

ERGONOMİK RİSKLERİN BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE BİR UYGULAMA

Gizem AKALP^{1*}, Ahmet Fahri ÖZOK²

¹ Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Bursa, Türkiye

² Okan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Özet
1. <i>Bulanık Mantık,</i> 2. <i>Ergonomi,</i> 3. <i>Hızlı Maruziyet</i> 4. <i>Bulanık topsis</i> 5. <i>İş sağlığı ve Güvenliği</i>	<p>Bu çalışmanın amacı, sözel belirsizliklerin bulunduğu bulanık ortamlarda, özellikle İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarında çalışanlar açısından daha fazla riskli olan istasyonun seçimi amacıyla Bulanık TOPSIS (Technique For Order Performance By Similarity To Ideal Solution) algoritmasının kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, gerçekleştirilen bu çalışmada İş Sağlığı ve Güvenliği kavramına ilişkin ortaya konulan beş risk faktöründen biri olan Ergonomik Riskler Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve ergonomik risk değerlendirme tekniklerinden bir tanesi olan hızlı maruziyet değerlendirme tekniği ile karşılaştırılarak kullanılabilirliği tartışılmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulama, çalışanların özellikle sürekli bel ağrısından şikâyet ettiği üç istasyonun değerlendirilmesi için kimya sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılmıştır. Bu istasyonlardan hangisinin riskli olduğunun seçimi sürecinde yararlanılan insan yargıları sayısal olarak ifade edilemediği için belirsizliği de beraberinde getirir. Bu belirsizliği aşmak için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden Bulanık TOPSIS yöntemi problemin çözümünde karar verme aracı olarak kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ölçütlere ve alternatiflere verilen değerlendirmeler üzerinden elde edilmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi ile elde ettiğimiz sonuçlar, Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi sonuçlarına da benzerlik göstermektedir. Çalışma, Bulanık TOPSIS yönteminin riskli istasyon seçim sürecinde alternatiflerin değerlendirilmesinde ve seçim işleminin gerçekleşmesinde karar verirken yararlanılan bir karar aracı olarak başarılı bir şekilde kullanılabilmesini ortaya koymuştur.</p>

ERGONOMIC RISK MODELING WITH FUZZY LOGIC METHOD AND AN APPLICATION

Gizem AKALP^{1†}, Ahmet Fahri ÖZOK²

¹ Uludağ University, Vocational School of Technical Sciences Occupational Health and Safety Department Bursa, Turkey

² Okan University, Engineering Faculty, Dept. of Industrial Engineering, Istanbul, Turkey

Keywords	Abstract
1. <i>Fuzzy Logic,</i> 2. <i>Ergonomics</i> 3. <i>Fast Exposure Assessment</i> 4. <i>Fuzzy topsis</i> 5. <i>Occupational Health and Safety</i>	<p>The purpose of this study, the fuzzy environment where verbal ambiguity, especially the Occupational Health and Safety personnel for the purpose of selection of stations with more risky Fuzzy TOPSIS (Technique For Order Performance By Similarity Tom Ideal Solution) to investigate the availability algorithm. In this study, Ergonomic Risks which is one of the five risk factors for Occupational Health and Safety are evaluated using fuzzy logic methods and the availability of exposure compared with the rapid assessment technique is one of the ergonomic risk assessment techniques are discussed. This study is made for a company operating in the chemical industry. This of the three stations complained of back pain, especially people working continuously</p>

* İlgili yazar: gizemakalp@gmail.com, +90-533 232 66 22

† Corresponding Author: gizemakalp@gmail.com, +90 533 232 66 22

judgments utilized in the selection process that is risky because there is uncertainty brings with numerical expressions. This uncertainty is one of the multi-criteria decision-making methods to overcome Fuzzy TOPSIS method is used as a means of decision-making to solve the problem. The results obtained in the study were obtained from the evaluations given to the criteria and alternatives. The results obtained with the fuzzy TOPSIS method are also similar to the results of the Quick Exposure Assessment Method. This study revealed risky station Fuzzy TOPSIS method for evaluating the alternatives and decide on the electoral process in the realization of the electoral process can be used successfully while utilized as a decision tool.

1. Giriş

Günümüzde teknolojiye yaşanan gelişmeler ile birlikte üretimin ve rekabetin de artması, iş hayatında, çalışanların sağlığına ve iş güvenliğine yönelik tehlikelerin artmasına yol açmaktadır. Özellikle sanayileşmenin arttığı ve buna bağlı olarak üretim yöntemlerinde değişikliklerin meydana geldiği 20. yüzyıl; yoğun makineleşmenin sonucunda ortaya çıkan iş kazaları, kazalara bağlı olarak ortaya çıkan ölümler ve meslek hastalıklarının da arttığı bir yüzyıl olmuştur. İşyerlerinde işlerin gerçekleştirilmesi esnasında doğan olumsuz şartlardan ve meslek hastalıklarından çalışanların korunması, üretimin devamlılığının sağlanması ve verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan bilimsel ve sistemli tüm çalışmaları ifade eden "iş sağlığı ve güvenliği" (İSG) kavramının, son yıllarda sanayinin ve teknolojinin de daha fazla gelişmesi ile birlikte önemi artmıştır.

İş Sağlığı ve Güvenliğinin öncelikli amacı bireylerin çalıştığı ortamın sağlıklı ve güvenli olmasını sağlamak böylelikle çalışanların sağlığının yaptıkları iş nedeni ile bozulmasının önüne geçmek, çalışan bireylerin sağlığını korumaktır.

İşyerlerinde var olan tehlikelerin doğru belirlenmesi ve analiz edilmesi bu tehlikelerin sonuçlarında ortaya çıkabilecek risklerin saptanması ve ortadan kaldırılabilmesi için hayati önem taşımaktadır. Tüm bu çalışmalar da 'risk değerlendirmesi' olarak adlandırılır.

Ülkemizde 2012 yılında yayınlanan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun getirdiği en önemli yenilik önleyici yaklaşımın esas alınmasıdır. Önleyici yaklaşım açısından ilk yapılması gereken de işletmelerde var olan tehlikelerin belirlenmesi ve tehlikelere maruziyet sonucu ortaya çıkabilecek risklerin değerlendirilmesi ve bu risklere ait kontrol önlemlerinin alınmasıdır. Burada temel amaç, çalışanların sağlığının korunması ve güvenliklerinin sağlanmasıdır.

İşyerlerinde var olan veya dışarıdan gelebilecek tehlikelerin ve oluşturabileceği zararların belirlenmesi amacıyla uygulanan süreç olan risk

değerlendirmesi teknik bir işlemdir. Temel olarak işyerlerinde karşılaşılan riskler farklı sektörlerde, farklı tehlike sınıflarına göre çok çeşitlilik gösterse de 6331 sayılı İş Sağlığı Güvenliği Kanunu işyerinde karşılaşılan riskleri 5 temel başlık altında ele almıştır. Bunlar; a) Fiziksel, b) Kimyasal, c)Biyolojik, d)Ergonomik ve e)Psiko-sosyal risklerdir.

Fiziksel riskler, Kişilerin çalıştığı ortamların nem, sıcaklık, aydınlatma, gürültü, titreşim basınç gibi özelliklerin bireylerin performanslarını, iş yapabilme kapasitelerini ve sağlıklarını ciddi ölçüde etkiler.

