



YAPI ÜRETİM SÜRECİNDEKİ İŞ KAZALARI ŞİDDETİNİN ÖN BİLGİLENDİRİLMİŞ YAPAY ÖĞRENME METODU İLE TAHMİNİ

¹Mustafa TÜRKER , ²Recep KANIT 

^{1,2}Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

¹mustafa.turker@gazi.edu.tr, ²rkanit@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 06.07.2020; Kabul/Accepted in Revised Form: 25.08.2020)

ÖZ: Bu çalışmada, yapı üretim sürecinde meydana gelen iş kazalarında, kaza şiddeti ile kaza önlemleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bunun için geçmiş kaza verileri kullanılarak, ilerideki iş kazalarında hangi önlemlerin alınması gerektiği ve bu önlemlerin alınmaması halinde kaza sonucunun ne olabileceğini tahmin edebilen bütünleşmiş bir model geliştirilmiştir. Bu tahmin modeli, günümüzde araştırmacıların sıklıkla kullandığı AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) metotlarının zayıf kaldıkları noktada birbirlerini tamamlaması amacıyla, birbirine entegre edilerek oluşturulmuştur. Modelin anlamlılığı bir saha çalışması yapılarak gerçek veriler ile test edilmiştir. Örneklem için en çok ölümlerle sonuçlanan 4 (dört) tür iş kazası seçilmiş ve bu iş kazaları için, aynı kurumda, 35 (otuz beş) geçmiş kaza verileri toplanmıştır. YSA metodu giriş katmanını önceden anlamlandıran AHP metodu için ikili kıyaslama verileri, profesyonel bir anket firması tarafından sektörde görev yapan İSG (İş sağlığı ve güvenliği) uzmanlarından, anket yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerden 120 adedi ağların eğitilmesinde, 20 adedi de test edilmesinde kullanılmıştır. Sonuçta risk azaltıcı önlemler ile kaza şiddeti arasında ilişkinin, toplanan kaza verileriyle sınırlı olmak kaydıyla, %90 oranında anlamlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İş Kazaları, Yapay Sinir Ağları, Tahmin Modeli, İnşaat Sektörü, ÖBYÖM

Estimation of the Severity of Occupational Accidents in the Building Process with Pre-Informed Artificial Learning Method

ABSTRACT: In this study, the relationship between accident severity and accident measures in the occupational accidents that occurred during the building process was investigated. By using past accident data, an integrated model has been developed which can predict what measures should be taken in future occupational accidents and what the outcome of the accident would be if these measures are not taken. This estimation model was developed by integrating the AHP (Analytical Hierarchy Process) and ANN (Artificial Neural Networks) methods, which are frequently used by researchers, to complement each other at the point where they are weak. The significance of the model was tested with real data by conducting a field study. For the sample, 4 (four) types of occupational accidents that caused the most deaths were selected, and 35 (thirty-five) past accident data were collected for each of these occupational accident types. For AHP method, which weighting the input layer of the ANN method, the binary comparison data was obtained through the survey method from the OHS (Occupational Health and Safety) experts working in the sector by a professional survey firm. From the data obtained, 120 data were used to train network, 20 data were used to test it. As a result, the relationship between risk reducing measures and accident severity was found to be 90% significant, provided that it is limited to the accident data collected.

Key Words: Occupational Accidents, Artificial Neural Networks, Prediction Model, Construction Sector, PIAIM

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konunun Önemi (Importance of the Subject)

Yapı üretim süreci birçok belirsizlik ve doğal olarakta yüksek riskler içerir. Bununla birlikte aynı oranda da yüksek getiri sağlar. Yapı üretimi için, birçok farklı disiplinlerden çalışanlar bir araya gelmekte ve bu üretim İSG bakımından çok tehlikeli sınıfta değerlendirilmektedir.

İş kazaları sektörel açıdan incelendiğinde, T. C. Sosyal Güvenlik Kurumu istatistiklerine göre 2015 ve 2018 yılları arasında iş kazası sonucu yaşamını yitiren sigortalılardan bütün sektörler içerisinde inşaat sektörünün payı 2147 kişi ile %36,8 olmuştur. Ölümlü olmayan iş kazaları neticesinde, yatarak ve ayakta tedavi görülmesi ile kaybedilen iş günü sayısı için bütün sektörler içerisinde inşaat sektörünün payı, 2015 ve 2018 yılları arasında 2.630.513 gün ile %20,3 olarak kayıtlara geçmiştir (Sosyal Güvenlik Kurumu, 2018). Görüldüğü üzere ülkemizdeki iş kazalarının, özellikle ölümlü iş kazalarının büyük bir kısmı inşaat sektöründe meydana gelmektedir.

Literatür Özeti (Literature Review)

İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği alanında 2010-2019 yılları arasında SCI ve SCI-EXPANDED indekslerinde 1000 'e yakın yayın yapılmış olup, her yıl yayın sayısı ortalama %15 artmıştır. Bu yayınlardan 44 tanesi Türkiye kaynaklıdır (Clarivate Analytics, 2020). Bu çalışmalardan konumuzla doğrudan ilgili olanlar aşağıda gösterilmiştir.

Aminbakhsh vd. (2013) yapmış oldukları çalışma ile AHP metodu ve Güvenlik Maliyeti teorisine dayalı bir risk değerlendirme çerçevesi önermişlerdir. Çalışmada her kazaya, kendi grubu içerisinde hiyerarşik olarak ağırlık kazandırılmış ve önlem maliyeti ile kaza maliyetinin kesiştiği optimum bütçe aranmıştır. Gurcanli vd. (2015), ticari bir yazılım kullanarak 30 farklı yapının aktiviteleri üzerine belirlemiş oldukları riskleri tanımlayarak proje maliyetine göre bir güvenlik maliyeti oranı elde etmişlerdir.

Yılmaz ve Kanit (2018), yapmış oldukları çalışmada mevzuata uygun olarak şantiyede alınması gereken bütün önlemleri işçilik bazında maliyet olarak yansıtmayı başarmışlar ve kendilerinin geliştirdiği yazılım ile başka bir yazılıma ihtiyaç duymadan uygulamaya geçirmişlerdir. Çok detaylı olarak yapılan bu çalışmada; doğrudan tek bir oran yerine, imalat grubuna göre mevzuatın gereklilikleri sonucu oluşan maliyetler doğru bir şekilde proje bütçesine hiyerarşik olarak yansıtılmıştır.

İlbarhar vd. (2018) literatürden farklı olarak Pisagor Bulanık Orantılı Risk Değerlendirme yöntemini ortaya koymuşlar ve birçok metodu bu yöntemde birleştirerek bir inşaat projesinin kazı işlerine uygulayarak sonuçlarının diğer yöntemlere göre daha tutarlı olduklarını göstermişlerdir.

Pinto vd. (2012), hiçbir kişisel önlem alınmayacağı varsayılan bu çalışmada; literatürden belirlemiş oldukları kaza türleri için bulanık küme teorisini kullanarak, her kaza türü için ayrı ayrı ilgili parametreleri belirlemişler, insan vücudunun kısımları için biyomekanik sınırları kullanarak kazanın şiddetini tahmin eden bir yöntem ortaya koymuşlardır.

Mohammadfam vd. (2015), çalışmalarında sağlığı tehdit eden iş kazalarında ilgili faktörleri değerlendirerek kazaların şiddetini tahmin edebilen bir model ortaya koymuşlardır. Çalışmada Kaba Küme Teorisi ve YSA yöntemleri ayrı ayrı kullanılmış olup, YSA yönteminin büyük ölçekli projelerde daha güvenilir olduğu ortaya konulmuş ve iki yöntemin birlikte kullanılmasının çok daha iyi sonuçlar verebileceği gösterilmiştir.

