

## MERMER OCAKLARINDA ELMAS TEL VE KOLLU KESİCİYLE KESME TEKNOLOJİLERİNİN İŞ GÜVENLİĞİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASINDA HATA TÜRÜ ETKİ ANALİZİ YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Ali Eleren<sup>1</sup> ve Metin Ersoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar  
<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon MYO, Doğal Yapı Taşları T. P., 03200, Afyonkarahisar

### Özet

Bu çalışmada mermer blok üretiminde en çok tercih edilen yöntemlerden Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesiciyle Kesme yöntemlerinin süreçlerinin analizi ve alt süreçlerde risklerin Hata Türü Etki Analizleri (HTEA) ile değerlendirilerek bu iki teknolojinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla ilk bölümlerde literatür, genel bilgiler ve metodoloji verilmekte, sonra uygulama aşamasında risk öncelik göstergesi hesaplanmakta ve risk önceliğine göre tüm hata türleri sıralanmaktadır. Daha sonra önceliğe uygun olarak, Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesiciyle kesme teknolojileri, iş sağlığı ve güvenliği bakımından karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak, blok üretim süreci içerisinde elmas tel kesme yönteminin kollu kesiciyle kesme yöntemine göre daha riskli bir yöntem olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** HTEA, Mermer Ocak İşletmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği, Risk Analizi

## APPLICATION of (FMEA) FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS METHOD ON COMPARING WORK SAFETY of DIAMOND WIRE AND CHAIN SAW CUTTING METHODS IN MARBLE QUARRIES

### Abstract

In this study, process analysis of two of the most preferred cutting methods used in marble block production, “Diamond Wire Cutting” and “Chain Saw Cutting”, as well as the risks in sub-processes have been assessed by FMEA-Failure Mode Effect Analysis and these two methods were compared respectively. For this purpose, the background, general information and methodology are given in the first part, and at the practice stage, the risk priority indicator has been calculated and all failure types have been ranked according to the risk priority. Finally, Diamond Wire Cutting and Chain Saw Cutting methods are compared in terms of work health and safety and according to their priority. As a result, it’s found that “Diamond Wire Cutting Method” is more risky than “Chain Saw Cutting Method” at the process of quarry operations.

**Key Words:** FMEA, Marble Quarry Operation, Safety and Health at Work, Risk Analysis

## 1. Giriş

İş güvenliği ve işçi sağlığı konusu tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz çalışma hayatı için de önemli sorunlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. İş sağlığının ve güvenliğinin sağlanması, ülke kalkınmasında ekonomik ve sosyal boyutlarıyla da yaşamsal önem taşıyan bir sorundur. Herhangi bir işyerinde iş sağlığı ve güvenliğini tehdit edecek riskler bulunmaktadır. Burada amaç, risklerin belirlenmesi, ortadan kaldırılması veya zararlarının azaltılması için önlemler alınmasıdır.

Mermer ve doğaltaş işletmeciliği, genellikle açık ocak üretim yöntemleri uygulanarak yapılmaktadır. Mermer ocak işletmeciliğinde amaç, diğer madenlerde olduğundan farklı olarak, büyük boyutlu blokların ana kayadan kesilerek alınması ve taşınabilir ebatlara indirgenmesidir. Mermer blokların gerek ana kayadan kesimi gerek ebatlanması gerekse yüklenerek taşınması aşamalarında, malzemenin hacminin büyük ve birim hacim ağırlığının yüksek olmasından dolayı hatalar yapılmakta ve iş kazaları yaşanmaktadır. Bu kazalar, işçiler bakımından zaman zaman yaralanmalarla atlatılsa bile çoğu zaman sürekli iş göremezlik veya ölüm gibi çok ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Kazadan etkilenmeyen ancak şahit olan ya da olayı işiten işçiler için de geçici ya da kalıcı psikolojik etkiler görülmesi muhtemeldir. İşveren açısından da ağır maddi tazminatlar, cezalar, verimlilik ve üretim kayıpları söz konusudur.

Mermer işletmeciliği gerek ocak gerekse işleme süreçlerinde işgücü ve teknolojinin ortaklaşa kullanıldığı, çalışma şartları olarak ağır ve riskli bir sektördür. Mermer ocak işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliğinin tehdit eden unsurlar işçinin eğitimi, deneyimi ve işverenin aldığı iş güvenliği tedbirlerinin yanı sıra uygulanan üretim yöntemi ile de yakından ilgilidir.

İş sağlığı ve güvenliği odaklı iyileştirme problemlerinde süreç analiz ve iyileştirme yöntemleri kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerde öncelikli olarak yapılacak çalışma risk analizidir ve buna bağlı olarak sürecin tanımlanması, potansiyel hata ve risklerin belirlenmesi ve bu risklerin en az düzeye indirilmesine çalışılmasıdır. Bu konuda nicel ve nitel yöntemler olarak istatistiksel, matematiksel ve benzetim (simülasyon) dayalı birçok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden nitel değerlendirmeye açık olması, kolay ve pratik uygulanabilirliği açısından Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) öne çıkmaktadır.

Literatürde hata türü ve etkileri analizi yönteminin iş sağlığı ve güvenliği alanında uygulanması çalışmaları, Leeg, [1] (Mühendislere HTEA yönteminin tanıtılması), Kara-Zaitri vd., [2] (Risk önem düzeylerinin belirlenmesi), Price, [3] (Isı sistemlerinde oluşan risklerin değerlendirilmesi), Vandenbrande, [4] (Çevresel risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi), Sankar ve Prabhu, [5] (Risklerin önem düzeylerine göre sıralanması), Price ve Taylor, [6] (Hata/risk olasılıklarının benzetim yardımıyla belirlenmesine), Seung ve Kosuke, [7] (Bir imalat sürecinde maliyet tabanlı Hata Türü Etki Analizi yönteminin uygulanması), Laul vd., [8] (Kimya sektöründe çalışanlar üzerinde kimyasalların olumsuz etkilerini incelerken HTEA analizinin kullanılması), Garcia vd., [9] (Risklerin belirlenmesi ve sıralanmasında Fuzzy Data Envelope Analysis yöntemi), Kılıç, [10] (İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği yönetim sistemlerinde bir yöntem olarak Failure Mode Effect Analysis yönteminin incelenmesi) vb. araştırmacılar tarafından yapıldığı görülmektedir.