Diğer taraftan her gün çalışma ortamına yeni kimyasallar da girmekte, bu maddeler üretimde sağladıkları kolaylıkların yanı sıra sağlık ve güvenlik risklerini de beraberinde getirmektedir. İşyerlerinde gerek işin niteliğinden, gerek temizlik konularına gerekli hassasiyetin gösterilmemesinden veya çevresel faktörlerden dolayı mikroorganizmalar, bakteriler, parazitler, mantarlar veya virüsler bulunabilir. Bunlar biyolojik risk faktörü olarak değerlendirilir. Günümüz çalışma yaşamına bakıldığında, iş yükü fazlalığı, çalışma temposunun artması, çalışma saatlerinin fazlalığı hatta belirsiz olması, iş güvencesinin ise gittikçe azalması gibi nedenler, fiziksel, kimyasal biyolojik vb. sorunlar kadar hatta belki de daha fazla çalışanların psikolojik sağlıklarını etkilemekte, iş stresi ve tükenmişliği arttırmaktadır (Leka ve Cox, 2008,s:26).

Ergonomi biliminin konuları incelendiğinde oldukça geniş bir yelpazeyi içine aldığı görülebilir. O nedenle Ergonomik riskler sadece somut olanları değil soyut olan riskleri de kapsamaktadır. Risklerin belirlenmesinde insan yargılarından da yararlanılmaktadır. Ancak insan yargıları belirsizliği de beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada da bir firmada ergonomi çalışmaları gerçekleştirilmiş olup özellikle en fazla şikâyet alınan 3 istasyon incelemeye alınmış, istasyonların hangisinin insanın kassal çalışması açısından daha riskli olduğunun incelenmesi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Ergonomi; “etkili insan işlevleri ile konforlu ve güvenli sistemler, çevreler, makineler, ürünler, işler, görevler ve aletlerin tasarım bilgisinin kullanılması”dır (Hendrick,2000 s:23). Chapanis’e göre ergonomi “insan faktörlerinin güvenli, verimli, etkili ve rahat kullanımını sağlamak amacıyla araç, gereç, sistem, makine, iş, çalışma akışı ve düzeni ile çevrelerin tasarımıyla insan davranışı, yetenekleri, kısıtlılıkları ve diğer karakteristikleri ile ilgili bilgilerin araştırılması ve uygulanması ”dır (Chapanis,1983). Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak üretim sırasında kullanılan makinelerdeki artış, iş hızını ve buna bağlı olarak monotonluğu da arttırmaktadır. Diğer taraftan ise emeğin yoğun olarak kullanıldığı üretimde çalışanlar açısından birçok fiziksel sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Özellikle günümüz temposunda ister istemez yoğun bir şekilde makine kullanımının söz konusu olması, hızlı ve tekrarlı çalışılması sonucu boyun, sırt, kollar, bilekler, bacaklar, kulaklar ve gözlerde çeşitli rahatsızlıklar, stres ve psikolojik hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Ergonomi biliminin konuları incelendiğinde oldukça geniş bir yelpazeyi içine aldığı görülebilir. Gürültü, aydınlatma, ısı, titreşim, çalışma alanının, makinelerin, sandalyelerin, ayakkabıların ve işin tasarımı gibi konuların dışında, mesai saatleri, vardiya, mola saatleri, yemek rejimi gibi konular da ergonominin konuları arasında yer almaktadır.

Ergonominin kapsamı incelendiğinde, daha önceleri sadece iş açısından insanı inceleyen ergonominin, günümüzde insanın yaşadığı alanda etkileşim içinde olduğu her konuyu ele aldığı görülmektedir.



Şekil 1: Ergonominin kapsamı (Özok, 2013)

Çevresel ergonomi olarak da tanımlanan fiziksel ergonomi, insanların fiziksel etkinlikleriyle ilişkilidir. İnsanın anatomik, antropometrik, fizyolojik ve biyomekanik karakteristikleri fiziksel ergonominin konuları arasındadır. Çalışma sırasında işçinin duruşu, üretim esnasında gerçekleştirilen işlemler, sürekli olarak tekrarlanan hareketler, yapılan işe bağlı olarak kas iskelet sistemleri ve hareketleri, güvenlik ve sağlık fiziksel ergonominin temel konularını oluşturmaktadır (Wickens,1992). Ayrıca

bireyin çalıştığı çevrede bireysel performansı etkileyebilecek ışık, ısı, gürültü, toz kimyasallar, termal konfor, radyasyon vb fizik etmenlerinin hepsini konu edinir

Gerek İş Sağlığı ve Güvenliği açısından ve gerekse iş verimliliği açısından; çeşitli işlerde çalışan işçilerin fiziksel, zihinsel ve sosyal açıdan korunması, çalışma alanlarındaki sağlığa zararlı etkenler karşısında her türlü koruyucu önlemin alınması ve uygun çalışma ortamı koşullarının sağlanması gerekmektedir. Bu şekildeki bir çalışma ortamı söz konusu olduğunda, ergonomik bir ortamda çalışmanın getirdiği sağlık ve güvenlikle iş kazalarının ve meslek hastalıklarının azaltılması mümkün olabilecektir. Aynı zamanda da üretimin kalitesi ve miktarı artırılarak istenilen verimlilik gerçekleştirilmiş olacaktır (Akalp,2010).

2.1. Bulanık Mantık

Günlük hayatta konuşurken birçok ifadeyi sınıflandırmak mümkündür. (kadın-erkek, doğru-yanlış, iyi-kötü, evet-hayır) Ancak bazı kavramları kesin sonuçlarla ifade etmek zordur. Kesin sonuçlarla ifade edemediğimiz kavramları problemlerin çözümünde kullanabilmek amacı ile bulanık küme mantığı devreye girmektedir. Yaşanılan çevrede ortaya çıkan karmaşıklık, genel olarak belirsizlikten veya kesin kararlar verilememesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca çoğu konuda elde edilen bilginin eksik veya yetersiz oluşundan dolayı belirsizlikler de söz konusu olabilmektedir. Bulanık mantık bu belirsizliğin ve karmaşıklığın modellenmesi ve çözümlenebilmesi için kullanılan bir kavramdır.

Bulanık mantığın en temel özelliği, klasik kümeler anlayışının dayandığı bazı temel ilkelerin kullanılmamasıdır. Örneğin, klasik düşüncede bir varlık bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Fakat bulanık mantıkta her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi (0,1) arasında herhangi bir değer olabilir.

Mamdani ve Assilian isimli araştırmacılar, 1975 yılında, bir buhar makinesinin kontrolünün bulanık sistem ile modellemesini gerçekleştirerek bulanık mantık uygulamalarının önünü açmış ve tüm dünyanın dikkatini bu konuya çekmişlerdir. Böylelikle bulanık sistemler ile çalışmanın kolay ve etkili olduğu kadar sonuçlarının da dikkat çekici olduğu anlaşılmıştır.

1977 yılında ise dinamik sistemleri kontrol etmek amacı ve ölçme hatalarının minimize edilmesi için King ve Mamdani, bulanık modellerin kullanılmasının avantaj sağlayacağını düşünmüş ve uygulamışlardır (King ve Mamdani, 1977:235). Bugün elektronik pazarında kullanılan pek çok üründe (elektrik süpürgesi, televizyon ve müzik sistemi gibi) bulanık mantık denetimi kullanılmaktadır. Ayrıca bulanık

mantığa dayanan pek çok otomotiv ürünleri de piyasaya sunulmuştur (Elmas, 2011: 27).

