



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**FRAM YÖNTEMİ İLE AGREGA OCAĞININ İŞ
SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSK ANALİZİ**

HAKAN SEYFİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR / 2022



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

FRAM YÖNTEMİ İLE AGREGA OCAĞININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSK ANALİZİ

HAKAN SEYFİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğretim Üyesi Gökhan EKİNCİOĞLU

KIRŞEHİR / 2022

Bu çalışma 04/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İleri Teknolojiler Anabilim Dalı,
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan EKİNCİOĞLU
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Kaman Meslek Yüksekokulu

Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Mühendislik- Mimarlık Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Uğur Erdem DOKUZ
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim adamının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Gökhan EKİNCİOĞLU'na büyük içtenlikle teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında, tezin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK'e ve Dr. Öğr. Üyesi Uğur Erdem DOKUZ'a teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Tezimi, bu çalışma boyunca sabırla beni destekleyen eşim Yasemin SEYFİ'ye ithaf ederim.

Temmuz,2022

HAKAN SEYFİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	1
ABSTRACT	3
1. GİRİŞ.....	5
1.1. Amaç.....	6
1.2. Önem	6
2. GENEL KISIMLAR.....	8
2.1. Maden Ocakları	8
2.1.2. Yerüstü Maden Ocakları	8
2.2.3. Maden Ocaklarında Gerçekleşen Kazalar	8
2.2. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Riskler.....	10
2.2.1. Fiziksel Riskler	11
2.2.2. Kimyasal Riskler	12
2.2.3. Biyolojik Riskler	13
2.2.4. Psikososyal Riskler	13
2.2.5. Ergonomik Riskler.....	13
2.3. Risk Analizi	14
2.4. Risk Analiz Yöntemleri	14
2.4.1. Geleneksel Analiz Yöntemleri	15
2.4.2. Sistemik Analiz Yöntemleri	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
4. BULGULAR	25
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	30
KAYNAKLAR.....	32

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Açık maden ocaklarında ölümlü/yaralanmalı kaza türlerinin dağılımı	10
Şekil 3. 1. Altıgen fonksiyon gösterimi.....	18
Şekil 3. 2. Fonksiyonlar ve bağlantı.	19
Şekil 3. 3. Ocak alanı	21
Şekil 3. 4. Konkasör malzeme yükleme alanı	21
Şekil 3. 5. Konkasör elek ve direk yükleme alanı	22
Şekil 3. 6. Konkasör sahası	22
Şekil 3. 7. Yükleme ve konkasör sahası	23
Şekil 3. 8. Stok alanı.....	23
Şekil 3. 9. Yükleme teslim alanı.....	24
Şekil 4. 1. FRAM Visualizer arayüzü	Hata! Yer işareti tanımlanmamış. 5
Şekil 4. 2. FRAM Visualizer fonksiyonların şematik gösterimi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Ana risk değerlendirme yöntemleri	15
Tablo 2. Fonksiyon tablosu.....	26
Tablo 3. Değişkenler tablosu	27



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
FRAM	Fonksiyonel Rezonans Analiz Yöntemi
IARC	Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
RAA	Risk Analizi ve Değerlendirme
HRNS	Hazard Rating Number System (Tehlike Derecelendirme Numarası Sistemi)
FMEA	Arıza Modları Ve Etkileri Analizi
FTA	Arıza Ağacı Analizi
STAMP	Sistemler-Teorik Kaza Modeli ve Süreçleri
FMV	FRAM Model Görselleştirici

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FRAM YÖNTEMİ İLE AGREGA OCAĞININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSK ANALİZİ

HAKAN SEYFİ

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Gökhan EKİNCİOĞLU

Ülkemizde ekonomik olarak katma değerin en fazla üretildiği sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Son yıllarda inşaat sektörü yoğun gelişim göstermiştir. Bu nedenle İnşaat sektörüne hammadde sağlama konusunda, agrega ocakları da paralel bir gelişim sergilemektedir. İstihdam sağlama kapasitesi yüksek olan inşaat sektörü ile paralel gelişim gösteren agrega ocaklarında da istihdam ihtiyacı giderek artmaktadır. İstihdamın artması ile birlikte iş güvenliği konusunda yeteri kadar eğitim almamış ve iş güvenliğini benimsememiş personele ve güvenlik önlemi almayan işletmelere bağlı olarak bu sektörde iş kazaları ve meslek hastalıkları da artış göstermektedir. İş kazalarının yarattığı can kayıpları, ekonomik kayıplar, iş günü ve itibar kayıplarının engellenmesi için çalışanların iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili görüşlerinin alınması ve iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarına katılımlarının sağlanması, uzman personel bulundurulması, çalışanların iş yerindeki tehlikeler konusunda bilgilendirilmesi, eğitilmesinin yanı sıra yeni risk değerlendirme yaklaşımları ile iş yerlerinde risk değerlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Risk analizleri ile birlikte tehlikelerin tespiti ve bunlara karşı önleme politikalarının geliştirilmesi de yapılması

gerekenler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada olasılık, şiddet ve sıklık değişkenlerini baz alan ve nicel değerler ile yürütülen geleneksel risk analiz yöntemlerinden farklı olarak, herhangi bir işletmede, sistemi mercek altına alan nitelik bakımından işlevleri değerlendiren ve insan yargısının genişlemesine olanak sağlayan, hata veya kaza nedenlerinin geniş yelpazede üretilmesini sağlayan İşlevsel Rezonans Analiz Yöntemi (FRAM) uygulaması kullanılarak farklı bir bakış açısı ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu bakış açısının iş sağlığı ve güvenliği performansı ile işletmenin performansına etkileri değerlendirilerek açık maden ocaklarında yaşanacak kayıpların önüne geçilmesi, sistem bileşenlerinde meydana gelecek değişimlerin sistem fonksiyonlarını nasıl etkileyeceği, can kayıplarının, maliyet, çevresel etki ve kazaların azaltılması için iyileştirilmesi gereken odak noktalarının tespiti ve bu alanlarda yapılması gerekenlere katkı sunulması amaçlanmış olup agrega ocaklarında zemin etüdü, ulaşım, ocağın bulunduğu yerin iklim koşulları ve ani hava değişimleri, çalışan personelin yetkinliği ve iş güvenliği bilincinin olması, hazırlanan şevlerin uygunluğu, patlatma yapılırken zamanlama gibi kazaya neden olabilecek dikkat edilmesi gereken hususların tespiti yapılmıştır.

TEMMUZ, 2022 43 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Agrega ocağı, FRAM, Risk analizi, İş Sağlığı ve Güvenliği

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY RISK ANALYSIS OF THE AGGREGATE QUARRY WITH FRAM METHOD

HAKAN SEYFİ

**Kırşehir Ahi Evran University
Graduate School of Sciences and Engineering
Advanced Technologies Department**

Supervisor: Dr. Öğretim Üyesi Gökhan EKİNCİOĞLU

In our country, the construction sector is at the forefront of the sectors in which economic added value is produced the most. In recent years, the construction industry has developed intensively. For this reason, aggregate quarries show a parallel development in supplying raw materials to the construction industry. The need for employment is also increasing in aggregate quarries, which develop in parallel with the construction sector, which has a high employment capacity. With the increase in employment, work accidents and occupational diseases increase in this sector due to the personnel who have not received adequate training on occupational safety and adopted occupational safety, and the enterprises that do not take safety precautions. In order to prevent the loss of life, economic losses, loss of work days and reputation caused by work accidents, taking the opinions of the employees on occupational health and safety and ensuring their participation in occupational health and safety studies, having expert personnel, informing and training the employees about the dangers in the workplace, as well as new risks. It is necessary to carry out risk assessment studies in workplaces with assessment approaches. Along with risk analysis, the identification of hazards and the development of prevention policies against them are among the things that need to be done. In this study, unlike the traditional risk analysis methods,

which are based on probability, severity and frequency variables and carried out with quantitative values, in any business, the Functional System, which evaluates the functions in terms of quality, allows the expansion of human judgment, and enables the production of a wide range of error or accident causes. A different perspective has been tried to be put forward by using the Resonance Analysis Method (FRAM) application. By evaluating the effects of this perspective on the occupational health and safety performance and the performance of the enterprise, preventing the losses to be experienced in open pit mines, how the changes that will occur in the system components will affect the system functions, determining the focal points that need to be improved in order to reduce the loss of life, cost, environmental impact and accidents and in these areas. It is aimed to contribute to what needs to be done, and the issues that should be considered such as ground survey, transportation, climatic conditions of the place where the quarry is located and sudden weather changes, the competence of the working personnel and occupational safety awareness, the suitability of the prepared slopes, the timing during the blasting were determined.

JULY, 2022 43 Pages

Keywords: Aggregate quarry, FRAM, Risk analysis, Occupational safety and health

1. GİRİŞ

Hızlı bir şekilde artan nüfus yoğunluğu, şehirleşme ve sanayinin gelişmesi toplumun sektörel bazda ihtiyaç duyduğu yol, bina, köprü, okul, demiryolu gibi ulaşım yapılarına duyulan ihtiyaçta gün geçtikçe devam etmektedir. Ulaşım ve barınma ile ilgili yapılar inşaa edilirken çimento-asfalt gibi bağlayıcı maddeler ile birlikte agrega kullanımı da kaçınılmazdır. Zaman içerisinde nehirler, doğal oluşumlar, göller, denizler gibi doğal kaynaklardan agrega elde edilmesi güçleştiği gibi, doğal kaynaklardan kum-çakıl elde edilmesinin çevresel zararları da ortaya çıkmaktadır. Doğal oluşumlu bağlayıcı eldesinin güçleşmesi, kaynaklara verilen zarar düşünüldüğünde kullanımı kaçınılmaz olan agreganın çeşitli türlerdeki kayaların konkasör adı verilen taş kırma makinaları ile kırılarak elde edilmesi bir zorunluluk halini almıştır [1].

Artan hammadde ihtiyacı, sonrasında artan üretime ve istihdama bağlı olarak işletmelerdeki risklerin tespitine yönelik çalışmaların artırılmasına gereken önem verilmelidir. Nitekim küresel bir perspektiften bakıldığında, kazalar önemli bir sağlık sorunudur. Her yıl, iki milyonu az gelişmiş ülkelerde olmak üzere, kazalar veya zehirlenmelerden kaynaklanan yaklaşık üç milyon ölüm meydana gelmektedir. Aynı kaynağa göre, yaralanma, hemen hemen tüm ülkelerde çocuklar ve genç erkekler arasındaki başlıca ölüm nedenidir. Tüm yaralanmaların tıbbi, sosyal ve verim kaybı maliyetlerinin her yıl 500.000 milyon ABD dolarını aştığı tahmin edilmektedir [2].

