

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASA BASINÇLI TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN (EPB) RİSK ANALİZİ
İLE PERFORMANS TAHMİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Can DAYANÇ**

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Maden Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASA BASINÇLI TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN (EPB) RİSK ANALİZİ
İLE PERFORMANS TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Can DAYANÇ
(505081001)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR (İTÜ)
Eş Danışman : Yard. Doç. Dr. Hamit AYDIN (ZKÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nuh BİLGİN (İTÜ)
Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN (İÜ)
Doç. Dr. Cemal BALCI (İTÜ)

HAZİRAN 2011

Aileme;

ÖNSÖZ

Tez kapsamında emeği geçen sayın danışman hocam Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR'a, eş danışmanım Yard. Doç. Dr. Hamit AYDIN'a, Prof Dr. Nuh BİLGİN'e, Doç. Dr. Cemal BALCI'ya Araş. Gör. Deniz TUMAÇ ve Araş. Gör. Emre AVUNDUK'a Saha Müdürüm Akito ANDO'ya, Gemi İnşaatı Mühendisi Can SOYASLAN'a, diğer tüm yakınlarıma, hocamlarıma, arkadaşlarıma ve babam Erdoğan DAYANÇ'a teşekkür ederim.

Mayıs 2011

Can DAYANÇ
(Maden Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1 Tünelciliğin Tanımı ve Kullanım amaçları	3
2.2 Tünelcilik Tarihi.....	4
2.3 Tünel Açma Yöntemleri.....	5
2.3.1 Kayalarda tünelcilik	5
2.3.2 Yumuşak formasyonda (zemin) tünelcilik	6
2.4 Tünel Açma Makineleri (TBM)	6
2.4.1 TBM gelişim süreci.....	7
2.4.2 TBM genel özellikleri	8
2.4.3 TBM sınıflandırılması	8
2.5 TBM Tipleri	10
2.5.1 Sert kayaç tünel açma makineleri (TBM)	10
2.5.1 Yumuşak zemin tünel açma makineleri	13
2.6 Kent Ulaşımında Metro Sisteminin Önemi.....	17
2.7 Risk Analizi Çeşitleri ve Uygulama Alanları.....	18
2.8 Risk Yönetimi Stratejileri ve Öğeleri.....	19
2.9 Kalitatif (Niteliksel) Risk Analizi	20
2.10 Tehlike ve Riskin Tanımlanması.....	22
2.11 Kantitatif (Niceliksel, Sayısal) Risk Analizi	24
2.12 Monte Carlo Simulasyon (MCS) Yöntemi.....	25
2.13 Crystall Ball Simulasyon Programı.....	27
3. KADIKÖY-KARTAL METRO PROJESİ.....	29
3.1 Projenin Tanıtımı.....	29
3.2 Kadıköy-Kartal Hattı Genel Jeolojisi.....	30
3.3 Kadıköy-Kartal Güzergahının Genel Jeolojisi	30
3.3.1 Kurtköy formasyonu	31
3.3.2 Dolayoba formasyonu	31
3.3.3 Kartal formasyonu.....	32
3.3.4 Trakya formasyonu	32
4. İTÜ MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜNDE YAPILAN DOĞRUSAL KESME DENEYLERİ VE PERFORMANS TAHMİNLERİ	35
4.1 Doğrusal Kesme Deneylerinin Sonuçları.....	36

4.1.1	Kurtköy formasyonu (Arkoz) kesme deneyi sonuçları	36
4.1.2	Dolayoba formasyonu (Kireçtaşı) kesme deneyi sonuçları.....	37
4.1.3	Kartal (Kireçtaşı) formasyonu kesme deneyi sonuçları	38
4.1.4	Trakya formasyonu (Silttaşı) kesme deneyi sonuçları	39
4.2	Performans Tahmin Yöntemi ve Tahmin Sonuçları.....	39
4.2.1	Kurtköy (Arkoz) formasyonu için deterministik tahmin sonuçları	40
4.2.2	Dolayoba (Kireçtaşı) için tahmin sonuçları.....	42
4.2.3	Kartal (Kireçtaşı) için deterministik tahmin sonuçları	43
4.2.4	Trakya(silttaşı) için deterministik tahmin sonuçları.....	44
5.	KANTİTATİF RİSK ANALİZİ KULLANILARAK YAPILAN	
	ÇALIŞMALAR.....	45
5.1	Kadıköy-Kartal Metro Hattı Net Kazı ve Günlük İlerleme Hızlarının Risk	
	Analizi ile Tahmini.....	45
5.1.1	Kurtköy (Arkoz) formasyonu için risk analizi	45
5.1.2	Dolayoba(Kireçtaşı) formasyonu için risk analizi.....	49
5.1.3	Kartal (Kireçtaşı) formasyonu için risk analizi	52
5.1.4	Trakya (Silt Taşı) formasyonu için risk analizi.....	55
5.2	Sonuçların Genel Değerlendirilmesi ve Tartışma	58
6.	SONUÇLAR	61
	KAYNAKLAR.....	63

KISALTMALAR

EPB	: Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesi
MCS	: Monte Carlo Simulasyonu
NATM	: Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (New Austrian Tunneling Method)
TBM	: Tam Cepheli Tünel Açma Makinası (Tunnel Boring Machine)
WTC	: Dünya Tünelcilik Kongresi (World Tunneling Congress)
RETC	: Rapid Tunneling Excavation Congress
ITA	: Dünya Tünelcilik Birliği (International Tunneling Association)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : TBM sınıflandırılması (Bilgin vd, 2007)	9
Çizelge 2.2 : Dünya Tünelcilik Birliği Kılavuzu'na göre tehlikenin oluşma olasılığı	22
Çizelge 2.3 : Sonuçların ortaya çıkma maliyetleri ve sıklığı.....	23
Çizelge 4.1 : Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (Bilgin vd, 2006).....	35
Çizelge 4.2 : Kurtköy (Arkoz) Formasyonu deney sonuçları (Bilgin vd, 2006)	36
Çizelge 4.3 : Dolayoba (Kireçtaşı) Formasyonu için kesme deney sonuçları (Bilgin vd, 2006)	37
Çizelge 4.4 : Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu kesme deneyi sonuçları (Bilgin vd, 2006)	38
Çizelge 4.5 : Trakya (Silttaşı) Formasyonu kesme deneyi sonuçları (Bilgin vd, 2006).....	39
Çizelge 5.1 : Deterministik, gerçekleşen ve risk analizi sonuçlarının karşılaştırılması (Bilgin vd, 2008)	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Karışık zemin kazısına uygun tam cepheli tünel açma makinası.....	7
Şekil 2.2 : Kalkansız TBM.	11
Şekil 2.3 : Tek kalkanlı TBM.	11
Şekil 2.4 : Çift kalkanlı TBM.	12
Şekil 2.5 : Pasa basınçlı TBM kesit görünümü.	15
Şekil 2.6 : Slurry (çamur) basınçlı TBM.	16
Şekil 2.7 : İstanbul 1. Boğaz Köprüsü.....	18
Şekil 2.8 : Kazı performansı için kullanılmış blok diyagram.....	26
Şekil 5.1 : Kurtköy (Arkoz) için aynaya uygulanacak toplam baskı kuvvetinin olasılık dağılımı.	46
Şekil 5.2 : Kurtköy (Arkoz) değerleri olasılık dağılımı.....	47
Şekil 5.3 : Kurtköy (Arkoz) üçgen dağılım olarak tanımlanmış optimum spesifik Enerji Grafiği.....	47
Şekil 5.4 : Kurtköy (Arkoz) net kazı hızı olasılık dağılımı.	48
Şekil 5.5 : Kurtköy (Arkoz) günlük İlerleme hızı olasılık dağılımı.	48
Şekil 5.6 : Dolayoba (Kireçtaşı) Formasyonu aynaya uygulanan toplam baskı kuvvetinin kümülatif olasılık dağılım grafiği.....	49
Şekil 5.7 : Dolayoba (Kireçtaşı) toplam baskı kuvveti değerleri olasılık dağılım grafiği.	50
Şekil 5.8 : Dolayoba (Kireçtaşı) Formasyonu spesifik enerji üçgen dağılım grafiği.....	51
Şekil 5.9 : Dolayoba (Kireçtaşı) için net kazı hızı kümülatif olasılık dağılımı.....	51
Şekil 5.10 : Dolayoba (Kireçtaşı) için günlük ilerleme hızı kümülatif olasılık dağılımı.....	52
Şekil 5.11 : Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu aynaya uygulanan toplam baskı kuvvetinin kümülatif dağılım grafiği.....	53
Şekil 5.12 : Kartal (Kireçtaşı) yuvarlanma kuvveti değerleri normal dağılım grafiği.	53
Şekil 5.13 : Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu spesifik enerji dağılım grafiği.	54
Şekil 5.14 : Kartal (Kireçtaşı) için net kazı hızı kümülatif olasılık dağılımı.....	54
Şekil 5.15 : Kartal (Kireçtaşı) günlük İlerleme hızı kümülatif olasılık dağılımı.....	55
Şekil 5.16 : Trakya (Silttaşı) Formasyonu aynaya uygulanan toplam baskı kuvvetinin kümülatif dağılım grafiği.	55
Şekil 5.17 : Trakya (Silttaşı) yuvarlanma kuvveti değerleri normal dağılım grafiği.....	56
Şekil 5.18 : Trakya (Silttaşı) Formasyonu kümülatif net kazı hızı olasılık dağılımı.....	57
Şekil 5.19 : Trakya (Silttaşı) Formasyonu kümülatif net kazı hızı olasılık dağılımı.....	57
Şekil 5.20 : Trakya (Silttaşı) günlük ilerleme hızı kümülatif olasılık dağılımı.....	58

PASA BASINÇLI TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN (EPB) RİSK ANALİZİ İLE PERFORMANS TAHMİNİ

ÖZET

Günümüzde Tünel Açma Makinası (TBM) kullanılarak mikrotünelcilik, raylı sistemler, karayolu tünelleri, atık su tünelleri gibi artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılayacak tüneller kazılmaktadır. Bu kazı çalışmaları projelendirilerek bir bitiş süresi tahmini ve buna bağlı olarak da maliyet hesapları yapılmaktadır. Proje başlangıç öncesinde yapılan jeoteknik çalışmalar ile elde edilen numuneler üzerinde birtakım testler ve kabul edilen yaklaşımlarla hesaplar yapılarak günlük, aylık ve yıllık kazı miktarları tahmin edilir ve bunun sonucunda da proje bitiş süresi belirlenir. Tezde bu deterministik yaklaşımlarda kullanılarak “ortalama” “standart sapma” gibi yaygın olarak kullanılan yöntemler ile değişkenlerin blok diyagramları ile birbirleriyle olan ilişkileri sonrasında “Monte Carlo Simulasyonu” ile daha ayrıntılı incelenerek risk analizi yapılmış ve bulunan değerler deterministik değerler, arazide gerçekleşen değerler ve Risk analizi ile elde edilen değerler birbiri ile karşılaştırılmış ve sonuçları yorumlanmıştır. Yapılan yorumlar ‘pesimist’ ‘optimist’ ve ‘ortalama’ sonuçlar olarak verilmiş ve karar verme proje sahibine, yatırımı yapacak olan şahıs veya şirkete bırakılmıştır.

