlendirmesine yönelik yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Buradaki amaç, hangi şantiyenin iş sağlığı ve güvenliği açısından en yüksek riske sahip olduğunu belirlemek ve önlem önceliğini ilgili şantiyeye vermektir. Aynı firmaya bağlı olsalar da her şantiyenin çalışma koşulları, çalışan işçilerin profili farklıdır ve bu durum risk düzeyi açısından da farklılığı beraberinde getirmektedir. Aynı firmaya ait birden fazla şantiye olabilmesi ve risk değerlendirme konusunda karar merci olarak farklı şantiyelerde görevlendirilen iş güvenliği uzmanlarının olması ve farklı risk kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmenin yapılması açısından problem çok kriterli karar verme (ÇKKV) yapısındadır. Burada, şantiyeler alternatifleri, iş güvenliği uzmanları karar vericileri, risk faktörleri ise kriterleri oluşturmaktadır.

Buna göre çalışmada, ÇKKV yöntemleri arasında yer alan Modified KEmeny Median Indicator Ranks Accordance (KEMIRA-M) yöntemi kullanılarak şantiyeler risk düzeylerine göre önceliklendirilmiştir. KEMIRA-M yeni nesil bir ÇKKV yaklaşımıdır ve bu açıdan detaylı bir analiz imkânı sağlayabilmektedir. KEMIRA-M yöntemi KEMIRA yönteminin geliştirilmiş versiyonudur. KEMIRA yöntemi 2014 yılında Krylovas vd. tarafından geliştirilmiştir. KEMIRA kriterleri nesnel-öznel, iç-diş gibi benzerliklerine göre iki gruba bölerek inceler. Öncelikle kriterlerden maliyet tipi olanların tersi alınarak fayda tipine çevrilir. Bu çalışmanın uygulama kısmında belirlenen maliyet tipi kriterlerin aldığı sayısal değerler arasında "0" değerine rastlandığı için maliyet ve fayda türü kriterler için iki farklı normalizasyon prosesi uygulanmıştır. KEMIRA yönteminde sadece en iyi iki, ilk %10 gibi belirli bir alternatif kitlesine odaklanılırken KEMIRA-M'de bütün alternatifler dikkate alınarak sıralanmaktadır. Bu çalışmada da şantiyelerin hepsi iş sağlığı ve güvenliği risk düzeyi açısından inceleneceği için KEMIRA-M yöntemi tercih edilmiştir. Bununla birlikte KEMIRA-M, KEMIRA'ya göre daha kolay bir matematiksel prosedüre sahiptir. KEMIRA, ağırlıklı ortalamalar arasındaki farkın karesine odaklanırken KEMIRA mutlak farkı dikkate alarak ilerler.

KEMIRA-M, uzmanların görüşlerini, risk faktörlerinin nitel ve nicel değerlerini aynı anda dikkate alarak alternatiflerin sıralamasını yapabilen esnek bir yöntemdir. Kriter sayısı arttığında yine etkin bir karar sonucu elde edilebilir. Çünkü KEMIRA-M'de kriterler yapısal benzerliklerine göre gruplara ayrılarak incelenir. Bununla birlikte, KEMIRA-M'in en büyük dezavantajı kriter ağırlıklarının sübjektif bir şekilde bulunuyor olmasıdır. KEMIRA-M karar vericilere kriter önem ağırlıklarına ilişkin bir sıralama sağlar ve karar vericiler bu sıralamaya uyarak istedikleri ağırlık değerlerini kriterlere atayabilirler. Söz konusu sıralamaya medyan öncelikli bileşenler adı verilir.

KEMIRA-M yönteminde kriterlerin uzmanlar tarafından sıralanması istenir. Uzmanların sübjektif sıralamalarının alternatif sıralamalarını etkilediği bir gerçektir. Bu kapsamda çalışmada, söz konusu dezavantajı giderebilmek için Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment-QFD-KFY) yönteminden yararlanılmıştır. Buna göre inşaat sahalarında ortaya çıkabilecek riskler belirlenmiş ve risk kriterlerinin söz konusu risk türleri üzerindeki etkileri dikkate alınarak kriter sıralamaları elde edilmiştir. Bu kapsamda, risk türlerinin risk dereceleri Fine-Kinney metodu ile hesaplanmıştır. Böylece daha sistematik ve mantıklı bir kriter sıralama süreci önerilmiştir.

KFY ilk olarak 1972 yılında Japon Mitsubishi firması ile başlayıp, 1984'den sonra da ABD'de incelenen ve kullanılan ve bugün tüm dünyada kabul gören bir kalite tekniğidir. KFY, yeni bir ürün için, yeni bir servis için, mevcut bir ürün için, yatırım planlama için, proses yönetimi için ve politika yönetimi için de kullanılabilir (Güllü ve Ulcay, 2002). Bu çalışmada farklı bir alan olarak risk değerlendirmede kullanılmıştır. KFY'de amaçlanan, bir ürün veya hizmetin, müşteri ihtiyaçlarını tam olarak karşılayabilmesi için sahip olması gereken tüm teknik özelliklerinin değerinin tanımlanması ve öneminin belirlenmesidir (Delice ve Güngör, 2008). Çalışmada ise risk türleri üzerinde en çok etkisi olan risk kriterinin belirlenmesinde ve kriterlere ait sıralamalarının elde edilmesinde kullanılmıştır.

Çalışma risk değerlendirme sürecine ÇKKV ile yeni bir bakış açısının kazandırılması, bu süreçte KEMIRA-M ve KFY yöntemlerinin kullanılması açısından literatüre katkı sağlayabilecek niteliktedir. Ayrıca yapılan literatür araştırmasında da KEMIRA-M ve KFY'nin entegre edildiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışma orjinallik içeren ve iş güvenliği uzmanlarına karar sürecinde destek olabilecek bir nitelik taşımaktadır.

Çalışmanın diğer bölümlerinin organizasyonu ise şu şekildedir: İkinci bölümde KEMIRA-M ile ilgili bilimsel yazın taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen yaklaşımdan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde uygulamaya yer verilmiş, beşinci bölümde elde edilen sonuçlar açıklanmış ve altıncı bölümde tartışma sunulmuştur.

2. Bilimsel Yazın Taraması

KEMIRA ve KEMIRA-M ile gerçekleştirilen literatürdeki çalışmalara bakıldığında zaman sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalara aşağıda değinilmiştir. Krylovas vd. (2015) tarafından atık geri dönüşüm tesisi için yer seçimi probleminde KEMIRA yöntemi kullanılmıştır. KEMIRA-M'den elde edilen sonuçlar Bulanık Ekleme Oran Analizi (Fuzzy Additive Ratio Assessment-ARAS-F) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (Fuzzy Analytic Hierarchy Proces-F-AHP) ile karşılaştırılmıştır. Krylovas vd. (2016), entropi yöntemi ile KEMIRA yöntemini entegre ederek üç farklı kriter grubu için uygulamışlardır. Krylovas vd. (2016) Modifiye Edilmiş KEMIRA (Modified KEMIRA-KEMIRA-M) yönteminin geliştirmişlerdir. Vilnius'taki tehlikeli olmayan atık yakma tesisi konum seçimi probleminde kullanmışlardır. Araştırmacılar KEMIRA-M'nin birkaç alt kriter kümesi olduğunda kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca, her kriter kümesindeki kriter