Blok üretiminde kullanılan elmas tel kesme yöntemi hakkında, literatürde çok sayıda çalışmaya rastlanmasına rağmen aynı amaç için kullanılan zincirli kollar kesme makineleri hakkında yapılmış çalışmalara, daha yeni bir yöntem olmasından dolayı, aynı oranda rastlamak mümkün değildir. Ocak üretim yöntemleriyle ilgili yapılan bazı çalışmalar şu şekilde özetlenebilir: Önenç ve Demirocak, [11], tabaka duruşlarına göre blok kesim yöntemlerini inceleyerek, tabaka kalınlıkları fazla olmayan, sertlikleri 3 - 4 arasında bulunan, albenisi fazla olan kayaların kesimlerinde zincirli kesiciyi kullanmanın iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Çopur, vd, [12], Denizli'de bir traverten ocağında blokların düşey ve arka kesimlerinin elmas tel kesme makinesi ile yatay dip kesiminin ise zincirli kollar kesme makinesi ile yapıldığını belirtmişlerdir. Yine aynı kaynakta araştırmacılar, zincirli kollar kesme makinesinin blok üretim kayıplarının en aza indirildiği bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Demirel, [13], mermer ocaklarında kollar zincirli kesme makinesinin uygulanabilirliğini elmas tel kesme makinesi ile karşılaştırarak açıklamıştır. Bu çalışma ile Denizli havzasında Denizli Çimento Fabrikası çevresi -Kaklık dolaylarındaki- traverten ocaklarında, blok üretiminde kullanılan zincirli kollar kesme makinelerinin kesme performansları incelenerek, mermer ocak işletmeciliğine faydalı olunması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada mermer ocak işletmelerinde yaygın olarak tercih edilen elmas tel kesme ve kollu kesme yöntemlerinin uygulanması sırasında yaşanan iş kazaları, HTEA yöntemi uygulanarak karşılaştırılmıştır. İnceleme alanı olarak Afyonkarahisar yöresindeki 30 adet mermer ocak işletmesi seçilmiştir. Yöre, Anadolu'nun eski mermer ocaklarını barındırması ve Bursa, Bilecik, Burdur, Denizli, Muğla gibi önemli mermer ocak işletmelerinin bulunduğu yörelerdeki birçok ocağın Afyonkarahisarlı yatırımcılar tarafından işletilmesi özelliğiyle farklı bir konuma sahiptir.

## 2. Mermer ocaklarında elmas tel ve kollu kesiciyle kesme yöntemleriyle blok üretimi

Tarih boyunca mermer blok üretiminde birçok yöntem uygulanmıştır. Hangi yöntem uygulanırsa uygulansın işlem, planlama ve hazırlık, kesme ve öteleme, dilimleme ve sayalama, taşıma ve stoklama faaliyetlerinden oluşur.

Planlama ve hazırlık aşamasında, kesim bölgesinin temizlenmesi ve süreksizliklerin tayini, delme ve kesme noktalarının belirlenmesi ve delme veya kesme makinalarının kurulması işlemleri yapılır. Kesme ve öteleme aşamasında, kütlenin ana kayadan kesilerek serbestleştirilmesi ve çalışma alanından ileriye devrilerek ya da sürüklenerek ötelenmesi işlemleri yapılır. Dilimleme ve sayalama aşamasında da, kesilen kütlenin taşınabilir ya da blok kesici makinalarda kesilebilir boyutlara getirilmesi için dilimleme ve sayalama işlemleri yapılır. Son aşama olan taşıma ve stoklama faaliyetlerinde ise, kütlenin ebatlanmasıyla oluşturulmuş bloklar stok sahasına ya da tesise taşınır.

Günümüzde açık mermer ocaklarında en çok uygulanan yöntemler elmas tel kesme ve kollu kesicilerle kesme yöntemleridir. Elmas tel kesme yönteminde kullanılan makina, raylar üzerinde hareket eden bir güç ünitesi ve buna bağlı yatay, düşey, eğimli konumlandırılabilen volandan ibarettir. Kollu kesme makinası ise yeraltı maden ocaklarında potkabaç makinası olarak kullanılan makinaların bir versiyonu olup kesme prensibine göre zincirli ya da kayışlı (bantlı) kollu kesme makinası olarak tanımlanır. Bu makina da raylar üzerinde hareket eden bir güç ünitesi ve buna bağlı kesici koldan ibarettir. Kesici kol yatayda  $180^{\circ}$  ve düşeyde  $360^{\circ}$  konumlandırılabilir (Şekil 1).



Şekil 1 Elmas tel kesme (a) ve kollu kesme (b) makinaları

Elmas tel kesme yöntemi, deliklerin açılması ve kesme işleminin yapılması şeklinde iki ana çalışma grubundan oluşur. Delme işlemi, birbirine dik ve birbiriyle kavuşan üç delik açılması şeklindedir. Deliklerden düşey olanı basamak yüksekliğinde, yatay ve ilerleme yönüne dik olanı ilerleme dilimi uzunluğunda, yatay ve ilerleme yönüne paralel olanı da kesimi planlanan kütle boyutundadır. Kesim işleminde sıralama önce alt yüzey, sonra yan yüzeyler şeklindedir. Yatay olan iki delikten elmas tel geçirilir, tele burğu verilir ve elmas tel kesme makinasının volanından geçirilerek iki ucu presle veya vidayla bağlanır. Kesim işlemi, raylar üzerine oturtulmuş elmas tel kesme makinasının volanının döndürülmesi, kesme ortamına su verilmesi ve makinanın geri çekilmesiyle elmas telin gerdirilmesi şeklinde yapılır. Ray sonuna geldiğinde makina durdurulur, öne alınır, elmas tel kısaltılır ve aynı

işlemler tekrarlanır. Alt yüzeyin kesimi tamamlandıktan sonra, telin ve makina volanının konumları değiştirilerek yan yüzeylerin kesimi yapılır.