Alizadeh vd. (2015) İran inşaat sektöründe yaşanan iş kazalarında Bayesian Ağlarını kullanarak kaza şiddetinin olasılığını araştırmışlardır. Çalışmada yaş, evlilik durumu, iş deneyimi, geçmiş kaza deneyimi faktörlerini kullanarak bir tahmin ağı geliştirilmiştir.

Bu çalışmaya konu olan metoda benzer olarak Li vd. (2012), YSA ve Bulanık AHP metotlarını birlikte kullanarak bir ekipmanda hataya sebep olan risk unsurlarını değerlendirmişlerdir. Her unsur için 15 adet geçmiş veri ağın eğitilmesi için, 5 adet veri de ağın test edilmesi için kullanılmıştır. Bu model ile karmaşık haldeki risk değerlendirme problemi basite indirgenmiş ve daha isabetli bir model

geliştirilmiştir. Benzer bir metot Gomathi ve Shanmuga Priyaa (2017) tarafından koroner kalp hastalığı teşhisi için geliştirilmiştir. Bu çalışmada dört tür metot kıyaslanmıştır; Optimize Edilmiş Yarı Parametrik Genişletilmiş Derin Dinamik Bayesian Ağı, ikinci metot birinci metodun AHP ile entegre edilmiş hali, üçüncü metot Genişletilmiş Dinamik Bayesian Ağı ve dördüncü metot Optimize Edilmiş Yarı Parametrik Genişletilmiş Dinamik Bayesian Ağı. Çalışma neticesinde AHP destekli yapay öğrenme modeli diğer yöntemlere göre çok daha isabetli görülmüş ve F1 skoru 0,97 olmuştur.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma evreni, bir inşaat şirketi kapsamında meydana gelen iş kazaları olarak sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırmanın ana sebebi güvenlik iklimi ve güvenlik kültürü kavramlarıdır. Bu kavramların güvenlik davranışına etkisi olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur (Karadal vd., 2019). Güvenlik iklimi; kurum veya kuruluşun güvenliğiyle alakalı, çalışanların işyerlerindeki çalışma ortamları ile ilgili sahip oldukları bilgilerin toplamıdır (Zohar, 1980). Güvenlik kültürü, kurum kapsamında tarafları tehdit eden tehlikelere ve durumlara karşı uygulanması planlanan eylem, plan, inanç, norm, tutum vb. değerler bütünü olarak ifade edilmiştir (Cox ve Flin, 1998). Bu iki kavramın iş kazalarına etkisi kuruluş bazında değişmektedir ve anlaşılacağı üzere ciddi bir etkisi vardır. Her kuruluş, bu çalışma ile önerilen metodu kendi bünyelerinde faaliyete geçirerek kendi kuruluşlarına ait özel tahmin ağlarını oluşturabilirler.

Materyal (Material)

Bu çalışmada kullanılan iş kazası türleri SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu) tarafından yayınlanan istatistik veriler ve uluslararası çalışmalarda kabuller esas alınarak belirlenmiştir. SGK yıllık istatistiklere göre Türkiye’de 2015 ile 2018 yılları arasında en fazla ölümlü kazaya sebep olan iş kaza türleri ve birçok uluslararası çalışmaya göre en çok ölümlü kazaya sebep olan 4 tür iş kazası, çalışma örnekleme olarak seçilmiştir. Bu çalışmalara göre, ölüm ile sonuçlanan ve en sık görülen iş kazası yüksekte düşmedir. Neredeyse her iki ölümlü iş kazasından birisi yüksekte düşme ile gerçekleşmiştir. Türkiye’de 2015 ile 2018 yılları arasında toplam 1114 çalışan düşme eylemi sonucu hayatını kaybetmiştir ve ölümlü iş kazalarında listenin başını çekmektedir (Sosyal Güvenlik Kurumu, 2018). İkinci olarak en fazla ölümün gerçekleştiği kaza türü fırlatılan/düşen cisim çarpması, üçüncü olarak yapısal göçme ve son olarak elektrik çarpmasıdır. Bu dört iş kazası, bütün ölümlü iş kazalarının %85’in den fazlasını temsil etmektedir (Chen vd., 2020; Gurcanli ve Mungen, 2013; Hamid vd., 2019; Meng vd., 2018; Shafique ve Rafiq, 2019; Sosyal Güvenlik Kurumu, 2018; Winge ve Albrechtsen, 2018; Winge vd., 2019).

Seçilen iş kazaları ve inşaat sektöründe en sık gerçekleştiği imalat grupları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmaya konu olan iş kazaları ve seçilen ilgili imalat grupları

Table 1. Occupational accidents and related work groups subject to the study

İş Kazası Türü	Seçilen İlgili İmalat Grubu
Yüksekte Düşme	Cephe İmalatları
Fırlatılan/Düşen Cisim Çarpması	İskele Kurulum/Söküm İmalatları
Yapısal Göçme	Kalıp İmalatları
Elektrik Çarpması	Donatı İmalat ve Montaj İmalatları

Belirlenen bu iş kazası türlerine dair bir şirketin geçmiş verileri sağlanmıştır. Şirket bu verileri, şirket isminin açıklanmaması kaydıyla verdiği için burada ismi verilememiştir.

Birinci aşamada örneklem olarak seçilen kazalarda risk azaltıcı önlemler AHP yöntemi ile ağırlıklandırmak amacıyla kıyaslama matrisleri, ikili kıyaslama sorularına dönüştürülmüştür. Bu aşamada kullanılan veriler Bilimsel Anketler firmasınınca, inşaat sektöründe görev yapan İSG uzmanlarına anketler uygulanarak sağlanmıştır. Uygulanan anketlerden örnek bir ekran görüntüsü aşağıda Şekil 1’de gösterilmiştir.

Cephe İmalatlarında Yüksekten Düşmeye karşı Toplu Koruyucu Önlem Yöntemleri

Cephe İmalatlarında herhangi bir sebepten dolayı yüksekten düşerek meydana gelen iş kazaları

5. Aşağıdaki Toplu Koruma Önlem yöntemleri arasında ilgili imalat grubu ve kaza türüne göre kıyaslama yapınız.

İmalat Grubu: Cephe imalatları
Kaza Türü: Yüksekten düşme
(Cephe İmalatlarında herhangi bir sebepten dolayı yüksekten düşerek meydana gelen iş kazaları)

(1) nolu önlem GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİSTEMİ
(2) nolu önlem KORKULUK SİSTEMLERİ

(1) nolu önlem yöntemi (2) nolu önlem yöntemine kıyasla ne derece önemlidir (Not: sadece ikisi arasında kıyaslama yapınız) *

Kesin hakir (1), Çok hakir (2), Hakir (3), Az hakir (4), Eşit önem (5), Az üstün(6), Üstün (7), Çok üstün (8), Kesin üstün (9)

Kesin Hakir 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Kesin Üstün

Şekil 1. İkili kıyaslama değerlerinin anket yöntemi ile elde edilmesi

Figure 1. Obtaining binary comparison values by using survey method

4 kaza tipi için toplam 109 adet form doldurtulmuş ve her biri için tutarlılık analizi yapılmıştır. Yetersiz gelen 84 adet anket elenmiştir. Kalan 25 anket değerleri için ortalama alınarak tekrar tutarlılık analizine sokulmuş ve verilerin tutarlılığı hem kendi anketi içerisinde hem de ortalama bazında ispatlanmıştır.

Metot (Method)

İş kazalarında, kaza şiddeti ile alınan önlemler arasındaki ilişkiye cevap arayan bu çalışmanın türü öngörücü ilişileşim araştırmasıdır. Koruyucu ekipman ve önleyici faaliyetlerin eksik olması, iş kazalarında ölüme sebebiyet verebilir. Diğer yandan her ölüm ile sonuçlanan iş kazasında tek sebep koruyucu ekipman ve faaliyetlerin eksikliği olmayabilir. Üçüncü veya dördüncü bir dış etken her zaman için ihtimal dahilindedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında kazaların gerçekleşme ihtimalleri değil, kaza olayı gerçekleştiği takdirde şiddetinin nasıl olacağını ilişikisi araştırılmıştır.

Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metodu (PIAIM) (Pre-Informed Artificial Intelligence Method)

Öğrenme, ders çıkarma, çıkarsama yapma yetenekleri, doğada fiziksel olarak en güçlü olmasa bile insanoglunu diğer bütün canlılardan üstün kılmıştır. Basit olarak öğrenme eylemi, etkiye karşı oluşan tepkinin hafızada saklanması olayı olarak düşünülebilir. Bazen bir tepkinin oluşabilmesi için birden fazla etkinin oluşması, hatta bu etkilerin belirli ölçeklerde olması bile gerekebilir.

Bu çalışmada etkiyi temsil eden giriş parametreleri olarak şantiyelerde alınması gereken önlemler, tepki olarak kazalarının ne şiddette sonuçlandığı değerlendirilmiştir. Bu metodun uygulanabilmesi için başlangıçta bazı kabuller yapılmalıdır. Şantiyelerde alınması gereken önlemler Yılmaz ve Kanit (2018) tarafından yönetmeliklere uygun olarak 3 ana grupta derlenmiştir. Bu gruplar ve alt öğeleri Çizelge 2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. İş kazalarında risk azaltıcı önlemler (Yılmaz ve Kanıt, 2018)*Table 2. Risk reducing measures in occupational accidents*

Toplu Koruma Yöntemleri (TKY)	Kişisel Koruyucu Donanımlar (KKD)	Kontrol, Eğitim, Muayene (KEM)
(TKY-1) Şantiye alanı perde sistemi (TKY-2) Renkli kazı filesi (TKY-3) Güvenlik halatı, yaşam hattı sistemi (TKY-4) Korkuluk sistemleri (TKY-5) Cephe örtüleri (TKY-6) Güvenlik alan perdesi (TKY-7) İlk yardım çantası, yangın tüpü (TKY-8) Dış cephe güvenlik ağı (TKY-9) Seyyar elektrik dağıtım panosu (TKY-10) Uyarıcı ve bilgilendirici levhalar	(KKD-1) Baret (KKD-2) Koruyucu gözlük (KKD-3) Toz maskesi (KKD-4) Yüz siperi (KKD-5) İş elbisesi (KKD-6) Reflektör (KKD-7) Paraşüt t. Emniyet kemeri (KKD-8) İş ayakkabısı (KKD-9) Koruyucu eldiven	(KEM-1) İSG uzmanı (KEM-2) İş yeri hekimi (KEM-3) Muayeneler (KEM-4) İSG eğitimleri

İş kazalarında kaza şiddeti dört sınıf olarak kabul edilmiştir ve Çizelge 3 'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. İş kazalarında kaza şiddet sınıfları*Table 3. Accident severity classes in occupational accidents*

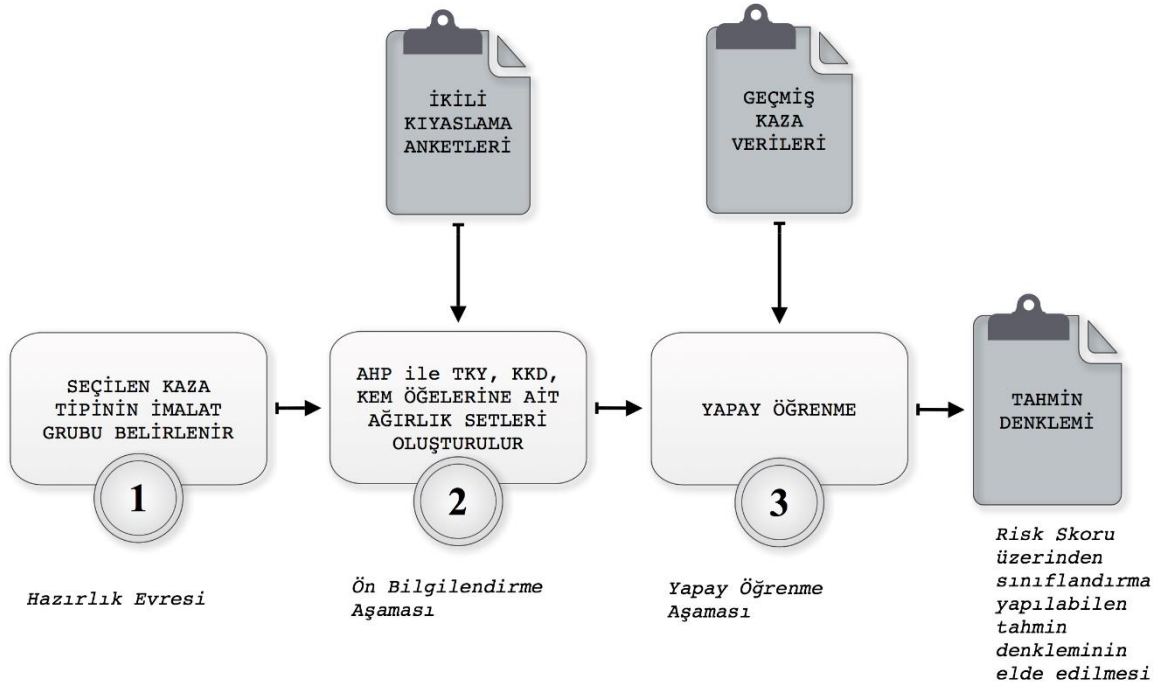
Kaza şiddet sınıfı	Açıklama
Sıyrık	Ayakta tedavi ile atlatılan ufak çaplı kazalar, 1 günü geçmeyen iş günü kaybı.
Hafif Yaralanma	Meydana gelen hasar ile geçici iş göremez hale getiren kazalar, tedavi sonrası işe geri dönülür.
Ağır Yaralanma	Yatarak tedavi gerektiren ve alınan hasar ile kalıcı iş göremez hale gelen kazalar
Ölüm	Çalışanın hayatına son veren kazalar

Çizelge 2 'de bahsedilen 33 risk azaltıcı önlemlerin, Çizelge 3 'de belirtilen 4 tür kaza şiddetine olan etkilerinin öğrenilmesi klasik YSA metodu ile yapılmaya çalışılırsa, giriş katman parametrelerinin (33 adet), çıkış katmanı parametrelere (4 adet) bağlantılarının anlam kazanması için her örneklem için en az 1000 veri gerekli olacaktır. Böyle bir yaklaşım uygulanması çok güç ve zaman alan bir yöntem olurdu. Bu noktada geçmiş veri sayısını uygulanabilir seviyelere indirmek ve yapay öğrenme ağının yükünü azaltmak amacıyla ikinci bir metot giriş katmanını anlamlandırmak amacıyla çalışmaya katılmıştır.

Klasik yaklaşımda örneğin düşen cisim çarpması kazasına karşı, toz maskesi ve baret eşit önemde öğrenme ağına giriş yapar ve geçmiş kaza verileri ile ilişkilendirildikçe, düşen cisimlerde baretin, toz maskesine karşı daha koruyucu olduğu ortaya çıkarken, yapılan bu ön işleme adımı ile bu bilgi öğrenme ağına başta verilmektedir. Bu sayede ihtiyaç duyulan geçmiş veri sayısı ciddi oranda azalmakta ve daha sağlıklı bir öğrenme yapısı ortaya çıkmaktadır.

Kaza anında alınmış önlemlerin kaza neticeleri ile ilişkilendirilmesi ve yorumlanabilmesi için sözcükler ile ifade edilen giriş ve çıkış parametreleri sayısal değerler ile ifade edilmiştir. Kaza neticelerinin sayısal olarak ifadesi, 0-100 arasında değişebilen Risk Skoru isimli bir değişken ile ifade edilmiştir.