sayısının yöntemin hassas sonuçlar üretebilmesi açısından az olmasında fayda olduğunu belirtmişlerdir. Az sayıda kriterden oluşan kriter kümelerinin karar vericiye değerlendirmede zaman tasarrufu sağlayacağını öne sürmüşler ve daha kolay bir değerlendirme sürecinin ortaya çıkacağını belirtmişlerdir. Krylovas vd. (2016) oylama teorisindeki yaklaşımları kullanarak KEMIRA türü yöntemlerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Doğru kararların olasılık değerlerini elde etmek için Monte Carlo simülasyonunu kullanmışlardır. Sonuç olarak, doğru kararların en yüksek yüzdesi ve başarısız oylama prosedürünün en düşük yüzdesi Kemeny Medyan'a dayanan yöntemlerden elde edilmiştir. KEMIRA yöntemi de Kemeny Medyan yaklaşımını kullanan yöntemlerden birisidir. Krylovas vd. (2017) tarafından farklı hayat hedefleri olan öğrencilerin sıralanmasında Entropi ve KEMIRA entegrasyonunu kullanmışlardır. Çalışmada hedefler üç ana kriter grubuna ayrılarak incelenmiştir. Kriterlere ilişkin bilgilerin yeterli olmadığı durumları modelleyebilmek için Entropi yöntemi kullanılmıştır. Sarıçalı and Kundakçı (2017), bir tekstil firmasında kullanılmak üzere forklift seçimi probleminde KEMIRA-M yöntemini uygulamışlardır. Kosareva vd. (2016), tarafından KEMIRA yöntemi kullanılarak güvenlik elemanı alımı için personel seçim problemi ele alınmıştır. 12 güvenlik görevlisi alternatifi, belirlenen kriterler altında KEMIRA yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Literatürde KFY kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmada sadece son 2 yılda yapılan araştırmalara özetle yer verilmiştir. Vanany vd. (2018) tarafından helal et üretim sürecindeki anahtar proseslerin önceliklendirilmesinde KFY kullanılmıştır. Babbar ve Amin (2018) tedarikçi seçim probleminde tedarikçilerin ağırlıklandırılması aşamasında Bulanık KFY yöntemini kullanmışlardır. Problemin sipariş tahsis kısmında ise stokastik çok amaçlı programlamayı uygulamışlardır. Önerilen yaklaşımın uygulamasını içecek sektöründe gerçekleştirmişlerdir. Wagner vd. (2018) yüksek eğitim kurumlarında verilen hizmetin kalitesini Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process-AHP) yöntemi ile SEVQUAL ve KFY'yi entegre ederek değerlendirmişlerdir. Yazdani vd. (2017) KFY'yi kullanarak çevresel performans kriterlerini dikkate alarak yeşil tedarik seçimi problemini çözmüşlerdir. Tavana vd. (2017) KFY ve Analitik Ağ Prosesi (Analytical Network Process-ANP) kullanarak sürdürülebilir tedarikçi seçimi problemini ele almışlardır. Hsu vd. (2017) küçük ve orta ölçekli firmaların sürdürülebilirliği üzerinde etkisi olan anahtar faktörlerin belirlenmesinde KFY, Bulanık Genişletilmiş AHP, Bulanık Delphi, Bulanık

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) tekniklerini kullanmışlardır. Wu vd. (2018) hastanelerdeki müşteri memnuniyetini değerlendirmek, hizmet hatalarını belirlemek için KFY ve ANP yöntemlerini uygulamışlardır. Chen vd. (2018) tarafından Çin'deki restoranlarda sağlıklı hızlı yemeğin yapılabilmesi için nelere dikkat edilmesi gerektiğini Kano Modeli ve KFY'nı kullanarak belirlemişlerdir. Efe vd. (2017) tarafından KFY ve bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımı ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için önerilmiştir. Gergin vd. (2018) tarafından taşınabilir şarj cihazlarına yönelik marka algısının artırılması için KFY'nı uygulamışlardır.

Liteartür araştırmasından da görüldüğü gibi KEMIRA-M yöntemi risk değerlendirme alanında kullanılmamış ve KFY ile birleştirilerek kriter sıralama sürecine ilişkin bir ilerleme sağlanamamıştır. Gerçekleştirilen çalışmada söz konusu süreç daha etkin hale getirilmeye çalışılmıştır.

3. Yöntem

3.1 Önerilen Risk Değerlendirme Yöntemi

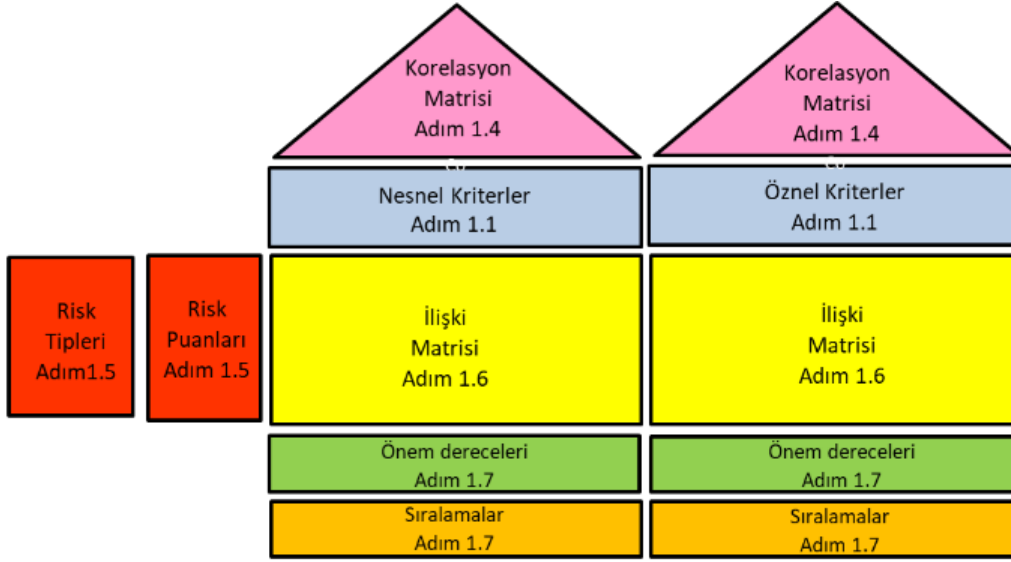
Bu çalışma, risk değerlendirmesi için iki aşamadan oluşan bir ÇKKV yaklaşımı önermektedir. Önerilen yaklaşımda KEMIRA-M ve QFD yaklaşımları hibritleştirilmiştir. KFY, KEMIRA-M yönteminin kriter ağırlıklarının belirleme aşamasında kullanılmıştır. Önerilen yöntemin aşamaları ve adımları aşağıda verilmiştir:

Birinci Aşama: Kriter önceliklerinin KFY ile belirlenmesi

Bu aşamada KFY ile kriter önceliklerinin sıralanmasında izlenecek adımlar Şekil 1'de verilmiştir.

Adım 1.1. Alternatifleri, kriter setlerini ve karar vericileri tanımla.