Kollu kesicilerle kesme yönteminde ise alt kesim için, basamak önünde aynaya paralel raylar döşenir ve yere sabitlenir. Kollu kesme makinası ray üzerine oturtulur, kesici kol yatay konuma getirilir ve makina çalıştırılır. Kol üzerindeki kayış ya da zincirin dönmesi ve kolun kütleye batırılmasıyla kesime başlanır. Kayacın sertliğine ve ortamın nemliliğine göre su verilir ya da verilmez (kuru kesim). Makinanın ray boyunca hareket ettirilmesiyle kesim gerçekleşir. Düşey kesimler için ise makina ve ray grubu basamak üzerine taşınarak kesici kolun düşey konumlandırılması şeklinde yapılır. Çizelge 1 de elmas tel kesme ve kollu kesme yöntemlerinde yapılan faaliyetler sıralanmıştır.

Mermer ocaklarında üretim sırasında bir defada ana kayaktan koparılan kütlenin hacminin maksimum olması istenir. Bunun nedeni kütlenin dilimlenmesi ve sayılanması faaliyetlerinin ana kayadan koparılan faaliyetlerine göre hem daha kolay hem de düşük maliyetle yapılabilmesidir. Ayrıca, kesilen kütlenin daha kolay ötelenmesi ya da devrilebilmesi için alt yüzey kesme derinliği basamak yüksekliğinden daha düşük olacak şekilde planlama yapılır. Bu kriterler ışığında birçok ocakta hem elmas tel kesme hem de kollu kesme yöntemleri birlikte uygulanmaktadır. Uygulama elmas tel ile kesimi daha zor olan alt kesimlerin kollu kesicilerle kesilmesi, kol boyundan daha yüksek olan yan yüzeylerin de elmas tel ile kesilmesi şeklindedir. Bunun yanında bu tür çalışma şeklinde, hazırlık aşamasında sadece düşey delik açılması da yeterli olacaktır.

**Çizelge 1 Elmas Tel ve Kollu Kesiciyle Kesme Yöntemlerinde Yapılan Faaliyetler**

İşlem Sırası	Elmas Tel Kesme	Kollu Kesiciyle Kesme
1	Çalışma alanının temizlenmesi	
2	Delici makinanın taşınması ve kurulması	Yok
3	Delme işlemi (Düşey ve Yataylar)	Yok
4	Delicinin faaliyet sonu sökülmesi	Yok
5	Elmas telin hazırlanması	Zincir ve soket tertibatının kontrolü
6	Rayların döşenmesi	
7	Makinanın taşınması ve yerleştirilmesi	
8	Telin deliklerden geçirilmesi, burulması, eklenmesi	Yok
9	Yön makaralarının yerleştirilmesi	Yok
10	Su ve enerji tesisatının yerleştirilmesi	
11	Ön yükleme	Kütleye giriş manevrası
12	Normal kesim (Alt ve Yanlar)	
13	Duraklama (Telin kısaltılması, makinanın öne alınması)	Kütleden çıkış manevrası
14	Kesimin sonlandırılması ve telin kayaktan çıkarılması	Yok
15	Su ve enerji tesisatının sökülmesi ve taşınması	
16	Makinanın sökülmesi ve taşınması	
17	Rayların sökülmesi ve taşınması	

### 3. Mermer ocaklarında sıkça karşılaşılan iş kazaları ve belirlenmesi

İş yapılan her yerde iş kazalarının ve meslek hastalıklarının olması kaçınılmazdır. Mermer ocak işletmeciliği de endüstrinin ağır iş kolları arasındadır ve işçiler iş kazasına veya meslek hastalığına maruz kalabilmektedir. Nedenlerine bağlı olarak iş kazaları meslek hastalıkları ve etkileri, kullanılan teknolojiye ve çalışanların özelliklerine göre değişkendir ve çok çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir.

İş kazasının nedenleri, işçilerin ve işverenin hataları olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Mermer ocaklarında sıkça karşılaşılan kaza türleri [14]:

- İşçinin, dalgınlıkla ya da çalışma alanı koşullarından dolayı basamaktan düşmesi,
- İşçinin üzerine, yükleme boşaltma faaliyetleri sırasında parça düşmesi,
- İşçinin, manevralar sırasında ağır vasıta altında kalması,
- Bilgisiz kesim ya da eski malzeme kullanımından dolayı elmas tel kopması,
- Enerji iletim hatlarının yıpranmasından dolayı, elektrik çarpması,
- Uygun taşıyıcı kullanılmamasından, makina taşıma sırasında makina parçasının düşmesi ve
- İş makinelerinden parça sıçramasıdır.

Kaza, riske maruz noktalarda hata, ihmal ve kusurlar sonucunda meydana gelir, aniden olur ve işçiyi hemen ya da sonradan bedensel veya ruhsal bir arızaya uğratar. Ölümle sonuçlanan kazalarda da, kazadan fiziksel olarak etkilenmeyen çalışanlar üzerinde psikolojik sorunlara neden olabilir. Tehlike ise risk ve

risklerin eyleme dönüşmesine sebep olan hataların sonucunda kazanın bir veya birden fazla şekillerde meydana gelme ihtimalidir.

Kaza sonucu ortaya çıkan yaralanma şekilleri [15]:

- Kafa yaralanmaları,
- Boyun, omurga yaralanmaları,
- Göğüs kafesi ve solunum organları yaralanmaları,
- Kalça, diz kapağı, uyluk kemiği yaralanmaları,
- Omuz, üst kol, dirsek yaralanmaları,
- Ön kol, el bileği, el içi, parmak yaralanmaları,
- Diz kapağı, baldır, ayak yaralanmaları,
- İç organ yaralanmaları,
- Ruhsal ve sinirsel tahribatlardır.