Risk Skoru, 0-25 aralığında Sıyrık, 25-50 aralığında Hafif Yaralanma, 50-75 aralığında Ağır Yaralanma, 75-100 aralığında Ölüm olacak şekilde ayarlanmıştır. Öğrenme ağı kendini bu aralıklara göre kalibre edeceğinden eşit şekilde aralıkları bölmek yeterli olmuştur. Modelin ana iki aşaması vardır, bunlar ön bilgilendirme ve yapay öğrenme aşamalarıdır (Şekil 2).



Şekil 2. PIAIM metodu uygulama aşamaları

Figure 2. Execution stages of PIAIM method

Ön Bilgilendirme Aşaması (Pre Informing Stage)

Bu aşama, giriş parametreleri olan risk azaltıcı önlemlerin ilgili örneklem kapsamında kendi grupları içerisinde değerlendirilip ağırlık kazandırılmasını kapsamaktadır. Bu işlem için AHP metoduna ait kıyaslama matrisleri ve hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Bu sayede sayısal değerler ile ifade edilebilmiştir.

AHP metodunda kullanılan ikili kıyaslama ölçekleri Çizelge 4 'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kıyaslama ölçekleri ve açıklamaları (Saaty, 1980)

Table 4. Comparison scales and explanations

Ölçek	Tanım	Kıyaslama Açıklaması
1	Eşit derecede önemli	İki kriter eşit önemdedir
3	Az üstün	Kriterlerden birinin tecrübe ve yargıya dayanan biraz üstünlüğü vardır
5	Üstün	Kriterlerden birinin tecrübe ve yargıya dayanan çokça üstünlüğü vardır
7	Çok Üstün	Kriterlerden biri diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Kesin Üstün	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenirliliğe sahiptir
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşabilmek amacıyla kullanılacak ara değerlerdir

AHP metodu ile kriterleri değerlendirmek için öncelikle ilgili grubun öğeleri ile Çizelge 5 'de gösterildiği gibi ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması gerekir.

Çizelge 5. Risk azaltıcı önlemler için grup içi karşılaştırma matrisi*Table 5. In-group comparison matrix for risk reducing measures*

	Önlem 1	Önlem 2	Önlem 3	Önlem n
Önlem 1		a_{12}	a_{13}	a_{1n}
Önlem 2	$1/a_{12}$		a_{23}	a_{2n}
Önlem 3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$		a_{3n}
Önlem n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	

Tabloda a_{ij} olarak ifade edilen değer, i. önlemin j. önleme göre önem derecesini ifade eden sayısal ölçektir. Bu ölçek değerleri meslekte uzman kişiler tarafından veya güvenilir kaynaklar tarafından seçilmelidir. Bunu kolaylıkla yapabilmek için kıyaslama soruları ile anketler oluşturularak uzman kişilere doldurtulabilir. Bütün matris aynı kişi tarafından doldurulmalıdır. Örneğin, cephe imalatlarında yüksekte düşme riski için dış cephe ağırları, ilk yardım çantasına kıyasla ne derece önemlidir? Bu şekilde ikili olarak hazırlanacak sorulardan oluşan anketler kişilere doldurtularak kıyaslama ölçekleri elde edilebilir. Elde edilen değerler matriste yerlerine yazılır ve her kolon için alt toplam alınır. Ardından bütün matris değerleri kendi alt toplamlarına (S_i) bölünerek normalize edilir (Çizelge 6). i. kriterin (C_i) ağırlığı (w_i) matriste i. sıranın aritmetik ortalamasının alınması ile elde edilir.

Çizelge 6. Karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi*Table 6. Normalization of comparison matrix*

	C_1	C_2	C_3	C_n	
C_1	a_{11}/S_1	a_{12}/S_2	a_{13}/S_3	a_{1n}/S_n	w_1
C_2	a_{21}/S_1	a_{22}/S_2	a_{23}/S_3	a_{2n}/S_n	w_2
C_3	a_{31}/S_1	a_{32}/S_2	a_{33}/S_3	a_{3n}/S_n	w_3
C_n	a_{n1}/S_1	a_{n2}/S_2	a_{n3}/S_3	a_{nn}/S_n	w_n

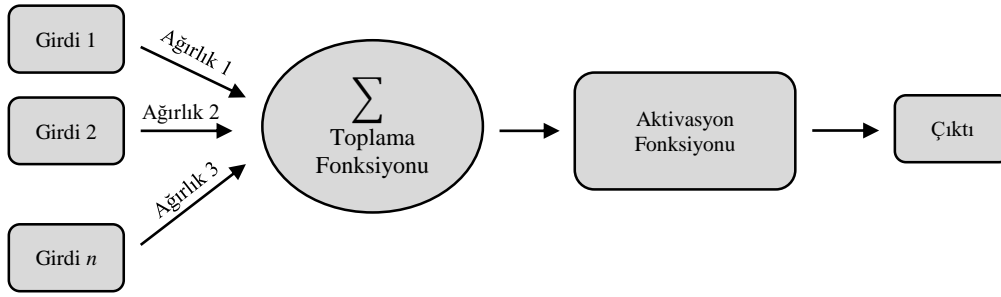
$$S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

$$w_i = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right) / n \quad (2)$$

AHP yöntemi ile değerlendirilmiş olan kriterler ve karşılaştırma matrisi tutarlılık analizi neticesinde kabul edilebilir seviyede kalıyor ise ($CR < 0,1$) elde edilen ağırlıklar kullanılabilir demektir (Saaty, 1980). Ön bilgilendirme aşaması neticesinde ilgili kaza için TKY, KKD ve KEM öğelerine ait ağırlık setleri oluşturulmalıdır.

Yapay Öğrenme Aşaması (Artificial Learning Stage)

Yapay öğrenme aşaması beynimizin öğrenme aşamalarını taklit eder. Nasıl ki beynimizdeki öğrenme faaliyeti sinir hücreleri vasıtasıyla yapılıyorsa, yapay öğrenme faaliyeti de yapay sinir hücreleri ile yapılmaktadır. Mühendislik biliminde yapay sinir hücreleri, proses elamanları ismi ile adlandırılmaktadır (Öztemel, 2006). Şekil 3 'de yapay bir sinir hücresi ve elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3. Bir yapay sinir hücresinin yapısı

Figure 3. The structure of an artificial neuron cell

Bu çalışmada girdiler risk azaltıcı önlemlerin grup toplamları ve çıktılar kaza şiddeti sınıflaması olmaktadır. Öğrenme ağı ile tahmin edilecek şiddet sınıfı risk skoru değişkeni ile ifade edilmektedir. Risk skoru değişkeni ise yapılan kabul neticesinde değeri arttıkça 0-25 arasında sıyrık, 25-50 arasında hafif yaralanma, 50-75 arasında ağır yaralanma, 75-100 arasında ölüm sınıflarını temsil etmektedir. Bir kaza anında alınabilecek 3 grup risk azaltıcı önlem grubu vardır. Bir grup için eğer bütün önlemler alınmış ise 1, hiçbir önlem alınmamış ise 0, bazı önlemler alınmış ise alınan önlemlerin bir önceki bölümden elde edilen ağırlıkları toplamı olmaktadır. Bu durumda Risk Skoru (RS) denklemi aşağıdaki gibi 3 alt skorun birleşiminden oluşmaktadır;

$$RS = RS_{TKY} + RS_{KKD} + RS_{KEM} \quad (3)$$

RS_{TKY} , risk azaltıcı önlem gruplarından toplu koruma grubunun temsil ettiği, kaza anında alınmış toplu koruma yöntemlerinin ağırlıklarından oluşturulmuş risk skorudur. Benzer şekilde RS_{TKY} ve RS_{KEM} bileşenleri de kendi gruplarında kaza anında alınmış önlemler sonucu oluşmuş risk skorlarıdır. Kaza anında alınmış önlemlerin ağırlıkları w_i ve bu ağırlıkların toplamı S_{GRUP} ile gösterilirse, RS_{TKY} ; kaza anında toplu koruma yöntemleri grubu için 0 ile 1 arasında değişen, 0 olması durumunda hiç önlem alınmamış, 1 olması durumunda bütün önlemlerin alındığı ve ara değerler de alınan önleme göre değiştiği Toplu Koruma Yöntemlerini temsil eden toplama fonksiyonu olmaktadır. Benzer şekilde S_{KKD} ve S_{KEM} kaza anında alınan önlemlerin ağırlıkça toplamını ifade eden toplama fonksiyonlarıdır.