Risk değerlendirmesi yapılacak olan işyerleri alternatifler $A_k, k = 1, 2, \dots, K$ olarak belirlenir. Bu işyerleri, inşaat sahaları, fabrikalar, depolama alanları vs. olabileceği için algoritmada "iş yeri" olarak genel bir tanım kullanılmıştır. KEMIRA-M yöntemi gereği kriterler nesnel kriter seti $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_I\}$ ve öznel kriter seti $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_J\}$ olmak üzere iki gruba ayrılır. Kriterler alternatiflerin iş sağlığı ve güvenliği kayıtlarından seçilir. Bununla birlikte, işyerlerinde çalışan iş güvenliği uzmanları karar vericileri $U_l, l = 1, 2, \dots, L$ oluşturmaktadır.



Şekil 1. KFY ile Kriter Önceliklerinin Sıralanması Adımları

Adım 1.2. Başlangıç karar matrisini oluştur.

Başlangıç karar matrisi $[B] = [B_X : B_Y]$, Eşitlik (1)'de verilmiştir:

$$[B] = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1i} & \dots & x_{1I} & y_{11} & \dots & y_{1j} & \dots & y_{1J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & \dots & x_{ki} & \dots & x_{kI} & y_{k1} & \dots & y_{kj} & \dots & y_{kJ} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{K1} & \dots & x_{Ki} & \dots & x_{KI} & y_{K1} & \dots & y_{Kj} & \dots & y_{KJ} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada, B_X nesnel kriterler için başlangıç karar matrisini; B_Y de öznel kriterler için başlangıç karar matrisini göstermektedir. B_X matrisinin elemanları $x_{ki}, i = 1, 2, \dots, I, k = 1, 2, \dots, K$, k . alternatif için i . nesnel kriterin değerini gösterir. Benzer şekilde, B_Y matrisinin elemanları $y_{kj}, j = 1, 2, \dots, J$ ise, k . alternatif için j . öznel kriterin değerini gösterir.

Adım 1.3. Başlangıç karar matrisini normalize et.

Normalize matris $[V] = [V_X : V_Y]$, nesnel kriterler için normalize matris V_X ve öznel kriterler için normalize matris V_Y 'den oluşmaktadır. Belirlenen nesnel kriterlerden "fayda tipi" olanlar için Eşitlik (2)'deki dönüşüm, "maliyet tipi" olanlar için de Eşitlik (3)'teki dönüşüm kullanılır.

$$(x_i^{(k)})' = \frac{x_i^{(k)} - (x_i^{(k)})_{min}}{(x_i^{(k)})_{maks} - (x_i^{(k)})_{min}} \quad (2)$$

$$(x_i^{(k)})' = \frac{x_i^{(k)} - (x_i^{(k)})_{maks}}{(x_i^{(k)})_{min} - (x_i^{(k)})_{maks}} \quad (3)$$

Eşitlik(2) ve (3)'te, k . alternatif için i . nesnel kriterin normalize değerleri $(x_i^{(k)})'$, $i = 1, 2, \dots, I, k = 1, 2, \dots, K$ ile gösterilmektedir. Öznel kriterlerin normalize matrisi V_Y 'nin elemanlarını oluşturan k . alternatif için j . öznel kriterin normalize değerleri $(y_j^{(k)})'$, $j = 1, 2, \dots, J, k = 1, 2, \dots, K$ benzer şekilde hesaplanır.

Adım 1.4. Kriterler arası korelasyon matrisini oluştur.

Kalite fonksiyon yayılımı kullanarak kriterlerin sıralamasını yaparken üçgen biçimindeki korelasyon matrisi, kriterlerin kendi aralarındaki ilişkileri göstermek için kullanılır. KEMIRA-M yönteminde iki farklı kriter grubu kendi içerisinde değerlendirildiğinden KFY'de çift çatılı bir yapı oluşturulur (Şekil 1). Korelasyon matrislerinde ilişkileri tanımlamak için $+$ ve $-$ sembollerinden yararlanılmıştır. Eğer iki kriter arasında pozitif ilişki varsa $+$, negatif ilişki varsa $-$ sembolü kullanılır.

Adım 1.5. Mevcut riskleri belirle ve her bir uzman tarafından belirlenen risk değerlendirme tablolarını oluştur.

İşyerlerinde ortaya çıkabilecek risk türleri belirlendikten sonra her bir uzmandan risk derecelendirmesi yapılması istenir. Fine-Kinney metoduna göre yapılan değerlendirmede, belirlenen D

tane risk tipinin her birinin ortaya çıkma olasılığı ($O_d, d = 1,2, \dots, D$), sıklığı ($F_d, d = 1,2, \dots, D$) ve ortaya çıktığı durumda şiddeti ($S_d, d = 1,2, \dots, D$) puanlanır. Risk dereceleri ($R_d, d = 1,2, \dots, D$) Eşitlik (4)'te verildiği gibi hesaplanır.

$$R_d = O_d \times F_d \times S_d, \quad d = 1,2, \dots, D \quad (4)$$

Uzmanlar risk derecelerini hesaplarlarken, risk türlerini puanlandırmak için Tablo 1'deki olasılık, sıklık ve şiddet skalalarını kullanırlar.

Tablo 1. Risk Değerlendirme Skalası (Kinney, 1976)

Olasılık (O)		Sıklık (F)		Şiddet (S)	
0,2	Beklenmez	0,5	Çok Seyrek (Yılda bir ya da daha az)	1	Etki Yok
0,5	Beklenmez Fakat Mümkün	1	Seyrek (Yılda birkaç defa)	3	Küçük Hasar
1	Mümkün Fakat Düşük	2	Sık Değil (Ayda veya haftada birkaç defa)	7	Önemli Hasar
3	Olası	3	Arada Sırada (Haftada bir veya birkaç defa)	15	Kalıcı Hasar
6	Yüksek - Oldukça Mümkün	6	Sık (Günde bir veya birkaç defa)	40	Öldürücü Kaza
10	Beklenir - Kesin	10	Hemen Hemen Sürekli (Bir saatte birkaç defa)	100	Birden Fazla Ölümlü Kaza

Adım 1.6. Her bir uzman için kriterler ve risk türleri arasındaki ilişkiyi gösteren matrisi oluştur.

Önerilen bu yöntemde KFY kullanılmasındaki amaç, ilişki matrisi ile her bir risk türü ile kriterler arasındaki ilişkilerin de kriter sıralama sürecine dahil edilmesidir. Uzmanlarca belirlenen risk türleri ile kriterler arasındaki ilişkiler Tablo 2'de gösterildiği gibi sembollerle veya puanlamalarla ifade edilebilmektedir. Güçlü ilişki 9 puan, orta derecede ilişki 3 puan ve zayıf ilişki 1 puan değerine sahiptir. İlişki matrisinde herhangi bir derecelendirme puanı veya sembolü bulunmayan hücreler, risk türleriyle kriterler arasında ilişki olmayan durumları göstermektedir.

Tablo 2. Risk Türleri Ve Kriterler Arasındaki İlişki Puanları

İlişkinin gücü	Puan	Sembol
Güçlü ilişki	⑨	●
Orta derecede ilişki	③	⊙
Zayıf ilişki	①	△

Adım 1.7. Her bir uzmana ait kriterlerin önem derecelerini hesapla ve kriter önceliklerini belirle.