2.2. Bulanık TOPSİS

Çok ölçütlü karar verme problemlerinde en fazla kullanılan yöntemlerden bir tanesi 1981 yılında önerilen TOPSİS yöntemidir (Hwang, Yoon,1981). Bu yöntemde, farklı alternatifler arasından en uygun olanı belirlenir (Wang ve Elhag, 2006: 310). Bulanık TOPSİS’de pozitif ideal çözüme en yakın olan alternatif ile negatif ideal çözüme en uzak olan alternatif en iyi alternatif olacaktır (Razmi, Songhori ve Khakbaz, 2009: 292-293). Bu mesafelerin hem pozitif hem de negatif olarak iki yönlü olması sayesinde hem maksimize edilecek durumlar hem de minimize edilmesi gereken durumlar dikkate alınarak seçim yapılır (Özdemir, Seçme, 2009: 83).

Günlük hayatta yapılan değerlendirmelerde sayısal ifadeler ve değerlendirmeler yetersiz ve zayıf kalabilir. Çünkü insan düşünceleri sayısal ifadeler kadar kesin değildir, belirsizlikler içermektedir. TOPSİS yöntemi ise verileri bulanık olarak kullanılabilir şekilde geliştirilerek belirli ölçütlere göre belirsizlik altında farklı alternatiflerin değerlendirilip sıralanmasında ve doğru seçimin yapılmasında yardımcı olan bir yöntemdir (Jahanshahloo vd 2006: 1545).

Bulanık TOPSİS algoritmasında sözel değişkenler alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Kullanılan sözel değişkenler, günlük konuşma dilinde kullanılan kelimelerden oluşmaktadır (Bashiri ve Hosseinezhad, 2009: 535).

TOPSİS yönteminde bulanık değerler kullanılması bulanık mantığın temel felsefesine uygun olarak çeşitli yazarlar tarafından belirgin matematik parametrelerle modellenemeyen problemlerin ifade edilmesinde önemli bir yer tutar. Nitekim Chen ve Hwang tarafından klasik TOPSİS’e yapılan atıflar da 1992 yılından itibaren göze çarpmaktadır.

Bulanık TOPSİS ile yapılan araştırmalar için literatür taraması yapıldığında, bulanık aritmetik işlemlere dayanan Bulanık TOPSİS yöntemini Triantaphyllou ve Lin’in (1996), geliştirdiklerini görmek mümkündür. Bu çalışma 5 adet çok ölçütlü karar verme yöntemini ele almış ayrıca bu yöntemlerin karşılaştırmasına da yer vermiştir.

Tsaur ve Chang’ın (2002) yaptığı çalışma havacılık sanayisindeki servis kalitesinin değerlendirilmesine yöneliktir. Bu çalışmada Tsaur ve Chang bulanık küme teorisinden yararlanarak ölçütlerin ağırlıklarının elde edilmesinde analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve derecelendirmede de TOPSİS

yöntemi kullanarak, servis kalitesini etkileyen faktörleri belirlemişlerdir.

Chu ve Lin (2003) yaptıkları bir çalışmada, robot seçimi için bulanık TOPSİS yöntemini kullanmışlardır. Chu (2002), bulanık TOPSİS yöntemini bir fabrika kuruluşu yeri seçimi için kullanmıştır.

Abo-Sinna ve Amer (2005) özellikle büyük ölçekli doğrusal olmayan programlama problemlerini çözmek amacı ile bulanık TOPSİS yöntemini önermişlerdir.

Chen ve diğerleri (2006) yaptıkları bir çalışmada bulanık karar verme yönteminden faydalanmışlardır. Tedarikçi seçimi problemini ele aldıkları bu çalışma birçok çalışmaya da yol gösterici olmuştur.

Jahanshahloo ve diğerleri (2006) tarafından yapılan bir başka Bulanık TOPSİS çalışmasında ise ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi esnasında üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Üçgen bulanık sayılar bu çalışmada aynı zamanda alternatiflerin değerlendirilmesinde de yine kullanılmıştır.

Bottani ve Rizzi (2006), lojistik servis sağlayıcıları arasından en uygununu seçmek için bulanık TOPSİS yöntemini kullanmışlardır. Önerilen yöntemin test edilmesi amacıyla İtalya’da bir firmada için en uygun lojistik ortağın belirlenmesi sürecinde uygulama yapmışlardır.

Wang (2008) tarafından yapılan Bulanık TOPSİS çalışması, üç farklı havayolu şirketinin finansal performansını ölçmek amaçlı gerçekleştirilmiştir.

Maldonado (2012) vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada da ileri üretim teknolojisi olarak seçilmek istenen ve birden çok ergonomik özelliğe sahip olabilen üç farklı alternatif bilgisayar destekli üretim tezgâhından (CNC) ergonomik uyumluluk için en uygun olanın seçilmesi amacı ile kullanılmıştır.

Türkiye’de de Bulanık TOPSİS üzerine birçok çalışma yapılmış olup oldukça faydalı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi, Dünder ve diğerlerinin (2007) internet üzerinden alışveriş yapılan sanal mağazaların değerlendirilmesine yöneliktir. Öztürk ve arkadaşları, (2008) yaptıkları bir çalışmada, Denizli’de bir nakliye firmasının seçiminde Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık TOPSİS yöntemlerini kullanmışlardır. Özdemir ve Seçme (2009) tarafından yapılan çalışma, bir mobilya fabrikası için en uygun tedarikçinin Bulanık TOPSİS yöntemiyle belirlenmesidir. Ertuğrul ve Güneş (2007), Bulanık TOPSİS yöntemini, üç baskı makinesi arasından en iyi olanın seçilmesi için kullanmışlardır.

Öztürk ve Başkaya (2011), bulanık TOPSİS algoritması yardımı ile satış elemanı seçiminde

yamuk bulanık sayıları kullanmışlardır. Çınar (2010) ise bulanık TOPSİS yöntemini bankacılık sektöründe kuruluş yeri seçiminde uygulamıştır. Yıldız ve Yıldız, (2014) bulanık TOPSİS yöntemi kullanarak kurumsal kaynak planlaması yazılım seçimini gerçekleştirmişlerdir.

Doğan ve Önder (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise amaç, insan kaynakları temin ve seçim sürecinde en uygun adayın/adayların seçilebileceği bir modeli ortaya koymaktır. Bulanık TOPSİS yönteminin, üniversitelerde akademik personel seçim problemlerinin çözümü için de olumlu sonuçlar verdiği Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2007) tarafından yapılan çalışmada da görülmüştür.

İnsanlar günlük yaşamlarında birden çok karar alma durumlarındadırlar. Günümüzde işletmelerin ayakta kalabilmesi ve rakiplerine göre fark yaratabilmesi de doğru kararları artan rekabet ortamında alması, karşılaştıkları problemleri çözülmesi ve amaçları gerçekleştirmek için sürekli olarak kendilerini geliştirmelerine bağlıdır. Günümüz piyasalarında işletmelerin başarısı, büyük oranda yöneticilerin alacakları kararların ne kadar doğru olduğuna bağlı olacaktır.

3. Materyal ve Yöntem

Son dönemde oldukça gelişen ve ülkemiz açısından da önemli bir iyileştirme olarak yürürlüğe konulan 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu kapsamında birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar, çalışanların sağlık ve güvenliğine katkı yapmakla beraber, yasal yürürlüğü yerine getirmenin dışında, hem firmaların rekabet edebilirlik düzeylerini hem de ülkemizin konuya verdiği değeri etkilemektedir. Ancak yasada ve yönetmeliklerde ele alınan konular düzgün bir bilimsel sınıflandırmaya tabi tutulmadan ve birbirine geçecek şekilde ele alınmıştır. Örneğin fiziksel risk olarak ele alınmış konular, ergonominin bir alt birimi olan çevresel konularla ilgilidir. Buna mukabil ergonomi konusunda sadece bu uygulamalı bilim dalının küçük bir bölümüne değinilmektedir.