$$S_{GRUP} = \sum_{i=1}^n w_i \quad (4)$$

Öğrenme ağına toplama fonksiyonları olan S_{TKY} , S_{KKD} , S_{KEM} , çıkış parametresi olan RS ile ters orantılıdır. Bir önlem grubunun bütün önlemleri kaza anında alınmışsa bu durum tehlikesiz olarak ifade edilebilirken aldığı değer 1 olmakta, hiçbir önlem almadığı durum çok tehlikeli olarak ifade edilirken aldığı durum 0 olmaktadır. Lakin RS için durum tam tersidir; çok tehlikeli bir durum varsa RS sayıca 100'e yakın, tehlikesiz bir durum varsa RS sayıca 0'a yakın olmaktadır. Bu durumu düzeltmek ve öğrenme ağının bağlantı ağırlıklarını aynı seviyeye getirmek amacıyla S_{GRUP} değerlerine yapay sinir hücresinde aktivasyon fonksiyonu kapsamında aşağıdaki bağıntı ile ön işleme yapılmıştır. Bu sayede tehlikeli durumu temsil eden 0; artık 10 ile, tehlikesiz durumu temsil eden 1; artık 0 ile gösterilebilmiştir.

$$W_{GRUP} = (1 - S_{GRUP}) * 10 \quad (5)$$

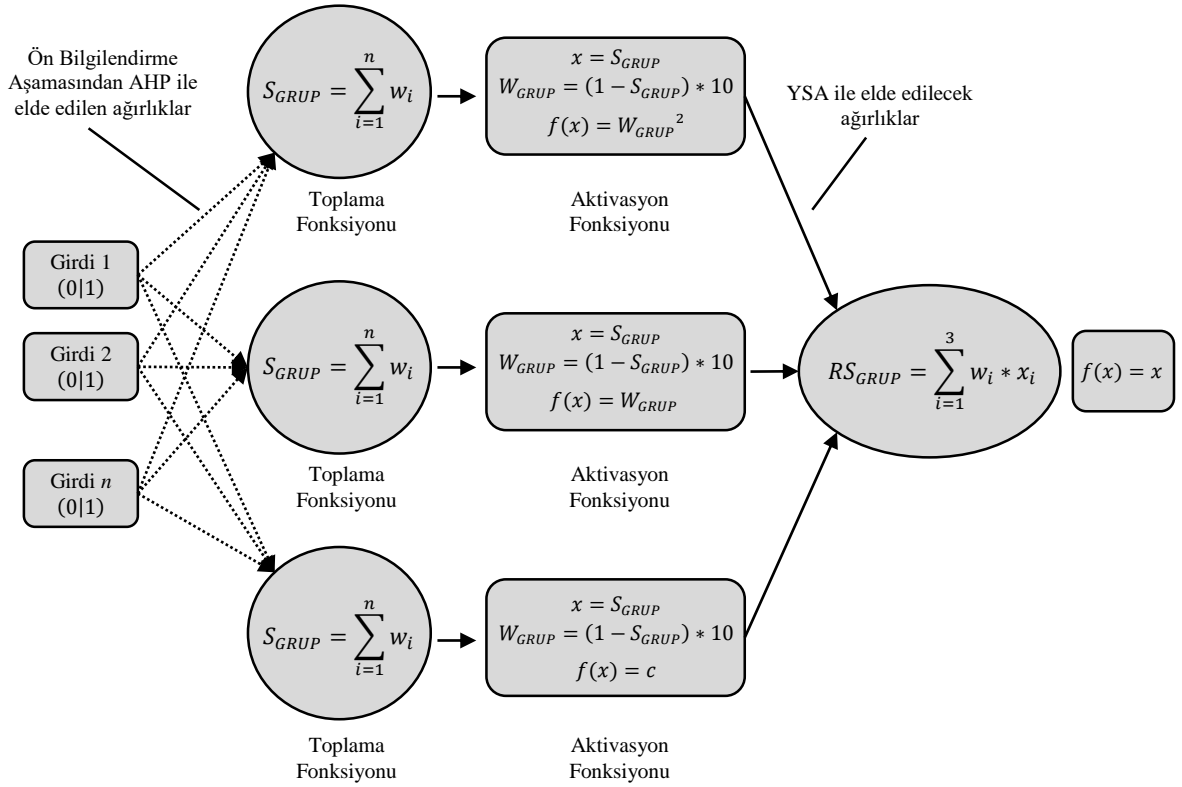
YSA doğrusal olmayan problemleri çözmek için tasarlanmıştır. Bir yapay sinir hücresinde kullanılan aktivasyon fonksiyonları probleme ne kadar doğrusal yaklaştığını gösterir. Eğer hücrelerin hepsinde aktivasyon fonksiyonu kullanılmaz veya olduğu gibi diğer katmana gönderilirse böyle bir durumda öğrenme ağı doğrusal bir çözüm aramaktan ileri geçemeyecektir.

Bu çalışmada giriş katmanını yorumlayan 3 tip sinir hücresi kullanılmıştır. Bu hücrelerin birisi $f(x) = x^2$ aktivasyon fonksiyonu kullanarak doğrusal olmayan davranışı ölçmektedir. İkinci tip ise $f(x) = x$ aktivasyon fonksiyonu kullanarak doğrusal ilişkiyi ölçmekte ve son olarak üçüncü tip hücre, girdiden bağımsız $f(x) = c$ aktivasyon fonksiyonu kullanarak, ilk iki hücre ile bir ilişki yakalayamadığı durumu ifade edecektir. Netice itibari ile ikinci derece bir denklemin bileşenleri sinir hücresi aktivasyon hücreleri olarak çalıştırılmasıyla öğrenme ağı kendi doğrusallık derecesini kendisi çıkarabilecektir. Benzer yaklaşımlar literatürde Evrimsel Sinir Ağları olarak yüz tanıma ve sınıflandırma problemlerinde

kullanılmaktadır. Oluşturulan yapay sinir ağı mimarisi Şekil 4 'de gösterilmiştir. Bu durumda RS değeri alt bileşenleri RS_{GRUP} aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir. Bu denklemden α_{GRUP} , β_{GRUP} , C_{GRUP} ağı eğitilmesi sonucu oluşacak bağlantı ağırlıklarıdır. Bu 3 değişkenin geçmiş kazalara göre optimize edilmesi ve değerlerinin bulunması ile tahmin denklemi oluşmuş olacaktır.

$$RS_{GRUP} = \alpha_{GRUP} * W_{GRUP}^2 + \beta_{GRUP} * W_{GRUP} + C_{GRUP} \quad (6)$$