Kazanın en önemli özelliği aniden olmasıdır. Bedensel ve ruhsal tahribata sebep olmasının da nedeni budur. Ancak, kaza olmadan önce, işleyişin geneline bakılarak olma olasılığı ve yaratacağı tahribat belirlenebilir. Kaza riskinin belirlenmesinde kişilerin algıları da farklı olabilir. Daha önce herhangi bir kazaya tanık olmuş kişilerle üçüncü kişilerin reaksiyonları ve uyarıları farklı olacaktır. Yani, kaza riski noktalarının ve kaza şiddetinin belirlenmesinde, analizi yapan kişinin bilgi ve tecrübesi önemlidir. Analizde bir başka unsur da istatistiksel verilerdir. Hangi noktalarda, hangi sebeple, hangi sıklıkta kazalar yaşandığı ve bunların sonucunun ne olduğu bilinmeli ve değerlendirilmelidir.

İş sağlığı ve güvenliği odaklı risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili kullanılan yöntemler aşağıdadır [16]:

- Risk Haritalama Yöntemi
- Birincil(Öncül) Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis –PHA)
- Karar Matrisleri Yöntemi (L Tipi Karar Matrisi ve Çok Değişkenli Karar Matrisi)
- Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması (Hazard and Operability Studies –HAZOP)
- Hata Ağacı Analizi Yöntemi –HAA (Fault Tree Analysis –FTA)
- Hata Türleri ve Etkileri (ve Kritiği) Analizi – HTEA (Failure Mode And Effects (and Critically)Analysis-FMEA/FMECA)
- Güvenlik Denetimi Analizi-GDA (Safety Audit Analysis-SAA)
- Olay Ağacı Analizi- OAA(Event Tree Analysis-ETA)
- Neden Sonuç Analizi (Cause – Consequence Analysis)
- İş Emniyeti Analizi - (Job Safety Analysis)

İş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının amacı iş kazaları ve meslek hastalıklarından çalışanları korumak, daha sağlıklı bir ortamda çalışmalarını sağlamaktır. Ancak göz ardı edilmemesi gereken iki husus daha vardır, bunlardan biri üretim güvenliğini sağlayarak verimi artırmak diğeri ise işletme güvenliğini sağlamaktır.

İş sağlığı ve güvenliğinin temel amacı gerek işçiye ve gerekse ailesine, işyerine ve ilgili mercilere gelecek yükümlülüklerin azaltılması ve buna bağlı olarak, ülke ekonomisine verdiği zararların önlenmesidir [10].

#### 4. Hata türü ve etki analizi

Hata türleri ve etkileri analizi (HTEA), riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir. HTEA; sistem, tasarım, süreç veya serviste oluşabilecek hataların değerlendirmesini yapan ve bu tür hataların değerlerinin sürekli azaltılmasını hedefleyen özel bir metodolojidir [17]. HTEA, sistem, süreç, yöntem, model, servis veya ürünler geliştirilirken veya iyileştirilirken; mevcut veya potansiyel hata/risk türlerini önceden belirlemek, sıralamak ve iyileştirme/geliştirme aşamasında öncelikleri belirlemek üzere geliştirilmiştir. Bu yüzden ağırlıklı olarak potansiyel hatalar üzerinde yoğunlaşılır ve güncelliğini yitirmemesi için tüm zaman periyotlarında tekrarlanarak hatalar ayıklanır. Böylece gelişimin devamlılığı sağlanır.

HTEA, yeni bir sistem, ürün, süreç, yöntem, model tasarımına ihtiyaç olduğunda, mevcut sistem, ürün, süreç, yöntem veya modelde bir değişiklik olduğunda ya da sistem, ürün, süreç, yöntem veya modelde bir geliştirme veya iyileşme düşünüldüğünde kullanılabilir.

HTEA uygulama süreci üç aşamadan oluşmaktadır:

- Hazırlık Aşaması
- Sistem/Süreç/Ürün Analizi Aşaması
- Sonuçların Değerlendirmesi Aşaması

Örnek bir HTEA süreci aşağıdaki sırayla uygulanabilir [16]:

- Fonksiyonların (veya alt sistem /süreç / ürün kategorisi) tanımlanması,
- Hata türlerinin belirlenmesi ve tanımlanması,
- Hata sebeplerinin belirlenmesi,
- Hata olasılıklarının belirlenmesi,
- Hata şiddetinin belirlenmesi,
- Hatanın tespit edilebilirliğinin belirlenmesi,
- Risk Öncelik Göstergesi (RÖG) hesaplanması ve büyükten küçüğe doğru sıralanması,
- Risk ve hataları azaltıcı önlemlerin alınması.

HTEA bir ürün ya da süreçte bilinen veya olası hataların, önceki deneyimler ya da teknoloji ile belirlenmesi ve bunların engellenmesi için yapılan planlamadan oluşan analitik bir tekniktir. Çizelge 2de risk öncelik parametrelerini değerlendirme parametreleri ve derecelendirme, tablo halinde verilmiştir.

HETA uygulamasında, olması muhtemel hata türleri, bu hataların etkileri ve sebeplerinin belirlenmesinden sonra hatanın çıkış olasılığının da belirlenmesi gerekmektedir. Geçmiş veriler incelenerek toplam işlemlerin ne kadarında bu hataya rastlandığı nicel olarak belirlenebildiği gibi uzman tarafından nitel olarak da değerlendirilebilir. Tüm veriler tablo üzerine işlenir ve çalışmalar tablo üzerinden yürütülür. Risk öncelik göstergesinin hesaplanması, her bir sürece ait hatanın sıklık, şiddet ve belirlenebilirlik derecelerinin çarpılması ya da toplanması şeklinde yapılır. Bir HETA tablosu, fonksiyon analizi (sürece ait alt bölümler), risk analizi (risk öncelik göstergesi), düzeltici önlemler (risk öncelik göstergesi puanlarının hesaplanması), tekrar risk analizi (düzeltilmiş risk öncelik göstergesi puanlarının hesaplanması) bölümlerinden oluşur.