İş kazalarından kaynaklı gerçekleşen yaralanma ve can kayıplarının neden olduğu kurumlar bağlamındaki maddi kayıplar ile kişiler üzerinde oluşturduğu manevi etkilerin azaltılması için proaktif olarak yaklaşımlar sergilemek büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle metodoloji fark etmeksizin kazalar gerçekleşmeden risk değerlendirmeleri ile kazaların nedenlerinin ve odak noktalarının tespiti kritik olabilmektedir. İş sağlığı ve güvenliği (İSG), çalışanların ve şantiyelerin korunması görevleri altında çalışan multidisipliner bir faaliyettir. İSG uygulamasında zorunlu bir süreç olan risk değerlendirmesi; tehlikelerden kaynaklanan risklerin değerlendirilmesi, gerekli kontrol önlemlerinin alınması ve risklerin kabul edilebilir düzeye indirilip indirilemeyeceğine karar verilmesi olarak öne çıkmaktadır [3].

Günümüzde kaza ve risk analizlerinin yapılmasına yönelik (STPA, HRNA, STAMP) birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri de FRAM'dır. FRAM yöntemi; söz konusu işletmede, işlevlerin uzman görüşü ve sahadan alınan verilerle tespit edilmesinin sonucunda asıl odaklanılması gereken alanı işaret ederek, proaktif bir yaklaşımda bulunulmasına olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, özellikle saha çalışmalarının olduğu alanlarda hayati önem arz etmektedir.

1.1. Amaç

İstihdam sağlama kapasitesi yüksek olan inşaat sektörü ile paralel gelişim gösteren agrega ocaklarında da istihdam giderek artmaktadır. İstihdamın artması ile birlikte bu sektörde iş kazaları ve meslek hastalıkları da artış göstermektedir. SGK istatistiklerine göre ülkemizde 2020 yılında gerçekleşen toplam 384.262 iş kazası içerisinde 44.304 iş kazası inşaat sektöründe, 2.783 iş kazası madencilik ve taşocağı sektöründe gerçekleşmiştir (SGK 2020) Bu kazalar ve meslek hastalıklarının insanlara büyük acılar yaşatmasının yanında bir de GSYH'nin tahmini yüzde 3,94'lük yıllık kısmına denk gelen önemli bir ekonomik maliyet oluşturmaktadır [4].

Bu nedenle iş kazalarının yarattığı can kayıpları, ekonomik kayıplar, iş günü ve itibar kayıplarının engellenmesi için çalışanların iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili görüşlerinin alınması ve iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarına katılımlarının sağlanması, uzman personel bulundurulması, çalışanların iş yerindeki tehlikeler konusunda bilgilendirilmesi, eğitilmesinin yanı sıra yeni risk değerlendirme yaklaşımları ile iş yerlerinde risk değerlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir [4].

Bu çalışma ile agrega ocaklarında yapılacak yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı ile iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlamak ve bu kazalar neticesinde oluşan kayıpların engellenmesine katkı sunmak amaçlanmıştır.

1.2. Önem

Nüfus artışı ile birlikte, insanların daha iyi yaşama istekleri artmış buna paralel olarak mamul, yarı mamul ve hammadde üretimi de artış göstermiştir. Ülkemizde kaliteli yaşama

isteği ve ekonomik gelişime en çok katkı sağlayan sektörün inşaat sektörü olduğu bilinmektedir. Bu sektörü kaynak sağlayan agrega ocakları ile maden ocakları hammadde sağlanması için en önemli kaynaklardır. Bu kaynakların sağlayan işletmelerin artması ve gelişimi ile birlikte bu tür işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği yönünden ciddi tehlike ve riskler ortaya çıkmıştır. Kazaların azaltılması için kaza öncesi yaklaşımlar ve gelişmiş risk değerlendirme metotları ile kazalar gerçekleşmeden tehlikelerin saptanması ve tedbir alınması yönünde çalışmalar yürütülmesi gerekmektedir [5].

Bu çalışmada geleneksel risk analiz yöntemlerinden farklı 'işlevsel Rezonans Analiz Yöntemi (FRAM) uygulaması kullanılarak farklı bir bakış açısı ortaya konmaya çalışılmıştır. Böylece risklerin daha etkin ve sistemik bir bakış açısıyla tespiti ile ocak içerisindeki olumlu veya olumsuz durumların iş sağlığı ve güvenliği konularındaki performansı nasıl etkileyeceği belirlenmeye çalışılmıştır. FRAM, parçalar arasındaki etkileşimden kaynaklanan hem olumsuz hem de olumlu olayların modellenmesini sağladığı için seçilmiştir [6]. FRAM yöntemi parçalar ile birlikte sistemsel bir bakış açısı getirmektedir [7]. Bu bakış açısının iş sağlığı ve güvenliği performansı ile işletmenin performansına etkileri değerlendirilmiştir. Bu alışma, Kırşehir bölgesinde yer alan bir agrega ocağı için özelleştirilerek uygulanmış olup, bölgede bulunan iş güvenliği ve kaza risklerinin azaltılması noktasında diğer agrega ocaklarında ve benzer faaliyetler yürüten yerüstü maden ocaklarına da örnek olacağı düşünülmektedir. Bu rnek aynı zamanda ekonomik kayıpların ve çevresel etkilerin azaltılmasına da katkı sunacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. Maden Ocakları

Türkiye’de maden üretimi yedi yüz milyon ton civarındadır. 2020 yılı verilerine bakıldığında çimento ve yapı işlerinde kullanılan kısmı 469 milyon ton ile en büyük kısmını oluşturmaktadır ki bu oran toplam üretimin %67’sine karşılık gelmektedir. Endüstriyel alanda kullanılan madenler 91 milyon ton ile toplam üretimin %13’ü, enerji elde etmek için kullanılan madenler 84 milyon ton ile toplam üretimin %12’si, metal madenleri 35 milyon ton ile %5’lik bir orana sahiptir. Çimento ve yapı sektöründe 2018 yılına kadar toplam %70’ten fazla iken 2019 yılı itibari ile %66’ya gerileyerek %5’ten fazla düşüş göstermiştir [8].

2.1.2. Yerüstü Maden Ocakları

Açık ocak madenciliği, depozitin üst tarafından soyulan toprak ve kayanın boşaltılmak üzere taşınması ve ardından açık ocaktan madencilik yapılması yoluyla gerçekleştirilir. Yüksek riskli bir sektör olduğu için açık ocak madenciliği güvenliği, boşaltma ve şev stabilitesi, patlatma operasyon güvenliği, yol taşıma güvenliği vb. birçok faktörden etkilenir [9]. Bu faktörlerden kaynaklı yaşanacak kazaların etkileri yüksek olacağından yerüstü maden ocaklarında risk değerlendirmesi yapılması hassasiyet gösterilmesi gereken önemli bir konudur.

2.2.3. Maden Ocaklarında Gerçekleşen Kazalar

2010 yılına göre 2019 yılında işten kaynaklı kazaya uğrayan çalışan sayısı %46 gibi büyük bir oranda artış göstermiş ve 13.174 kişi olmuştur. 2019 yılında maden alanlarında çalışanlardan %10,72’si işten kaynaklı kazaya uğramış olup bu kazalardan ölümlü sonuçlananlar toplam kazaların %0,36’sını oluşturmaktadır. 2010 yılı ile kıyaslandığında 2019 yılında iş kazaları oranları %45 gibi ciddi bir oranda artış göstermiştir. Ölümlü iş kazaları oranı ise %73,91 oranında azalma göstermiştir. 2016 ve 2021 yılları arasındaki beş yıllık süre içerisinde maden, taş ve agrega ocağı sektöründeki kazalara bakıldığında meydana gelen kazaların sebepleri olarak %49 ile ekipmandan kaynaklı meydana gelen

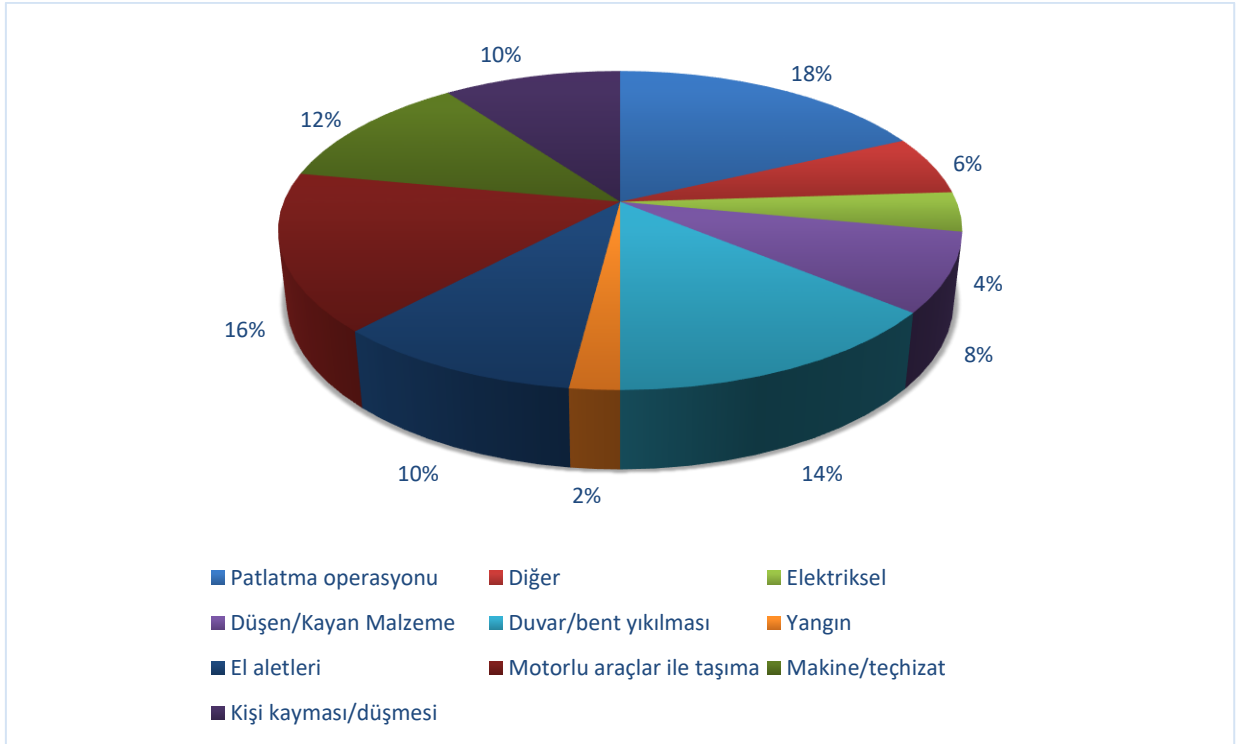
kazalar, ezilme, sıkışma vb. kaynaklı kazalar %17 olarak göze çarpmaktadır. 2019 yılı içerisinde maden sektöründe hizmet gören 13.174 çalışan işten kaynaklı kaza geçirmiştir. İstatistiklerdeki maden sektörüne ait kazalara bakıldığında çok büyük bir kısmı enerji üretimi için çıkarılan maden alanlarında yeraltı madenlerde gerçekleşmiştir. 2019 yılı verilerine göre maden sektöründe yer alan toplam çalışan sayısının yaklaşık %30'unu kömür ve linyit çıkarılma alanı oluşturmakta ve bu alanda 8.983 çalışan iş kazasına uğramıştır. Maden sektörünün diğer alanları tüm sektörün %47'sini oluştururken, madencilik ve taş ocağı alanında ise 2.435 çalışan iş kazasına uğramıştır. Bu istatistiklere rağmen yine 2019 yılı içerisinde yaşanmış kazalardaki ölüm sayılarına bakıldığında yer altı madencilik faaliyeti olan kömür ve linyit çıkarılması faaliyetlerinde 13 çalışan hayatını kaybetmişken, taş ocağı ve yerüstü maden faaliyetlerinde 28 çalışan iş kazaları yüzünden hayatını kaybetmiştir. Bu rakamlar gösteriyor ki açık maden ocağı işletmeciliğinde iş sağlığı ve güvenliği çok daha dikkatli bir şekilde irdelenmesi ve ele alınması gereken önemli bir konudur [8].