Çalışmanın uygulama kısmında risk faktörleri gruplandırılırken yasa ve yönetmeliklerdeki ergonomik konular ayıklanarak ele alınmış ve bu konular, iş organizasyonu, çevre, araç-gereç ve insan faktörü olarak dört ayrı bölümde değerlendirilmiştir.

Çevre koşulları bakımından firma, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu gereği almış olması gereken tüm çevre koşullarını sağlamış ve bakanlığın denetimlerinden onay almış bulunduğundan dolayı çevre açısından ölçütler bu çalışmada devre dışı bırakılmıştır.

Firmada kullanılan kazan dolmuş aparatı, araç gereç taşıma aparatları vb konularda mevcut durum bir veri olarak kabul edilmiş ve çalışanların eldeki bu

makine ve düzeneklerle çalıştıkları varsayılarak çalışma sırasında insanın durumu incelenmiştir.

Bu koşullar altında insan açısından ele alınacak bir inceleme için bu işletmede seçilen 3 istasyonda çalışan mavi yakalı personelin kassal çalışmaları sonucu ne kadar ergonomik risklere maruz kaldığı işletmede incelenmesi gereken en önemli problem olarak karşımıza çıkmıştır. Daha önce açıklanan nedenlerle problemin karakteri itibarıyla bulanık modellemenin uygun olacağı kanısına varılmış, bu tür modellemeler açısından da Bulanık TOPSİS, (Chen,2006) modeli seçilmiştir.

Karar vericiler açısından hesaplaması kolay olması, kolay anlaşılabilir olması, belirsizlik ortamlarına kolaylıkla adapte edilebilmesi, hem sözel hem de sayısal verilerin kullanılabilmesi, her bir alternatif için performans ölçümü yeteneğine sahip olması, bilimsel ve objektif olması, karar vericiler arasındaki çatışmaları önlemesi ve esnek olması (Salehi, Tavakkoli,2008,135) gibi nedenlerle Bulanık Topsis yöntemi son yıllarda oldukça fazla tercih edilmektedir.

Bulanık TOPSİS algoritmasının uygulanmasındaki adımlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Chen, 2000: 6).

1. *Karar Vericilerin ve Ölçütlerin Seçilmesi:* Karar vericiler ve değerlendirme ölçütleri belirlenir.
2. *Sözel Değişkenler Kullanılarak Değerlendirmelerin Yapılması:* Ölçütlerin önem ağırlıkları için uygun sözel değişkenler belirlenir.
3. *Değerlendirmelerin Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi:* Karar vericilerin belirledikleri sözel değişkenler üçgen veya yamuk bulanık sayılara dönüştürülür.
4. *Karar Matrislerinin Oluşturulması:* Bulanık karar matrisi ve normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.
5. *Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Belirlenmesi:* Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi belirlenir.
6. *Negatif ve Pozitif İdeal Çözümün Belirlenmesi:* Bulanık pozitif ve negatif ideal çözüm belirlenir.
7. *Uzaklıkların Hesaplanması:* Her bir alternatifin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıkları hesaplanır.
8. *Yakınlık Katsayılarının Bulunması:* Her alternatif için yakınlık katsayıları bulunur.
9. *Alternatiflerin Sıralanması:* Yakınlık katsayılarına bakılarak, tüm alternatifler sıralanır ve en yüksek yakınlık katsayısına sahip olan alternatif seçilir.
10. *Sürecin Değerlendirilmesi:* Sıralanan alternatifler arasında, seçimin risk içerip içermediği kontrol edilir.

Üçgen veya yamuk bulanık sayılar arasındaki uzaklıkların bulunması amacı ile kullanılan yöntem Vertex yöntemidir. Bu uzaklıkların hesaplanması sayesinde bulanık olan değerler kesin sayılara dönüştürülür. Çalışmanın uygulama kısmında yamuk bulanık sayılar kullanılacağından dolayı Vertex

yöntemi iki yamuk bulanık sayı kullanılarak aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

m^* ve n^* iki pozitif yamuk bulanık sayı olsun. Bu sayılar arasındaki uzaklık bu yöntem ile aşağıdaki gibi hesaplanır (Chen vd., 2005, s.5):

$$m^* = (m_2, m_3, m_4) \text{ ve } n^* = (n_1, n_2, n_3, n_4)$$

$$d_v(m^*, n^*) = \sqrt{\frac{1}{4} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2 + (m_4 - n_4)^2]} \quad (1)$$

Sözel değişkenlere bağlı olan değerlendirmeler karar vericiler tarafından gerçekleştirilir. Öncelikle belirlenen sözel değişkenler yamuk bulanık sayılar olarak ifade edilir.

Ardından 2 ve 3'deki formüller yardımı ile 4. Ve 5. adımda da belirtildiği gibi bulanık karar matrisi ve bulanık ağırlık matrisi oluşturulur (Chen, vd, 2006: 294).

Karar problemi matris formatında şu şekilde gösterilir.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \tilde{w}_3, \dots, \tilde{w}_n]$$

\tilde{D} bulanık karar matrisini, \tilde{W} ise bulanık ağırlıklar matrisini göstermektedir.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{ijk} &= (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk}) & \tilde{w}_{jk} &= (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3}, w_{jk4}) \\ \tilde{x}_{ij} &= (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) \\ a_{ij} &= \min_k (a_{ijk}) \\ b_{ij} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^k b_{ijk} \\ c_{ij} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^k c_{ijk} \\ d_{ij} &= \max_k (d_{ijk}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \tilde{w}_{ij} &= (w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, w_{i4}) \\ w_{j1} &= \min_k (w_{jk1}) \\ w_{j2} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^k w_{jk2} \\ w_{j3} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^k w_{jk3} \\ w_{j4} &= \max_k (w_{jk4}) \end{aligned} \quad (3)$$

Önce bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm belirlenir. Bu çözümlerin belirlenmesinin ardından Vertex yöntemi kullanılır. Bu yöntem ile mevcut alternatiflerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanır.

Pozitif ve negatif ideal çözüme göre uzaklıkların belirlenmesinin ardından, alternatiflerin sıralamasını belirlemek gereklidir. Bu amaçla her alternatife ilişkin yakınlık katsayılarının (CCi) hesaplanması gerekmektedir. Yakınlık katsayısı, bulanık pozitif

ideal çözüme (A^*) ve bulanık negatif ideal çözüme (A^-) uzaklığı aynı anda dikkate alınır.

Her bir alternatifin yakınlık katsayısının hesaplanmasında aşağıda verilen 4'deki formül kullanılır.

$$CC_i = \frac{d^-}{d^+ + d^-} \quad i=1,2,\dots,m \quad (4)$$

$A_i = A^*$ ise $CC_i = 1$ olacağı ve $A_i = A^-$ ise $CC_i = 0$ olacağı açıktır. Diğer bir ifade ile CC_i değeri 1'e yaklaştıkça, alternatif A_i pozitif ideal çözüme daha yakın olacaktır. Aynı zamanda negatif ideal çözümden de daha uzak olacaktır. Mevcut alternatifler, yakınlık katsayılarına göre en iyiden en kötüye doğru sıralanır.