Kurtköy (Arkoz) formasyonu için bulunan sonuçlar ortalama değer olarak günlük kazı hızı $106 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘optimist’ değer olarak $169 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘Pesimist’ değer olarak $51 \text{ m}^3/\text{saat}$, Dolayoba (Kireçtaşı) formasyonu için bulunan sonuçlar ortalama değer olarak günlük kazı hızı $64 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘optimist’ değer olarak $113 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘pesimist’ değer olarak $27 \text{ m}^3/\text{saat}$, Kartal (Kireçtaşı) formasyonu için bulunan sonuçlar ortalama değer olarak günlük kazı hızı $97 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘optimist’ değer olarak $131 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘pesimist’ değer olarak $66 \text{ m}^3/\text{saat}$ ve Trakya (Silttaşı) formasyonu için bulunan sonuçlar ortalama değer olarak günlük kazı hızı $86 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘optimist’ değer olarak $161 \text{ m}^3/\text{saat}$, ‘pesimist’ değer olarak $30 \text{ m}^3/\text{saat}$ hesaplanmıştır.

PERFORMANCE PREDICTION OF AN EPB TYPE TBM USING MONTE CARLO SIMULATION

SUMMARY

Tunnel Boring Machines (TBM) are the most popular and safe tunneling machines used today's world to excavate (construct) road tunnels, utility tunnels, subway tunnels. One of the most important thing is to predict TBM's performance rates and daily excavation amounts. For doing that calculations deterministic methods have been developed and still used for prediction of TBM performance. In this thesis, the calculations not only made by deterministic ways but also probabilistic methods. Using Monte Carlo Simulation and Block Diagram Methods more sensible and realistic values were found and obtained. With using Monte Carlo simulation decision making for the best available situation is up to owner of the project. The results were compared with deterministic prediction results and realized TBM performance.

For Kurtköy (Arcose) formation average cutting rate is $106 \text{ m}^3/\text{h}$, optimist value of $169 \text{ m}^3/\text{h}$, pesimist value of $51 \text{ m}^3/\text{h}$, for Dolayoba (Limestone) formation average cutting rate is $64 \text{ m}^3/\text{h}$, optimist value of $113 \text{ m}^3/\text{h}$, pesimist value of $27 \text{ m}^3/\text{h}$, for Kartal (Limestone) formation average cutting rate is $97 \text{ m}^3/\text{h}$, optimist value of $131 \text{ m}^3/\text{h}$, pesimist value of $66 \text{ m}^3/\text{h}$, for Tracian (Siltstone) formation average cutting rate is $97 \text{ m}^3/\text{h}$, optimist value of $131 \text{ m}^3/\text{h}$, pesimist value of $66 \text{ m}^3/\text{h}$.

1. GİRİŞ

Dünyada gelişen teknolojiyle beraber artan nüfus yoğunluğu insan ihtiyaçlarını arttırmış bu yüzden de mevcut şehir düzenlerini değiştirmeye mecbur kılmıştır. Artan ihtiyaçlar karşısında mevcut altyapı ve ulaşım sistemleri ihtiyaçları karşılayamamakta ve yeni projelerin hayata geçirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu tür projelerin yoğun yapılaşma yüzünden yeraltına taşınması tercih edilmektedir, bu durum yeraltı tünellerinin tasarım ve uygulamasını beraberinde getirmiştir. Tünel yapımı ilk çağlardan günümüze kadar gelişme göstermiş ve hâlâ kullanılan birçok metod barındırmaktadır. Günümüzde tünel inşasında en çok kullanılan yöntem, Yeni Avusturya Tünel Açma yöntemidir (NATM). Bu yöntem konvansiyonel kazıya uygun olduğu gibi mekanize kazıya da uygundur. Ülkemizde gerek maliyeti gerekse kalifiye eleman bulma kolaylığından dolayı yoğun olarak kullanılan konvansiyonel yöntem özellikle şehirlerde yerini hızla gelişen mekanize kazıya bırakmaya başlamıştır. Mekanize kazı gelişen teknolojinin paralelinde gelişmiş maliyet, güvenlik, hız gibi artıları sayesinde tünel açımında üst sıraya yerleşmiştir. Asıl sorun kazılacak olan jeolojinin belirsiz olması ve bu belirsizliğin çok büyük maddi kayıplara yol açabilecek olmasıdır. Karayolu tüneli, metro hattı veya altyapı kazıları gibi kazılarda proje yönetimi, kazılacak olan zeminin mutlaka etüd edilmesi, risklerin belirlenip önlemlerinin alınması mutlak rol oynamaktadır.

Tez kapsamındaki amaç bir tünel açma makinasının kazdığı veya kazacağı zemin ile ilgili laboratuvar çalışmaları yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların proje yönetimine stokastik olarak verilirken nasıl olması gerektiği ve hangi parametrelerin rol oynadığını göstermektir. Bu amaç kapsamında kazı mekaniği değişken ve sabit parametreleri iyi anlaşılmalı, performans tahmini yapılmadan önce doğru yorumlanmalıdır. Tez kapsamında kullanılan sabit ve değişken parametrelere bakacak olursak;

- Kazı yapan makinenin çapı
- Kesici kafadaki toplam disk sayısı
- Makinenin dakidada yaptığı devir sayısı

- Kesikler arası mesafe
- Tek bir keskiye etkiyen normal kuvvet
- Aynaya uygulanan toplam itme (baskı, normal) kuvveti
- Optimum spesifik enerji
- Tek bir keskiye etkiyen yuvarlanma kuvveti
- Kesici kafa tork ihtiyacı
- Kesme gücü ihtiyacı
- Net kazı ve günlük ilerleme hızları.

Risk analizi ile yapılan çalışmanın deterministik yollar ile yapılan çalışmaya göre ana farkı değişken olan değerleri bir dağılım fonksiyonu olarak tanımlanarak belirli bir güven aralığı içerisinde istenilen yüzde dilimine ait olan sonuçların bulunabilmesidir. Bu hesaplamalar yapılırken kullanılan yöntem Monte Carlo Simulasyonu yöntemidir. Gereken hesapları yapacak program olarak ise lisansı 'Oracle' firmasına ait olan 'Crystall Ball' programı kullanılmıştır. Program Microsoft Excel tabanlı çalışan bir eklenti programıdır. Güven aralığını bulmak için girdi parametrelerini dağılım fonksiyonları olarak dağıtarak deterministik tahmin yaklaşımlarında kullanılmak üzere simüle eder. Bulunan sonuçlar grafikler ile görsel hale getirilerek yorumlanmıştır. Ayrıca, risk analizi ile stokastik olarak bulunan performans değerleri, deterministik yöntemle bulunan değerler ve arazide gerçekleşen değerleri le karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Tünelciliğin Tanımı ve Kullanım Amaçları

Hafredilmiş yeraltı açıklığına tünel denilmektedir. Bu açıklığın eni ve boyu tünelin yapılış maksadına göre değişmektedir. Tünellerin çoğu yatay ve yataya yakındır. Açı yapacak şekilde açılan tünellere ise “Desandri” denilmektedir. Yeryüzünden, çeşitli maksatlar yönünden yeraltının istenilen yerine ulaşmak için açılan açıklıklara “Galeri” denilmektedir. Madencilikte mineral zonlarına sürülen açıklıklara yine “Galeri” adı verilir. Tüneller sağlam, çatlaklı ve çatlaksız kayada olduğu gibi; çakıl, kum, su ihtiva eden killer gibi konsolide olmamış (sıkışmamış) formasyonlarda da açılabilir. Kullanılış amaçlarına göre tüneller aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

- 1) Ekonomik mineral ve maden yataklarına ulaşma amacıyla açılan tüneller
- 2) Ulaştırma maksatlı açılan tüneller (Yayalar için geçiş tünelleri, karayolu tünelleri denizcilik amacıyla açılan tüneller, demiryolu tünelleri)

Not: Bu tip tüneller, tünelcilikte, kapsam yönünden büyük inşa yönünden çok zor tünellerdir.

- 3) Su tünelleri
- 4) Askeri maksatlı tüneller
- 5) Yeraltı boşluklarına ulaşmak için açılan tüneller. (Bu tip tüneller, baraj ve hidroelektrik santralleri inşaatlarında fazlaca açılmaktadır. Araştırma, derivasyon, drenaj, kuvvet tünelleriyle su alma yapıları için shaft ve tüneller, denge bacaları, kablo ve servis tünelleri ile türbin, ekipman vs maksatlar için açılan yer altı boşlukları bu gruba girerler.)
- 6) Sığınak amaçlı tüneller
- 7) Haberleşme nakit hatları, gaz nakilleri vs maksatlar için açılan tüneller.

2.2 Tünelcilik Tarihi

Tünelcilik tarihinin büyük eski imparatorluklar döneminde sulama maksadı ile geliştirildiği düşünülmektedir. Babil imparatorluğu döneminde tüneller daha çok sulama için kullanılmış; m.ö. 2180-2160 yılları arasında Fırat nehri altında kraliyet sarayı ile tapınağı birbirine bağlamak için 914,90 m uzunluğunda tuğladan örülmüş bir geçit inşa edilmiştir. Daha sonra teknoloji ve medeniyetlerin gelişmesi ile tünelcilikte ilerlemiştir. Tünel çalışmaları öncesinde yapılan jeoteknik çalışmalar şu şekilde sıralanabilir;

a) Harita alımı

b) Jeofiziksel araştırmalar

c) Mekaniksel araştırmalar

- Muayene çukurları

- Sondajlar

1) Stratigrafik kontrol sondajları

2) Tünel güzergahı boyunca açılan sondajlar

3) Sondaj sayısı

- Pilot tüneller

- Tünel güzergahında kaya kalitesinin saptanması

- Tünel güzergahının belirlenmesinde yapılan deneyler

- Laboratuvar deneyleri

d) Yerde deneyler

e) Rapor hazırlama

f) Harita alımı

g) Jeofiziksel araştırmalar

h) Rapor hazırlama.

2.3 Tünel Açma Yöntemleri

Tünel açımı (tünelcilik) genel olarak şu dört işlemin birlikte ve birbiriyle uyumlu olarak yürütüldüğü çok yönlü bir çalışmadır. Buna kazı döngüsü (cycle) adı verilir. Bütün aşamalar birbiri ile uyumlu olmalı ve kazı yapılırken bir sonraki aşama için mutlaka hazırlık yapılmalıdır. (Rostami vd, 1994)

- Tünelin açılması (kazılması)
- Tahkimat Uygulanması (gerekliyorsa)
- Pasanın taşınması
- Kaplama, izolasyon, drenaj, havalandırma
- Herhangi bir yerde tünel açılırken bu işlemlerin ne şekilde uygulanacağı, hangi yöntemlerin benimseneceği esas olarak şu şartlara bağlı olarak belirlenir.
- Jeolojik şartlar
- Hidrolojik şartlar
- Tünelin şekli ve genişliği
- Tünelcilik; tünelin açıldığı formasyona bağlı olarak iki gruba ayrılır.