Her bir uzman tarafından oluşturulan KFY'de her bir nesnel kritere ait önem derecesi Eşitlik (5)'teki gibi hesaplanır:

$$S_{x_i}^{(l)} = \sum_{d=1}^D (R)_d^{(l)} \times (IP)_{x_{id}}, \quad i = 1,2, \dots, I \quad (5)$$

Eşitlik (5)'te, $S_{x_i}^l$, Nesnel kriterler için l . uzman tarafından belirlenen i . kriterin önem derecesini; R_d , $d = 1,2, \dots, D$, d . risk türüne ait risk derecesini ve $(IP)_{x_{id}}$ ise nesnel kriterler için i . kriter ile d . risk türünün ilişki puanını göstermektedir. Daha sonra $S_{x_i}^{(l)}, i = 1,2, \dots, I$ değerleri büyükten küçüğe sıralanarak kriterlerin sıralamaları elde edilir. Benzer şekilde, öznel kriterlerin de önem dereceleri hesaplanarak sıralamaları elde edilir.

İkinci Aşama: Alternatiflerin Sıralamalarının Belirlenmesi

Bu aşamada ise, KEMIRA-M yöntemine göre alternatiflerin sıralamalarının elde edilmesi anlatılacaktır. Burada, KEMIRA-M'nin sıralama prosedürü işletilmektedir.

Adım 2.1. Her bir uzman için kriterlere ait öncelik matrislerini oluştur.

Nesnel kriterlerin l . uzman tarafından KFY ile belirlenen öncelik sıralaması $x_{(1)}^{(l)} > x_{(2)}^{(l)} > \dots > x_{(i)}^{(l)} > \dots > x_{(l)}^{(l)}$ şeklinde verilsin. $x_{(i)}^{(l)}$ l . uzman için i . sırada yer alan nesnel kriter şeklinde tanımlanmaktadır. Nesnel kriterlere ait her bir uzman için oluşturulan öncelik matrisi $[P_X^{(l)}]_{I \times I}$

olmak üzere bu matrisin elemanları $(p_{it})^{(l)}$, $i = 1, 2, \dots, I, t = 1, 2, \dots, I$ Eşitlik (6)'daki gibi hesaplanır.

$$(p_{it})^{(l)} = \begin{cases} 0, & x_{(i)}^{(l)} < x_{(t)}^{(l)} \\ 1, & x_{(i)}^{(l)} > x_{(t)}^{(l)} \end{cases} \quad (6)$$

Benzer şekilde, öznel kriterler için her bir uzmana ait öncelik matrisleri $[P_Y^l]_{J \times J}$, $l = 1, 2, \dots, L$ de bulunur.

Adım 2.2. Öncelikler arasındaki uzaklıkları hesapla ve medyan bileşenleri önceliğini belirle.

Nesnel kriterler için her bir uzmana ait öncelikler arasındaki uzaklıklar $\rho_X^{(l)}$, $l = 1, 2, \dots, L$ Eşitlik (7)'deki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} \rho_X^{(1)} &= \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^I |(p_{it})^{(1)} - (p_{it})^{(l)}| \\ \rho_X^{(2)} &= \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^I |(p_{it})^{(2)} - (p_{it})^{(l)}| \\ &\vdots \\ \rho_X^{(L)} &= \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^I |(p_{it})^{(L)} - (p_{it})^{(l)}| \end{aligned} \quad (7)$$

Eşitlik (8)'i sağlayan uzman l^* 'ın öncelik sıralaması $x_{(1)}^{(l^*)} > x_{(2)}^{(l^*)} > \dots > x_{(I)}^{(l^*)}$ şeklinde verilir ve bu sıralama nesnel kriterler için medyan öncelikli bileşenler olarak adlandırılır.

$$\rho_X = \min\{\rho_X^{(1)}, \rho_X^{(2)}, \dots, \rho_X^{(L)}\} \quad (8)$$

Bu adımda gerçekleştirilen tüm hesaplamalar, öznel kriterler için de tekrarlanır.

Adım 2.3. Medyan öncelikli bileşenler sıralamasına uygun olarak kriterlerin ağırlık vektörlerini belirle.

Adım 2.2'de nesnel kriterler için belirlenen $x_{(1)}^{(l^*)} > x_{(2)}^{(l^*)} > \dots > x_{(i)}^{(l^*)} > \dots > x_{(I)}^{(l^*)}$ öncelik sıralamasına uygun olarak uzmanlar tarafından m tane $w_{x_{(1)}}^{(l)} \geq w_{x_{(2)}}^{(l)} \geq \dots \geq w_{x_{(i)}}^{(l)} \geq \dots \geq w_{x_{(I)}}^{(l)}$, $l = 1, 2, \dots, L$ sağlayan kriter ağırlık vektörleri sezgisel olarak belirlenir. Burada, $w_{x_{(i)}}^{(l)}$, l . uzman tarafından i . sırada yer alan nesnel kriter için belirlenen ağırlığı göstermektedir. Benzer şekilde, öznel kriterler için de $y_{(1)}^{(l^*)} > y_{(2)}^{(l^*)} >$

$\dots > y_{(j)}^{(l^*)} > \dots > y_{(I)}^{(l^*)}$ öncelik sıralamasına uygun olarak uzmanlar tarafından n tane $w_{y_{(1)}}^{(l)} \geq w_{y_{(2)}}^{(l)} \geq \dots \geq w_{y_{(j)}}^{(l)} \geq \dots \geq w_{y_{(I)}}^{(l)}$, $l = 1, 2, \dots, L$ sağlayan kriter ağırlık vektörleri sezgisel olarak belirlenir. Burada, $w_{y_{(j)}}^{(l)}$, l . uzman tarafından j . sırada yer alan öznel kriter için belirlenen ağırlığı göstermektedir.

Adım 2.4. Her bir ağırlık vektörü için alternatiflerin ağırlıklı normalize vektörlerini oluşturun.

Nesnel kriterler için alternatiflerin ağırlıklı normalize vektörleri $(v_X)_m$, $m = 1, 2, \dots, M$ Eşitlik (9)'daki gibi hesaplanır:

$$(v_X)_m = \begin{bmatrix} (v_{X_1})_m \\ (v_{X_2})_m \\ \vdots \\ (v_{X_K})_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^I (x_i^{(1)})' \cdot w_{x_i}^{(l)} \\ \sum_{i=1}^I (x_i^{(2)})' \cdot w_{x_i}^{(l)} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^I (x_i^{(K)})' \cdot w_{x_i}^{(l)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da $(v_{X_k})_m$, uzmanlar tarafından belirlenen m . ağırlıklı normalize vektör $(v_X)_m$ 'nin k . alternatif için değerini göstermektedir. Benzer şekilde, öznel kriterler için alternatiflerin ağırlıklı normalize vektörleri $(v_Y)_n$, $n = 1, 2, \dots, N$ hesaplanır.

Adım 2.5. Optimizasyon prosedürünü uygula.

Adım 2.4'ten elde edilen ağırlıklı normalize vektör elemanları farkları toplamı Eşitlik (10) ve Eşitlik (11) kullanılarak en küçüklenir.

$$F_{(m,n)} = \sum_{k=1}^K |(v_X)_{k_m} - (v_Y)_{k_n}| \quad (10)$$

$$F_{(m^*,n^*)} = \min_{\substack{m \in \{1,2,\dots,M\} \\ n \in \{1,2,\dots,N\}}} F_{(m,n)} \quad (11)$$

Nesnel ve öznel kriterler için Eşitlik (11)'i en küçükleyen ağırlık vektörleri $(w_X)_{m^*} = ((w_{x_1})_{m^*}, \dots, (w_{x_i})_{m^*}, \dots, (w_{x_I})_{m^*})'$ ve $(w_Y)_{n^*} = ((w_{y_1})_{n^*}, \dots, (w_{y_j})_{n^*}, \dots, (w_{y_J})_{n^*})'$ alternatifleri sıralamak üzere seçilir.