Genel bir bakış açısıyla sosyal anlamda maden sektörü içerisinde sosyal gelişim anlamında 2010-2019 yılları arasında ciddi değişiklikler meydana gelmiştir. 2010 yılı içerisinde ruhsatlı madencilik yapanların sayısı 31.740 olarak gerçekleşirken, 2019 yılında bu sayı 15.731 olarak gerçekleşmiş ve buna rağmen 2010 ile 2019 yılları arasında toplam çalışan sayısında %0,73 artış gerçekleşmiştir. Buna karşın 2010 yılındaki maden arama ve işletme ruhsatlarının sayısı toplam 31.740 iken bu sayı yaklaşık %50 azalarak 15.731 olmuştur. Aynı dönemde (2010-2019), işyerinde sağlık ve güvenlik hususunda iş kazası geçirme oranı artmasına rağmen ölümle sonuçlanan kaza oranında %73,9 azalma görülmüştür [8].

Açık ocak madenciliği, çok sayıda işçi, dağınık iş yerleri, kötü doğal koşullar ve karmaşık çalışma ortamları gibi birçok güvensiz faktörü içeren karmaşık bir sistem mühendisliğidir. Açık ocak madenciliği, rezervin üst tarafından soyulan toprak ve kayanın boşaltılması ve ardından açık ocaktan çıkarılması yoluyla gerçekleştirilir. Yüksek riskli bir sektör olduğu için açık ocak madenciliği güvenliği, boşaltma ve şev stabilitesi, patlatma operasyon güvenliği, yol taşıma güvenliği vb. birçok faktörden etkilenir. Son birkaç yıl içinde, sadece büyük ekonomik kayıplara neden olmakla kalmayıp aynı zamanda toplum üzerinde de kötü etkilere neden olan ölümcül kazalar tekrar tekrar meydana gelmiştir [9]. Şekil 2.1'de açık maden ocaklarında ölümlü/yaralanmalı kaza türlerinin dağılımı verilmiş olup madenlerde

meydana gelen birçok olayın maden işçilerinin katılımı dışında nedensel faktörlere sahip olduğu görülmektedir.

Türkiye'nin maden çıkaran endüstrileri, başlıca maden üreten ülkeler arasında en yüksek ölümcül ve ölümcül olmayan yeni olgu oranlarına sahiptir. Patlatma işlemi, motorlu taşıma ve cephe/yüksek duvar düşmesi en yaygın ölümcül kaza/yaralanma türleridir. Kaza durumunda beden, baş ve el en çok görülen etki alanlarıdır [10].



Şekil 2.1. Açık maden ocaklarında ölümlü/yaralanmalı kaza türlerinin dağılımı

2.2. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Riskler

İş sağlığı ve güvenliği hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde sürekli olarak gelişmektedir. Teknolojinin çalkantılı gelişimi altında, çalışma ortamları değişiyor ve yeni iş düzenleme yollarından kaynaklanan yeni mesleki tehlikelerin ve benzeri görülmemiş risk koşullarının başlamasına yol açıyor. Aynı zamanda, tıp bilimindeki ilerleme, genetik, metabolomik (bilimsel süreçlerin raporlanması), büyük veri ve akıllı teknolojiler alanındaki bilgi birikimi ile geçmişte fark edilmeyen risk durumlarının hızlı bir şekilde tespit edilmesini

ve tedavi edilmesini mümkün kılmaktadır. Kişiselleştirilmiş mesleki tıp, toplam işçi sağlığı ve kaynakların sürdürülebilirliği açısından işyerinde önlemenin sınırını temsil eder. Geniş bir alanı kapsayan risk değerlendirmesi çalışmaları kimyasal, fiziksel ve biyolojik risklerden psikososyal risklere kadar uzanmaktadır [11].

2.2.1. Fiziksel Riskler

Fiziksel risk etmenleri; kesici delici aletler, gürültü, aydınlatma, termal konfor, nem, oksijen, yüksekten düşme, kapalı alanlar, cihaz makine yaralanmaları, radyasyon gibi çalışan sağlığını ve çevreyi etkileme ihtimali olan nedenler olarak sıralanabilir. Ekipman kazaları, yüksekten düşmeler, tuzağa düşme ve elektrik çarpması sayılabilir. Daha az yaygın ancak yerüstü maden ocaklarında gerçekleşen fiziksel riskler arasında kaya düşmesi, yangınlar, patlamalar, mobil ekipman kazaları, yüksekten düşmeler, tuzağa düşme ve elektrik çarpması sayılabilir. Daha az yaygın ancak bilinen ölümcül yaralanma nedenleri arasında yer altı çalışmalarının su basması, çöken perdelerden ıslak dolgu boşalması ve blok mağaracılık arızasından kaynaklanan hava patlaması sayılabilir. Risk yönetimi tekniklerinin sistematik uygulaması, gelişmiş ülkelerde yaralanma sıklığı oranlarında önemli bir düşüşe katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, daha geniş çalışma sahalarına ulaşmak ve daha fazla iyileştirme yapmak için riskleri değerlendirmek ve kabul edilebilir risk seviyelerine ulaşmak önem arz etmektedir. [12].

Gürültü, madencilikte neredeyse her yerde bulunur. Delme, patlatma, kesme, malzeme taşıma, havalandırma, kırma, taşıma ve cevher işleme ile üretilir. Madencilikte gürültüyü kontrol etmenin zor olduğu kanıtlanmıştır ve gürültüye bağlı işitme kaybı yaygın olmaya devam etmektedir [13].

Temel hava sıcaklıklarının yüksek olduğu zamanlarda, sıcak çarpması ve diğer fiziksel hasarlara yol açabilecek fiziksel problemlerin oluşmasına neden olan termal konfor şartları açık maden ocaklarında çok ciddi sorun yaratmaktadır. Radyant ısı da dâhil edildiğinde efektif sıcaklık çok daha fazla olmaktadır [14].

Tüm vücut titreşimi, yük-çekme-boşaltma üniteleri, kamyonlar, sıyrıcılar ve kazıcılar gibi mobil ekipmanları çalıştırırken yaygın olarak yaşanır. Bu, önceden var olan omurga bozukluklarına neden olabilir veya bunları şiddetlendirebilir. Kötü bakımlı yollar ve araçlar

soruna katkıda bulunur. Havalı ayaklı kaya deliciler gibi titreşimli aletlerin kullanımında da el-kol titreşim sendromu ile karşılaşmaktadır [15].

Yüzey madenciliği operasyonlarında solar ultraviyole maruziyetlerinin, diğer endüstrilerdeki açık hava çalışanları üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilen bir çıkarım olmasına rağmen, skuamöz hücreli ve bazal hücreli karsinomların oluşumuna katkıda bulunması muhtemeldir [28-30]. Önemli ölçüde açık havada çalışmayı içeren meslekler, artan melanom riski ile ilişkili görünmemektedir [28,31–35]. Pirometalurjik süreçlerde kızılötesine maruz kalma, ısı stresine katkıda bulunur ve katarakta neden olabilir. Elektrolitik eritme ve rafinasyon işlemlerinde elektromanyetik alanlarla karşılaşılır. Ağır makinaların sürekli çalışması titreşim maden ocaklarında ki en önemli sorunlardan biri olarak öne çıkmasına neden olmaktadır. [16].

Toz da madencilikte ciddi bir tehlike oluşturmaktadır, tozlu yerlerde çalışan işçilerinin pnömokonyoza veya kronik obstrüktif akciğer yakalanmış oldukları bilinmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde riskler artık toz bastırma, havalandırma ve solunum koruması ile büyük ölçüde kontrol altına alınmıştır. Bununla birlikte, etkili kontrolü sürdürmek için teyakkuz gereklidir [17].

2.2.2. Kimyasal Riskler

Kristal silika, on dokuzuncu yüzyılın sonlarında kazı sırasında en kötü silikoz riskiyle birlikte madencilikte uzun süredir ciddi bir tehlike olmuştur Eksenel su beslemeli kaya deliciler, ıslak teknikler, havalandırma, kapalı kabinler ve solunum koruması gibi durumlar büyük ölçüde kontrolün sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, silikozis gelişmekte olan ülkelerde bir sorun olmaya devam etmektedir ve siliko-tüberküloz, madenciler arasında önemlidir. Kristalin silikaya uzun süre maruz kalmak da kronik obstrüktif akciğer hastalığına neden olabilir Romatoid artrit ve uzun süreli silika maruziyetini takiben böbrek hastalığında hızlanmış silikoz için bazı kanıtlar vardır. Şimdi ayrıca kristalli silikaya uzun süre maruz kalmanın akciğer kanseri riskini artırdığına dair iyi kanıtlar vardır [18].

Dizel partikül maruziyeti, öncelikle sondaj ve nakliye için kullanılan dizelle çalışan mobil ekipman nedeniyle yeraltı madenlerinde meydana gelir. Dizel partikülü, bir IARC Grup 2A

olası insan kanserojenidir ve diğer endüstrilerden yapılan birkaç epidemiyolojik çalışma, aşırı akciğer kanseri riski olduğunu göstermektedir. Kontrol önlemleri arasında düşük kükürtlü dizel yakıt kullanımı, motor bakımı ve maden havalandırması yer alır [19].

Hava konsantrasyonları cevherin madenciliği sırasında yaşananları aştığında, riskler genellikle metalurjik işleme sırasında en fazladır. Uygun kontrol önlemleri gereklidir [20].

2.2.3. Biyolojik Riskler

Madenlerde kemirgen ve insektisitlerden kaynaklı hastalanma olasılıkları mevcut olmakla birlikte iyileştirilmiş sanitasyon işlemleri bu risklerin gelişmiş ülkelerde etkili bir şekilde kontrol altına alınmasına fayda sağlamıştır [20].