2.3.1 Kayalarda tünelcilik

Kayalarda tünel açımı uygulanan ilerleme şekline göre ikiye ayrılır:

a) Delme ve patlatma yöntemi ile tünel açımı

Çok kullanılan ve emniyet tedbirleri kullanıldığında güvenli bir yöntemdir. Kazılması mekanik makineler ile zor ve maliyetli olan kaya şartlarında kullanılmakta ve uygulanmaktadır. Delme ve patlatma ile tünel açımı, sırasıyla aşağıdaki yöntemleri içeren devrelerin tekrarı şeklindedir.

- Jeoloji ve çevresel şartlar göz önüne alınarak projelendirilmiş paternde aynada patlatma deliklerinin delinmesi.
- Patlayıcı maddenin deliklere tünel geometrisi ve çevresel etkiler göz önünde bulunarak şarj edilmesi.
- Deliklerin ateşlenmesi
- Patlatma sonucunda ortaya çıkan gazın tahliye edilmesi
- Düşme tehlikesi olan gevşemiş kayaların düşürülmesi

- Yeni ilerlenen kısma gerekiyorsa tahkimat yapılması
- Pasanın taşınması

b) Makine ile tünel açımı

Tünel açma makineleri tünel içerisinde yaptığı kazı şekline göre iki ayrı türde olup ikiye ayrılmaktadır:

- 1) Tam kesit tünel açma makineleri (TBM) ile tünel açılması
- 2) Kısmi kesit tünel açma makineleri ile tünel açılması

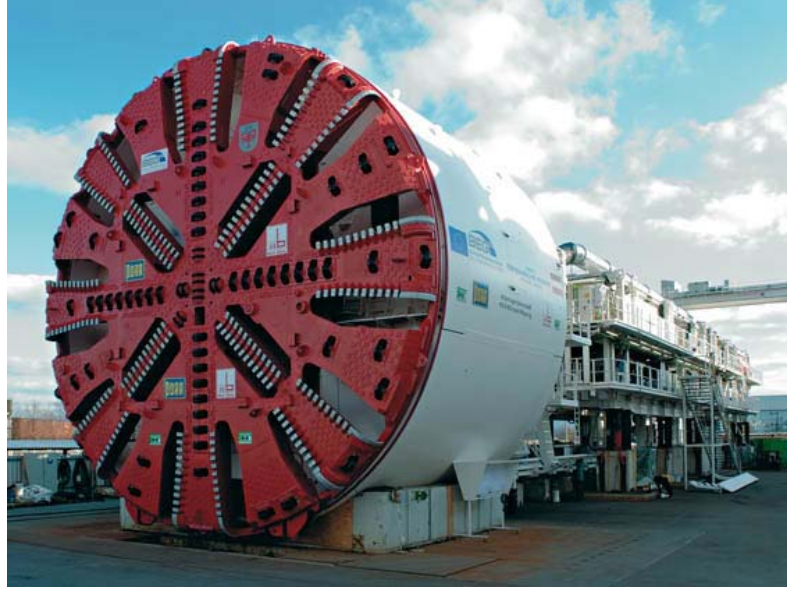
2.3.2 Yumuşak formasyonda (zemin) tünelcilik

Tam cepheli kazı makinaları yumuşak formasyonlarda tünel açarken bentonit karışımı ile ayna basıncını dengeleyen ve yine aynı sıvı ile ayna basıncını dengeleyen Slurry Shield, ayna basıncını sıvı yerine basınçlı hava ile dengeleyerek çalışan EPB veya boru itme sistemi ile çalışan makineler ile tünel kazısı yapılmaktadır. Tam cepheli kazı makinalarında yapılan teknolojik ilerlemeler sonucunda hem kayada hem zeminde randımanlı şekilde çalışan makinalar geliştirilmiştir. Kompleks jeolojilerde bu tür makina kullanımları proje maliyetlerini büyük ölçüde düşürerek riski azaltmaktadır. Zeminde yapılan kazının zorluğu zeminin kendi kendini taşıma kapasitesinin düşüklüğü ve kil tane boyutunda kazıyı yapan malzemelerin sıkışarak sağlıklı çalışmamasından kaynaklanır. Doğru ekipman seçilmesi ve jeolojinin süreksizliklerine göre gerekiyorsa kesici kafa dizaynında yerinde değişikliklere gidilebilir.

2.4 Tünel Açma Makineleri (TBM)

Madencilik ve inşaat sektöründe yeraltı yapılarının önemi teknolojik gelişmelere paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle yerleşim merkezleri ve büyük şehirlerde elektrik, su, kanalizasyon, telefon, doğalgaz ve metro tünelleri gibi yapıların açılması sırasında, çevreye ve yer üstünde yapılara zarar vermemesi için kullanılacak kazı yönteminin seçimi son derece önemlidir. Her ne kadar ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) istenilmeyen yeraltı hareketlerini önleme kabiliyeti, daha sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması nedeniyle günümüzde tercih edilen kazı makineleri haline gelmiştir. Sert, orta sert, yumuşak ve akıcı formasyonlar için farklı çalışma prensiplerine ve kesici kafa

dizaynına sahip makineler üretilmektedir. Bu makinelerin seçimi proje başında verilmesi gereken bir karar olup yapılmış olan zemin etüdleri ve sondajlardan elde edilen verilerin ayrıntılı şekilde yorumlanması ve kazılacak jeolojiye uygun makine seçilmesi TBM ile kazının en önemli aşamalarından biridir.



şekil 2.1 : Karışık zemin kazısına uygun tam cepheli tünel açma makinası.

(url-6)

2.4.1 TBM geleişim süreci

İlk tünel açma makinası imalatı ve uygulaması Amerika’da gerçekleşmiştir. Kesici kafa, kazılan malzemeyi uzaklaştırma sistemleri, itici (baskı) sistemler gibi özellikleri bünyesinde barındırmasına karşılık o zamanda kullanılan malzemelerin metalurjik yetersizliklerinden dolayı ilerlemeler oldukça zayıf kalmıştır.

TBM’in esasını oluşturan bu kavram, izleyen 100 yıl için güçsüz kalmış ve hiçbir geleişme gerçekleşmemiştir. Bazı keski ve kesme cihazları ile donatılmış TBM’ler yumuşak kayalar ve kömür damarlarında denenmek istenmiş fakat istenen sonuçlara ulaşılamamıştır. James Robbins isimli mühendis 1956 yılında, kalem keskiler yerine döner disklerin kullanılma fikrini ortaya atmıştır. Toronto’daki bir uygulamada günde 38 m’lik ilerleme gerçekleşmiştir. Bu uygulama, TBM’lerin yumuşak ve orta sert kayalarda ekonomik olarak kullanılabileceğinin ilk göstergesi olmuştur. 1970’lerin sonu ve 1980’li yılların başlarında Amerika ve Avrupa’da birçok  niversite ve araştırma kurumu disk kesicilerin sert kayalardaki performansının fizik prensiplerini anlamak üzere çok sayıda araştırma yapmışlardır.

Benzer şekilde, yumuşak arazideki tünellerin teknolojisi de, Times nehrini 1824 - 1840 yılları arasında Brunei sayesinde gelişim göstermiştir. Brunei'in tasarımları 1864'de dairesel şilt patenti alan Peter Parlow tarafından geliştirilmiştir. Bu şilt içine yerleştirilen astar segmentlerin itilmesi suretiyle baskı oluşturulması ve ön tarafında çamur (pasa) akışını ve uzaklaştırılmasını sağlayan sistem ve dizayn gerçekleştirilmiştir. Bu şildin bir benzeri ile 1869'da Times Nehri bir yılda geçilmiştir. Bu makine, Ayna Basıncı Dengeleme Makinesinin (EPB) ilk tipini teşkil etmektedir. EPB ve biraz daha karmaşık yapıları çamur basınçlı makineler kavramı olarak esasta Avrupa'dan çıkmışsa da, asıl gelişmesini Japonya'da yapmıştır. Japonlar yeraltında yaptıkları nakliye ağını genişletirken, 1960' lardan 1980'lere doğru, bu tür şiltlerden yüzlercesini üretmiştir.

2.4.2 TBM genel özellikleri

TBM'lerin yapısal özellikleri olarak kesici kafa, hidrolik silindirleri, yönlendirme silindirleri, kilitleme pabuçları (gripper), kesici kafayı döndüren motorlar ve beton tahkimat elemanlarını yerleştiren sistemler sayılabilir. TBM arkasında bulunan back-up sistemler olarak adlandırılan kısımda ise hidrolik güç üniteleri, elektrik trafoları, tavan cıvataları için bir delici, havalandırma fanları, pasa nakliyatı için bant konveyörler, vagonlar bulunmaktadır. Ayrıca formasyona göre ihtiyaç halinde makinenin Beton Segment (Ring) tahkimatlarının arkasına sodyum silikat veya türevleri gibi su kesme amaçlı enjeksiyon malzemeleride bahsedilen "backup" sistemleri tarafından sağlanır. Zeminin devamlı olarak süreksizlik gösterdiği jeolojik kesitlerde kullanılan makineler opsiyonel olarak kılavuz sondaj (Probe Drilling) ekipmanları içerir. Bunun sayesinde makine daha kazmadan belli metrajlara kadar jeoloji üzerinde çalışma yapılabilir. (Dollinger, 2002)

2.4.3 TBM sınıflandırılması

TBM'ler genel olarak çalıştıkları formasyonlara göre sınıflandırılır. Genel anlamda sert kaya ve yumuşak formasyonlar olmak üzere iki ana grup mevcuttur. Sertten, yumuşak formasyona doğru gidildikçe TBM yapısal özellikleri de önemli ölçüde değişim gösterir. Pasayı tahliye etme sistemleri, kazıda kullanılan kesicilerdeki dizayn ve yapısal farklılıklar, makine güçleri ve döndürme momentleri gibi kazıyı etkileyen ana unsurlar tamamen farklı şekilde ve kazılacak zemine özel doğrultuda

değişir. Çizelge 2.1’de Tam Cepheli Tünel Açma Makinelerinin bir sınırlandırılması verilmiştir (Bilgin vd, 2007).