Adım 2.6. Alternatiflerin sıralamalarını bul.

Alternatif sıralamalarını bulmak için Eşitlik (12)'den yararlanılır.

$$F^* = (v_X)_{m^*} + (v_Y)_{n^*} \quad (12)$$

Burada m^* ve n^* için $(v_X)_{m^*}$ ve $(v_Y)_{n^*}$ vektörleri Adım 2.4'teki gibi hesaplanır.

F^* 'in elemanları $f_k, k = 1, 2, \dots, K$ Eşitlik(13)'teki hesaplama kullanılır.

$$f_k = (v_{X_k})_{m^*} + (v_{Y_k})_{n^*}, k = 1, 2, \dots, K \quad (13)$$

f_k değerleri arasında en büyük değeri sağlayan k değerine sahip alternatif en riskli alternatif (işyeri) olarak seçilir.

4. Uygulama

Önerilen yöntem, devlet iştiraki olan bir inşaat firmasının toplu konut projelerini gerçekleştirmek için Türkiye'nin farklı bölgelerinde kurmuş olduğu 9 şantiyenin risk düzeylerini değerlendirmek için uygulanmıştır.

Uygulamada öncelikle karar verici olarak belirlenen iş güvenliği uzmanları, şantiyelerde mevcut olan risk türlerini belirlemişlerdir. Daha sonra bireysel olarak her bir iş güvenliği uzmanı risk değerlendirmesi yapmıştır. Firmanın iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kayıtlarından uzmanlarla birlikte şantiyeleri sıralama kriterleri seçilmiştir. Risk türlerinin etkisini de göz önünde bulunduran kriter sıralaması elde edebilmek için, işgüvenliği uzmanlarından risk türleri ile kriterlerin ilişki matrisini oluşturması istenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığı altında şantiyelerin sıralanması için önerilen yöntemin aşamaları ve adımları aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Birinci Aşama Uygulamaları: Kriter Önceliklerinin KFY ile belirlenmesi

Adım 1.1. Alternatifleri, kriter setlerini ve karar vericileri tanımla.

Türkiye'nin farklı bölgelerinde kurmuş olduğu 9 şantiye (S_1, S_2, \dots, S_9), bu şantiyelerin İSG kayıtlarından elde edilen 11 kritere göre değerlendirilmiştir. Bu kriterler, 6 tanesi sayısal

göstergeler (x_1, x_2, \dots, x_6) ve geriye kalan 5 tanesi de tedbir göstergeleri (y_1, y_2, \dots, y_5) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Kriterlerin açıklamaları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kriterlerin Sınıflandırılması

Sayısal Göstergeler
• Ortalama iş kazası sayısı (adet/yıl) (x_1)
• Ölen işçi sayısı (x_2)
• Sürekli iş göremezlik sayısı (x_3)
• Meslek hastalığı (x_4)
• Yaralanan işçi sayısı (x_5)
• Ortalama Kayıp süre (saat/yıl) (x_6)
Tedbir Göstergeleri
• Ortalama iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerine harcanan süre (saat/yıl) (y_1)
• Ortalama iş sağlığı ve güvenliği eğitimi alan işçi sayısı (adet/yıl) (y_2)
• Ortalama iş sağlığı ve güvenliği denetim sayısı (adet/yıl) (y_3)
• Ortalama deneyim süresi (y_4)
• Ortalama çalışan sayısı (kişi/yıl) (y_5)

İnşaat firmasının 9 şantiyesinde görevli olan toplam 4 iş güvenliği uzmanı bulunmaktadır. Bu çalışmada değerlendirmelerini yapan 4 iş güvenliği uzmanı (İSG₁, İSG₂, İSG₃, İSG₄) karar vericiler olarak belirlenmiştir. A sınıfı sertifikaya sahip İSG₁, 10 yıllık inşaat sektöründe çalışma tecrübesine sahiptir. 15 yıldan fazla inşaat sektöründe çalışan İSG₂ ve İSG₃ B sınıfı sertifikaya sahip inşaat mühendisleridir. İSG₄ ise C sınıfı sertifikaya sahip 10 yıldır inşaat sektöründe çalışan bir makine mühendisidir. Söz konusu 4 iş güvenliği uzmanı projeden projeye değişen çalışma şartlarından kaynaklanabilecek tehlike ve riskleri değerlendirebilmek ve gerekli güvenlik tedbirlerinin alınmasını sağlamakla görevlidir. Bununla birlikte, işçiler için rehberlik ve danışmanlık yaparak aynı zamanda çalışma ortamının gözetimini gerçekleştirmektedirler. Bu gözetim kapsamında, şantiyede iş sağlığı ve güvenliği yönünden yapılması gereken periyodik bakım, kontrol ve ölçümleri planlayarak uygulanmasını kontrol etmekle yükümlüdürler. Ayrıca şantiyede kaza, yangın veya patlamaların önlenmesi için

mevzuata uygun çalışmalar yaparak bu gibi durumlar için acil durum planlarını hazırlamaktadırlar. Her sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de iş güvenliği uzmanları İSG eğitimlerini planlamak ve acil durum tatbikatlarını yaptırmakla sorumludurlar.

Adım 1.2. Başlangıç karar matrisini oluştur.

Başlangıç karar matrisi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Başlangıç Karar Matrisi

	x_1	x_2	...	x_6	y_1	y_2	...	y_5
\mathcal{S}_1	3	1	...	576	345	1381	...	800
\mathcal{S}_2	5	0	...	480	300	1200	...	650
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
\mathcal{S}_9	8	1	...	532	336	850	...	658

Tablo 4'te başlangıç karar matrisini oluşturan kriterlerin değerleri firmanın 2017 yılına ait İSG kayıtlarından yararlanılarak elde edilmiştir.

Adım 1.3. Başlangıç karar matrisini normalize et.

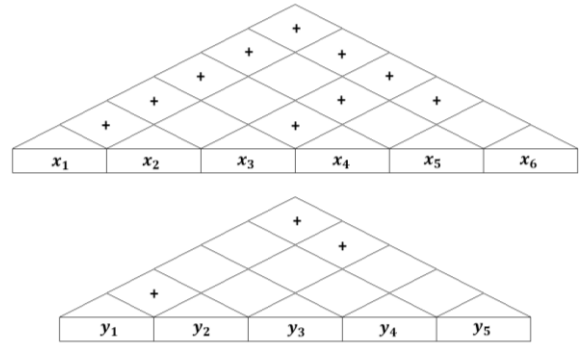
Normalize edilmiş başlangıç karar matrisi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Normalize Edilmiş Başlangıç Karar Matrisi

	x_1	x_2	...	x_6	y_1	y_2	...	y_5
\mathcal{S}_1	1	0,5	...	0,61	0,32	1,00	...	1,00
\mathcal{S}_2	0	1,0	...	0,76	0,21	0,79	...	0,60
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
\mathcal{S}_9	0	0,5	...	0,68	0,30	0,40	...	0,62

Adım 1.4. Kriterler arası korelasyon matrisini oluştur.