**Çizelge 2 Risk Öncelik Parametrelerinin Değerlendirmesi Çizelgesi [17]**

Olma Olasılığı (Sıklık)	Şiddet (Etki)	Belirlenebilirlik	Derece
Çok yüksek (Kaçınılmaz)	Çok tehlikeli	İmkânsız	10
	Ciddi	Çok zor	9
Yüksek (Tekrar tekrar)	Çok büyük	Zor	8
	Büyük	Az	7
	Önemli	Çok az	6
Orta (Ara sıra)	Orta	Orta	5
	Küçük	Ortanın üstü	4
Düşük (Nispeten az)	Önemsiz	Yüksek	3
	Çok önemsiz	Çok yüksek	2
Nadiren (Pek az)	Etkisi yok	Kesin	1

## 5. Mermer ocaklarında hata türü ve etki analizinin uygulanması

HTEA yönteminin mermer ocaklarında uygulanması için, üretimde hazırlık aşamasından bloğun stok sahasında istiflenmesine kadar tüm süreçlerde gerçekleştirilen faaliyetler sıralanmış, sonra tüm adımlarda hangi nedenlerle ne şekilde kazalar yaşanabileceği ve bunların muhtemel etkilerinin ne olacağı hakkında tespitler yapılmıştır.

Uygulamanın temelini oluşturan HTEA Tablosu bir karar verici tarafından hazırlanmıştır. Anket soruları, üretim sürecinde oluşan veya oluşması muhtemel iş kazaları ve hastalıkları konusunda demografik ve likert sorularından oluşan 62 maddeden oluşmaktadır ve Afyonkarahisar ilinde faaliyet gösteren 30 mermer ocak işletmesine uygulanmıştır. Bu veriler ışığında sırasıyla sürece ait bilgiler, hatalar (riskler) ve hataların sebepleri, risk öncelik göstergesinin hesaplanmasında kullanılan parametreler olan sıklık, şiddet ve belirleme zorluğu değerlerinin (1-10 arası nitel) belirlenmesine çalışılmıştır.

Uygulama safhaları dört grupta değerlendirilmiştir:

- Fonksiyon analizi ile mermer ocak işletme sürecinin alt süreçlerinin tanımlanması,
- Risk analizi hata türlerinin(risk faktörlerinin) tanımlanması,
- Sıklık, şiddet ve belirleme zorluğu hanelerinin 1-10 arası nitel değerlerle değerlendirilmesi ve bu değerlerin çarpılarak Risk Öncelik Göstergesi (RÖG) puanlarının hesaplanması,
- RÖG puanlarına göre tek tek veya her fonksiyonun toplam RÖG puanı içerisindeki paylarına göre fonksiyonların risk sıralamalarının elde edilmesidir.

Süreç analizi aşaması, uygulamanın ilk aşaması olup sürecin safhalarının tanımlanması veya başka bir ifade ile süreç fonksiyon analizinde süreci oluşturan her bir alt sürecin veya etki eden faktörlerin sıralanmasına ve tanımlanmasına çalışılmıştır.

Risk analizinde, mermer ocak işletmeciliğinin tüm alt süreçlerine ait alt iş sağlığı ve güvenliğini tehdit eden riskler (hata türleri) belirlenmiştir. Bir alt süreç için hata türleri hiç olmayabilir veya çok sayıda da olabilir. Bu durum alt süreçlerin oluşturduğu sürecin temel şartlarından kaynaklanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, gerek alt süreç sayısında ve gerekse her sürece ait hata türü sayılarında problemleri en iyi şekilde tanımlayan sayılara ulaşmaktır.

İstatistiksel veriler frekans ve sonuçları itibarıyla sınıflandırılarak frekans büyüklüğü belirli bir büyüklüğün üzerinde olan hata türleri değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirmeye alınan hata türleri alt süreçlere dağıtılmıştır. Frekans ve sonuç büyüklükleri, HTEA analizindeki karşılıkları olan sıklık ve şiddet ile eşleştirilmiş ve her birine 1-10 arası nitel olarak değerler atanmıştır. Hatanın belirlenme zorluğu hanesi karar verici tarafından doldurulmuştur (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**).

Çizelge 3 deki RÖG puanları iki farklı yöntemle incelenebilir [16]:

- Tüm hata türleri RÖG puan sıralamasına tabi tutulur ve önem düzeylerine göre değerlendirilir.
- Tüm alt süreçlerin toplam RÖG puanı içerisindeki ağırlıkları belirlenerek sıralamaya tabi tutulur ve önem düzeyine göre değerlendirilir.

İlk değerlendirme yöntemi temel alındığında; hedef en önemli risklerin belirlenmesi ve önem düzeylerine göre iyileştirme faaliyetlerinin yürütülmesidir. Tüm süreçlerde riskler bağımsız olarak değerlendirildiğinde (RÖG) puanlarının 1–120 arasında değiştiği görülmektedir. Burada önceliği “Elmas Tel Kesme” sürecinin “kesme” aşamasındaki “normal kesme hataları” riski 120 puanla almaktadır. Bunu “Üretim Sonu” sürecinde, bloğun düzeltilmesi (sayalama) aşamasındaki “Yüzey kesim hataları” riski 108 puanla ve “Kollu Kesici İle Kesme” sürecinde kesim sonu aşamasında “Rayların sökülmesi ve taşınması hataları” riski 90 puanla takip etmektedir.