Çizelge 2.1: TBM sınıflandırması (Bilgin vd, 2007)

Mekanik Yapı			Uygun Jeolojik ve Jeoteknik Koşullar
Açık TBM’ler (Open TBMs)	Alttan Destekli Bir Çift Pabuçlu – Önden Motorlu – TBM’ler (Main Beam)		Çok Sert, Aşındırıcı, Masif veya Az Kırıklı Çatlaklı Kaya Koşulları, Kuru veya Az Su Geliri Olan Koşullar, RMR = 80 - 100
	Alttan Desteksiz (Askıda) Bir Çift Pabuçlu – Önden Motorlu - TBM’ler (Open Gripper)		
	İki Çift Pabuçlu – Arkadan Motorlu – TBM’ler (Kelly Beam)		
Şiltli TBM’ler (Shielded TBMs)	Şiltli Sert Kaya TBM’leri	Tek Şiltli TBM’ler	Kırıklı Çatlaklı, Bloklı ve Kuru veya Az Su Geliri Olan Kaya Koşulları, RMR = 30 - 80
		Teleskopik Şiltli TBM’ler	
		Sadece Kesici Kafa Bölgesi Şiltli TBM’ler (Gripper Shield)	Kırıklı Çatlaklı, Bloklı ve Kuru veya Az Su Geliri Olan Kaya Koşulları, Orta Derece Sıkışan Killer
	Şiltli Yumuşak Zemin TBM’leri (Ayna Basınçlı)	ÇamurBasınçlıTBM’ler	Yeraltı Suyunun Fazla Olduğu Çakıl, İri ve Orta Taneli Kum Formasyon Koşulları (Permeabilite Katsayısı > 10 ⁻⁷ m/s), RMR = 0 - 30
		Pasa Basınçlı TBM’ler (Earth Pressure Balance)	Yeraltı Suyunun Fazla Olduğu İnce Taneli Kum, Kil ve Silt Formasyon Koşulları (Permeabilite Katsayısı < 10 ⁻⁷ m/s), RMR = 0 - 30
		Hava Basınçlı TBM	Yeraltı Suyunun Fazla Olduğu Stabil Kumlu Formasyon Koşulları (Permeabilite < 10 ⁻⁴ m/s)
		Kombine TBM’le (Mixshield)	Her Türlü Yumuşak Zemin ve Sert Kaya Koşulları, RMR = 0 - 100
		Özel TBM’ler (Kesici Kafasız, ÇokluKesici Kafalı TBM’ler)	Jeolojik ve Jeoteknik Koşullara Göre Özel İmalat Makineler

2.5 TBM Tipleri

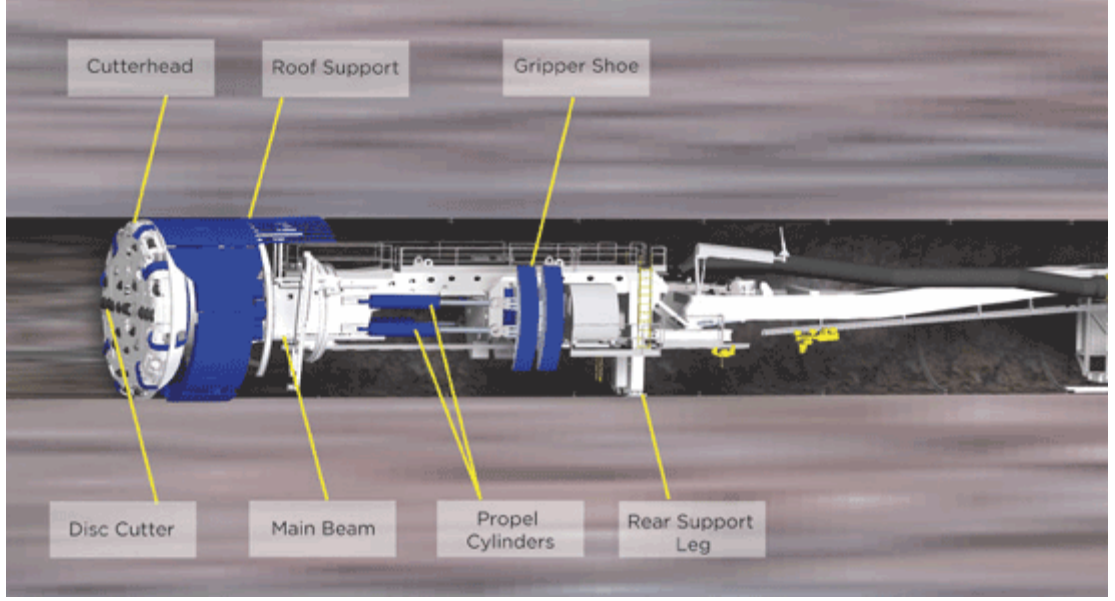
Uzun yıllar boyunca yapılan çalışmalar sonucunda TBM'ler her türlü tünel şartında mekanik kazının yapılabilirdiği bir noktaya gelmiştir. Eskiden sadece delme-patlatma ile açılabilen formasyonlar bile artık TBM'ler kullanılarak açılabilir. Tam cephe tünel açma makineleri aynayı tamamen kesikleri ile kavrar ve kazı yapar. Kazma işlemi 2 ana kuvvet ile yapılır. Kesici kafanın aynaya doğru itilmesi ve bu itilen itilme sırasında kafanın dönmeye başlaması ile kazı olayı gerçekleşmeye başlar. Tam cepheli makinalar çaplarına göre ayarlanmış tünel kesitlerini tek seferde kazarlar yani 8 metre çapında bir makine 1 metre ilerlemesi sonucunda yaklaşık 50 m³ pası açığa çıkar. Bu pası kesici kafa üzerinde bulunan kanatçıklar tarafından kesici kafa arkasındaki hazneye aktarılır. Hazne içerisinde bulunan konveyör çıkan pasının nakliyatını yapar. Çamur esaslı çalışan Slurry makineler pası bentonit çamurunun içerisinde tahliye hattındaki çelik borular içerisinde taşır. Makinelerin dizaynlarına göre değişmek koşulu ile keski değişimini gerçekleştirmek, makineyi gerekirse jeolojiye göre revize etmek için kalifiye bir işçi keski değişikliğini yapabilir. Çalışacakları formasyona göre kesici kafa dizaynları ve kullanılan keski değişmektedir. Genel olarak yumuşak formasyonlarda ripper dişler, kalem keski kullanılır. Kompleks zeminlerde ise kesici kafa hem ripperler hem de disk keski kullanılır. Disk keski olası sert damarları ve kayaları kesmek için kesici kafaya yerleştirilmiştir. Sert zeminlerde ise kesici kafada sadece disk keski bulunur.

2.5.1 Sert kayaç tünel açma makineleri (TBM)

Sert, basınç dayanımı yüksek göçük riski olmayan ve masif tipteki kayaları kazmak üzerine geliştirilmiş kesici kafa dizaynına sahip makinelerdir. Zemin koşullarına göre açık (kalkansız) veya kapalı (kalkanlı) olarak tercih edilebilirler.

a) Kalkansız (Açık) TBM; Sert ve kendini tutabilen formasyonlarda kullanılırlar.

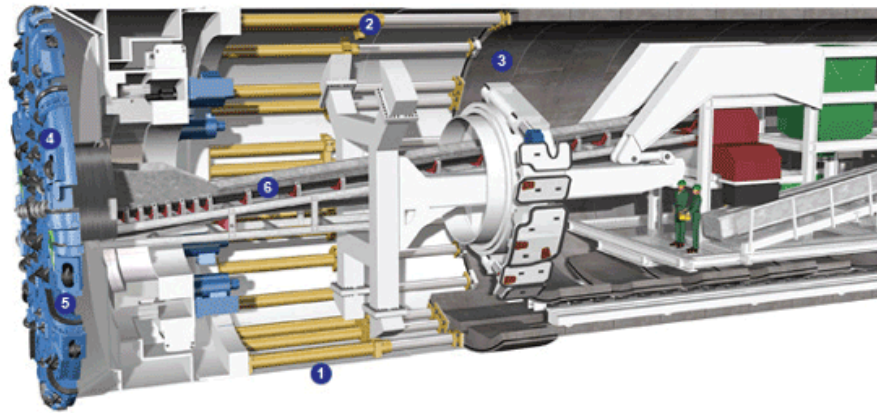
TBM arkasından tavan cıvataları veya dairesel tahkimat yapılır. Şekil 2.2' de Şiltsiz bir TBM in çalışması gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Kalkansız TBM. (url-6)

Şekil 2.2’de, hidrolik itme düzeni olan bir Tam Kesit sert kaya makinesinin ilerleme prensibi görülmektedir. Makine kazıya hidrolik silindirlerin zemine basarak bir itme kuvveti uygulaması ile başlar. Bu kuvvet değeri operatör tarafından optimum seviyede olması için sürekli kontrol altında tutulur. Makine kazıyı baskı silindirinin boyu (strok) kadar tamamladıktan sonra ayaklar geri çekilir makine tekrar kazı pozisyonunu alır ve kazı işlemi devam eder.

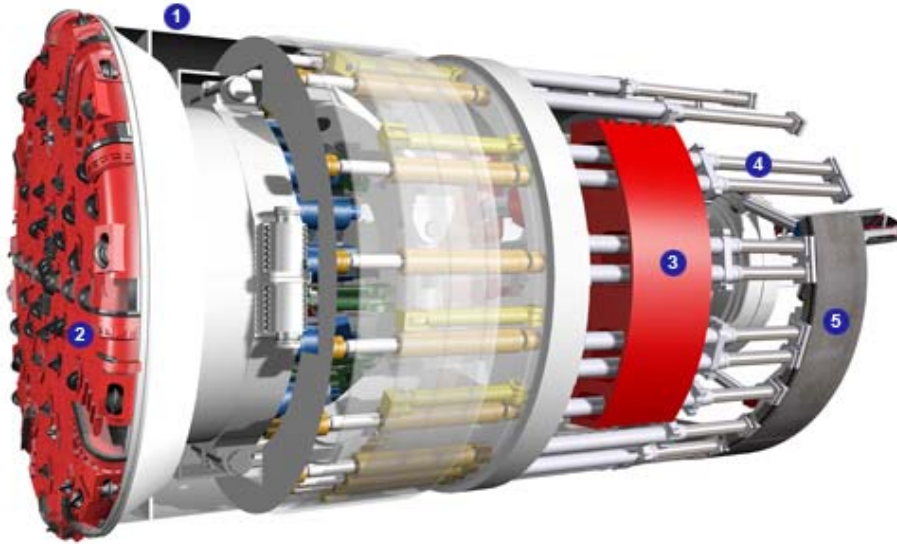
b) Tek kalkanlı TBM; Tam daire şeklinde komple bir şilt mevcuttur. Tek kalkanlı TBM’ler yumuşak zeminlerde, kompleks zeminlerde ve kaya içerisinde açılacak tünellerde kullanılabilirler. Tahkimat olarak beton segmentler kullanılır. Şekil 2.3’de tipik bir tek şiltli TBM görülmektedir.