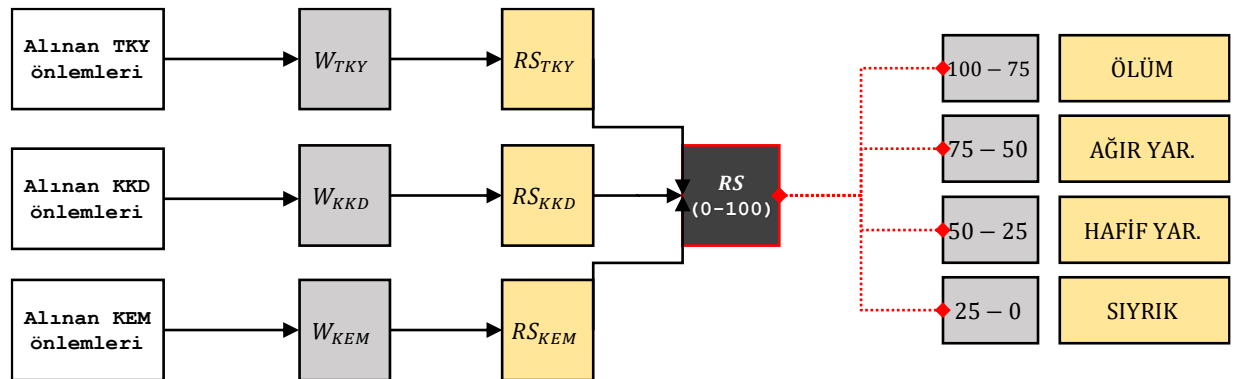
$$RS_{GRUP} = \alpha_{GRUP} * ((1 - S_{GRUP}) * 10)^2 + \beta_{TKY} * ((1 - S_{GRUP}) * 10) + C_{GRUP} \quad (7)$$



Şekil 4. PIAIM Modelinde kullanılacak YSA mimarisi

Figure 3. ANN architecture to be used in PIAIM Model

Geçmiş kaza verilerine göre ağırlıkların hesaplanmasında optimizasyon metodu olarak GRG-Nonlinear (Genel indirgenmiş gradyan) kullanılmış ve VBA (Visual Basic for Applications) programlama dili ile yazılım haline getirilmiştir (Lasdon vd., 1974). Her kaza için çözülecek problem Şekil 5 'deki gibi olmuştur.



Şekil 5. Yapay öğrenme ağına ait genel görünüm

Figure 4. General view of Artificially Learning Network

UYGULAMA (PRACTICE)

Sektörde uzun yıllar faaliyet göstermiş bir inşaat şirketi kapsamında bu çalışma uygulanmış ve tahmin denklemleri elde edilmiştir. Şirketin geçmiş kaza verilerinden faydalanılarak yürütülen bu uygulama çalışmasında, gizlilik politikaları gereği şirket unvanının açıklanmamasını şart koşulmuştur. Birinci aşamada örneklem olarak seçilen kazalarda risk azaltıcı önlemler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Bu aşamada kıyaslama matrisleri, ikili kıyaslama sorularına dönüştürülmüş, Microsoft Forms uygulaması kullanılarak inşaat sektöründe çalışan İSG uzmanlarına doldurtulmuş ve uzmanların bütün bilgileri kayıt altına alınmıştır. Çizelge 7 'de örnek olarak cephe imalatlarında yüksekte düşme kazası için risk azaltıcı önlem ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 7. Cephe imalatlarında yüksekte düşme kazası için risk azaltıcı önlem ağırlıkları

Table 7. Risk-reducing measure weights for fall-off accidents in façade manufacturing

CR: 0.043	w	TOPLU KORUMA YÖNTEMLERİ	CR: 0.035	w	KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLAR	CR: 0.00	W	KONTROL, EĞİTİM, MUAYENE
TKY-3	0.398	Güvenlik halatı, yaşam hattı sis.	KKD-1	0.243	Baret	KEM-1	0.167	İsg uzmanı
TKY-4	0.185	Korkuluk sistemleri	KKD-2	0.050	Koruyucu gözlük	KEM-2	0.167	İş yeri hekimi
TKY-6	0.099	Güvenlik alan perdesi	KKD-3	0.044	Toz maskesi	KEM-3	0.167	Muayeneler
TKY-7	0.039	İlk yardım çantası, yangın tüpü	KKD-4	0.050	Yüz siperi	KEM-4	0.500	İsg eğitimleri
TKY-10	0.052	Uyarıcı ve bilgilendirici levhalar	KKD-5	0.093	İş elbisesi	-	-	-
TKY-5	0.102	Cephe örtüleri	KKD-6	0.044	Reflektör	-	-	-
TKY-8	0.126	Dış cephe güvenlik ağı	KKD-7	0.388	Paraşüt tip em. kemeri	-	-	-
-	-	-	KKD-8	0.045	İş ayakkabısı	-	-	-
-	-	-	KKD-9	0.045	Koruyucu eldiven	-	-	-

Ağırlık setlerinin elde edilmesinden sonra ikinci aşama olarak belirlenen kazaların her biri için 35 geçmiş kaza verisi toplanmıştır. Her geçmiş kaza verisi için iki bilgi gereklidir: birincisi kaza anında hangi risk azaltıcı önlemlerin olduğu, ikincisi kazanın nasıl sonuçlandığıdır. Her bir kaza türü için 30 veri ağırlıklandırılmasında, 5 veri test edilmesinde kullanılmıştır. Kalıp imalatlarında yapısal göçme riski için eğitilen öğrenme ağına ilişkin veriler Şekil 6 'da verilmiştir.

KAZA NO	S DEĞERLERİ			NORMALİZE S DEĞERLERİ			AĞIRLIKLANMIŞ RS DEĞERLERİ			RS	NETİCE
	TKY	KEM	KKD	W _{TKY}	W _{KEM}	W _{KKD}	RS _{TKY}	RS _{KEM}	RS _{KKD}		
KAZA:1	0.19	0.31	0.15	8.07	6.92	8.48	38.8	24.7	25.7	89.2	ÖLÜM
KAZA:2	0.25	0.31	0.31	7.48	6.92	6.90	34.3	24.7	19.4	78.4	ÖLÜM
KAZA:3	0.25	0.10	0.16	7.48	9.02	8.45	34.3	34.9	25.6	94.8	ÖLÜM
KAZA:4	0.19	0.31	0.35	8.07	6.92	6.52	38.8	24.7	18.0	81.5	ÖLÜM
KAZA:5	0.25	0.21	0.20	7.48	7.90	8.04	34.3	29.3	23.9	87.5	ÖLÜM
KAZA:6	0.19	0.31	0.40	8.07	6.92	5.98	38.8	24.7	16.1	79.6	ÖLÜM
KAZA:7	0.19	0.10	0.19	8.07	9.02	8.13	38.8	34.9	24.2	97.9	ÖLÜM
KAZA:8	0.19	0.31	0.27	8.07	6.92	7.28	38.8	24.7	20.8	84.4	ÖLÜM
KAZA:9	0.25	0.31	0.28	7.48	6.92	7.24	34.3	24.7	20.7	79.7	ÖLÜM
KAZA:10	0.19	0.31	0.36	8.07	6.92	6.41	38.8	24.7	17.6	81.1	ÖLÜM
KAZA:11	0.35	0.48	0.43	6.52	5.19	5.68	27.5	17.3	15.0	59.9	AĞIR YARALANMA
KAZA:12	0.35	0.52	0.39	6.52	4.81	6.08	27.5	15.9	16.4	59.7	AĞIR YARALANMA
KAZA:13	0.35	0.69	0.33	6.52	3.08	6.69	27.5	9.6	18.6	55.7	AĞIR YARALANMA
KAZA:14	0.45	0.52	0.43	5.55	4.81	5.69	21.4	15.9	15.0	52.3	AĞIR YARALANMA
KAZA:15	0.35	0.52	0.69	6.52	4.81	3.14	27.5	15.9	7.4	50.7	AĞIR YARALANMA
KAZA:16	0.45	0.58	0.42	5.55	4.21	5.78	21.4	13.6	15.4	50.3	AĞIR YARALANMA
KAZA:17	0.35	0.31	0.72	6.52	6.92	2.75	27.5	24.7	6.4	58.6	AĞIR YARALANMA
KAZA:18	0.35	0.52	0.65	6.52	4.81	3.53	27.5	15.9	8.4	51.8	AĞIR YARALANMA
KAZA:19	0.65	0.69	0.80	3.48	3.08	2.00	10.8	9.6	4.6	25.0	HAFİF YARALANMA
KAZA:20	0.45	0.79	0.57	5.55	2.10	4.32	21.4	6.5	10.7	38.5	HAFİF YARALANMA
KAZA:21	0.65	0.69	0.38	3.48	3.08	6.18	10.8	9.6	16.7	37.1	HAFİF YARALANMA
KAZA:22	0.55	0.79	0.84	4.45	2.10	1.60	15.3	6.5	3.7	25.5	HAFİF YARALANMA
KAZA:23	0.65	0.58	0.50	3.48	4.21	5.01	10.8	13.6	12.8	37.2	HAFİF YARALANMA
KAZA:24	0.45	0.69	0.82	5.55	3.08	1.81	21.4	9.6	4.2	35.1	HAFİF YARALANMA
KAZA:25	0.45	1.00	0.88	5.55	0.00	1.16	21.4	0.7	2.8	24.8	SIYRIK
KAZA:26	1.00	0.58	1.00	0.00	4.21	0.00	0.7	13.6	0.7	14.9	SIYRIK
KAZA:27	1.00	0.90	0.81	0.00	0.98	1.87	0.7	3.2	4.3	8.2	SIYRIK
KAZA:28	0.90	0.90	0.93	0.97	0.98	0.72	2.5	3.2	2.0	7.7	SIYRIK
KAZA:29	0.90	0.90	0.88	0.97	0.98	1.16	2.5	3.2	2.8	8.5	SIYRIK
KAZA:30	1.00	1.00	0.86	0.00	0.00	1.37	0.7	0.7	3.2	4.6	SIYRIK