2.2.4. Psikososyal Riskler

Günümüzde madencilik sektöründe ölümcül ve ciddi travmatik yaralanmalar meydana gelmeye devam etmekte ve bu olaylar öncelikle çalışanlar ile aileleri üzerinde ciddi psikolojik etkileri bırakmaktadır. Bunun yanında olaylara tanık olanlarda, kazaya uğrayanın meslektaşlarında ve yöneticilerde de travma sonrası stres bozuklukları gelişebilmektedir. Kayıtlı yöneticiler, travma sonrası stres bozukluğunun yanında ihmal olmasa bile, genellikle bu tür yaralanmalardan kişisel olarak sorumlu hissederler ve hükümet soruşturmaları ve yasal işlemlerle karşı karşıya kalırlar [20].

2.2.5. Ergonomik Riskler

Ergonomi, işin gerektirdikleri ile ilgili olarak, insan yeteneklerinin iş ile uyumunun incelenmesidir. Yüksek psikolojik baskı, uzun süren sabit çalışma duruşları, insan vücuduna uyumsuz malzeme materyal kullanımı, termal konfor şartları ergonomik riskler içerisinde yer alıp işle ilgili kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olmaktadır [21]. Madencilik sektörü giderek daha fazla mekanize hale gelse de manuel taşıma hala kullanılmaktadır. Bunun yanında kullanılan makine teçhizatı sürekli sabit duruşlar ile kullanılması gerekliliği ergonomik riskler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bundan kaynaklı meydana gelen kümülatif travma bozuklukları, madencilikte en büyük meslek hastalığı kategorisini oluşturmaya devam etmekte ve sıklıkla uzun süreli sakatlıklar ile sonuçlanmaktadır [12].

Sıcak yerlerde beklenebilecek uyku eksikliklerinin, diğer endüstrilerdeki sürücüler arasında bilişsel ve motor performansta bozulmalara neden olduğu gösterilmiştir. Kaya düşmelerinden kaynaklanan ölümcül yaralanma riski hala açık maden ocaklarında etkisini korumaktadır [22]

2.3. Risk Analizi

Risk analizi; tehlikeli maddeler, süreçler, eylemler veya olaylarla ilişkili riskleri tanımlamak ve ölçmek için sistematik bir süreçtir. İnsan hayatına, mali kayıplara ve çevresel etkilere neden olabilecek kazaların, etkenlerinin tespiti ve iyileştirilmesi, kazaların önlenmesi için önem arz etmektedir [23].

Birkaç yıl boyunca, büyük sonuçları olabilecek kazaların önlenmesine büyük ilgi gösterilmiştir. Bu, her şeyden önce kimyasal işleme ve nükleer endüstrilerdeki teknolojik olarak gelişmiş tesisler için geçerlidir. Büyük kazaların nasıl önlenebileceği konusunda çok fazla çaba sarf edilmiş ve geliştirme üzerine çok sayıda araştırma ve pratik çalışma yapılmıştır. Güvenlik analizi, giderek artan ölçüde uygulanan bir metodoloji haline geldi ve genellikle tesis düzeyinde güvenlik faaliyetleri için temel sağlanmıştır. İş kazaları, büyük tehlikelerden bile daha büyük bir başka ciddi sorundur. Bir bütün olarak dünyada, Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), iş kazalarında her yıl yaklaşık 300.000 kişinin öldüğünü ve 250 milyon kişinin yaralandığını tahmin etmektedir [2]. Sorunun ölçeği göz önüne alındığında, bu alan aslında büyük kazalara verilenden daha fazla ilgiyi hak ediyor. Bu nedenle, iş yerindeki yaygın kazaların önlenmesinde güvenlik analizinin sağlayabileceği yardımdan yararlanmak esastır.

2.4. Risk Analiz Yöntemleri

Risk analizi ve değerlendirme (RAA) tekniklerinin üç ana kategoride sınıflandırıldığını göstermektedir: (a) nitel, (b) nicel ve (c) hibrit teknikler (nitel-nicel, yarı-nicel) . Nitel teknikler hem analitik tahmin süreçlerine hem de ve güvenlik yöneticileri-mühendis yeteneği üzerine oluşturulmuş yöntemlerdir. Nicel tekniklere göre risk, bir çalışma sahasında kaydedilen gerçek kaza verileri yardımıyla matematiksel bir ilişki ile tahmin edilebilen ve ifade edilebilen bir miktar olarak düşünülebilir. Hibrit teknikler, geniş bir

yayılmayı önleyen ad hoc karakterlerinden dolayı büyük bir karmaşıklık sunar. Tablo 1 risk analizi ve değerlendirme metodolojilerinin sınıflandırmasını göstermektedir [24]. Kullanılması çok yaygın olmamakla birlikte daha çok yapı inşaat işleri için kullanımı olan ancak ilerde kullanım alanlarının genişleyeceği ve endüstriyel anlamda yaygınlaşacak Tehlike Derecelendirme Sistemi, HRNS (Hazard Rating Number System) olasılık, şiddet ve frekans parametrelerine ek olarak riske maruz kalabilecek çalışanların sayısını da denkleme ekleyerek dört parametre ile risk skoru hesaplamaktadır [25].

Tablo 1. Ana risk değerlendirme yöntemleri

Nitel Yöntemler	Nicel Yöntemler	Karma Yöntemler
Kontrol Listeleri	FMEA	Matris,
HAZOP	Oransal risk değerlendirme Tekniği	Fine Kinney
Ön Tehlike Analizi	Karar matrisi	Hata ağacı analizi
Olursa Ne Olur		Olay Ağacı Analizi
		Neden Sonuç Analizi

2.4.1. Geleneksel Analiz Yöntemleri

En eski kaza nedensellik modellerinden biri, 1931'de Herbert William Heinrich tarafından önerilen Domino teorisidir [16]. Bu teori, bir kazayı belirli bir zamansal düzende meydana gelen ayrı olaylar zinciri olarak tanımlar. Yıllar içinde, yönetim ve yönetim sistemindeki arızaların belirlenmesine vurgu yapılarak birkaç araştırmacı tarafından güncellenmiştir [17]. Örnek olarak, Weaver orijinal teoriyi, dizideki son üç domino taşının yönetim ihmallerinden kaynaklandığını öne sürecek şekilde değiştirmiştir [18], Bird domino teorisini kazaya neden olma sürecinde yönetimin etkisini yansıtacak şekilde uyarlamıştır [19], Adams vurguyu değiştirmiştir. İlk üç dominodan kişi özelliklerinden ziyade örgütsel özellikleri yansıtan [20] ve Petersen, bireyselden ziyade yönetim sistemine dayalı bir model geliştirmiştir [21]. Arıza modları ve etkileri analizi (FMEA), arıza ağacı analizi (FTA), olay ağacı analizi ve neden-sonuç analizi gibi çoğu geleneksel tekniğin temelini oluşturur [22]. Bu sıralı modeller, fiziksel bileşenlerin arızalarından veya nispeten basit sistemlerde insan hatalarından kaynaklanan kayıplar için iyi çalışır [26].

Proaktif yaklaşımla çalışmak adına üzerinde durduğumuz FRAM yöntemi ise özellikle işletmedeki sistemi incelemektedir. Sistemik analiz metodlarından olan FRAM dört aşaması olan bir metodudur [27]. Bu aşamalar fonksiyonları belirlenmesi, fonksiyonlara etkiyen değişkenlerin neler olduğunu anlamak, fonksiyona etkiyen ve fonksiyona bağlı değişkenleri belirlemek, fonksiyona bağlı değişkenliği yorumlamak şeklindedir.

2.4.2. Sistemik Analiz Yöntemleri

Sistem teorisi, karmaşık bir sistemin bileşenleri (teknik, insan, organizasyon ve yönetim) arasındaki karmaşık ilişkileri ve karşılıklı bağımlılıkları anlamak için gerekli ilkeleri, modelleri ve yasaları içerir. Sistem teorisine dayalı kaza modelleri, kazaları sistem bileşenleri arasındaki etkileşimlerden ortaya çıkan, etkileşimlerin doğrusal olmadığı ve çoklu geri besleme döngüleri içerdiği ortaya çıkan fenomenler olarak görür [26].

Sistemik kaza modelleri benzer teorik temellere sahip olsa da, her birinin gelişimi ve metodolojisi farklıdır ve dolayısıyla elde edilen sonuçlar farklı olabilir. Underwood ve Waterson, literatür taraması sırasında toplanan 449 çoğaltılmamış makale içinde toplam 13 sistemik model belirledi. Bu teknikler için bir alıntı araması yaptılar ve en çok alıntı yapılan üç model, tanımlanan referansların sırasıyla %52,0, %19,9 ve %17,9'u ile STAMP, FRAM ve AcciMap idi. [26]. Bu çalışmada başvuru risk analiz yöntemi FRAM; sistematik bir metod olmanın yanında sistem sapmalarını, sapmalar sonucunda ortaya çıkabilecek kabul edilemez olan sonuçları ve sapmaların sıklığını azaltmak için çözüm önerilerini ortaya koymaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Ekskavatörler, tekerlekli yükleyiciler ve çekiciler gibi iş makinesi makineleri, karayolu veya arazi dışı inşaat işleri, yeraltı veya yerüstü madenciliği ve her türlü malzemenin taşınması gibi farklı amaçlar ve bağlamlar için kullanılabilir. Tipik uygulama senaryoları, minerallerin yüzey ocaklarında çıkarıldığı ve mineral türlerine ve hedeflenen ürünlere bağlı olarak farklı üretim süreçlerinin takip edildiği agrega ocaklarıdır. Tipik mineraller, farklı müşteri ve müşteri profilleri ile mermer, kalker orgranit olabilir. Bu çalışmada, yol inşaatı, demiryolu yatakları veya ev inşaatı gibi inşaat işleri için gerekli olan çakılları üreten agrega ocakları sahaları çalışma alanı olarak ele alınmıştır. Böyle bir taş ocağı sahasında, asfalt plenti gibi müşterilerin tedarikini alabilmesi için malzemeyi kazmak, kırmak ve taşımak için ağır makineler kullanılır. Bugün inşaat makinelerinin yetenekleri gelişmiştir, ancak üretim süreçleri son on yılda çok fazla değişmemiştir. Malzeme, taş ocağı sahasında bir noktada üretilir ve tamamı insan tarafından çalıştırılan makineler kullanılarak daha ileri işlemler için farklı bir yere taşınır [28]. Bu işlemlerin tüm aşamalarında kaza olması, maliyet arttırıcı unsurların oluşması ve çevreye zarar verebilecek durumların oluşması muhtemeldir. Bu nedenle çalışma sahalarına yönelik yukarıda anlatılan konulara detaylı bir bakış gerekmektedir.