Şekil 2.3 : Tek kalkanlı TBM. (url-6)

TBM'nin önemli parçaları olarak kesici kafa, kesici kafayı döndüren motorlar, itme silindirleri, kazılan malzemeyi taşıyan bant konveyör ve beton segmentleri yerleştiren erektör sayılabilir. Şekil 2.3'de 1 numara Kalkan, 2 Numara Baskı silindirleri, 3 numara beton segment, 4 numara kesici kafa, 5 numara hafriyat kovası, 6 numara konveyör olarak tanımlanır. Makine ilk aşamada bir önceki ringe koyduğu beton segmente baskı silindirlerini yerleştirerek gerekli itme gücünü sağlar. Kazı 1 strok tamamlandıktan sonra baskı silindirleri geri çekilir ve erektör ortaya çıkan boşluğa beton tahkimatları koyacak pozisyona gelebilir. Beton tahkimatlar koyulduktan sonra makine tekrar pozisyon olarak kazı döngüsüne devam eder.

c) Çift kalkanlı TBM; Bu makine 2 türlü çalışabilmektedir. Yukarda anlatıldığı gibi tek şiltli olarak veya teleskopik olarak ana şildin içinde uzanabilen kuyruk tarafındaki ikinci şildi bir kavrayıcılar (gripper) düzeniyle kullanmak mümkündür. Bu tür yapının avantajı sabit kuyruk şildinde kaplama işi ile, kavrayıcıları iterek yapılacak delme işlerinin aynı anda gerçekleştirilmesine imkan sağlayan iyi arazi şartlarında çalışıldığı zaman ortaya çıkar. Bu makineler sert ve kompleks zeminlerde kullanılabilir. Şekil 2,4'de çift kalkanlı TBM elemanları ve çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Çift kalkanlı TBM. (url-6)

Çift şiltli TBM'lerin gelişmesi 1980'li yıllarda olmuştur. Ön şilt kepçe tasarımı geliştirilmiş, keski ve kepçeler kırıklı arazide çalışırken görebilecekleri hasara karşı korunmuşlardır. 7-14 MPa dayanımlı yumuşak tüflerde geniş aralıklı disk keski kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çift kalkanlı makineler tek kalkanlı gibi çalışabilmelerinin yanında, ikinci kalkanın verdiği avantaj ile kazıyı durdurmadan segment montajı yapmaya uygun yapıdadırlar. Bu işlemin bu şekilde uygulanması sonucunda makine kullanım oranının tek kalkanlı makinelere göre daha yüksek olduğunu gösterir. Zeminin gripper jaklarının baskısını taşıyamadığı durumlarda makine tek kalkanlı çalışma prensibine döndürülerek yukarıda bahsedilen kazı ve tahkimat uygulamasının aynı anda yapıldığı kazı başlar.

2.5.1 Yumuşak zemin tünel açma makineleri

Zeminin yumuşak, kendini tutma özelliği olmadığı koşullarda çalışmak üzere dizayn edilmiş makinelerdir. Kaya kazan makinelere göre çok büyük farklılıklar gösterirler. Kesici türlerinden çalışma prensiplerine kadar farklı çalışan makinelerdir.

a) Pasa basınçlı tünel açma makineleri (EPB); Arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan EPB makineleri ilk olarak Japonya'da 1960-70 'li yıllarda görülmeye başlamıştır . Yapışkan olmayan ortamlarda ve yeraltı su seviyesi altında bulunan zeminlerde ilerlemeler sırasında stabilite kaybı kaçınılmazdır. Genellikle bu gibi alanlarda ve kendini kısa süreli bile tutamayan kayaçların kazısında bu makineden faydalanılır. Temel çalışma prensibi su getirini veya arazi akmasını kontrol etmek amacıyla ayna boşluğunun kapalı bir hacim haline getirilerek basınç altında tutulması, "bizzat arazi ve içindeki su basıncı etkisiyle, kesme kafası ve ayna boşluğunda doğal bir basıncın oluşmasına imkan verilmesi" diye tanımlanabilir. Bir başka deyişle amaç kazılan malzemenin kesici kafa haznesini doldurması ve tüm yüzeyi desteklemesidir. Bu destekleme basıncının tünel kalınlığındaki doğal arazi basıncını karşılayacak bir değerde ayarlanması gerekir. Bu makineler 10 bara (1 MPa) kadar ulaşan basınç altında çalışabilecek şekilde yapılabilirler. En iyi çalışma koşulları arazi nemlilik oranının % 10-15 veya daha az olduğu durumlardır. EPB makinesi çok sert kayaçlardan (diskli) çok yumuşak olanlarına (kalem kesikli) kadar, değişik kayaç ve zemin formasyonlarında kullanılmak üzere tasarımılandırılabilirler. Çalışmalarındaki basitlik ve uygulama alanlarının genişliğinden dolayı, giderek çamur makinelerin (slurry machines) yerlerini almaktadırlar.

Bir EPB makinesinde kazılan malzeme bir vida (Auger) konveyör vasıtası ile kesici kafa haznesinden çıkarılır. Kazı bölgesindeki arazi basıncı azalmalarını ve bu yüzden oluşacak oturmaları engellemek için malzeme aktarımının kontrollü bir şekilde

yapılması gereklidir. Bu yüzden vida konveyörün hızı malzeme çıkış hızının kontrol etmek için ayarlanabilir. İstenilen bir şekilde vida hızı ayarlaması bilgisayarlı bir monitörden izleme sistemiyle yapılabilir.

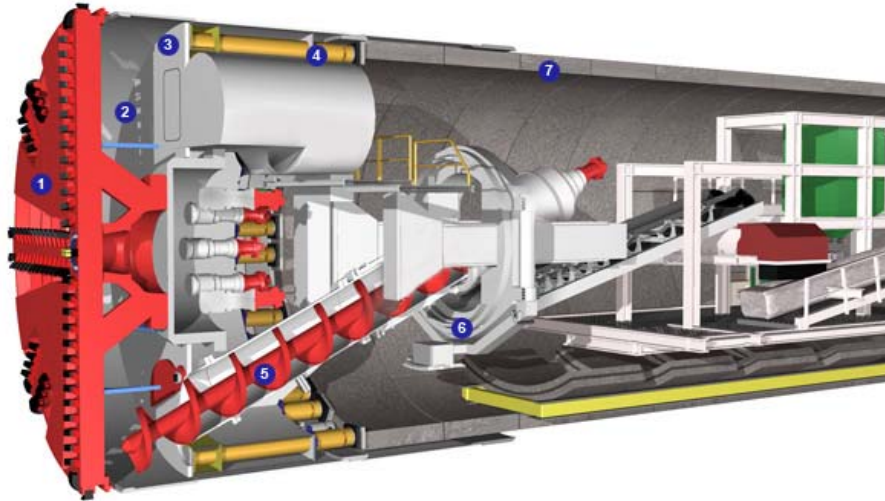
Dengeli ve güvenli bir kazı yapabilmek için malzeme çıkış hızının makine ilerleme hızına eşit olması gerekir, böylece zemin oturmalarına yol açabilecek fazla malzeme çıkışına izin verilmez. Eğer ortamda bulunan suyun basıncı atmosfer basıncının üzerine çok fazla çıkarsa bazı basınç kilitleri gerekli olabilir. Basınç kilitleri vidanın bir yanından diğerine doğru bir patlamayı önlemek için gereklidir ve vidanın çıkış kapısında konumlandırılır. EPB makinelerinde diğer metotların aksine ikincil bir destekleme metodu kullanılmaz (sıkıştırılmış hava, süspansiyon). Akıcı formasyon döner kafadaki kesiciler tarafından kazılır. İttirme kuvveti aynaya kazı haznesinin doldurulmasıyla meydana getirilen basınç duvarı yoluyla transfer edilir. Böylece kazı bölgesinde kontrolden çıkmış bir şekilde malzeme akışı engellenmiş olur. Kazı bölgesindeki formasyon uygulanan itme kuvveti nedeniyle daha fazla yük alamadığı anda denge sağlanmış olacaktır. Formasyonu destekleme basıncı, sağlanan dengenin üzerine çıkarılırsa kazı bölgesindeki akıcı formasyon çok daha sağlam bir hale gelecektir. Eğer açılan tünel yeryüzüne yakınsa çok fazla uygulanan itirme basıncı sebebiyle kabarmalar meydana gelebilir. Tünel boyunca taşıma, bant konveyörlerle, vagonlarla, damperli kamyonlarla ya da borular içerisine taşınmayı kolaylaştıran bir katkı maddesi eklendikten sonra katı taşıma pompaları yardımıyla yapılabilir. EPB çalışma prensiplerine bağlı olarak çeşitli isimler alır: malzeme hapsedici şiltleri (Soil Confinement Shields), su basıncını destekleme şiltleri (Water Pressure Balance Shields), yüksek yoğunluktaki çamur şiltleri (High Density Slurry Shields) ve çamur şiltleri (Mud Shields). Eğer malzeme destekleme basıncını sağlayabilecek durumda ve vida konveyörle taşınacak kıvamda değilse çeşitli kıvamlaştırıcı katkı maddeleri eklemek gerekebilir.

Standart durumda, çeşitli katkı maddeleri kayaca ya kazı aynasında iken direkt olarak ya da kesici kafa haznesine alındıktan sonra enjekte edilir fakat verimlilik açısından en iyisi birinci seçenektir. Bu maddeler 3 amaç için malzemeye enjekte edilir:

- 1)Malzemenin akışkanlığını artırarak kesici kafa ve vida konveyörden geçişim kolaylaştırmak
- 2) Kesici kafadaki herhangi bir boşluğu doldurmak ve stabiliteyi sağlamak,

3) Kazılan kaya eğer geçirgense su fişkırmasını önleyen hemen hemen sızdırmaz bir engel oluşturmak.

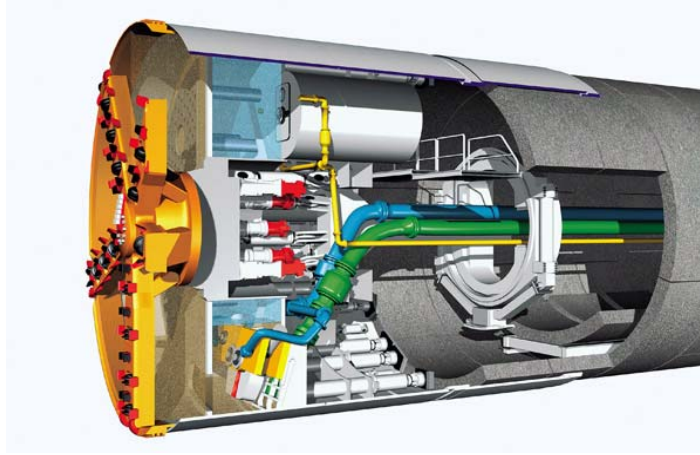
EPB makinesinin kazı anında çalışma aşamaları da şu şekilde gerçekleşmektedir: Şekil 2.5'de elemanları görülen bir EPB makinesinde öncelikle kesici kafanın döndürme motorları ile döndürülmesi ve kesici kafaya itirme silindirleri ile araziye destekleyecek kadar ya da biraz daha fazla kuvvet verilmesiyle akıcı alüvyal zemin kazı haznesine dolmaya başlar. Kazı haznesi tamamen dolduktan sonra istenilen destekleme ortamı yaratılır ve kazılan malzeme vida konveyör yardımıyla normal basınçtaki bölgeye alınmaya başlanır. Burada vida konveyörün en önemli görevi aynada oluşturulan basıncın kademeli olarak düşürülmesi ve normal basınca indirilerek düzenli bir malzeme çıkışının sağlanmasıdır. Vida konveyörün çıkış kapısından bant konveyöre boşalan malzeme kuyruk bölümde bekleyen vagonlara ulaşır ve buradan da kuyu ağzına taşınır.