Şekil 6. Kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası için öğrenme ağına ilişkin veriler

Figure 6. Data on the learning network for structural collapse accidents in shuttering works

Benzer şekilde tüm kaza türleri için 30 adet kaza verisi kullanılarak öğrenme ağı eğitilmiş ve tahmin denklemleri elde edilmiş ve Çizelge 8 'de gösterilmiştir.

Çizelge 8. Risk skoru üzerinden kaza şiddetlerinin sınıflandırmasını yapabilen tahmin denklemleri

Table 8. Estimation equations that can classify the severity of the accidents based on the risk score

Kaza Türü	Tahmin Denklemi
Kalıp imalatlarında yapısal göçme	$RS = (0,40 * ((1 - S_{TKY}) * 10)^2 + 1,51 * ((1 - S_{TKY}) * 10) + 0,68)$ $+ (0,15 * ((1 - S_{KEM}) * 10)^2 + 2,43 * ((1 - S_{KEM}) * 10) + 0,68)$ $+ (0,15 * ((1 - S_{KKD}) * 10)^2 + 1,66 * ((1 - S_{KKD}) * 10) + 0,68)$
Donatı imalat ve montaj işlerinde elektrik ile temas	$RS = (0,00 * ((1 - S_{TKY}) * 10)^2 + 2,83 * ((1 - S_{TKY}) * 10) + 1,64)$ $+ (0,00 * ((1 - S_{KEM}) * 10)^2 + 2,16 * ((1 - S_{KEM}) * 10) + 1,64)$ $+ (0,20 * ((1 - S_{KKD}) * 10)^2 + 5,15 * ((1 - S_{KKD}) * 10) + 1,64)$
İskele kurulum söküm işlerinde fırlatılan/düşen cisim çarpması	$RS = (0,29 * ((1 - S_{TKY}) * 10)^2 + 0,94 * ((1 - S_{TKY}) * 10) + 0,47)$ $+ (0,20 * ((1 - S_{KEM}) * 10)^2 + 1,20 * ((1 - S_{KEM}) * 10) + 0,47)$ $+ (0,60 * ((1 - S_{KKD}) * 10)^2 + 1,03 * ((1 - S_{KKD}) * 10) + 0,47)$
Cephe imalatlarında yüksekte düşme	$RS = (0,08 * ((1 - S_{TKY}) * 10)^2 + 3,53 * ((1 - S_{TKY}) * 10) + 1,46)$ $+ (0,00 * ((1 - S_{KEM}) * 10)^2 + 2,06 * ((1 - S_{KEM}) * 10) + 1,46)$ $+ (0,17 * ((1 - S_{KKD}) * 10)^2 + 3,23 * ((1 - S_{KKD}) * 10) + 1,46)$

UYGULAMANIN DOĞRULANMASI (VALIDATION OF PRACTICE)

Elde edilen denklemlerden cephe imalatlarında yüksekte düşme kazası denklemi, yeni bir projede çeşitli iş kazası senaryoları için kullanılmıştır. Denklemdaki S_{TKY} , S_{KKD} , S_{KEM} değerleri, olay anında kullanılacak ekipmanların Çizelge 7'deki ağırlıklarının toplamları olmak üzere RS değerleri aşağıdaki senaryolar için hesaplanmıştır (Çizelge 9). Örnek teşkil etmesi açısından 4 senaryonun risk analizi yapılmıştır.

Çizelge 9. Tahmin denklemlerinin senaryoların risk analizlerinde kullanılması

Table 9. Use of the estimation equations in risk analysis of the scenarios

	Senaryo	S_{TKY}	S_{KKD}	S_{KEM}	RS	Netice
1	Toplu koruma yöntemlerinden bazı önlemlerin alınmadığı (TKY-3,8) cephe imalatlarında çalışan bir işçinin sıcağın bunalarak (KEM-4) kişisel koruyucu donanımlarını çıkarması (KKD-2,3,4,6,7) ve isg uzmanının gözünden kaçması (KEM-1) ile işine korumasız olarak devam etmesi ve yüksekte düşmesi	0,476	0,425	0,333	62,9	Ağır Yaralanma (50-75)
2	Bütün toplu koruma önlemlerinin alındığı cephe imalatlarında çalışan bir işçinin bunalarak (KEM-4) kişisel koruyucu donanımlarını çıkarması (KKD-1,2,3,4,6) ve isg uzmanının gözünden kaçması (KEM-1) ile işine korumasız olarak devam etmesi ve yüksekte düşmesi	1,000	0,570	0,333	35,1	Hafif Yaralanma (0-25)
3	Hiçbir toplu koruma önleminin alınmadığı cephe imalatlarında, paraşüt tipi em. kemeri eksik (KKD-7) çalışan (KEM-4) bir işçinin isg uzmanının gözünden kaçması (KEM-1) ve sıcağın başının dönmesi sonucu dengesini kaybetmesi ile yüksekte düşmesi.	0,000	0,612	0,333	76,4	Ölüm (75-100)
4	Toplu koruma yöntemi olarak sadece yaşam halatı sistemi kurulu olan cephe imalatlarında kişisel koruyucu donanımları tam teşekküllü olarak ve isg uzmanı gözetiminde çalışan işçinin başının dönmesi sonucu aniden düşmesi	0,398	1,000	1,000	28,5	Hafif Yaralanma (25-50)

BULGULAR (RESULTS)

Geçmiş kaza verilerinden 120 adet veri 4 tip kazanın öğrenilmesi için kullanılmış ve elde edilen denklemler ile 20 veri test edilmiştir. Sonuçta 18 kaza neticesi doğru tahmin edilmiş olup 2 kaza neticesi için tahmin edilen sonuç, gerçekleşenden bir seviye daha az tehlikeli çıkmıştır. Ayrıca yeni başlanılacak bir inşaat projesinde, belirlenen kaza senaryolarının tahmini için tahmin denklemleri kullanılmıştır. Senaryo 1 ve 3 'de elde edilen sonuçlar şirket için kabul edilemez olduğundan önlemler artırılarak senaryo 2 ve 4 'ye dönüştürülmüş ve riskler başarılı bir şekilde yönetilmiştir.