3.1. Amaç

PPG Firmasında gerçekleştirilmiş olan ergonomi çalışmalarının temel amacı; çalışanların çalıştıkları ortamın kalitesini yükseltmek ile birlikte şirkette ergonomi kültürünün oturtulması böylelikle birbirinden ayrılmaz bir bütün olan iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının ergonomik değerlendirmeler ile bütünleşmesidir. Ergonomi çalışmaları sayesinde çalışanların memnuniyeti artacak bu da çalışan verimliliğine olumlu katkı sağlayacaktır.

PPG firması 1883 yılında Kaptan John B. Ford ve John Pitcairn Pittsburgh Plate Glass (PPG) tarafından kurulmuştur. PPG, plaka işlemleri kullanarak yüksek kaliteli, kalın, düz cam, güneş ışığını gördüğünde otomatik olarak karar ve zararlı UV ışınlarını bloke eden fotokromatik mercekleri fotokromatik lensleri, solvent bazlı boya, devre kartları, pencere tarama ve plastik takviye için cam elyaf üreten ABD'de ticari olarak başarılı olan ilk üretici olmuştur. Şirket ayrıca yakıt olarak yerel olarak üretilen doğal gaz kullanarak eritme fırınlarını çalıştıran dünyanın ilk düz cam üretim tesisine sahip olarak, bu yenilikle, temiz yanan gazın hızla bir endüstriyel yakıt olarak yaygınlaşmasına sebep olmuştur.

3.2. Uygulama

Çalışma kapsamında işletmede en fazla şikayet aldığı için özellikle seçilen ve incelenen 3 iş istasyonunda önce Hızlı Maruziyet Değerlendirme (HMD) Yöntemi kullanılmıştır. HMD (Quick Exposure Check- Hızlı Maruziyet Değerlendirme) ölçeği özellikle İş Sağlığı ve Güvenliği uygulayıcılarının kullanımı için, Guangyan Li ve Peter Buckle tarafından 1998'de, İngiltere'de Robens Sağlık Ergonomi Merkezinde geliştirilmiştir. HMD'nin kullanımı oldukça kolay ve çabuktur. Güvenilirlik ve geçerliliği kanıtlanmış bir yöntemdir. İşyerinde kas iskelet sistemine bağlı hastalıklar için ortaya çıkabilecek risk faktörlerine maruziyeti ölçmek amacıyla hem gözlemci hem de çalışan için soruların bulunduğu değerlendirme formunda, vücudun dört temel bölgesi için elle taşınan, kaldırılan ağır yükler, zorlanmalar gibi

maruziyet düzeyleri değerlendirilebilir. HMD İngiltere, Kanada başta olmak üzere çeşitli Avrupa ve Asya ülkelerinde uygulamalarda ve araştırmalarda kullanılmaktadır.

HMD ardından aynı istasyonlar, bu konuda karar verme konumunda olan bir ergonomi uzmanı tarafından değerlendirilmiş ve Topsis yöntemini uygulamak için öncelik taşıyan 10 ölçüt belirlenmiştir. Sonuçları daha geniş açıdan değerlendirmek amacıyla yamuk bulanık sayılar kullanılmıştır. İşletmedeki bu üç istasyon, Bulanık TOPSİS algoritması kullanılarak bulunan yakınlık katsayılarına göre ergonomik risklerine göre sıralanmıştır.

3.2.1. Pilot iş istasyonlarında yapılan çalışmalar

Ergonomi çalışmaları kapsamında çalışanlara öncelikle eğitimler verilmiş ve bu eğitimler ile verilen temel bilgilerin iş istasyonlarında çalışan personel tarafından uygulamaya geçirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmalar esnasında en önemli faktörlerden bir tanesi, çalışılan iş istasyonlarında bizzat çalışanların işe ait fikirlerinin alınmasıdır. Çalışmalar sırasında iş istasyonunun dinamik ve statik tüm ölçüleri vücut pozisyonu, eğilme, yük ve makinelerin taşınmasındaki güçlük, baş el kol ve bacaklar gibi organların hareketlerindeki zorlanma ve yeterli hacimlerin mevcut olup olmaması açılarından, çalışanların vücut ölçülerine uygunluğu analiz edilmiştir. İşletmede elle taşıma işlerinin durumu, ağırlıkların taşınması, ayakta veya oturarak çalışma sırasında uygulanacak kuvvetlerin de bu çerçevede incelenmesine özen gösterilmiştir.

Pilot iş istasyonlarının seçimi aşamasından önce işletmede yer alan iş istasyonlarında işlerin yapılış şekillerinin doğal akışında izlenebilmesi amacı ile fotoğraf ve video çekimleri yapılmıştır. Fotoğraf ve video çekimleri daha sağlıklı tespitlerin yapılabilmesi adına önemli olmaktadır. Gerçekleştirilen çekimler işi gerçekleştiren operatörler ile birlikte değerlendirilmiştir.

Uygulama için seçilen iş istasyonları solvent bazlı üretim istasyonu, öğütücü grubu ve boya hazırlama istasyonudur.

3.2.1.1. Solvent Bazlı Üretim İstasyonu

Ürün çeşitliliği bakımından yapılan çalışmalarda bu istasyonda yeni bir ürün üretimi başlamıştır. Bu üretimde öncelikle kazana toz atma işlemleri yapılmakta sonrasında karıştırıcıda karıştırılan ürünler kovalara doldurulmaktadır. Ürünlerin üretiminin denenmesi esnasında yapılan çalışmalarda ergonomik değerlendirmeler yapılmıştır.

Uygun olmayan çalışma duruşlarına ait resimler aşağıda gösterilmiştir.

Resim1. Solvent Bazlı Üretim İstasyonu Çalışma Duruşları



Bu iş istasyonunda uygulanan 'Hızlı Maruziyet Test' sonuçlarına göre kas-iskelet rahatsızlıkları açısından çok yüksek düzeyde (42/ 41-56), omuz kol rahatsızlıkları açısından yüksek düzeyde (36/ 31-40), bilek ve el açısından orta (26/21-30), sürekli iş yapma (1/4), titreşim (1/4), işin devamında güçlük (4/4), stres (9/9) değerleri elde edilmiştir.

3.2.1.2. Öğütücü Grubu

Bu grupta öğütme işlemleri gerçekleştirilmektedir. 4 ayrı öğütme makinesi bu işlerin yapıldığı iş istasyonunda bulunmaktadır. Bu istasyonda yapılan işlemler açısından öğeler ve ayrılma noktaları için yapılan zaman etüdü çalışması sonrası toplam iş çevrimi süresi 1 saat 20 dk olarak belirlenmiştir. Özellikle ergonomik zorlanmaların yaşandığı toz atma işlemi detaylı olarak incelenmiş ve burada Hızlı Maruziyet Değerlendirme (HMD) uygulanmıştır. HMD sonuçlarına göre; kas-iskelet rahatsızlıkları açısından yüksek düzeyde (38/ 31-40), omuz kol rahatsızlıkları açısından yine yüksek düzeyde (36/31-40), bilek ve el açısından orta (22/21-30), sürekli iş yapma (1/4), titreşim (1/4), işin devamında güçlük (4/4), stres (9/9) değerleri elde edilmiştir.

Genel olarak söylemek gerekirse özellikle çalışanların davranış eksiklikleri de göz önüne alındığında kas iskelet sisteminde ciddi problemler oluşabileceği gözlenmektedir. Çalışanların ortalama 25 kg çuvaları boşaltma yapabilmek için en az 4 adım atarak taşınması esnasında ağırlık kaldırmadan kaynaklanabilecek kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilir.