Şekil 2.5 : Pasa basınçlı TBM kesit görünümü. (url-6)

Eğer kazı sırasında istenilen miktarda malzeme geliri olmuyorsa yani malzeme yerine su geliyor veya zeminin fazlasıyla kuru olması nedeniyle vida konveyörden malzeme geçişi mümkün olmuyorsa, kazı aynasına doğru malzemeyi daha kaygan yapan ve böylece su geçişini engelleyen bir katkı madde enjekte edilmesi gerekebilir. Kazı ilerlerken şildin tam arkasına taşıyıcı raylarla getirilen beton segmentler erektörler yardımıyla yerleştirilirler. Bu arada segmentler ve zemin arasında kalan boşluklar beton- bentonit karışımı ile doldurularak kapatılırlar.

b) Çamur basınçlı TBM'ler (Slurry); Bu tip şiltler, arazinin çok akıcı olduğu veya tünel güzergahı boyunca böyle akıcı formasyonlara da rastlanabileceği durumlar için dizayn edilmiştir. Makine, değişken devirli tam cephe kesme kafasına sahip, astarlara dayanarak itmek suretiyle kuvvet oluşturan tam bir şilt tasarımı sahiptir. Genel olarak kalem keskil kullanılmakla birlikte bazen disk keskillerle birlikte kullanımı da yapılabilmektedir. Diskler kalem keskilere nazaran biraz daha öne çıkmış vaziyette olurlar. Böylece, büyük bloklara rastlandığında disklerin onları parçalaması ve kalem keskilin kırılması önlenmiş olmaktadır. Makine kalem keskili tam cephe şilt tipinden "daima basınç altındaki kafa ile çalışıyor" olma özelliğiyle anılmaktadır. Akıcı çamur, (genellikle, bentonit) ayna ile kesme kafası arasındaki boşluğa pompalanmaktadır. Bu sıvı, aynadan sıyrılarak kazılıp çıkarılan malzeme ile karışmakta ve bu karışım bir çamur pompası ile geri tarafa alınıp yeryüzüne pompalanmaktadır. Yeryüzünde süzülüp temizlenen sıvı, yeniden devreye sokularak kullanılmaktadır. Şekil 2,6'da bir slurry makinesinin çalışma prensibi ve makinedeki dizayn farklılıkları görülebilir ;



Şekil 2.6 : Slurry (çamur) basınçlı TBM. (url-6)

Bu makine Japonya'da ve Batı Avrupa'da göçmeyi önlemek için kazı aynasını basınç altında tutmanın gerekli olduğu şartlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Çalışma esnasında dikkat edilecek başlıca hususlar şöyledir;

- 1) Aynaya gereğinden fazla basınç vermemek (bu durumda yeryüzünde kabarmalar oluşabilir),

- 2) Yeryüzüne ulaşacak şekilde baca oluşmasını önlemek için kazılan malzeme miktarını dikkatle ölçmek. Bu tip makineler derinliği az olan yerlerde kullanılmakta olup, uygulanan basınç değeri 3 bar değerindedir.

2.6 Kent Ulaşımında Metro Sisteminin Önemi

Ulaşım, İstanbul gibi kalabalık ve büyük dünya kentlerinde sürekli planlanması ve gerektiği zaman revize edilmesi gereken en büyük sorunlardan bir tanesidir. Coğrafi olanaksızlıklar yeterli planlanmanın zamanında yapılmamış olması şehirde sürekli devam eden mutlak bir trafiğide beraberinde getirmektedir. İstanbul'da toplu taşımacılıkta en önemli pay sahibi karayollarıdır. Bu da beraberinde birçok problem getirmektedir. Nüfusu 12 milyonu geçmiş olan bir şehir otobüs, minibüs, dolmuş gibi oldukça küçük kapasiteli ve yavaş yollar ile gereken ulaşım sağlanılmaya çalışmaktadır. Son yıllarda yapılan metrobüs ve yeni metro hatları kentteki ulaşım problemini çözmenin tek yoludur. Özellikle metro hatlarının önemi Dünya'nın Paris, Londra, Tokyo, New York gibi metropollerinde oldukça açık bir biçimde görülmektedir. İstanbul'da son yıllarda yapılan metro çalışmalarının kent ulaşımına olan olumlu etkisi inkar edilemez. Kadıköy-Kartal metro hattı Anadolu yakasındaki ana ulaşım yolu olan E-5 karayolunun altına açılmıştır ve faaliyete geçtikten sonra karayolunun taşıma kapasitesinin çok üzerinde bir kapasite ile ulaşımı sağlayacaktır.

İstanbul ulaşım yapısına bakıldığında ve diğer büyük metropoller ile karşılaştırıldığında yeraltı ulaşım sistemlerinin yüzdesel olarak çok gerisinde olduğu görülmektedir. Londra, Tokyo New York gibi büyük kentlerde yeraltı ulaşım sistemleri yarım yüzyıldır aktif olarak kullanılmakta ve günümüzde halende sürekli yeni hatlar açılmakta ve olağan hatlarda geliştirilmektedir. Yeraltı ulaşım sistemlerinin kent ulaşımındaki kullanım oranının en azından yüzde 80 seviyesine çıkması mutlak hedef olmalıdır.



Şekil 2.7 : İstanbul 1. Boğaz Köprüsü.

2.7 Risk Analizi Çeşitleri ve Uygulama Alanları

Artan nüfus ile birlikte daha önemli bir hale gelen, finansal sektörde tanımlanmış ve uygulamalarına başlanmış olan risk kavramını engelleme amacı ile çok çeşitli, farklı sektörlere uyarlanabilen risk yönetimi uygulamalarını beraberinde getirmiştir. Riski uygulama, paylaşırma aşamalarında çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu uygulama aşamaları asıl olarak tecrübe, pratik ve teorik bilgilere dayanmakta ve yapı, tünelcilik işletme gibi farklı sektörlerde uygulanmaktadır. Dünya tünelcilik Birliği (ITA) tünel çalışmalarında ki riskleri tanımlama ve engelleme ile ilgili 1999

yılında çalışmalara başlamış ve 2003 senesinde çalışmalarını tamamlayarak bir kılavuz yayımlamıştır.

Asıl olan tehlikeleri oluşmadan önce tanımlayarak oluşma olasılıklarını en az seviyeye indirmektir. n dizayn aşaması ve fizibilite, proje ve kontrat aşaması ve yapı aşaması olmak üzere bütün safhalar risk analizi tanımları ve uygulamalarına dahil edilmektedir. Bilindiği üzere tünelcilik ve yeraltı inşaat işlerindeki risk faktörleri yapı içine dahil olan proje sahibi dahil bütün işverenleri, çalışanları ve şirketleri kapsamaktadır. Jeolojik yapının bilinmezliği, beklenenden fazla su geliri, kazı yapılan aynada oluşabilecek gkler, yerleşim birimlerinde meydana gelebilecek olan zararlar proje sresinin uzamasına ve dolayısı ile zaman ve para kaybına sebep olabilecek faktörlerden bazılarıdır.

Tünel kazılarında oluşabilecek olan istenmeyen olayları engellemek için yeterli tecrübeye sahip mühendislik bilgisi ana çözüm olsa da sistematik olarak kısım kısım tanımlanmış ve uygulamaya hazır risk analizleri problemleri oluşmadan çözümlenmekte veya yetkili kişilere bir uyarı niteliği taşımaktadır. Sonuç olarak “risk yönetimi” riski tanımlama, analiz etme ve kontrol etme kısımlarının tamamını kapsayan bir tanımlamadır.

2.8 Risk Yönetimi Stratejileri ve ğeleri

Her risk yönetimi uygulmasının içeriğinde bulunması gereken öğeler vardır. Bunlar;

- Yapıya dahil olan şirketler ve kişilere risk yönetimi ile ilgili gerekli sorumlulukların tanımlanması.
- Kazı veya yapı aşamasında yapılacak olan işlerin tanımlanması ve diğer partilerle olan komünikasyonun sağlanarak dahil olan herkesin bilgilendirilmesi.
- Oluşan kazalar veya istenmeyen olayların tanımlanmış olan aralıklarda ayrıntılı belirtilmesi.

Risk uygulamasının yapılması gereken öncelikli bölüm erken dizayn aşamasıdır. Bu safhada yapılan risk analizi sonucunda problem oluşmadan tanımlanmış olacak ve oluştuğunda da yapılacak olan işlemler izlenmesi gereken yollar belli olduğundan daha büyük problemlere yol açmadan kapanmış olacaktır.

Yapılacak olan projenin kalitesi ve herhangi bir can ve mal kaybına mahal vermemesi bu erken dizayn ve fizibilite aşamasında yapılacak olan risk analizine dayanmaktadır. Risk analizi uygulamasında ki ilk basamak “kabul edilebilir risk” kavramını belirlemektir. Uygulamada takip edilmesi gereken sıra şöyledir :

- Tehlikelerin tanımlanması
- Riskleri engellemesi veya azaltılması için takip edilecek yolların tanımlanması

Kullanılacak olan bu yolların ekonomik olarak kabul edilebilir olması ve insan sağlığını öncelikli olarak koruması “ekonomik olarak kabul edilebilir” riski mantıklı ölçüde olabilirdiğince azaltmak veya engellemek olarak tanımlanabilir. Burada asıl amaç sonucu çok ciddi olan olabilecek bir problemin oluşma olasılığını en aza indirmektir. Sonucu çok ağır olan fakat oluşma olasılığı düşük olan bir olay, sonucu düzeltilebilir fakat oluşma olasılığı fazla olan olaydan daha önemlidir. İkinci tip durum “ekonomik olarak kabul edilebilir” tanımına uymaktadır. Referans noktası olarak da kabul edilen ‘kabul edilir değer’ in genellikle kullanım alanları şu şekildedir ;

- Kalitatif (niteliksel) uygulama safhasında risk sınıflandırılmasında
- Kantitatif (niceliksel) risk analizi uygulamasında.

2.9 Kalitatif (Niteliksel) Risk Analizi

Erken dizayn aşamasında yapım aşamasında beklenen bütün riskler ve risk faktörleri tanımlanmalıdır. Kalitatif uygulamanın amacı önceden riskleri tanımlayarak dikkat edilmesini sağlamak, oluşma olasılıklarına göre hasarları sınıflandırarak dizayn aşamasında gerekli olan değişikliklerin yapılmasını sağlamaktır. Daha sonra ortaya çıkan sonuca göre spesifik başlıklar oluşturulup, sınıflandırma yapıp gerekli önlemler alınacaktır. Kalitatif analizin zamanlaması büyük önem taşımaktadır. Mutlaka projede gerekli olan değişikliklerin yapılabilmesine imkan tanıyacak bir aralıkta olmalıdır. Daha sonra gerekli görülürse ilk safhada yapılmış olan analiz yine tecrübeli ve uzman ekip tarafından geliştirilerek yeni sınıflandırmalar ve başlıklar yapılabilir.

Kalitatif risk analizinin içermesi gereken öğeler şunlardır;

- Tehlikelerin tanımlanması

- Tanımlanan tehlikelerin sınıflandırılması
- Riskin oluşma kriterlerinin sınıflandırılması

Bahsedilen tehlikeleri tanımlama ve sınıflandırma işlemleri en sağlıklı olarak tecrübeli bir ekibin risk analiz uzmanları ile fikir paylaşımı yoluyla oluşturulur. Burada projeyi tehdit eden her türlü etken mutlaka değerlendirilmeli, sonucu önemli olmayan fakat oluşma olasılığı yüksek olan olaylar için bile sınıflandırmalar ve plan yapılmalıdır. Bu tanımlama ve sınıflandırma işlemleri yapılırken genel olarak dikkate alınan koşullar vardır. Bunlar;

- Sahanın jeolojik özellikleri,
- İşçilik kalitesi,
- Kullanılan teknolojinin güncelliği,
- Beklenenden fazla miktarda su geliri,
- İç ve dış etkenlerin arasında ki kopukluklar.