Önerilen metot ile inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği konusunda kaza şiddetleri, alınan risk azaltıcı önlemlere bakılarak %90 oranında tahmin edilebilmiştir. Kaza şiddetinin sınıflandırılmasında sıyrık ve hafif yaralanma ile sonuçlanan kazalar kabul edilebilir, ağır yaralanma ve ölüm ile sonuçlanan kazalar kabul edilemez şeklinde ek bir gruplama yapılırsa bu çalışma ile bütün kaza neticeleri kabul edilebilirlik gruplamasına göre doğru olarak tahmin edilmiştir denilebilir. Metodun başarısının temeli,

klasik yöntemlere göre farklı olan ön bilgilendirme aşamasıdır. Bu aşama sayesinde YSA için gerekli veri sayısı ciddi oranda azalmıştır. Yapılan uygulama çalışması neticesinde kaza şiddetlerinin yüksek oranda alınacak önlemler ile ilişkisi olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Sonuçlar (Conclusions)

Seçilen 4 iş kazası türü için, YSA giriş katmanının AHP ile anlamlandırılmasında, 109 adet anket içerisinden tutarlılık seviyesi kabul edilebilir seviyede olan 25 anket kullanılmış olup YSA ağının diğer katmanlarının eğitilmesinde ve test edilmesinde toplamda 140 adet geçmiş kaza verisi kullanılmıştır. Geliştirilen model ile kazaların neticeleri %90 oranında doğru bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Ayrıca yeni başlanılacak bir inşaat projesi için, eğitilen öğrenme ağından elde edilen tahmin denklemleri çeşitli iş kazası senaryolarında kullanılmış olup, ölüm ve ağır yaralanma ile sonuçlanan iş kazası senaryoları için önlemler daha sıkılaştırılarak kaza sonuçları hafif yaralanma seviyesine indirgenmiştir.

Bu çalışma ile inşaat sektöründe faaliyet gösteren bir kurum için iş sağlığı ve güvenliği alanında iş kazalarını önlemeye yönelik ek tedbirlerin ve kontrol mekanizmalarının daha verimli kullanılmasının sağlanması amacıyla, risk azaltıcı önlemlere bakılarak kaza sonuçlarının kabul edilebilir seviyelere çekilebilmesine imkân sağlayan bir metod önerilmiştir. İleriki çalışmalarda metodun aktivasyon fonksiyonlarının farklı tür denklemler ile test edilmesi ve ön bilgilendirme aşamasında farklı metodların kullanılabilirliği araştırılabilir.

Öneriler (Recommendations)

Kamu inşaatları için 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu 10. Maddesi kapsamında tekliflerin yeterlilik değerlendirmesi ekonomik ve malî yeterlik ile mesleki ve teknik yeterlik kapsamında yapılmaktadır. Son yıllarda ihaleyi kazanabilmek için bazı katılımcılar çok düşük teklifler vermektedir. Bu yolla işi alan yükleniciler, projenin yürütülme safhasında maliyetleri azaltma düşüncesiyle İSG önlemlerini gerektiği gibi yerine getirmemektedir. Son yıllardaki iş kazaları ve ölümlerin artması, yüklenicilerin bu alanda üzerlerine düşeni yapmadıklarını ve yetersiz kaldıklarını göstermektedir. Buradan yola çıkılarak, ihaleye katılacak isteklilerden ihale için teklif fiyatıyla ilişkili olacak şekilde, İSG harcamaları için de teklif istenmeli ve yapı denetimi sürecinde bunun gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

Ayrıca yeterlilik hususunda geçmiş iş bitirmelerde iş sağlığı güvenliği konusundaki performansı da asgari bir yeterlilik kriterine bağlanmalıdır. Bu noktada ihaleye katılacak istekliler, bu çalışma doğrultusunda teklif hazırlarken daha gerçekçi bir yaklaşım ile maliyet tahmini yapabileceklerdir.

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü doktora programında, Prof. Dr. Recep Kanıt denetiminde ve danışmanlığında yürütülen “Yapı Üretim Sürecindeki İş Kazaları Şiddetinin Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metodu ile Tahmini” isimli tezden üretilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alizadeh, S. S., Mortazavi, S. B. ve Mehdi Sepehri, M. (2015). Assessment of accident severity in the construction industry using the bayesian theorem. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(4), 551-557.
- Aminbakhsh, S., Gunduz, M. ve Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (ahp) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99-105.
- Chen, F., Wang, H., Xu, G., Ji, H., Ding, S. ve Wei, Y. (2020). Data-driven safety enhancing strategies for risk networks in construction engineering. *Reliability Engineering & System Safety*, 197.
- Clarivate Analytics. (2020). Web of science [v.5.35] - web of science core collection. Erişim Tarihi: 14.06.2020, Adres: <https://www.webofknowledge.com/>

- Cox, S. ve Flin, R. (1998). Safety culture: Philosopher's stone or man of straw? *Work & Stress*, 12(3), 189-201.
- Gomathi, K. ve Shanmuga Priyaa, D. (2017). A fuzzy analytic hierarchy attribute weighting and deep learning for improving chd prediction of optimized semi parametric extended dynamic bayesian network. *2017*, 7(1.1), 8.
- Gurcanli, G. E., Bilir, S. ve Sevim, M. (2015). Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science*, 80, 1-12.
- Gurcanli, G. E. ve Mungen, U. (2013). Analysis of construction accidents in turkey and responsible parties. *Industrial Health*, 51(6), 581-595.
- Hamid, A. R. A., Noor Azmi, M. R. A., Aminudin, E., Jaya, R. P., Zakaria, R., Zawawi, A. M. M., . . . Saar, C. C. (2019). Causes of fatal construction accidents in malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 220, 012044.
- Ilbahar, E., Karasan, A., Cebi, S. ve Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using pythagorean fuzzy ahp & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124-136.
- Karadal, H., Merdan, E. ve Abubakar, M. (2019). Güvenlik İklimi ve güvenlik kültürünün İşyeri yaralanmaları üzerine etkisinde güvenlik davranışlarının aracılık rolü: Döküm sanayinde bir araştırma. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(6), 329-339.
- Lasdon, L. S., Fox, R. L. ve Ratner, M. W. (1974). Nonlinear optimization using the generalized reduced gradient method. *Revue française d'automatique, informatique, recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 8(V3), 73-103.
- Li, W.-G., Yu, Q. ve Luo, R.-C. (2012). Application of fuzzy analytic hierarchy process and neural network in power transformer risk assessment. *Journal of Central South University*, 19(4), 982-987.
- Meng, W.-L., Shen, S. ve Zhou, A. (2018). Investigation on fatal accidents in chinese construction industry between 2004 and 2016. *Natural Hazards*, 94(2), 655-670.
- Mohammadfam, I., Soltanzadeh, A., Moghimbeigi, A. ve Savareh, B. A. (2015). Use of artificial neural networks (anns) for the analysis and modeling of factors that affect occupational injuries in large construction industries. *Electronic physician*, 7(7), 1515-1522.
- Öztemel, E. (2006). *Yapay sinir ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Pinto, A., Ribeiro, R. A. ve Nunes, I. L. (2012). Fuzzy approach for reducing subjectivity in estimating occupational accident severity. *Accid Anal Prev*, 45, 281-290.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process : Planning, priority setting, resource allocation*. New York; London: McGraw-Hill International Book Co.
- Shafique, M. ve Rafiq, M. (2019). An overview of construction occupational accidents in hong kong: A recent trend and future perspectives. *Applied Sciences*, 9(10).
- Sosyal Guvenlik Kurumu. (2018). Sgk İstatistik yıllıkları. Erişim Tarihi: 14.06.2020, Adres: http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari
- Winge, S. ve Albrechtsen, E. (2018). Accident types and barrier failures in the construction industry. *Safety Science*, 105, 158-166.
- Winge, S., Albrechtsen, E. ve Mostue, B. A. (2019). Causal factors and connections in construction accidents. *Safety Science*, 112, 130-141.
- Yilmaz, M. ve Kanit, R. (2018). A practical tool for estimating compulsory ohs costs of residential building construction projects in turkey. *Safety Science*, 101, 326-331.
- Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations: Theoretical and applied implications. *Journal of Applied Psychology*, 65(1), 96-102.