Mesleki risk değerlendirmelerinde bulunan geleneksel araçlar, hem belirli bir faaliyetin tüm süreçten yalıtılmasına dayanan hem de belirli üretim ortamlarında uygulama için oluşturulan bir ön tehlike analizi ve kontrol listeleridir. Bu strateji, bu tür değerlendirmelerin sonuçlarını gerçek durumlardan uzaklaştırır. Madencilik sektörü bir çabadır ve her bir yüklenici altında çalışan birden fazla yüklenici ve grubu içerebilir. İş, sürekli değişim ve değişen talepler altında gerçekleşir. Bu bağlamda, işçiler günlük yolculuklarında hareket ederken, sağlıkları ve güvenlikleri genellikle diğer yükleniciler veya gruplar tarafından yürütülen faaliyetler tarafından tehdit edilmektedir. Çalışma, işlev bağlantılarının, başarısızlık veya yetersiz işlevden ziyade performans değişkenliğinin mesleki bir risk oluşturacak şekilde nasıl birleştirilebileceğini açıklamayı amaçlayan İşlevsel Rezonans Analizi Yöntemini (FRAM) kullanır. [29].

FRAM, Hollnagel tarafından geliştirilmiştir ve işlerin nasıl gerçekleştiğine ilişkin dört ilke veya varsayıma dayanmaktadır [20].

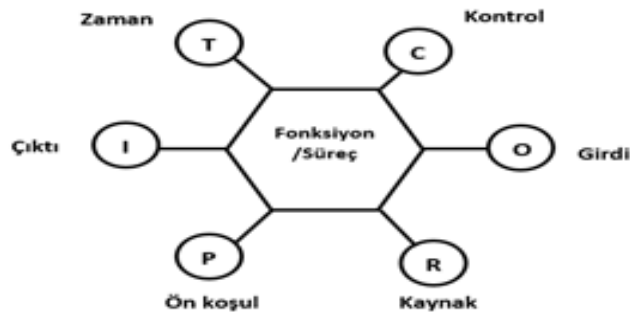
Başarıların ve başarısızlıkların denklığı ilkesi: Bu, farklı türden sonuçların mutlaka farklı türden açıklamalar gerektirmediği varsayımdır. Bu, sistemi tanımlayan aynı eylemlerden bir kazanın ortaya çıktığı anlamına gelir.

Yaklaşık ayarlamalar ilkesi: Bu, insanların, eylemlerin koşullara uyması için yaptıklarını sürekli olarak ayarladıkları varsayımdır.

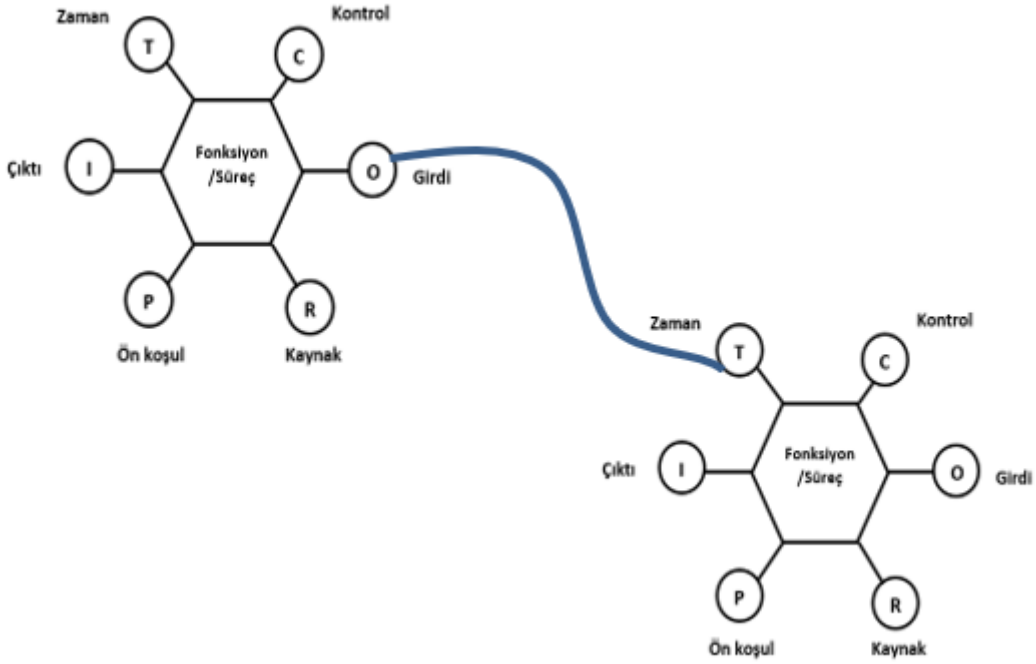
Ortaya çıkma ilkesi: Bu, tüm sonuçların belirli, tanımlanabilir bir nedene sahip olarak açıklanamayacağına kabulüdür.

Rezonans ilkesi: Açıklamaların neden-sonuç ilkesine (nedensellik) dayandırılmasının mümkün olmadığı veya makul olmadığı durumlarda, doğrusal olmayan etkileşimleri ve sonuçları tanımlamak ve açıklamak için bunun yerine fonksiyonel rezonans kullanılabilir [27].

FRAM, iş faaliyetlerinin geriye dönük veya ileriye dönük olarak nasıl gerçekleştiğini analiz eden bir yöntemdir. Bu, işin nasıl yapıldığına dair bir model veya temsili üretmek için iş faaliyetlerini analiz ederek gerçekleştirilir. Model, bir risk analizi, bir olay araştırması veya tamamen farklı bir şey için temel olarak hizmet edebilir. Seçilen olay veya performans, aktiviteyi gerçekleştirmek için gerekli olan fonksiyonlar, fonksiyonlar arasındaki potansiyel bağlantılar ve fonksiyonların tipik değişkenliği açısından tanımlanır. Ayarlama ilkesine dayalı olarak, sistemin her işlevi kendi içinde bir değişkenliğe sahiptir. Değişkenliğin ana kaynakları insanlar, teknoloji, gizli koşullar ve engellerdir. Sistem içindeki farklı işlevlerin değişkenliği, sistemin özümsemeyecek kadar büyük hale gelmesi durumunda, tespit edilemeyen ve istenmeyen sonuçlar yani kaza meydana gelir. Bu, sistemin normal çalışma moduyla baş edememesine neden olan bir “fonksiyonel rezonans”tır [30]. FRAM modellemesinde işlevler altıgenler ile temsil edilir (Şekil 3.1), işlevlerin birbirleri ile ilişkileri ise Şekil 3.2’de görüldüğü şekliyle gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. Altıgen fonksiyon gösterimi



Şekil 3. 2. Fonksiyonlar ve bağlantı.

Karmaşık bir insan-makine sisteminin, bir sistem modeli tarafından düzgün bir şekilde tanımlanabilecek, insanlardan, makinelerden ve bunlar arasındaki etkileşimden oluştuğu görülmektedir. Bir sistem modelinin rolü, sistemlerin nasıl arızalanabileceğini düşünmede veya başka bir deyişle kazaları düşünmede esastır. Temel bir ayırım, kazaların belirli arızalardan mı yoksa “hata mekanizmalarından” mı, yoksa talihsiz tesadüflerden mi kaynaklandığıdır. Yıllar boyunca, kazaları açıklama ve tahmin etme çabaları, olayların nasıl meydana gelebileceğini açıklamanın bir dizi klişe yolunu içermiştir [31].

FRAM, hava trafik kontrolü, sağlık hizmetleri, nükleer santraller, kimya ve petrokimya endüstrisi, demiryolları, denizcilik sektörü de dâhil olmak üzere havacılık gibi yüksek riskli ve karmaşık farklı sektörlere uygulandı ve içlerinde güvenlik yönetiminde bir iyileşmeye yol açmıştır. Ancak inşaat sektörü veya bu sektöre kaynak sağlayan sektörlere uygulanması henüz derinlemesine geliştirilmemiştir. Avrupa Birliği'nde inşaat sektörü ile buna bağlı sektörler en fazla kazaya sahip sektördür, bu nedenle inşaatta güvenlik bir önceliktir. Yapı inşaatı, en tehlikeli inşaat aşamalarından veya faaliyetlerinden biridir. Bu nedenle, "Yapıların tasarım ve uygulama faaliyetlerinde iş güvenliğinin dayanıklılığının artırılması

için Kompozit Öncü Göstergeler" projesi (BIA2016-79270-P), Resilience Engineering tarafından geliştirilen yeni Safety II vizyonunu kullanarak bu faaliyetlerde iş güvenliğinin yönetimini ve izlenmesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu şekilde, yapılan işi bilmek, yani günlük performansın ayarlamalarını ve değişkenliğini belirlemek için FRAM yaklaşımı uygulanmıştır.

Bu amaçla iş yerinde gözlem ve görüşmeler yapılmıştır. Toplanan bilgiler ve FRAM Model Görselleştiricisi (FMV) yardımıyla FRAM modelinin işlevleri tanımlanmıştır. Böylece, agrega ocaklarında temel işlevler çerçevesinde yapılmış bir FRAM analizi sunulmaktadır. FRAM ile elde edilecek değişkenler ile işlevler içerisinde kazaya neden olacak odak noktaları tespiti yapılmıştır.

Ülkemizdeki inşaat sektörü çok büyük oranda betonarme ve karkas yapılar üzerinde çalışmaktadır. Betonarme yapılar için ise en fazla kullanılan malzeme agrega olmaktadır [32]. Bu çalışma da agrega ocağında yapılan; ocak sahası belirlenmesi sonrasında patlatma yapılması, kırıcı yükleyici çalışması, konkasöre malzeme taşınması, konkasör çalışması ve istifleme yapılması bağlamındaki temel işlevler çerçevesinde yürütülmüştür. Agrega ocağında (Şekil 3.3.) konkasör - kırma tesisi (Şekil 3.4) , eleme tesisi (Şekil 3.5), yükleme ve boşaltma (Şekil 3.6, Şekil 3.7) amaçlı araçlar ile bunları kullanan çalışanların oluşturduğu karmaşık bir sistem vardır. Bu sistem agrega kaynağı ile de bağlı olduğu için kaynak ve o bölgede çalışan araç gereçlerde bu sistemin bir parçası olarak seçilmiştir Bu ocakta yapılmış olan çalışmaların belge analizleri, çalışan ve işyeri temsilcileri ile görüşmeler, İş Sağlığı ve güvenliği konuları ile ilgilenen kuruluş ve kişiler ile yapılan görüşmelerin yanı sıra ocak içerisinde ve ocağa kaynak sağlayan sahalarda yapılacak gözlemler şeklinde nitel olarak yürütülmüştür. Aşağıda yer alan şekillerde çalışılan agrega tesisi bölümleri yer almaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen agrega ocağı sahası, tipik olarak yol inşaatı, demiryolu rayları, bina inşaatı ve daha pek çok şey için kullanılan farklı boyutlarda agrega üretimi gerçekleştirmektedir. Agrega, günümüzde sadece insan tarafından çalıştırılan makineler kullanılarak üretim sürecinde yer alan adımlarda üretilen agrega (imal edilmiş kum dâhil), sağlam ana kayanın (magmatik, tortul veya metamorfik) taş kırma tesislerinde ezilmesiyle üretilir (Şekil 3.9) [33]. Üretilmektedir. Patlatma: Kayalar, üretim için malzeme almak üzere patlatılır. Ön Kırma: Genellikle patlatma sonrası kayalar çok büyüktür ve mobil kırıcı