Yapılan bu sınıflandırmalar tehlikenin yaratacağı etki esas alınarak yapılmaktadır. Bu sınıflandırma yapılırken 2 farklı yol tercih edilebilir;

- Dünya genelinde yapılmış olan projelere bakılarak,
- Dünya çapında konuya hakim uzmanların ve proje dahilindeki tecrübeli personelin tartışması sonucunda,

Proje dahilinde meydana gelebilecek tehlikeler üzerinde spesifik olarak çalışılarak.

Bu tip analiz yapılırken en önemli etken mutlaka oluşabilecek bütün tehlike ve zararların oluşturulacak olan yapının içerisinde olmasıdır. Ana tehlike aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir :

- Genel tehlikeler,
- Kontrat uyumsuzlukları,
- Otorite ve yüklenici arasındaki uyumsuzluklar,
- İşçilik kalitesi,
- Spesifik Tehlikeler,
- Beklenmeyen, hesaba katılmamış olaylar,

- Dizayn aşamasında oluşan eksiklikler,
- Seçilen ekipman uyumsuzluğu ve doğabilecek arızalar,
- Gerekli kalitenin altında kalan üretim, yavaş ve toleransı olmayan imalat

Spesifik risklerin mutlaka her aşamada ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekli ve gereken analizin sürekli yapılarak güncel tutulması gerekmektedir. Belirli konularla ilgili olduğunda dolayı mutlaka zamanında ve yerinde yapılmalıdır. Genel riskler ise proje geneli düşünülerek uygulanan risk tipleridir.

2.10 Tehlike ve Riskin Tanımlanması

Tehlike çevreye, insana, mala zarar veren sonucunda istenmeyen ekonomik ve takvimsel problemlere yol açan durum ya da olaydır.

Risk tanımlanan tehlikenin oluşma olasılığıdır. Sonuç olarak risk aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$\text{Risk} = \text{Oluşma Olasılığı} \times \text{Oluşan Tehlikenin Yaratacağı Sonuç} \quad (2.1)$$

Bu tez çalışması kapsamında bahsedilen oluşma olasılığı ve ortaya çıkacak olan sonuçların sınıflandırılması Dünya Tünelcilik Birliği'nin kılavuzu dahilinde yapılacaktır. Riski oluşturan öğelerden “oluşma olasılığı” kavramını tanımlamamız ve sınıflandırması Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Dünya Tünelcilik Birliği Kılavuzu’na göre tehlikenin oluşma olasılığı (Reilly, 2000)

Olasılık Sınıfı		Olasılık Aralığı		
No	Tanım	Alt Değer	Orta Değer	Eşik Değer
5	Çok Sık	0.3	1	1.0
4	Sık	0.03	0.1	0.3
3	Az Sık	0.003	0.01	0.03
2	Nadir	0.0003	0.001	0.003
1	Çok Nadir	0	0.0001	0.0003

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere olasılık sınıfını 5 bölüme ayırmak oldukça pratik ve sağlıklı bir yoldur. Bu şekilde bir sınıflandırma kullanılarak sözel tanımlamalar yerine bütün proje boyunca oluşma sıklıkları göz önüne alınır.

Oluşma olasılığı Çizelge 2.3’de incelendikten tehlikelerin oluşma sayılarına ve sonuçlarına göre yol açacakları zararların sınıflandırmasına bakacak olursak ;

Çizelge 2.3: Sonuçların ortaya çıkma maliyetleri ve sıklığı (Reilly, 2000)

No	Sonuç	Sonuçların Önem Derecesi				
		Felaket	Çok ciddi	Ciddi	Kabul edilir	Önemsiz
		5	4	3	2	1
1	İşçiye gelen zarar	$F > 10$	$1 < F \leq 10$	1 F		
			$SI > 10$	$1 < SI \leq 10$	1 SI	
					$1 < MI \leq 10$	1 MI
2	Yükleniciye Gelen Zarar	$F > 1$	1 F			
		$SI > 10$	$1 < SI \leq 10$	1 SI		
				$1 < MI \leq 10$	1 MI	
3	Çevresel Zarar	Kalıcı ve Çok Ciddi Hasar	Kalıcı ve Ciddi Hasar	Uzun Süreli Etkiler	Geçici Ciddi Hasar	Geçici Önemsiz Hasar

Çizelge 2.3’de kullanılmış olan F Ölümcül Kaza (Fatal Injury), SI Ciddi kaza (Serious injury), MI orta boyutlu kaza (Medium injury) olarak tanımlanabilir.

Çalışana gelen zarar ; çalışan işçiye gelebilecek olan zarar projenin en başında gerçekçi bir şekilde belirtilmeli, oluşabilecek bir kaza anında acil durum ekibi ve işçiye yapılacak olan işlemler sırası ile açıklanmalıdır. Kaza ve sonuçlar yapılacak olan risk analizinin mutlaka bir parçası olmalı ve kalibrasyonu dikkatle yapılmalıdır.

Yükleniciye gelecek olan zarar çalışan ekibe gelecek olan ile kıyaslanırsa risk tablosunda daha düşük değer alacaktır. Yüklenicinin proje ile ilgili herhangi bir çıkarı olmadığı için sadece yapılan iş ve zamanı ile ilgili risk analizinin içinde bulundurulmalı ana kontrat sahibine göre mutlaka daha düşük bir risk seviyesinde tanımlanmalıdır.

Yüklenici malına gelen zarar risk tablosunda proje sahibine göre daha düşük sıralarda yer almalıdır. Yüklenici malına gelecek olan zarar kontrat sahibi tarafından mutlaka karşılandığından dolayı yüklenici maddi zararını çok büyük ölçüde telafi eder. Sonuç olarak yüklenici malına gelecek olan zarar proje sahibi daha çok ilgilendirir ve sonuçları daha önceden mutlaka bilinmelidir.

Çevresel zararlar projenin çevre yönetimi kısmında ayrıca ele alınan kısma girmektedir. Mal ve can kaybına sebep olabilecek olan riskler ile birlikte ele almak risk yönetimini çok zorlaştıracığından dolayı çevresel zararlar farklı bir kılavuz ile çalışılmalıdır.

2.11 Kantitatif (Niceliksel, Sayısal) Risk Analizi

Kalitatif analizin yetersiz kaldığı yerlerde sayısallaştırmak oldukça verimli bir analiz yöntemidir. Bir genelleme yapılırsa; her risk için bir sayı belirlenir, riskin oluşma sıklığına F, çıkan sonuca da C, denirse basit olarak bu riskin oluşturacağı tehlike F ile C nin çarpımı olacaktır. Genel olarak bütün projeyi ele alırsak her riskin sonucunun frekans ile toplanması projenin genel risk dağılımını verecektir. Bu tip bir yaklaşım tek tip risk için oldukça doğru sonuç vermektedir. Dezavantajı ise herhangi bir belirsizlik içermemesidir. Asıl olarak bu belirsizlikler önemli olup bunların tanımlanması ve analizde mutlaka yerine konması gerekmektedir. Genel risk analizlerinde “minimum” “en yakın” ve “maksimum” olmak üzere 3 farklı belirsizlik kullanılır ve sonuçlar üzerinde “üçgen” dağılımlar elde edilir. (Sönmez, 2005)

Üçgen dağılım fonksiyonu hesaplamalara en yakın olan değer kullanılacağı fakat minimum ve maksimum değerlerinde sonuç üzerinde etkilerinin olduğu dağılımlarda kullanılır. Tez kapsamında üçgen dağılım fonksiyonu spesifik enerji değişkeninin dağılım fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bunun sebebi ise spesifik enerji değerinin hesaplamalarda ‘optimum’ değer olarak kullanılması fakat doğru bir analiz ve ayrıntılı sonuç elde etmek için ağırlığın en yakın değerde olduğu fakat minimum ve maksimum değerlerinde kullanıldığı üçgen dağılım kullanılmıştır.

Formülizasyona dayalı tam risk analizi için “monte carlo” simülasyonu kullanılır ve daha önce bahsedilen eşitlik (2.1) her bakımdan geliştirilerek uygun bir analiz yapılır.

Bu tarzda karmaşık bir analizin avantajları şunlardır;

- Tek bir sonuç yerine minimum ve maksimum değerler tanımlanarak her değişken için bağımsız sonuçlar elde edilir,
- Yapılmış olan analizin uygulamasında, her ne kadar uygulayan kişinin tecrübesi ve mühendislik yetenekleri öncelikli olsada, uygulama aşamasında tek bir değer ile yapılacak hatalar engellenerek en kapsamlı kararın verilmesi,
- Alınacak olan sonuçların tek bir rakam olması yerine “yakın” “en yakın” gibi farklı sınıflara ayrılarak hassasiyetin artması. (Hulett,2003)

2.12 Monte Carlo Simulasyon (MCS) Yöntemi

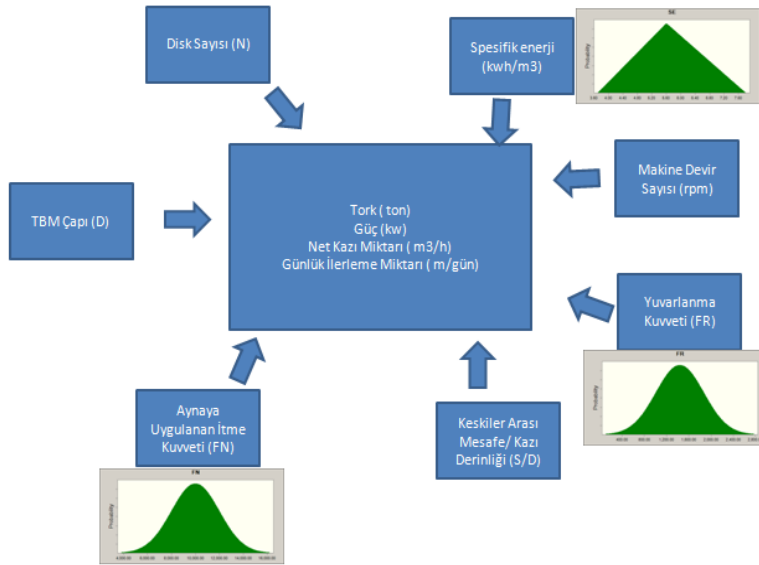
Simulasyon , kuramsal ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait değişimlerin bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir. Günümüzde, benzetim çok çeşitli alanlarda kullanılmakta olup belli başlı kullanım alanları aşağıda verildiği gibi özetlenebilir. (url-5)

- Belirli kararların gidişatlarının ve sonuçlarının öngörülmesinde,
- Gözlemlenen sonuçların sebeplerinin belirlemesinde,
- Yatırım yapmadan önce problemli alanlarının belirlemesinde,
- Herhangi bir sistemde değişikliklerin etkilerinin ortaya çıkarılmasında,
- Bütün sistem değişkenlerinin bulunmasının sağlanmasında,
- Fikirlerin değerlendirilmesinde ve verimsizliklerin belirlenmesinde,
- Yeni fikirlerin geliştirilmesi ve yeni düşüncelerin teşvik edilmesinde,
- Planların bütünlüğünün ve yapılabilirliğinin denenmesinde.