3.2.1.3. Boya Hazırlama İstasyonu

Dışarıdan ithal edilmiş veya fabrika içerisinde üretilmiş olan, hazırlanan hammaddenin ana bileşimi olan solvent ile birlikte, daha önceden belirlenmiş olan reçeteye göre 2 ila 9 farklı katkı maddesi aracılığı ile GIL boyası adı verilen bir boya hazırlanmaktadır. 200 kg kadar olan boyalar tek bir varile daha fazla miktarlardakiler ise 800 kg kadar olmak üzere birden fazla bidona hazırlanmaktadır. Bazen eski boş bir varil bazen de eski bir varil içerisine naylon kaplanarak karışım hazırlanmaktadır. Ağırlık miktarına göre karıştırılan malzemeler yardımcı kaldırma aparatları aracılığı ile karıştırıcı altına taşınarak tam olarak karıştırılması sağlanmakta ve sevkiyata hazır hale getirilmektedir.

Ortamda solvent ve boya kokusu hissedilmesine rağmen çalışanların maske takmadığı görülmüştür. Takmaları gerektiği söylendiğinde, firma içerisinde yaptırılan ortam ölçüm sonuçlarına göre zararlı miktarlarda olmadığını belirlendiği ve takmalarına gerek olmadığı ifade edildiğini belirtmişlerdir. Varilin içinde hazırlanan karışım kullanılacak maddelerin konulması esnasında kaldırılan ve boşaltılan kovanın ağırlığı 27 kg'a kadar ulaşmaktadır. Bu boşaltma işlemi genellikle 2 kişi ile gerçekleştirilmektedir.

Çalışma sırasında, ağır ve hafif kassal gruplarla yapılan dinamik ve statik kassal çalışmalar vardır. Zaman zaman eğilip doğrulma ve burulma hareketleri de söz konusudur. Ortam sıcaklığı ağır kassal çalışma için kışın uygun olmakla birlikte yazın ortam sıcaklığının ve nemin fazla olduğu yönünde bir izlenim mevcuttur. Titreşim, aydınlatma, gürültü vb açılardan performansı etkileyecek olumsuzluk gözlenmemiştir.

Bu iş istasyonunda uygulanan 'Hızlı Maruziyet Test' sonuçlarına göre kas-iskelet rahatsızlıkları açısından yüksek düzeyde (34/ 31-40), omuz kol rahatsızlıkları açısından (28/ 21-30), bilek ve el açısından (4/2-6), sürekli iş yapma (1/4),titreşim (1/4), işin devamında güçlük (4/4), stres (9/9) değerleri elde edilmiştir.

Bu iş istasyonunda da davranış eksiklikleri de göz önüne alındığında kas iskelet sisteminde problemler oluşabileceği gözlenmektedir.

Resim 2. Boya Hazırlama İstasyonu Çalışma Duruşları



Üç istasyon için yapılan Hızlı Maruziyet Değerlendirme (HMD) sonrası, bir sonraki aşamada aynı iş istasyonlarının değerlendirilmesi için Bulanık TOPSIS Algoritması oluşturulmuştur.

4. Araştırma Bulguları

4.1. Bulanık TOPSIS algoritmasının uygulanması

Öncelikle problemin hiyerarşik yapısı oluşturulmuş, ele alınan üç istasyonda insan açısından gerçekleştirilen kassal çalışmada dikkate alınacak 10 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler ;

- K1: Dinamik Kassal Çalışma
- K2: Statik Kassal Çalışma
- K3: Burulma
- K4: Vücut Pozisyonu
- K5: Başüstü Çalışma
- K6: Eğilme
- K7: Kuvvetin Yönü
- K8: Yükün Ağırlık Merkezine Olan Mesafesi
- K9:Yük Miktarı
- K10:Kaldırma Sıklığı'dır

Karar kriterlerinin önem düzeylerinin değerlendirilmesinde ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler ile bu değişkenlerin yamuk bulanık sayı olarak karşılıkları Tablo 1 ve Tablo 2'deki gibidir.

Tablo1: Karar Kriterlerinin Önem Düzeyinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değişkenler ile Yamuk Bulanık Sayılar Olarak İfadeleri(Chen, vd, 2006: 293)

Sözel Değişken	Yamuk Bulanık Sayı
Çok Düşük (CD)	(0,0, 0,0, 0,1, 0,2)
Düşük (D)	(0,1, 0,2, 0,2, 0,3)
Biraz Düşük (BD)	(0,2, 0,3, 0,4, 0,5)
Orta (O)	(0,4, 0,5, 0,5, 0,6)
Biraz Yüksek (BY)	(0,5, 0,6, 0,7, 0,8)
Yüksek (Y)	(0,7, 0,8, 0,8, 0,9)
Çok Yüksek (CY)	(0,8, 0,9, 0,9 1,0)

Tablo 2: Alternatiflerin Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri(Chen, vd, 2006: 293).

Sözel Değişken	Yamuk Bulanık Sayı
Çok Kötü (CK)	(0, 0, 1, 2)
Kötü (K)	(0, 2, 2, 3)
Biraz Kötü (BK)	(2, 3, 4, 5)
Orta (O)	(4, 5, 5, 6)
Biraz İyi (BI)	(5, 6, 7, 8)
İyi (I)	(7, 8, 8, 9)
Çok İyi (CI)	(8, 9, 10, 10)

Chen vd. (2006)'nin tabloları yardımı ile işletmedeki üç istasyonun ergonomik problemi için karar kriterlerinin önem düzeylerinin değerlendirilmesinde ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler belirlenerek tabloları oluşturulmuştur.

Tablo 4: Karar Vericinin İstasyonları Değerlendirme Tablosu

Ölçütler	İstasyonlar		
	I1	I2	I3
K1	BI	O	K
K2	BK	BI	BI
K3	I	BK	O
K4	I	O	K
K5	I	I	I
K6	ÇI	K	ÇK
K7	ÇI	BK	BK
K8	O	O	K
K9	K	K	K
K10	K	K	O

Çalışmanın bu aşamasından sonra önem ağırlıkları yamuk bulanık sayılara dönüştürülmüş ve bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve ardından normalize edilmiş bulanık karar matrisine ulaşılmıştır.

Oluşturulan bulanık karar matrisindeki değerlerin karşılaştırılabilir olmasını sağlamak amacı ile normalize edilmiş bulanık karar matrisine ulaşılmıştır.

Tablo 5 : Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
I1	(5,6,7,8)	(2,3,4,5)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
I2	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)	(7,8,8,9)
I3	(1,2,2,3)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(1,2,2,3)	(7,8,8,9)
	K6	K7	K8	K9	K10
I1	(8,9,9,10)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(1,2,2,3)	(1,2,2,3)
I2	(1,2,2,3)	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)	(1,2,2,3)	(1,2,2,3)
I3	(0,1,1,2)	(2,3,4,5)	(1,2,2,3)	(1,2,2,3)	(4,5,5,6)

Tablo 6: Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
I1	(0,5,0,6,0,7,0,8)	(0,2,0,3,0,4,0,5)	(0,7,0,8,0,8,0,9)	(0,7,0,8,0,8,0,9)	(0,7,0,8,0,8,0,9)
I2	(0,4,0,5,0,5,0,6)	(0,5,0,6,0,7,0,8)	(0,2,0,3,0,4,0,5)	(0,4,0,5,0,5,0,6)	(0,7,0,8,0,8,0,9)
I3	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,5,0,6,0,7,0,8)	(0,4,0,5,0,5,0,6)	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,7,0,8,0,8,0,9)
	K6	K7	K8	K9	K10
I1	(0,8,0,9,0,9,1)	(0,5,0,6,0,7,0,8)	(0,4,0,5,0,5,0,6)	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,1,0,2,0,2,0,3)
I2	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,2,0,3,0,4,0,5)	(0,4,0,5,0,5,0,6)	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,1,0,2,0,2,0,3)
I3	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,2,0,3,0,4,0,5)	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,1,0,2,0,2,0,3)	(0,4,0,5,0,5,0,6)

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi, normalize edilmiş bulanık karar matrisi ve bulanık ağırlıklar matrisinden formüller yardımı ile Tablo 7'deki gibi elde edilir.