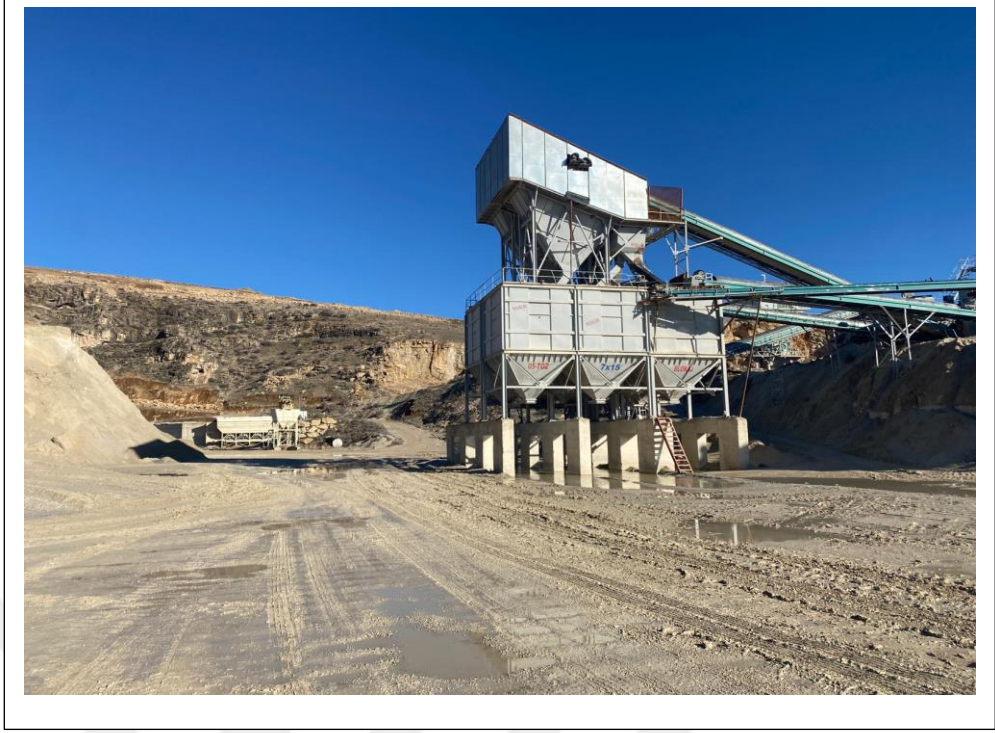
(birincil kırıcı) kullanılarak kırılır. Birincil kırıcı tipik olarak bir ekskavatör tarafından beslenir. Birincil kırıcı tarafından üretilen daha küçük kayalar, tekerlekli yükleyici tarafından istiflenir. Önceden kırılmış kayalar tekerlekli yükleyici kullanılarak sert çekicilere yüklenir. Sert taşıyıcılar, malzemeyi ikincil bir kırıcıya taşır. Önceden kırılmış kayalar, müşteri ihtiyaçlarına göre daha küçük taneciklere daha da kırılır [28].



Şekil 3. 3. Ocak alanı



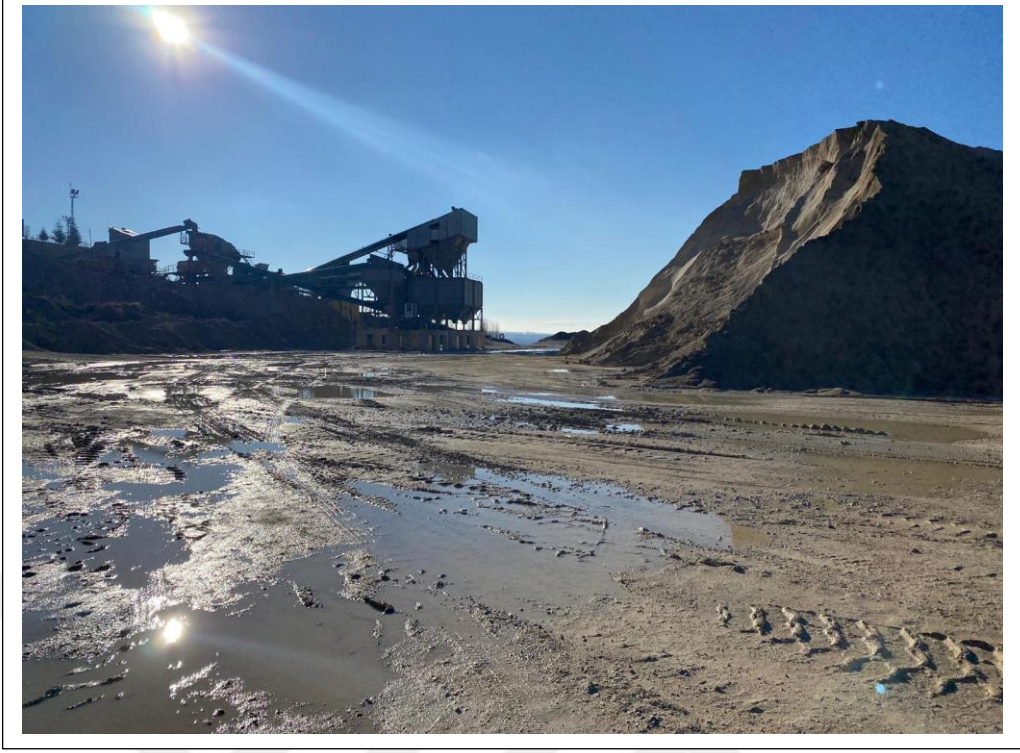
Şekil 3. 4. Konkasör malzeme yükleme alanı



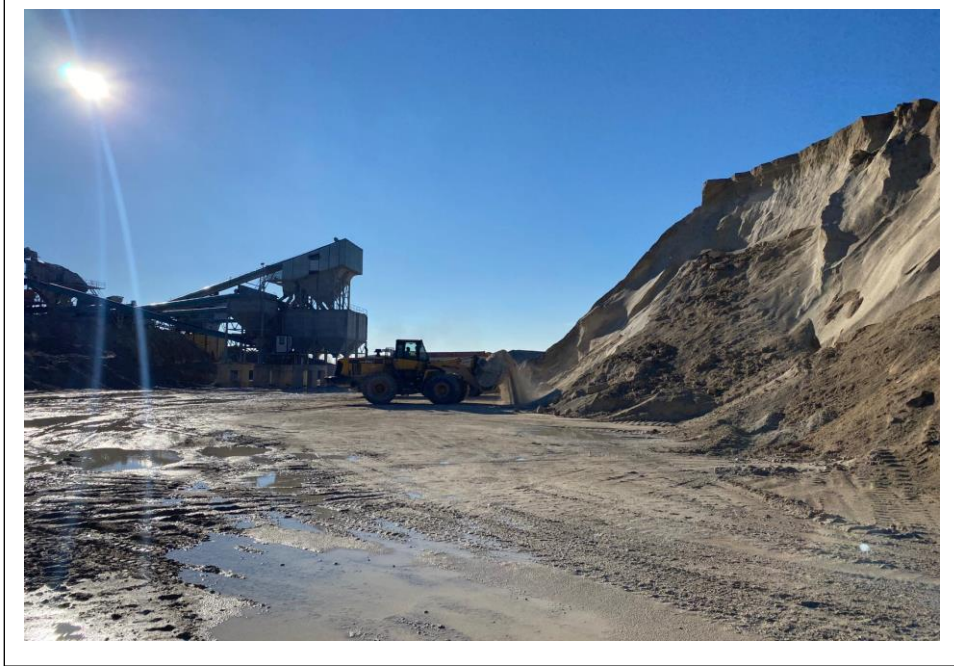
Şekil 3. 5. Konkasör elek ve direk yükleme alanı