**Çizelge 3** Hata türü ve etki analizi tablosu [14]

Süreçler	T	A	B	C	RÖG	%R	RSN	FSN	
1 Ocak dışı yollar	45	2	6	6	72	3.95	5		
2 Ulaşım Ocak içi yollar	5	2	5	7	70	3.84	6		
3 Çalışma ofisi		1	1	1	1	0.05	46		
4 Sosyal Lokal		1	1	1	1	0.05	47		
5 tesisler Yemekhane		1	1	1	1	0.05	48		
6 Yatakhane		1	1	1	1	0.05	49		
7 Trafo		1	9	3	27	1.48	31		
8 Yakıt tankı		1	6	1	6	0.33	42		
9 Alt yapı Su tankı		1	1	1	1	0.05	50		
10 tesisleri Malzeme deposu		1	5	6	30	1.64	22		
11 Tamir-bakım bölümü		2	5	5	50	2.74	15		
12 Basamak sınırları		2	7	5	70	3.84	7		
13 Ocak Üretim alanı sınırı		1	7	4	28	1.54	26		
14 bölgesi Blok stok sahası		7	2	8	4	64	3.51	10	
15 Pasa döküm sahası		5	1	7	5	35	1.92	18	

Toplam RÖG  
457  
Toplam %RISK  
25.04%  
Fonksiyon Sıra No  
3

Üretim 1 Elmas Tel Kesme									
16		Çalışma alanının temizlenmesi	20	1	1	1	1	0.05	51
17		Delici makinanın taşınması	10	1	1	1	1	0.05	52
18		Delici makinanın kurulması	20	1	4	7	28	1.54	27
19		Delme İşlemleri	80	1	4	4	16	0.88	37
20		Delicinin faaliyet sonu sökülmesi	20	1	5	8	40	2.19	17
21	Hazırlık	Elmas telin hazırlanması	40	1	4	5	20	1.10	35
22		Rayların döşenmesi	15	1	5	4	20	1.10	36
23		Makinanın taşınması ve yerleştirilmesi	20	1	6	4	24	1.32	33
24		Telin deliklerden geçirilmesi, burulması, eklenmesi	30	1	7	5	35	1.92	19
25		Yön makaralarının yerleştirilmesi	15	1	1	1	1	0.05	53
Ara Toplam			270	10	38	40	186	10	
26		Su ve enerji tesisatının yerleştirilmesi	10	1	6	5	30	1.64	23
27		Ön yükleme	15	3	5	4	60	3.29	11
28	Kesme	Normal kesim	220	4	6	5	120	6.58	1
29		Duraklama (Telin kısaltılması, makinanın öne alınması)	40	1	7	4	28	1.54	28
Ara Toplam			285	9	24	18	238	13	
30		Kesimin sonlandırılması ve telin kayaçtan çıkarılması	20	1	5	6	30	1.64	24
31	Kesim sonu	Su ve enerji tesisatının sökülmesi ve taşınması	15	1	6	2	12	0.66	39
32		Makinanın sökülmesi ve taşınması	20	1	4	3	12	0.66	40
33		Rayların sökülmesi ve taşınması	20	1	3	5	15	0.82	38
Ara Toplam			75	4	18	16	69	4	
Üretim 2 Kollu Kesiciyle Kesme									
34		Çalışma alanının temizlenmesi	30	1	1	1	1	0.05	54
35	Hazırlık	Zincir ve soket tertibatının kontrolü	20	1	4	3	12	0.66	41
36		Rayların döşenmesi	30	3	5	5	75	4.11	4
37		Makinanın taşınması ve yerleştirilmesi	30	1	7	4	28	1.54	29
Ara Toplam			110	6	17	13	116	6	
38		Su ve enerji tesisatının yerleştirilmesi	20	1	1	1	1	0.05	55
39	Kesme	Kütleye giriş manevrası	20	1	3	2	6	0.33	43
40		Normal kesim	200	1	8	4	32	1.75	21
Ara Toplam			240	3	12	7	39	2	
41		Kütleden çıkış manevrası	25	1	3	2	6	0.33	44
42		Su ve enerji tesisatının sökülmesi ve taşınması	20	1	1	1	1	0.05	56
43	Kesim sonu	Makinanın sökülmesi ve taşınması	30	1	7	4	28	1.54	30
44		Rayların sökülmesi ve taşınması	20	3	5	6	90	4.93	3
Ara Toplam			95	6	16	13	125	7	

Toplam RÖG  
493  
Toplam %RİSK  
27.03%  
Toplam süre (dk)  
630  
Fonksiyon Sıra No  
2

Toplam RÖG  
280  
Toplam %RİSK  
15.34%  
Toplam süre (dk)  
445  
Fonksiyon Sıra No  
4



Üretim Sonu Nakil									
45		Ayırıcının hazırlanması (Hidrolik krika)	20	1	5	6	30	1.64	25
46		Ayırıcının hazırlanması (Hava yastığı)		1	5	7	35	1.92	20
47	Bloğun	Ayırıcının hazırlanması (Su yastığı)		1	4	6	24	1.32	34
48	Ötelenmesi	Bom yerlerinin açılması	50	2	5	6	60	3.29	12
49		Blok önüne pasa dökümü	30	1	8	6	48	2.63	16
50		Öteleme ve dolgu	15	2	7	5	70	3.84	8
51		Devrilme	15	2	7	5	70	3.84	9
52		Malzemenin toplanıp taşınması	60	1	3	2	6	0.33	45
53	Taşıma	Bloğun sayalama bölgesine taşınması	15	1	5	5	25	1.37	32
54		Sayalama makinasının hazırlanması	20	1	1	1	1	0.05	57
55	Bloğun	Yüzey kesimi	30	3	6	6	108	5.92	2
56	Düzeltilmesi (Sayalama)	Cevirme-Devirme	15	2	6	5	60	3.29	13
57		Sayalama makinasının toplanması	20	1	1	1	1	0.05	58
58	Bloğun yüklenmesi	Yükleyici	15	1	8	7	56	3.07	14
Genel Toplam							1824	100	

A: Kazanın olma olasılığı, sıklık; B: Kazanın şiddeti, etkisi, yarattığı hasar; C: Kazanın önceden belirlenebilirliği; %R: % Risk; RSN: Risk sıra no; FSN: Fonksiyon sıra no; RÖG: Risk öncelik göstergesi, T: Yaklaşık işlem süresi (dk)

İkinci değerlendirme yöntemi temel alındığında; hedef alt süreçlerin toplam süreç içerisinde risk ağırlıklarını belirlenmesidir. Eğer iyileştirme faaliyetleri alt süreçlerde yapılmak isteniyorsa, bu şekilde değerlendirmek daha uygun olacaktır. Süreçlerin risk sıralamasında ilk sırayı %32,56 ile “Üretim Sonu” süreci almaktadır. Bunu %27,03 ile “Elmas Kesiciyle Kesme” süreci ve %25,05 ile “Üretim Alanı Dışı İşlemler” süreci takip etmektedir. Alt süreçler içerisinde en düşük puanı %15,35 ile “Kollu Kesici İle Kesme” süreci almaktadır.