Tablo 7: Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4
I1	(0,4,0,54,0,63,0,8)	(0,16,0,27,0,36,0,5)	(0,49,0,64,0,64,0,81)	(0,56,0,72,0,72,0,9)
I2	(0,32,0,45,0,45,0,6)	(0,4,0,54,0,63,0,8)	(0,14,0,24,0,32,0,45)	(0,32,0,45,0,45,0,6)
I3	(0,8,0,18,0,18,0,3)	(0,4,0,54,0,63,0,8)	(0,28,0,40,0,40,0,54)	(0,1,0,18,0,18,0,3)
	K5	K6	K7	K8
I1	(0,07,0,16,0,16,0,27)	(0,64,0,81,0,81,1)	(0,35,0,48,0,56,0,8)	(0,28,0,40,0,40,0,54)
I2	(0,28,0,4,0,4,0,54)	(0,08,0,18,0,18,0,3)	(0,14,0,24,0,32,0,5)	(0,28,0,40,0,40,0,54)
I3	(0,07,0,16,0,16,0,27)	(0,09,0,09,0,2)	(0,14,0,24,0,32,0,5)	(0,07,0,16,0,16,0,27)
	K9	K10		
I1	(0,08,0,18,0,18,0,3)	(0,08,0,18,0,18,0,3)		
I2	(0,08,0,18,0,18,0,3)	(0,08,0,18,0,18,0,3)		
I3	(0,08,0,18,0,18,0,3)	(0,32,0,45,0,45,0,6)		

Tablo.7 yardımı ile Bulanık Pozitif İdeal Çözüm ve Bulanık Negatif İdeal Çözüm belirlenir.

$$\tilde{A}^+ = [(0,8,0,8,0,8,0,8), (0,8,0,8,0,8,0,8), (0,81,0,81,0,81,0,81), (0,9,0,9,0,9,0,9), (0,54,0,54,0,54,0,54), (1,1,1,1),$$

$$(0,8,0,8,0,8,0,8), (0,54,0,54,0,54,0,54), (0,3,0,3,0,3,0,3), (0,6,0,6,0,6,0,6)]$$

$$\tilde{A}^- = [(0,32,0,32,0,32,0,32), (0,16,0,16,0,16,0,16), (0,14,0,14,0,14,0,14), (0,1,0,1,0,1,0,1), (0,07,0,07,0,07,0,07), (0,0,0,0,0,0,0,0), (0,14,0,14,0,14,0,14), (0,07,0,07,0,07,0,07), (0,08,0,08,0,08,0,08), (0,08,0,08,0,08,0,08)]$$

Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümün belirlenmesinin ardından her bir alternatifin bulanık pozitif ideal çözümden ve bulanık negatif ideal çözümden uzaklıkları hesaplanarak Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8: Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Uzaklıkları

		K1	K2	K3	K4	K5
		d(A ₁ ,A ₊)	0,839	0,493	0,200	0,212
d(A ₊ ,A ₊)	d(A ₂ ,A ₊)	0,358	0,253	0,530	0,455	0,163
	d(A ₃ ,A ₊)	0,504	0,253	0,410	0,713	0,381
	d(A ₁ ,A ₋)	0,308	0,204	0,517	0,686	0,118
d(A ₋ ,A ₋)	d(A ₂ ,A ₋)	0,167	0,456	0,186	0,368	0,347
	d(A ₃ ,A ₋)	0,259	0,456	0,280	0,114	0,118
		K6	K7	K8	K9	K10
d(A ₊ ,A ₊)	d(A ₁ ,A ₊)	0,224	0,301	0,163	0,138	0,486
	d(A ₂ ,A ₊)	0,818	0,517	0,163	0,138	0,486
	d(A ₃ ,A ₊)	0,907	0,517	0,381	0,138	0,175
d(A ₋ ,A ₋)	d(A ₁ ,A ₋)	0,824	0,439	0,347	0,130	0,130
	d(A ₂ ,A ₋)	0,200	0,207	0,347	0,130	0,130
	d(A ₃ ,A ₋)	0,237	0,186	0,118	0,130	0,387

Alternatiflerin bulanık negatif ideal çözümden ve bulanık pozitif ideal çözümden uzaklıkları kullanılarak yakınlık katsayıları hesaplanmış ve yakınlık katsayılarına ait sıralama ile birlikte Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9: Yakınlık Katsayıları ve Sıralama

	d ₁ *	d ₁ -	CC ₁	Sıralama
A1	3,437	3,703	0,518	1
A2	3,881	2,538	0,395	2
A3	4,379	2,285	0,342	3

Yapılan çalışmaya göre Ergonomik açıdan en riskli istasyon A1 numaralı istasyondur.

5. Sonuç ve Tartışma

Firmadaki üç istasyon, elde edilen yakınlık katsayılarına göre büyükten küçüğe doğru sıralandığında kriterlere göre, yakınlık katsayılarının kabul durumları açısından A₁'in yüksek ergonomik risk ile kabul edilebilir olduğu, A₂ ve A₃'ün ise yakınlık katsayılarına göre düşük risk içerdiği söylenilir.

Bulanık Topsis yöntemi ile elde ettiğimiz sonuçlar, Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi sonuçlarına da benzerlik göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada uygulanan Bulanık TOPSİS yöntemi, riskli istasyon seçim sürecinde alternatiflerin değerlendirilmesinde ve seçim işleminin gerçekleşmesinde başarılı bir şekilde uygulanmış böylelikle karar verirken yararlanılan bir karar aracı olarak kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Uygulamalı ergonomi projelerinde elde edilen sonuçlara göre seçilen en iyi çözüm seçeneği uygulamaya konulduktan sonra elde edilen sonuçlar yeniden değerlendirilmelidir. Elde edilen çıktılar amaçlanan değerlerle karşılaştırılmalı gereken düzeltmeler var ise yapılmalıdır.

Ergonomik iyileştirme ve yerleştirilmeye çalışılan kurumsal kültür açısından üretim operatörleri üst düzey üretim ve laboratuvar elemanlarından oluşan bir ergonomi komisyonunun her yeni aparat alınışında veya yeni bir projenin geliştirilmesi sırasında ortak ve katılımcı bir çalışma ile ergonomik uygunluğun sürekliliğinin sağlanması gerekir.