Şekil 3. 6. Konkasör sahası



Şekil 3. 7. Yükleme ve konkasör sahası



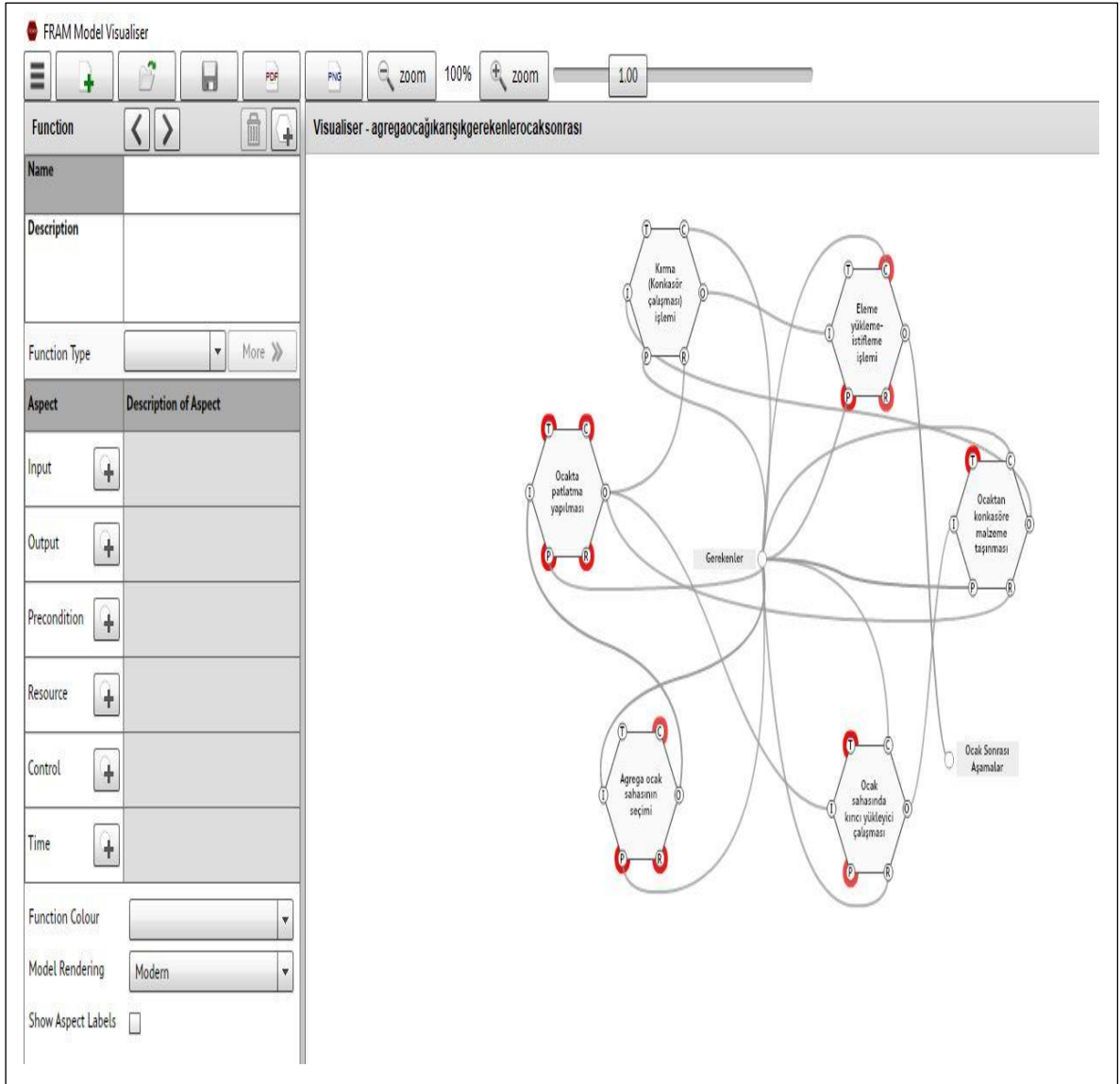
Şekil 3. 8. Stok alanı



Şekil 3. 9. Yükleme teslim alanı

4. BULGULAR

39 çalışmanı olan, günlük sekiz saatlik çalışma ile 4400 ton agrega üretimi yapabilen ocağı için yapılan bu çalışmada uzmanlar ve çalışanlar ile yapılan görüşmeler neticesinde bir FRAM modeli oluşturmak için dört adım izlenmiştir. Modelleme için FRAM Model Visualizer programı kullanılmıştır (Şekil 4.1.). İlk adımda, uzmanlar ile görüşülerek organizasyonel işlevler tanımlanmıştır (Tablo 2).



Şekil 4.1. Fram Visualer arayüzü

Tablo 2. Fonksiyon tablosu

Fonk. No	Fonk. Adı	Girdi (I)	Çıktı (O)	Önkoşul (P)	Kaynak (R)	Kontrol (C)	Zaman (T)
F1	Agrega ocak sahasının seçimi	Mali ihtiyaçlar	Yasal izinlerin alınması	Uygun rezerv	Sermaye	Mevzuat	
		Malzeme özellikleri		Minimum çevre zararı	Doğa		
		Malzeme ihtiyacı	Zemin etüdü yapılması	Ulaşılabilirlik (Yol)			
F2	Ocakta patlatma yapılması	Yasal izinlerin alınması	Kaba malzeme elde edilmesi	Yer seçiminin yapılması	Patlayıcı madde	Kolluk kuvvetleri	Erken
				Hava koşullarının uygunluğu			
		Zemin etüdü yapılması		Kolluk kuvvetlerinin bilgilendirilmesi	Agrega ocağı	İGU	Tam zamanında
F3	Ocak sahasında kırıcı yükleyici çalışması	Kaba malzeme elde edilmesi	Malzemenin boyutlandırılması	Patlatma yapılması	Yeterli ve uygun ekipman bulunması	Çalışan	Erken
							Tam zamanında
							Geç
F4	Ocakta konkasöre malzeme taşınması	Malzemenin ayrıştırılması	Konkasöre malzemenin ulaşması	Ulaşılabilirlik (Yol)	Kaba malzeme elde edilmesi	Çalışan	Erken
				Hava koşullarının uygunluğu			Tam zamanında
				Yeterli ve uygun ekipman bulunması			Geç
F5	Kırma (Konkasör çalışması) işlemi	Konkasöre malzemenin ulaşması	Agrega elde edilmesi	Yeterli ve uygun ekipman bulunması	Kaba malzeme elde edilmesi	Operatör	
F6	Eleme yükleme-istifleme işlemi		Boyutlara ayrıştırılması	Yeterli ve uygun ekipman bulunması	Konkasör	Operatör	
			Malzeme istiflenmesi	Yeterli alan bulunması		Talep eden	
		Agrega elde edilmesi	Teslimat	Malzeme talebi olması			

Yukarıda belirtilen tanımlamalar ile ocak içerisinde yapılan temel aktiviteler üzerinde ayrıntılı düşünmeyi ve odaklanmayı sağlamıştır. Fonksiyonların tanımı yapıldıktan sonra, modelin her bir fonksiyonunun değişkenlerinin belirlenmiştir (Tablo 3.) Fonksiyonlara ait değişkenlerin tanımlanması ile fonksiyonlarda beklenmedik sonuçlara neden olabilecek öncüller ve odak noktalarının neler olabileceği tespit edilmiştir.

Tablo 3. Değişkenler tablosu

No	Senaryo	Değişken	Değişkenin etkileri
F1	Agrega ocak sahasının seçimi	Ulaşım	Kaza gerçekleşmesi Yüksek maliyet
		Zemin etüdü	Kalitesiz rezerv Çürük son ürün(beton, asfalt)
		Doğal nedenler	Ekosisteme zarar Toprak miktarının azalması
F2	Ocakta patlatma yapılması	Erken	Kaza gerçekleşmesi
		Geç	Çevresel etki
		Haberleşme/iletişim	
F3	Ocak sahasında kırıcı yükleyici çalışması	Yetkin personel olmaması	Malzeme tedarikinde aksama
		Hava koşulları	Kaza gerçekleşmesi
		Arızalar	Üretim yapılamaması
		Şev Yüksekliği	Maliyet artışı
F4	Ocakta konkasöre malzeme taşınması	Yetkin personel olmaması	Malzeme talebinin karşılanmaması
		Hava koşulları	Ulaşım problemi
		Arızalar	İş kazası
F5	Kırma (Konkasör çalışması) işlemi	Enerji Problemi	Taleplerin karşılanamaması
		Operatörün hasta/izin/kazalı olması	İşlerin durması
F6	Eleme yükleme-istifleme işlemi	Stok alanı olmaması	Maliyet artışı
		Konkasörün durması	Malzeme tedarikinde aksama
		Makine ekipman arızaları	Bağlı sektörlerde işlerin durması(inşaat, yol)
		Yetersiz talep	

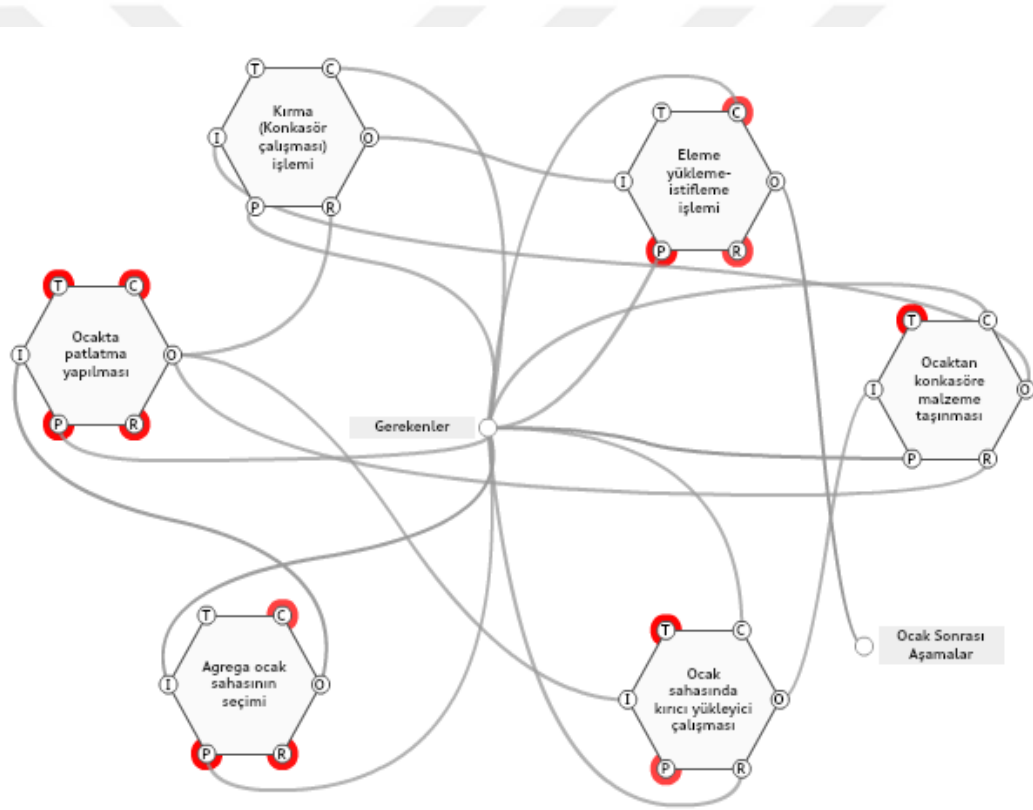
F1 ocak sahasının doğru belirlenmesi fonksiyonu bizlere; ihtiyaç duyulan malzeme türü ve miktarına sahip olunan alanların maden sahası olarak seçilmesi gerektiğini, bunun yanında yasal mevzuata uygunluk, yeterli rezerve sahip olma ayrıca ulaşım ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi hususunda detaylı bir bakış açısına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

F2 ocakta patlatma yapılması fonksiyonu, bu işlevin yetkin personel ile yasal prosedürlere uygun bir şekilde gerekli tüm tedbirlere alındığı bir durumda yapılması gerektiği hususlarının odak noktası olduğunu göstermiştir.

F3 ocak sahasında kırıcı yükleyici çalışması fonksiyonu, F1 ve F2 fonksiyonları ile tam etkileşimli bir işleve sahip olduğu (Şekil 4.1.) ayrıca hava koşulları ile uygun ekipman ve araçlar ile çalışılması konularında hassas olduğu görülmektedir.

F4 Konkasöre malzeme taşınması fonksiyonu, en fazla iklim koşullarından ve çalışma sahasının şev yüksekliği, yol genişliği ve düzgünlüğü gibi hususlardan etkileneceği görülmektedir. Bunun yanında üretimin devamlılığı ile diğer işlevlerin sürdürülebilirliği konusunda etkili bir işlev olarak karşımıza çıkmaktadır.

F5 konkasörde kırma yapılması fonksiyonu ile bu işlevin, işlerin devamlılığı için gerekli olduğu, hemen hemen tüm işlevler ile etkileşimde olduğu (Şekil 4.1), yetkin personel ve uygun alanda sağlam bir montaja ihtiyaç duyduğu bulunmuştur.



Şekil 4.2. FRAM Visualizer fonksiyonların şematik gösterimi

F6 eleme yükleme-istifleme işlemleri fonksiyonu, uygun araç gereç ile yerine getirilmesi gereken, sürdürülebilir bir tesis için gerekli bir fonksiyon olarak görülmüştür.