Nesnel ve öznel kriterlerin kendi aralarındaki ilişki tanımları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kriterler Arası Korelasyonları Gösteren KFY Çatı

Adım 1.5. Mevcut riskleri belirle ve her bir uzman tarafından belirlenen risk değerlendirme tablolarını oluştur.

Şantiyelerde iş güvenliği uzmanları tarafından 13 risk türü belirlenmiştir. Her iş güvenliği uzmanından Tablo 1'e göre risk değerlendirmesi yapması istenmiştir. Tablo 6'da İSG₁'in risk değerlendirmesi görülmektedir.

Tablo 6. İSG₁ İçin Risk Değerlendirme Tablosu

Risk Türleri (İSG ₁ değerlendirmeleri)	O_d	F_d	S_d	R_d
R1 Yangın	3	3	100	900
R2 Acil durumlara müdahale edememe/güçlüğü	1	2	40	80
R3 Kazı alanında toprak kayması/çökmesi	1	3	40	120
R4 İnsan düşmesi	10	6	100	6000
R5 Malzeme düşmesi/sıçraması	6	6	40	1440
R6 Yapı kısmının çökmesi	1	2	100	200
R7 Elektrik çarpması	6	10	15	900
R8 Uzun kaptırma/sıkıştırma	3	6	40	720
R9 Sivri uçlu keskin kenarlı cisim yaralanması	10	10	7	700
R10 Şantiye içi trafik kazaları	10	6	15	900
R11 Şantiye sahasına izinsiz girilmesi	6	6	40	1440
R12 Kişisel koruyucuların bulunmaması/kullanılmaması	6	6	40	1440
R13 Şantiyeye sabotaj yapılması	0,5	1	100	50

Adım 1.6. Her bir uzman için kriterler ve risk türleri arasındaki ilişkiyi gösteren matrisi oluştur.

Belirlenen risk türleri ile kriterler arasındaki ilişkiler her bir iş güvenliği uzmanı tarafından Tablo 2'ye göre puanlanmıştır. Örnek olarak, Tablo 7'de birinci iş güvenliği uzmanı tarafından yapılmış puanlamalar verilmiştir.

Tablo 7. İSG₁ için İlişki Matrisi

İSG ₁	Rd	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅
R1	900	⑨	③	⑨		⑨	⑨		③	③		
R2	80	③	③	③	①	③	③	③	⑨	⑨	⑨	
R3	120	③	①	③		③	③			①		
R4	6000	①	①	③		③	①	③	⑨	⑨	⑨	
R5	1440	①	①	③		③	①	③	①	③	③	
R6	200	①	①	③		③	①					
R7	900	①	①	①		①	①	③	③	①	①	
R8	720	③	③	③		⑨	③	③	⑨	⑨	⑨	
R9	700	①	①	①		③	①	⑨	⑨	③	③	
R10	900	①	①	①		③	①	⑨	⑨	⑨	⑨	①
R11	1440	①	①	①		①		①	③		⑨	
R12	1440	③	⑨	③	③	③	③	③	⑨	⑨	⑨	
R13	50	①	①	①		①	③					

Adım 1.7. Her bir uzmana ait kriterlerin önem derecelerini hesapla ve kriter önceliklerini belirle.

Her bir iş güvenliği uzmanı tarafından oluşturulan KFY'ye göre sayısal göstergelere ait hesaplanan önem dereceleri ve sıralamaları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Sayısal Göstergelerin Önem Dereceleri ve Sıralamaları

	İSG ₁		İSG ₂		İSG ₃		İSG ₄	
	S _{X₁} ⁽¹⁾	Sıra	S _{X₁} ⁽²⁾	Sıra	S _{X₁} ⁽³⁾	Sıra	S _{X₁} ⁽⁴⁾	Sıra
x ₁	26810	4	29476	4	29210	4	26590	4
x ₂	29810	3	45476	1	40470	2	52390	2
x ₃	42090	2	30676	3	57190	1	100050	1
x ₄	4400	6	23006	6	3160	6	13470	6
x ₅	49610	1	41574	2	30530	3	30270	3
x ₆	25470	5	27028	5	25470	5	25050	5

Tablo 10 incelendiğinde, İSG₃ ve İSG₄'ün aynı, İSG₁ ve İSG₂'nin farklı sıralamalar ortaya koyduğu görülmektedir.

Örneğin; İSG₁ için birinci sayısal göstergenin önem derecesinin hesabı Eşitlik(14)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S_{X_1}^{(1)} &= \sum_{d=1}^{13} (R)_d^{(1)} \times (IP)_{X_{1d}} \\
 &= 900 \times 9 + 80 \times 3 + \dots + 50 \times 1 \\
 &= 26810
 \end{aligned} \tag{14}$$

Her bir iş güvenliği uzmanı tarafından oluşturulan KFY'ye göre tedbir göstergelerine ait hesaplanan önem dereceleri ve sıralamaları Tablo 9'da verilmiştir. Bu tabloda, tüm iş güvenliği uzmanlarının tedbir göstergelerini sıralamaları farklı çıkmıştır.

Tablo 9. Tedbir Göstergelerin Önem Dereceleri ve Sıralamaları

	İSG ₁		İSG ₂		İSG ₃		İSG ₄	
	S _{Y₁} ⁽¹⁾	Sıra	S _{Y₁} ⁽²⁾	Sıra	S _{Y₁} ⁽³⁾	Sıra	S _{Y₁} ⁽⁴⁾	Sıra
y ₁	24840	4	34940	4	32280	4	100260	1
y ₂	40140	2	47160	3	102600	1	93960	3
y ₃	33060	3	85560	2	51960	2	86400	4
y ₄	42960	1	102540	1	51060	3	97020	2
y ₅	420	5	9060	5	4420	5	8350	5

İkinci Aşama Uygulamaları: Şantiyelerin Sıralamalarının Belirlenmesi

Adım 2.1. Her bir uzman için kriterlere ait öncelik matrislerini oluştur.

Birinci aşama sonunda her bir uzman için sayısal ve tedbir göstergelerindeki ver alan kriterlerin sıralamaları elde edilmiştir. Bu adımda, her bir uzman için sayısal göstergelere ve tedbir göstergelerine ait öncelik matrisleri oluşturulmuştur. Örneğin; sayısal göstergelerin İSG₁ tarafından KFY ile belirlenen öncelik sıralaması $x_{(1)}^{(1)} = x_5 > x_{(2)}^{(1)} = x_3 > x_{(3)}^{(1)} = x_2 > x_{(4)}^{(1)} = x_1 > x_{(5)}^{(1)} = x_6 > x_{(6)}^{(1)} = x_4$ şeklinde belirlenmiştir. Bu sıralamaya göre İSG₁'e ait öncelik matrisi Eşitlik(6) kullanılarak Eşitlik(15)'teki gibi elde edilmiştir:

$$\left[P_x^{(1)} \right]_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{15}$$

Adım 2.2. Öncelikler arasındaki uzaklıkları hesapla ve medyan öncelikli bileşenleri belirle.