İşletmedeki tüm istasyonlar, alternatif yöntemler (ELECTRE, VİKOR, VZA, PROMETHEE, AHP gibi) kullanılarak bir başka çalışmada değerlendirilebilir. Böylelikle alternatif yöntemlerin karşılaştırılmasıyla çalışmaya değişik boyutlar kazandırılabilir. Bulanık TOPSİS yönteminde iki bulanık sayı arasındaki uzaklık bu çalışmada Vertex yöntemi yardımıyla hesaplanmıştır. Gelecek çalışmalarda iki bulanık sayı arasındaki mesafeyi hesaplamak için farklı yöntemler (Minkowski, Hamming) kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

Bu çalışmanın konusu olan gelecekteki çalışmalarda iş sistemlerinde verimlilik ve üretkenlik ile iş sağlığı ve güvenliğine etki eden diğer faktörler de göz önüne alınarak çalışma genişletilebilir ve böylelikle özellikle Türk Sanayii Sektöründe gereksinim duyulan sayısal değerlendirmelere ulaşılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programında yürütülen ve kabul edilen yüksek Lisans Tezinin bir bölümünü kapsamaktadır.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Abo-Sina, M.A., Amer, A.H., 2005. Extensions of TOPSİS for Multiobjective Large-scale Nonlinear Programming Problems, Applied Mathematics and Computation, Vol.162, Issue 1, 243-256

Akalp, G., 2010. İşgücü Verimliliği Ve Motivasyonu Açısından Ergonomik İyileştirmelerin Önemi: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, 16. Ergonomi Kongresi, Hitit Üniversitesi, 3-5 Aralık 2010, Çorum

Bashiri, Mahdi & Hosseininezhad-Seyed, Javad 2009. A fuzzy group decision support system for multifacility location problems. International Journal Of Adv. Manufacturing Technology, 42, 533-543.

Baykal N., Beyan T. 2004. Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitabevi, Ankara

Bottani, E., Rizzi A., 2006. A Fuzzy TOPSİS Methodology to Support Outsourcing of Logistics Services, Supply Chain Management: An International Journal, 11(4),294-308

Benitez, J.M., Martin J.C., Roman, C., 2007. Using Fuzzy Number for Measuring Quality of Service in The Hotel Industry, Tourism Management, 28(2),544-555

Chen,S.J.,Hwang C.L., 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag, Berlin

Chen,C.T. 2000. A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center, Fuzzy Sets and Systems, 114, 1-9

Chen,C.T., Lin,C.T., Huang, S.F. 2006. A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management, International Journal of Production Economics, 1-13

Chen, C.T. 2001. A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center, Fuzzy Sets and Systems, 118, p.65-73.

Chen G., Pham T.T. 2001. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems, CRC Press, USA.

Chu, T.-C., Lin Y.-C., 2003. A Fuzzy TOPSİS Method For Robot Selection, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21, 284-290

Chu, T.C. 2002. Selecting Plant Location via Fuzzy TOPSİS Approach, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 20, p.859-864.

Çınar T.N.2010. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSİS Yöntemi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama, KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi 12 (18): 37-45, 2010 ISSN: 1309 - 9132,

Doğan, A., Önder, E., 2014. İnsan Kaynakları Temin Ve Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Tekniklerinin Kullanılması Ve Bir Uygulama Journal of Yasar University 2014 9(34) 5796-5819

Dündar,S., Ecer, F., Özdemir,Ş., 2007. Fuzzy TOPSİS Yöntemi İle Sanal Mağazaların Web Sitelerinin Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21(1), 143-172

Ecer, F., Vurur, N.S, Özdemir L., 2009. Bulanık Bir Modelle Firmaları Değerlendirme ve Optimal Portföy Oluşturma : Çimento Sektöründe Bir Uygulama, Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6(11), 478-502

- Elmas Ç., 2011, Yapay Zeka Uygulamaları, Ankara.
- Ertuğrul İ, Güneş M. 2007. Fuzzy Multi-criteria Decision Making Method for Machine Selection, Analysis and Design of Intelligent Systems Using Soft Computing Techniques, 41. p.638-648, Springer, Berlin Heidelberg.
- Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N. 2007 Fuzzy TOPSIS Method for Academic Member Selection in Engineering Faculty, Innovations in E-learning, Instruction 193 Technology, Assessment and Engineering Education, Iskander, Magued (ed), XVI, p. 151-156, Springer, Netherlands.
- Gültaş İ., Özok A. F. 2007. Endüstri Mühendisliği Eğitiminde Matematik Ders İçeriklerinin Belirlenmesinde BAHF Yöntemi ile Çözüm Önerisi, Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, İzmir, s.87-92.
- Hal W. Hendrick, 2000. The Technology of Ergonomics, Theoretical Issues in Ergonomics Science, Vol: 1, No: 1, January, s. 22-23.
- Hwang C. L., Yoon K., 1981. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications, Springer, Berlin Heidelberg
- Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh, L.F., Izadikhah, M., 2006. Extension of the TOPSIS method for Decision Making Problems with Fuzzy Data, Applied Mathematics and Computation, 181(2), 1544-1551
- Kahya E.,2014. İş Güvenliği, Eskişehir
- Leka, S. ve Cox, T. 2008 PRIMA-EF Guidance on the European Framework for Psychosocial Risk Management: A Resource for Employers and Worker Representatives. WHO Protecting Workers' Health Series.
- Maldonado -Macías A., Alvarado A., García J. L., Balderrama C. O., 2012. Intuitionistic Fuzzy TOPSIS For Ergonomic Compatibility Evaluation Of Advanced Manufacturing Technology, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer
- Özdemir A.İ., Seçme N.Y., 2009. İki Aşamalı Tedarikçi Seçiminin Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F Dergisi, C. X I, S II, 79-111
- Özkılıç Ö., 2014. 'Risk Değerlendirmesi' Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, Ankara,2014
- Özok A.F., 2013. İleri Ergonomi Dersi, Yayınlanmamış Ders Notları , İstanbul Okan Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürk, A., Ertuğrul İ., Karakaşoğlu N.,2008 " Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15(2), 785-824
- Öztürk, B., Başkaya, Z., 2011. Bulanık TOPSIS Algoritması ile Yamuk Bulanık Sayıların Satış Elemanı Seçiminde Kullanılması, Business and Economics Research Journal Volume 2 . Number 2 . 2011 pp. 77-100 ISSN: 1309-2448,
- Razmi, J.S., Mahsen, J. Khakbaz, M.H.,2009. An Integrated Fuzzy Group Decision Making/Fuzzy Linear Programming (FGDMLP) Framework For Supplier Evaluation And Order Allocation International Journal Of Adv. Manufacturing Technology, 43, 590-607.
- Semerci O. 2012. İş Sağlığı Ve Güvenliğinde Risk Değerlendirmesi: Metal Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İzmir 9 Eylül Üniversitesi
- Shanian, A. & Savadogo, O. 2006. TOPSIS Multiple-Criteria Decision Support Analysis For Material Selection Of Metallic Bipolar Plates For Polymer Electrolyte Fuel Cell. Journal Of Power Sources, 159, 1095-1104.
- Tansel Y.İ., Yurdakul M., 2008. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi, İşletme Fakültesi Dergisi, C:IX, No:1, 2008, s. 138.
- Triantaphyllou, E., Lin, C.T. 1996. Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods, International Journal of Approximate Reasoning, 14, p.281-310.
- Tsaur S.H., Chang T.Y., Yen C.H., 2002. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM, Tourism Management, 23, s.107-115
- Wang Y.M., Elhag, T.M.S.,2006. Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets With An Application to Bridge Risk Assessment, Expert Systems With Applications, 31, 309-319
- Wang, T. C., Chang, T. H. 2007. Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft Under a Fuzzy Environment, Expert Systems with Applications, 33(4), p.870-880.
- Wang, Y.J., 2008. Applying FMCDM to Evaluate Financial Performance of Domestic Airlines in Taiwan, Expert Systems with Applications, 34(3), 1837-1845
- Wickens, C. D 1992. Engineering Psychology And Human Performance. New York: HarperCollins.
- Yıldız, A., Yıldız, D., 2014. Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılım Seçimi, Business and Economics Research Journal Volume 5 Number 1 2014 pp. 87-106 ISSN: 1309-2448
- "İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği"
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121229-13.htm>