F1 Fonksiyonu için belirlenmiş ulaşım, zemin etüdü ve doğal olayların dikkate alınmaması veya gerekli tedbirlerin bu hususlara dikkat edilmemesi durumunda; kaza gerçekleşmesi, kalitesiz bir rezerve ve çürük son ürün, yüksek maliyet gibi etkileri olacağı değerlendirilmektedir.

F2 fonksiyonu için belirlenmiş olan patlamanın erken veya geç yapılması, patlama prosedürü esnasında iletişim veya haberleşmede eksiklikler olması ciddi sonuçlu kaza veya çevresel etkilere neden olabileceği düşünülmektedir.

F3 fonksiyonu için hava koşulları, yetkin personel çalıştırılması, şev yüksekliğinin doğru ayarlanması değişkenlerinin, kaza gerçekleşmesi, yüksek maliyet ve çevresel etkilere neden olacağı değerlendirilmektedir.

F4 fonksiyonu için yetersiz bakım onarım, ulaşım konusunda yetkin personel olmaması, hava koşulları ile ulaşım için hazırlanmış yolların (dar, geniş, kaygan, engebeli, uygun olmayan eğim) ölümlü/yaralanmalı veya mali kayıplara neden olacak kazalara sebep olabileceği, ayrıca diğer işlevler ile etkileşimine bakıldığında (Şekil 4.1) ocağın diğer işlevlerinin yerine getirilmesine engel olacağı düşünülmektedir.

F5 fonksiyonu için operatörün olmaması veya yetersiz olması, enerji yetersizliği gibi değişkenler kaza gerçekleşmesi, taleplerin karşılanamaması ve diğer işlevleri etkilemesi ile birlikte çalışma yapılmasına neden olacağı düşünülmektedir.

F6 fonksiyonu için stok alanı olmaması, uygun ve doğru stok veya istifleme yapılmaması konkasörün durması, makine ekipman arızaları gibi değişkenler kaza olmasına, taleplerin karşılanamamasına ve maliyet artışlarına neden olacağı değerlendirilmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma ile işletmelerde sistem bileşenlerini inceleyen risk analiz yöntemi, FRAM kullanılarak agrega ocaklarında belirlenmiş olan ana fonksiyonlar üzerine değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. Agregada ocağına FRAM uygulaması, değişkenlerin sistemin başarılı veya başarısız olmasına nasıl yol açabileceğini tahmin etmesine, onu nasıl izleyeceğini anlamasına ve tüm bunlardan ders almasına olanak sağlamaktadır. FRAM; işletmelerde kazalar, maliyetler veya çevresel etkilere neden olabilecek insan-makine etkileşimine geniş bir bakış açısı sunarak öngörülemeyen ocak sahası tespiti ve etkileyeceği çalışma koşulları, patlatmanın zamanında yapılmaması halinde meydana getireceği olumsuzluklar, makine teçhizat çalıştırılmasında yetkin personel bulundurulmaması, enerji kesintisi, uygun olmayan ve yetersiz stok alanı, istifleme ve ocak sahasında şevlerin uygun olmaması gibi risklerin tespitine olanak sağlamaktadır.

İş ve çevre sağlığı risklerinin hızla azalmasının istendiği bir dönemde artan insan ve çevre zararı ciddi anlamda dikkat çekmektedir. Bu kapsamda madencilik sektöründeki teknik gelişmelere baktığımızda ise verinin kullanımı konusunda yeni proje ve çalışmaların arttığı görülmektedir. Açık maden sahaları üzerine yapılan bazı çalışmalarda çalışma alanı içinde; konkasöre malzeme taşıyan araçların rotalarında hareket zamanlamasının belirlenmemesi, derecesine uygun eğim veya iksa eksikliğinden kaynaklanan belirtilmiştir. Agregada ocakları içinde benzer uygulamaların kullanılması istenmeyen olayların gerçekleşmesini engelleyebilir.

İşlevlerin belirlenmesinde tez kapsamında incelenen agrega ocağında çalışan teknik ekibin görüşlerine yer verilmiş olup farklı ocaklarda yapılacak birden fazla çalışma ile farklı bulguların elde edilebileceği düşünülmektedir. FRAM modeli görüşmeler ve gözlemler üzerine inşa edilmiş olsa da, fonksiyonlar arasındaki potansiyel bağlantıları temsil edebildiği ve bunların hatalı veya istenmeyen durumlara sebep olmasına neden olabilecek değişkenlerin irdelenmesine yardımcı olmasına rağmen çalışılan sistemin farklı koşullar altında farklı davranabileceği unutulmamalıdır. Belirlenen işlevlerin ayrı ayrı değerlendirmeye alınması detaylı bir tespitin yapılmasına yardımcı olacaktır. Yapılan tespitler olası kazalarda meydana gelecek çevresel ve ekonomik zararların önüne geçeceği gibi iş sağlığı ve güvenliği açısından katma değer sağlayacaktır. Alınması gereken

önlemlerin risklerle yüz yüze gelme oranını düşürüyor olması bir yana; İSG uygulanmasında, işçinin eğitilmesi, kişisel koruyucu donanım sağlanması veya alana yerleştirilen uyarı levhaları, ikaz işaretleri her zaman yeterli olmamaktadır. İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin; alışkanlık kazandırma ve kültür haline getirme gibi süreçler de takip edilmelidir. Kültür haline getirme ve riskli yöntemlerden kaynaklanan tüm durumların bertaraf edilmesi ancak bu şekilde mümkün olabilecektir.



KAYNAKLAR

1. Güvercin, Ö. and A. Aybek, *Taş kırma ve eleme tesislerinde gürültü sorunu*. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 2003. **6**(2): p. 101-107.
2. Harms-Ringdahl, L., *Safety analysis: principles and practice in occupational safety*. 2001: CRC Press.
3. Gul, M., *A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions*. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2018. **24**(7): p. 1723-1760.
4. Çakmakkaya, U.D.E., U.D.M.E. Alagüney, and A.N. Yıldız, *İş Sağlığı ve Güvenliği ile Meslek Hastalıkları Alanlarında Yayınlar*. İş Sağlığı ve Güvenliği Meslek Hastalıkları, 2020. **1930**(1973): p. 199.
5. Özgan, E., *Kırmataş Agregası İçerisindeki Taş-Unu Miktarının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 2005. **21**(1): p. 198-205.
6. Bjerga, T., T. Aven, and E. Zio, *Uncertainty treatment in risk analysis of complex systems: The cases of STAMP and FRAM*. Reliability Engineering & System Safety, 2016. **156**: p. 203-209.
7. Tian, W. and C. Caponecchia, *Using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in Aviation Safety: A Systematic Review*. Journal of Advanced Transportation, 2020. **2020**.
8. TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Türkiye Madencilik Sektörü Gelişim Raporu (2020)*.
9. Kaihuan, Z. and J. Fuchuan, *Research on Intrinsic Safety Method for Open-pit Mining*. Procedia Engineering, 2012. **43**: p. 453-458.
10. Ural, S. and S. Demirkol, *Evaluation of occupational safety and health in surface mines*. Safety Science, 2008. **46**(6): p. 1016-1024.
11. Magnavita, N. and F. Chirico, *New and emerging risk factors in occupational health*. 2020, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. p. 8906.

12. Landen, D.D., *Injuries, illnesses, and hazardous exposures in the mining industry, 1986-1995: a surveillance report*. 2000: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers
13. Frank, T., C.J. Bise, and K. Michael, *A hearing conservation program for coal miners*. Occupational Health & Safety, 2003. **72**(6): p. 106-106.
14. Donoghue, A. and M. Sinclair, *Miliaria rubra of the lower limbs in underground miners*. Occupational medicine, 2000. **50**(6): p. 430-433.
15. Dasgupta, A. and J. Harrison, *Effects of vibration on the hand-arm system of miners in India*. Occupational medicine, 1996. **46**(1): p. 71-78.
16. Armstrong, B.K. and A. Kricker, *The epidemiology of UV induced skin cancer*. Journal of photochemistry and photobiology B: Biology, 2001. **63**(1-3): p. 8-18.
17. Kizil, G. and A. Donoghue, *Coal dust exposures in the longwall mines of New South Wales, Australia: a respiratory risk assessment*. Occupational Medicine, 2002. **52**(3): p. 137-149.
18. Steenland, K., et al., *Pooled exposure–response analyses and risk assessment for lung cancer in 10 cohorts of silica-exposed workers: an IARC multicentre study*. Cancer Causes & Control, 2001. **12**(9): p. 773-784.
19. Lipsett, M. and S. Campleman, *Occupational exposure to diesel exhaust and lung cancer: a meta-analysis*. American journal of public health, 1999. **89**(7): p. 1009-1017.
20. Donoghue, A.M., *Occupational health hazards in mining: an overview*. Occupational Medicine, 2004. **54**(5): p. 283-289.
21. Punchihewa, H.K. and D.E. Gyi, *Reducing work-related Musculoskeletal Disorders (MSDs) through design: Views of ergonomics and design practitioners*. Work, 2016. **53**(1): p. 127-142.
22. Das, S., et al. *Working Posture Evaluation of Bus Drivers—Using CMDQ and RULA Technique*. in *International Conference of the Indian Society of Ergonomics*. 2022. Springer.
23. Covello, V.T. and M.W. Merkhoher, *Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks*. 1993: Springer Science & Business Media.
24. Marhavilas, P.-K., D. Koulouriotis, and V. Gemeni, *Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study*

- of the scientific literature of the period 2000–2009. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2011. 24(5): p. 477-523.*
25. AKKOYUN, Ö. and Ğ. EKİNCİ, *Farklı ISG-Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Bir Yeraltı Maden İşletmesinde Karşılaştırmalı Uygulanması Ve Yöntem Önerisi. Bilimsel Madencilik Dergisi, 2021. 60(4): p. 181-189.*
 26. Yousefi, A., M. Rodriguez Hernandez, and V. Lopez Peña, *Systemic accident analysis models: A comparison study between AcciMap, FRAM, and STAMP. Process Safety Progress, 2019. 38(2): p. e12002.*
 27. Erik, H., *FRAM: the functional resonance analysis method: modelling complex socio-technical systems. 2017: CRC Press.*
 28. Baumgart, S., J. Froberg, and S. Punnekkat. *Can STPA be used for a System-of-Systems? Experiences from an Automated Quarry Site. in 2018 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE). 2018. IEEE.*
 29. Rosa, L.V., A.N. Haddad, and P.V.R. de Carvalho, *Assessing risk in sustainable construction using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM). Cognition, Technology & Work, 2015. 17(4): p. 559-573.*
 30. Hollnagel, E., *Safety–I and safety–II: the past and future of safety management. 2018: CRC press.*
 31. Hollnagel, E., *Barriers and accident prevention. 2016: Routledge.*
 32. Güçlüer, K., et al., *FARKLI TİPTE AGREGA KULANIMININ BETONUN MEKANİK ÖZELİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2017. 6(1): p. 107-114.*