Sayısal göstergeler ve tedbir göstergeleri için her bir uzmana ait öncelikler arasındaki mesafeler $\rho_X^{(l)}$ ve $\rho_Y^{(l)}$, $l = 1, 2, \dots, L$ Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Öncelik Mesafeleri

	$\rho_X^{(l)}$	$\rho_Y^{(l)}$
İSG ₁	12	12
İSG ₂	12	16
İSG ₃	8	20
İSG ₄	8	24

Tablo 10'da sayısal göstergeler için iş güvenliği uzmanlarının ortaya koyduğu öncelik mesafeleri incelendiğinde en küçük değer $\rho_X^{(3)} = \rho_X^{(4)} = 8$ olduğu görülmüştür. Bu durumda Tablo 8'e göre sayısal göstergeler için İSG₃ ve İSG₄ aynı kriter sıralamasına sahip olduğundan üçüncü ve dördüncü iş güvenliği zamanlarının sayısal göstergeler için sıralamaları medyan öncelikli bileşenler olarak benimsenmiştir. Bu durumda, $l^* = 3$ olduğu için İSG₃'ün sayısal göstergeler için sıralaması $x_{(1)}^{(3)} = x_3 > x_{(2)}^{(3)} = x_2 > x_{(3)}^{(3)} = x_5 > x_{(4)}^{(3)} = x_1 > x_{(5)}^{(3)} = x_6 > x_{(6)}^{(3)} = x_4$ şeklindedir. Tedbir göstergeleri için $\rho_Y^{(l)}$ değerleri arasında en küçük değer $\rho_Y^{(1)} = 12$ 'dir. Bu durumda $l^* = 1$ olduğu için İSG₁'in tedbir göstergeleri için sıralaması $y_{(1)}^{(1)} = y_4 > y_{(2)}^{(1)} = y_2 > y_{(3)}^{(1)} = y_3 > y_{(4)}^{(1)} = y_1 > y_{(5)}^{(1)} = y_5$ medyan öncelikli bileşenler olarak kabul edilmiştir.

Adım 2.3. Medyan öncelikli bileşenler sıralamasına uygun olarak kriterlerin ağırlık vektörlerini belirle.

Sayısal göstergeler ve tedbir göstergeleri için belirlenen medyan öncelikli bileşenlere uygun olarak tüm iş güvenliği uzmanlarından kriter ağırlıkları belirlemesi istenmiştir. Dört iş güvenliği uzmanının sayısal göstergeler için belirlediği ağırlıklar ve bu ağırlıkların ortalamaları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Sayısal Göstergeler için Kriter Ağırlıkları

	w_{x_1}	w_{x_2}	w_{x_3}	w_{x_4}	w_{x_5}	w_{x_6}
İSG ₁ (m = 1)	0,16	0,18	0,22	0,12	0,17	0,15
İSG ₂ (m = 2)	0,16	0,21	0,24	0,08	0,20	0,11
İSG ₃ (m = 3)	0,11	0,24	0,30	0,06	0,19	0,10
İSG ₄ (m = 4)	0,10	0,25	0,32	0,07	0,18	0,08
Ortalama (m = 5)	0,13	0,22	0,27	0,08	0,19	0,11

Tedbir göstergeleri için dört iş güvenliği uzmanının belirlediği ağırlıklar ve bu ağırlıkların ortalamaları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Tedbir Göstergeleri için Kriter Ağırlıkları

	w_{y_1}	w_{y_2}	w_{y_3}	w_{y_4}	w_{y_5}
İSG ₁ (n = 1)	0,17	0,23	0,18	0,27	0,15
İSG ₂ (n = 2)	0,10	0,27	0,25	0,30	0,08
İSG ₃ (n = 3)	0,15	0,22	0,24	0,28	0,11
İSG ₄ (n = 4)	0,12	0,25	0,20	0,33	0,10
Ortalama (n = 5)	0,14	0,24	0,22	0,30	0,11

Adım 2.4. Her bir ağırlık vektörü için alternatiflerin ağırlıklı normalize vektörlerini oluştur.

Sayısal göstergeler için şantiyelere ait ağırlıklı normalize vektörler $(v_X)_m$, $m = 1, 2, \dots, 5$ Tablo 13'te; tedbir göstergeleri için şantiyelere ait ağırlıklı normalize vektörler $(v_Y)_n$, $n = 1, 2, \dots, 5$ Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 13. Şantiyeler için Ağırlıklı Normalize Vektörler

	$(v_X)_1$	$(v_X)_2$...	$(v_X)_5$	$(v_Y)_1$	$(v_Y)_2$...	$(v_Y)_5$
Ş ₁	0,74	0,72	...	0,72	0,40	0,41	...	0,40
Ş ₂	0,54	0,50	...	0,49	0,44	0,44	...	0,44
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Ş ₉	0,75	0,75	...	0,76	0,45	0,47	...	0,45

Adım 2.5. Optimizasyon prosedürünü uygula.

Eşitlik(10)'a göre hesaplanan ağırlıklı normalize vektör elemanları farkları toplamı Tablo 14'te verilmiştir. Tablo 14'te en küçük $F(m, n)$ değeri $F(4, 2) = 1,70$ değerinde elde edilmiştir. Bu

durumda, $m^* = 4$ ve $n^* = 2$ olarak belirlenmiştir. Sayısal ve tedbir göstergeleri için Eşitlik (11)'i en küçükleyen ağırlık vektörleri $(w_X)_4 = (0,10, 0,25, 0,32, 0,07, 0,18, 0,08)'$ ve $(w_Y)_2 = (0,10, 0,27, 0,25, 0,30, 0,08)'$ olduğu için bir sonraki aşamada şantiyeleri sıralamak üzere seçilmiştir.

Tablo 14. Ağırlıklı Normalize Vektör Elemanları Farkları Toplamı

$F(m, n)$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$
$m = 1$	1,94	1,82	1,89	1,89	1,87
$m = 2$	1,84	1,72	1,80	1,78	1,77
$m = 3$	1,85	1,72	1,81	1,77	1,77
$m = 4$	1,86	1,70	1,82	1,77	1,78
$m = 5$	1,86	1,72	1,82	1,77	1,78

Adım 2.6. Alternatiflerin sıralamalarını bul.

Adım 2.5'te $m^* = 4$ ve $n^* = 2$ şeklinde belirlendiği için şantiyelerin sıralamasını bulmak için $F^* = (v_X)_4 + (v_Y)_2$ hesaplamasından yararlanılır. Tablo 15'te F^* 'in elemanları $f_k = (v_{X_k})_4 + (v_{Y_k})_2$, $k = 1, 2, \dots, 9$ değerleri arasında en büyük değeri sağlayan k değerine sahip şantiyeye 1 sıra numarası verilmiştir. Bu durumda $k = 8$ numaralı şantiye en riskli şantiye olarak seçilmiştir.