## 6. İki kesme yönteminin hata türleri açısından karşılaştırılması

Elmas tel ve kollu kesicilerle kesme olarak iki farklı yöntemin karşılaştırılması **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** ve **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’te görülmektedir.

İki yöntem karşılaştırıldığında;

- Çizelge 3’te görüldüğü gibi iki yöntemin risk öncelik göstergeleri (RÖG) toplamları sırasıyla 493 ve 280 olup elmas tel kesme yönteminin riskleri daha yüksektir ve bu yönüyle öne çıkmaktadır.
- Çizelge 3’te RÖG sıralamasında ilk sırayı 220 puanla elmas tel kesme yönteminde normal kesim faaliyeti almaktadır. Kollu kesiciyle kesme yönteminde ise ancak üçüncü ve dördüncü sıralarda faaliyetler bulunmaktadır.
- Çizelge 3’te işlem süreleri toplamları incelendiğinde, iki yöntem sırasıyla (270+285+75) 630 dk ve (110+240+95) 445 dk olarak gerçekleşmektedir. Böylece yaklaşık işlem süreleri arasında çok önemli farklılıklar bulunmakta ve kollu kesiciyle kesme yöntemi bir avantaj olarak öne çıkmaktadır.
- Çizelge 3’te hazırlık aşamasında (%10-%6) %4 lük farkla, kesme aşamasında ise (%13-%2) %11 lik farkla kollu kesicilerle kesme yönteminin daha güvenli olduğu, kesim sonu faaliyetlerinde ise (%4-%7) %3 lük farkla elmas tel kesme yönteminin daha güvenli olduğu görülmektedir.
- Elmas tel kesme yönteminde tüm faaliyetlerin aynı süreç içerisindeki payı %27 iken diğer yöntemin payı ise %17 dir.

İki yöntem veya benzer faaliyetleri bakımından değerlendirildiğinde, hazırlık aşamasında çalışma alanının temizlenmesi, kesme aşamasında su ve enerji tesisatının yerleştirilmesi, normal kesim, kesim sonu aşamasında su ve enerji tesisatının sökülmesi, makinanın sökülmesi taşınması, rayların sökülmesi taşınması faaliyetleri öne çıkmaktadır (Çizelge 4).

- Çizelge 4’teki süreç ve faaliyetler ortaktır. Ancak hazırlık süreleri (t) ve risk öncelik göstergeleri (RÖG) farklılık arz etmektedir.

- Elmas tel kesme yönteminde ortak faaliyetlerin aynı yöntemin toplamı içerisindeki payı %38,53 'tür. Diğer yöntemin payı ise %54,65'tir.
  - İki yöntemi birlikte kullanan işletmeler için iki yöntemi birlikte değerlendirdiğimizde (Çizelge 3'te olduğu gibi) ortak kalemler toplamı, iki yöntemin toplamına oranı %44,37 olmaktadır. İşlem süreleri olarak ise toplama oranı sırasıyla %48,41 ve %71,91 olmaktadır.
  - Ortak faaliyetler daha çok "Kesim Sonu" sürecinde görülmektedir.
- Buradan, iki yöntemi de kullanan veya kullanabilecek olan işletmeler için alınacak tedbir veya süreçlerin iyileştirilmesi faaliyetlerinde Çizelge 3'teki ortak faaliyetleri öne çıkartmaları, her iki yöntem için ortak bir iyileştirme sağlayacaktır.

**Çizelge 4 İki Farklı Yöntemin Hata Türleri ve Etkileri Açısından Ortak Yönlerinin Karşılaştırılması**

Faaliyetler	Elmas Tel Kesme					Kollu Kesiciyle Kesme					RÖG Farkı
	T	A	B	C	R	T	A	B	C	R	
Çalışma alanının temizlenmesi	20	1	1	1	1	30	1	1	1	1	0
Su ve enerji tesisatının yerleştirilmesi	10	1	6	5	30	20	1	1	1	1	29
Normal kesim	220	4	6	5	120	200	1	8	4	32	88
Su ve enerji tesisatının sökülmesi ve taşınması	15	1	6	2	12	20	1	1	1	1	11
Makinanın sökülmesi ve taşınması	20	1	4	3	12	30	1	7	4	28	-16
Rayların sökülmesi ve taşınması	20	1	3	5	15	20	3	5	6	90	-75
TOPLAM (343)	305				190	320				153	

A: Kazanın olma olasılığı, sıklık; B: Kazanın şiddeti, etkisi, yarattığı hasar; C: Kazanın önceden belirlenebilirliği; RÖG: Risk öncelik göstergesi, T: Yaklaşık işlem süresi (dk)

## 7. Sonuç ve öneriler

Hata türü ve etki analizi yöntemiyle yapılan değerlendirmede blok üretim süreci içerisinde elmas tel kesme yönteminin kollu kesiciyle kesme yöntemine göre daha riskli bir yöntem olduğu görülmüştür.

Elmas tel kesme yönteminde en riskli faaliyetin %6.58 lik risk payıyla normal kesim aşaması olduğu ve bunu %3.29 ile ön yükleme, %2.19 ile de delici makinanın taşınması faaliyetlerinin izlediği görülmektedir. Genel süreç içerisinde de bu faaliyetlerin önem sırası 1, 11 ve 17. sıraları almaktadır. Diğer faaliyetlerin %2 den küçük olduğu ve normal üretim süreci içerisinde %14.97 lik paya sahip olduğu da görülmektedir. Ayrıca bu üç faaliyet, elmas tel kesme süresi olan 630 dakikalık sürenin %40.5 ini oluşturmaktadır.