Tablo 15. Şantiyelerin Sıralaması

Şantiyeler	$(v_{X_k})_4$	$(v_{Y_k})_2$	$(v_{X_k})_4 + (v_{Y_k})_2$	Sıra
Ş ₁	0,72	0,41	1,13	5
Ş ₂	0,46	0,44	0,90	9
Ş ₃	0,66	0,35	1,00	7
Ş ₄	0,56	0,37	0,93	8
Ş ₅	0,60	0,61	1,21	3
Ş ₆	0,61	0,56	1,17	4
Ş ₇	0,42	0,64	1,06	6
Ş ₈	0,77	0,50	1,27	1
Ş ₉	0,77	0,47	1,24	2

5. Sonuçlar

Önerilen yöntemin sonuçlarından da görüldüğü gibi 8 numaralı şantiye (Ş₈) diğerlerine göre en riskli şantiye olarak belirlenmiştir. Sekizinci şantiye Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. Diğer şantiyeler ise İç Anadolu, Marmara, Karadeniz

bölgelerinde yer almaktadır. Bulunduğu bölge itibari ile bu şantiyede çalışan iş gücü diğer şantiyelerdeki kadar kalifiye değildir. Şantiyede çalışan iş güvenliği uzmanının beyanına göre yeterli İSG eğitimi çalışanlara aldırılmamaktadır.

Çalışan profili açısından da bakıldığında ortalama deneyim süresi en yüksek olan şantiye olmasına rağmen yaralanan işçi sayısı da en fazla olan şantiyeler arasındadır. Bu durum, çalışanların ve yöneticilerin iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerine önem vermediklerini, tecrübenin yarattığı bir cesaretle işlerini sürdürdüklerini göstermektedir.

Sonuç olarak şantiyeler arasında iyileştirmeye 8 numaralı şantiyeden başlanmalıdır. İyileştirmeler kapsamında, iş eğitimlerinin sayısı ve süresi artırılmalıdır. Örnek olaylarla çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin uygulanmaması sonucu ortaya çıkabilecek olumsuz durumlar anlatılmalıdır. Risk düzeyi düşük olan şantiyelerdeki çalışanlardan örnek verilmeli ve farklı şantiye uygulamaları paylaşılmalıdır.

6. Tartışma

Çalışmada, aynı firmaya ait 9 şantiyenin iş sağlığı ve güvenliği açısından risk düzeyinin belirlenmesinde hibrit bir ÇKKV yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım kapsamında, KEMIRA-M ve KFY yöntemleri entegre edilmiştir. KFY kullanılarak KEMIRA-M'deki kriter sıralama süreci daha etkin hale getirilmeye çalışılmıştır. Kriter önceliklerinin belirlenmesi, şantiyelerde ortaya çıkabilecek risk türlerinin risk derecelerine bağlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, farklı iş ortamlarında risk değerlendirme amaçlı olarak önerilen yöntem kullanılabilir. Farklı kriter ağırlıklandırma prosedürleri geliştirilerek KEMIRA-M içerisinde kullanılabilir. Farklı karar problemleri için de önerilen yaklaşım denenebilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Baradan, S. (2006). Türkiye İnşaat Sektöründe İş Güvenliğinin Yeri ve Gelişmiş Ülkelerle Kıyaslanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 87-100.

Babbar, C., & Amin, S. H. (2018). A Multi-Objective Mathematical Model Integrating Environmental

- Concerns for Supplier Selection And Order Allocation Based on Fuzzy QFD in Beverages Industry. *Expert Systems with Applications*, 92, 27-38.
- Chen, K. J., Yeh, T. M., Pai, F. Y., & Chen, D. F. (2018). Integrating Refined Kano Model and QFD for Service Quality Improvement in Healthy Fast-Food Chain Restaurants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), 1310.
- Efe, B., Efe, Ö. F., & Kurt, M. (2018). Ergonomik Ürün Tasarımına Bütünleşik Bir Yaklaşım. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 1-1.
- Ercan, A. (2010). Türkiye’de Yapı Sektöründe İşçi Sağlığı ve Güvenliğinin Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 13(1), 49-53.
- Gergin, Z., Akbas, M., Akture, A. O., & Yurt, M. F. (2018). Kalite Fonksiyonu Göçerimi Yöntemiyle Müşterinin Marka Algısının Arttırılması: Taşınabilir Şarj Cihazları Üreten Bir Firmada Uygulama. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 111-136.
- Güllü, E., & Ulcay, Y. (2002). Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bir Uygulama. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 71-91.
- Hsu, C. H., Chang, A. Y., & Luo, W. (2017). Identifying Key Performance Factors for Sustainability Development of Smes-Integrating QFD and Fuzzy MADM Methods. *Journal of Cleaner Production*, 161, 629-645.
- Kılıç-Delice, E., & Güngör, Z. (2008). Kalite Fonksiyon Yayılımı İçin Yeni Bir Yaklaşım: Bir Uygulama. *Akademik Bilişim*, 185-193.
- Kinney, G. F. (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management. China Lake, CA: Naval Weapons Center.
- Kosareva, N., Zavadskas, E. K., Krylovas, A. & Dadelo, S. (2016). Personnel Ranking and Selection Problem Solution by Application of KEMIRA Method. *International Journal of Computers Communications & Control*, 11(1), 51-66.
- Krylovas A., Kosareva, N. (2015). Gamyklos Vietos Parinkimo Uždaviniu Sprendimas Daugiakriteriniu KEMIRA Metodu. *Liet. Matem. Rink. LMD Darbai*, Ser. B, 56, (2015), 18-23.
- Krylovas, A., Kosareva, N. (2016). Kriterijų Derinimas Svorių Balansavimo Metodu Taikant Entropijų Reikšmes Sprendimo Priemimo Uždaviniui Spresti. *Liet. Matem. Rink. LMD Darbai*, Ser. B, 57, 43-48.
- Krylovas, A., Kazimieras Zavadskas E., Kosareva, N. (2016). Multiple Criteria Decision-Making KEMIRA-M Method for Solution of Location Alternatives. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 29(1), 50-65.
- Krylovas, A., Kosareva, N., Zavadskas, E.K. (2016). Statistical Analysis of KEMIRA Type Weights Balancing Methods. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 19(3), 19-39.
- Krylovas, A., Zavadskas, E. K., Kosareva, N. & Dadelo, S. (2014). New KEMIRA Method for Determining Criteria Priority and Weights in Solving MCDM Problem. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 13, 1119-1133.
- Müngen U, Güranlı GE. (2005). Fatal Traffic Accidents in the Turkish Construction Industry. *Safety Science* 43, 299-322.
- Müngen, U. (2011). İnşaat Sektörümüzdeki Başlıca İş Kazası Tipleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 469(5), 32-39.
- Sarıçalı, G., & Kundakçı, N. (2017). Forklift Alternatiflerinin KEMIRA-M Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(1), 35-53.
- Tavana, M., Yazdani, M., & Di Caprio, D. (2017). An Application of an Integrated ANP-QFD Framework for Sustainable Supplier Selection. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(3), 254-275.
- Vanany, I., Maarif, G., & Soon, J. M. (2018). Application of multi-based Quality Function Deployment (QFD) model to improve halal meat industry. *Journal of Islamic Marketing*.
- Wagner, A., Merino, E. A. D., Martinelli, M., Polacinski, É., da Silva Wegner, R., & Godoy, L. P. (2018). The Quality of Services in a Higher Education Institution: An Evaluation for the Integration of

AHP, Servqual And QFD Methods. *Disciplinarum Scientia/ Sociais Aplicadas*, 13(1), 109-130.

Wu, W. Y., Qomariyah, A., Sa, N. T. T., & Liao, Y. (2018). The Integration Between Service Value And Service Recovery In The Hospitality Industry: An Application of QFD and ANP. *International Journal of Hospitality Management*, 75, 48-57.

Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM Framework for Green Supplier Selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740.