Kollu kesiciyle kesme yönteminde ise en riskli faaliyetin %4.93 lük risk payıyla rayların taşınması aşaması olduğu ve bunu %4.11 ile rayların döşenmesi faaliyetinin izlediği görülmüştür. Genel üretim süreci içerisinde de bu faaliyetlerin önem sırası 3. ve 4. sıraları almaktadır. Diğer faaliyetlerin risk payının %2 den küçük olduğu ve toplam üretim süreci içerisinde %6.30 luk paya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca bu iki faaliyet, kollu kesme süresi olan 445 dakikalık sürenin %11.2 sini oluşturmaktadır.

Veriler ışığında elmas tel kesme yönteminde yaşanan kazaların daha çok üretim süreci olan kesme aşamasında yaşanmasının, kollu kesme yönteminde ise bu süreçte %1.75 (21. Sıra) gibi düşük risk görülmesinin en önemli nedeni olarak kesme teknolojisinin düzeyi gösterilebilir. Kollu kesme yönteminde rayların taşınması işleminin riskinin yüksek, elmas tel kesme yönteminde ise düşük çıkma nedeni olarak da, elmas tel kesme makinası raylarının yekpare olması ve zemine sabitlenmemesi, kollu kesicinin raylarının ise her kesim öncesi montaj ve demontaj işlemlerinin yapılmasının yanı sıra zemine sabitlenmesi zorunluluğudur.

İki kesme yöntemi karşılaştırıldığında, iki yönteme ait risk öncelik göstergesi (RÖG) toplamının yaklaşık yarısının ortak kalemlerden oluştuğu görülmektedir. Bu durum, iki yöntemi kullanan veya kullanabilen işletmelerde ortak risklerin azaltılmasında avantaj teşkil etmektedir. İşletmeler, riskleri azaltmak üzere süreç iyileştirme programları uyguladıklarında öncelikle ortak faaliyet kalemleri üzerinde yoğunlaşırlarsa, iyileştirme programı iki yöntem için de etkili olacaktır.

Ancak bu uygulama, iyileştirme sürecinin ilk aşaması olmalıdır ve elmas tel kesme yönteminin özellikle üretim süreci-kesme aşamasında yaşanan kazaları önlemeye yönelik değildir. Bu durumda elmas tel

kesme yönteminde özellikle makina tasarımında, açıkta kalan telin lastik bantla muhafaza altına alınması gibi, riski azaltıcı yenileme çalışmaları yapılmalıdır.

Daha güvenli olan kollu kesicilerin ilk yatırım maliyetinin yüksek olması da işletmecilerin talebini kısıtlamaktadır. Kollu kesicilerin yaygınlaşması amacıyla, özellikle ülkemizde makina üretici firmaların desteklenerek sayısının artırılması dolayısıyla piyasadaki kollu kesici arzının artırılıp rekabet ortamı yaratılması gerekmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] J. M. Legg, "Computerized approach for matrix-form FMEA" IEE Transactions on Reliability R-27 (4) October, (1978)
- [2] C. Kara-Zaitri, A. Z. Keller ve P. V., Fleming, "A smart failure mode and effect analysis package", Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium, 414-21, (1992)
- [3] C. J. Price, "Effortless incremental design FMEA" Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 43-47, (1996)
- [4] W. Vandenbrande, "How to use FMEA to reduce the size of your quality toolbox", Quality Progress, 31(11), 97-100, (1998)
- [5] N. Sankar ve B. Prabhu, "Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and Effects Analysis", The International Journal of Quality & Reliability Management, 18(3), 324-335, (2001)
- [6] C. J. Price N. S. Taylor, "Automated multiple failure FMEA" Reliability Engineering & System Safety, 127-142, (2002)
- [7] J. R. Seung, I. Kosuke, "Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability", Advanced Engineering Informatics, v.17, pp.179-188, (2003)
- [8] B. J. Laul, etc., "Perspektives on chemical hazard characterization and analysis proceed at DOE", Division of Chemical Health and Safety of The American Chemical Society, (2005)
- [9] P. A. Garcia, R. Schirru ve E. Frutuoso, "A Fuzzy Data Envelop Analysis Approach For FMEA", Progress In Nuclear Energy, 46(2-4), 359-375, (2005)
- [10] Ö. Kılıç, "İş Sağlığı Ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri Ve Risk Değerlendirme Metodolojileri", TİSK Yayın No: 246, (2005)
- [11] D. İ. Öneç ve Y. Demirocak, "Tabaka Duruşlarına Göre Blok Kesim Yöntemlerinin Ocak Mermer İşletmeciliğinde Planlanması ve Ayna Pozisyonlarının Dizaynları", Mersem 2003 Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, s. 277-290, Afyon, (2003)
- [12] H. Çopur, C. Balcı, N. Bilgin. and et. all, "Cutting Performance of Chain Saws in Quarries and Laboratory", Proceedings of the 15th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, MPES, Torino, Italy, (2006)
- [13] Ş. Demirel, "Mermer Ocaklarında Kollu Zincirli Kesme Makinesinin Uygulanabilirliği", I. Ulusal Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi, 1-2 Şubat, s 187-196, İzmir, (2008)
- [14] Ş. Şimşek, "Mermer Ocaklarında Risk Alanlarının Araştırılması", Lisans Bitirme Ödevi, AKÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, (Dn. Ersoy, M.), Afyonkarahisar, (2008)
- [15] N. Mamatoğlu, "İş Kazalarının Azaltılmasında Davranış Temelli İş Güvenliği Modelinin Uygulanması", Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, (2001)
- [16] M. Ersoy, A. "Eleren, Hata Türü Ve Etkileri Analizi İle İş Sağlığı Ve Güvenliği Tabanlı Süreçlerin İyileştirilmesi Ve Mermer Ocak İşletmelerinde Bir Uygulama", Madencilik, Cilt 48, Sayı 3, 19-32, (2009)
- [17] B. Akın, "ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)" Bilim Teknik Yayınevi, 182 s., İstanbul, (1998)