MCS yöntemi, parametrelerin olasılık dağılımları ile modellenebileceği varsayımına dayalı, olasılıksal (stokastik) bir benzetim tekniğidir. Monte Carlo yöntemi tarihsel değerleri temel alarak parametrenin dağılımına uygun bir tesadüfî sayı üreticisi yardımıyla beklenen değişim senaryoların üretildiği bir simulasyon tekniğidir. Bu yöntem, karmaşık analitik ilişkiler içeren projelerin bilgisayar yardımıyla kolayca analiz edilebilmesini sağlar. Başka yöntemler olmakla birlikte, MCS bugün risk analizinde en yaygın kullanılan yöntemdir (Bolak, 2004).

Bu tez çalışmasında Kadıköy-Kartal Metro hattından alınan 4 farklı kayaç tipi için Monte Carlo simulasyonu kullanılarak TBM günlük ilerleme ve net kazı hızları farklı

formasyonlar için tahmin edilmiştir. Kantitatif analize ve simulasyona başlamadan önce değişken ve sabit olarak alınan değerler ayrı ayrı tanımlanmış ve bir blok diyagram oluşturulmuştur. Blok diyagramı vasıtası ile değişkenler, sabitler, bu sabit ve değişkenlerin nasıl dağılım özellikleri gösterdiği gibi değerler görsel ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Daha sonra bu blok diyagramında kullanılan değerlerin hangi tarz dağılımlara uygun olduğu belirlenmiş ve kullanılacak olan bu değerler o dağılımlara uygun girdi verisi (input) olarak simulasyonu yapacak olan programa tanıtılmış. Girdi verileri tanımlandıktan sonra sonuç verileri (output) deterministik yöntemler ile hesaplanmış ve simulasyonu yapacak olan programda tanımlanır. Sonuç olarak elde edilen veriler belli bir güven aralığında tanımlanmış dağılımlara uygun olarak elde edilmiş ve grafiklerden TBM günlük ilerleme hızları ve net kazı hızlarının “optimist” “pesimist” veya “ortalama” veriler olarak tahmini gerçekleşmiştir.



Şekil 2.8 : Kazı performansı için kullanılmış blok diyagramı (Ang, A.H.-S., Tang, W.H., 1984)

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi çap, kesikler arası mesafe, disk sayısı ve makine devir sayısı gibi sabit olan değerler herhangi bir dağılıma uğramadan, değişken olan değerler ise uygun oldukları dağılım fonksiyonuna göre girdi parametreleri olarak tanımlanmışlardır. Aynaya itme kuvveti olan FN ve yuvarlanma kuvveti FR bir

normal dağılım fonksiyonu olarak alınmış, makinenin 1 m³ kazı yapmak için harcadığı enerji ise üçgen dağılım fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

Bu dağılımlar belirlenirken makinenin tek bir değer üzerinden kazı yapmayacağı anlaşılmıştır. Deterministik yöntem ile hesap yapılırken yuvarlanma kuvveti için ortalama olan tek bir değer hesaba katılırken, risk analizi uygulamalarında bu girdiler tanımlanırken dağılım fonksiyonları olarak tanımlanırlar ve deterministik yollar ile edilen sonuçlar ortalama olarak benzer sonuçlar verselerde herhangi bir güven aralığında sonuç vermekten yoksundurlar. FR ve FN kuvvetlerinin normal dağılım fonksiyonu olarak verilmesinin sebebi İTÜ kazı mekaniği laboratuvarında yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen bu değerlerin bir “ortalama” “standart sapma” değerleri hesap içine katılmasıdır. Bu değerler normal dağılım fonksiyonun tanımıdır. Bir değer aralığı ortalaması ve standart sapması var ise normal dağılım fonksiyonuna uygun olarak dağılım gösterir. Spesifik enerjinin üçgen dağılım fonksiyonu olarak verilmesinin sebebide yapılan deneyler sonucunda spesifik enerji değerinin “minimum”, “en yakın” ve “maksimum” olarak bulunmuş olmasıdır. Bu karakterdeki dağılım fonksiyonu ise “üçgen dağılım” fonksiyonudur. Monte Carlo Simülasyon yönteminde girdi parametresi olarak spesifik enerji üçgen dağılıma uygun olarak verilmiş, ana hesaplama dağılımın “en yakın” olan noktasından yani üçgenin tepe noktasından alınmış olup minimum ve maksimum değerlerde hesaplamanın içine katılmıştır.

2.13 Crystall Ball Simülasyon Programı

Tez kapsamında anlatılan Monte Carlo Simülasyonu’nu yapmak, veritabanını oluşturmak ve değerleri istenilen miktarda simüle etmek için “Crystal Ball” programı kullanılmıştır. Yazılımın yaptığı görev olasılığa dayalı hesapta çok fazla zaman tutan matematiksel hesapları oldukça hızlı sürede yaparak kullanıcıyı direk sonuca yönlendirmektir. Yazılıma tork, güç, net kazı hızı gibi değişken veriler dağılım fonksiyonları olarak girilip ara değerlerin kaç defa simüle edileceği verilerek sonuçlar elde edilmektedir. Monte Carlo Simülasyonu için oldukça kapsamlı, kullanıcı ara yüzü kolay ve kapsamlı bir yazılımdır (url-1).

3. KADIKÖY-KARTAL METRO PROJESİ

Bu bölümdeki bilgiler (Yüksel vd, 2006) referansından alınarak özetlenmiştir.

3.1 Projenin Tanıtımı

Kadıköy – Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi toplam 21,6 km uzunluğunda olup, 16 istasyon bulunmaktadır. Sistem Kadıköy’de Rıhtım caddesinin bulunduğu meydana başlamaktadır. Kadıköy–Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, İbrahimağa İstasyonu’nda Marmaray Tüpeçit Projesi ile çakışmaktadır. Güzergah, İbrahimağa Senti’nin altından geçtikten sonra Koşuyolu Köprüsü’nden itibaren projenin sonuna kadar E-5 Karayolu’nun altında veya yanında ilerlemektedir. Metro sisteminin üçüncü istasyonu Hasanpaşa Köprülü Kavşağı’nın ilerisindeki Ünalın İstasyonu, dördüncü istasyonu ise Göztepe Köprüsü sol tarafındaki yaklaşım ayağı altında yer almaktadır. (Yüksel vd, 2006)



Şekil 3.1 : Kadıköy-Kartal toplu taşıma hattı güzergahı (Yüksel vd, 2006).

Güzergahın bundan sonraki kısımları genel olarak E-5 Karayolu’nu takip etmesine rağmen istasyon aç-kapa inşaat çalışmalarının trafiği aksatmaması için istasyonların karayolunun sağına yada sol tarafına yerleştirilmesini gerektirmiştir.

Diğer taraftan istasyon yapılarında aynı gerekçe ile aç-kapa inşaat yöntemi yerine

“Derin Tünel” olarak inşaa edilmesi planlanmıştır. İstasyon derinliğindeki kısıtlamalar ve işletme şartları bakımından kabul edilebilir maksimum hat eğimi sınırlaması dolayısıyla güzergah hemen hemen yüzey topoğrafyasını takip etmektedir. Ancak tünel üzerindeki örtü tabakasının elverişsiz jeoteknik koşulları, güzergahı kesen derelerdeki derin aluvyon dolgusu gibi özel durumlar dolayısıyla güzergah hattının bu bölgelerde derin kotlara indirilmesi gerekmiştir. Derin tünel olarak planlanmış olan istasyonlar 200 m uzunluğunda orta peronlu, iki tüp ve bunların ortasındaki yaya tüneli olarak öngörülmüştür. Peron tünelleri ve yaya tüneli yaklaşık 20 m’de bir yeralan bağlantı tünelleri ile bağlanmaktadır. Hat tünelleri ise tek hat çift tüp olarak planlanmıştır. Kadıköy, Ünalın, Kozyatağı, Altayçesme, Depo Sahası Kartal İstasyon’larında makas tünelleri bulunmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılmış olan 4 farklı formasyonu jeolojik özellikleri aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

3.2 Kadıköy-Kartal Hattı Genel Jeolojisi

Çalışma alanı, Marmara bölgesinde, Kocaeli Yarımadası’nın batı ucunda, İstanbul’un Asya yakasında yer alır. Bölge Orta-Geç Miyosen yaşlı bir peneplen halinde olan Kocaeli Yarımadası’nın morfolojik karakterini taşımaktadır. Asya yakasındaki dayanıklı litolojiler genellikle tepeleri oluştururlar. Buna karşılık kolay aşınan birimler ile alüvyonlar alçak alanları ve düzlükleri oluşturmaktadır. İncelenen güzergah boyunca topoğrafik eğim değerleri genellikle 15° yi aşmamaktadır.

3.3 Kadıköy-Kartal Güzergahının Genel Jeolojisi

İstanbul’un Asya yakasının stratigrafik istifi çoğunlukla “İstanbul Grubu” adı ile de bilinen İstanbul Paleozoyik istifi ile onun üzerinde yer yer görülen Triyas ve Tersiyer çökellerden oluşmaktadır. Dere içlerinde yeralan alüvyonlar ile yamaç molozları ve dolgular ise en genç jeolojik harita birimleridir. “İstanbul Grubu” Ordovisiyen ile Karbonifer arası dönemde gelişmiş çökelleri kapsar. Tabanı görülmeyen, üstte Triyas ve daha genç birimler tarafından uyumsuzlukla örtülen grubun alt kesimleri daha çok İstanbul Boğazı’nın doğu yakasında, daha genç kesimleri ise batıya doğru yüzerler. Boğazın batı yakasında ise, karbonifer birimleri egemendir.

İstanbul Grubu kalınlığı birkaç bin metreyi bulan kalın bir çökel istifi halindedir. Bu kalın çökel istifi içerisinde formasyon mertebesinde birçok litostratigrafik birim

ayrılmış ve adlanmıştır. Grubu oluşturan bu formasyonlar aşağıda sırası ile anlatılmıştır.

3.3.1 Kurtköy formasyonu

İstanbul Grubu'nun görülür en alt birimi olan bu birim formasyon tarafından Kurtköy Tabakaları veya Kurtköy Formasyonu olarak adlanmıştır. Birim mor renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşur. Formasyonun egemen litolojisi mor renkli, çoğunlukla kaotik iç yapılı, tabakalanması belirsiz çakıltaşlarıdır. Çakıltaşının taneleri genellikle kuvars, volkanik ve düşük dereceli metamorfitlerden türemiştir. Tane boyu maksimum 10'cm dir. İçerisinde çamur intraklastları bulunur. Alüvyon yelpazesi ortamında gelişmiş olan bu çakıltaşları mor renkli, çapraz tabakalı kumtaşı-çamurtaşı ardalanması ve çamurtaşları ile yanal ve düşey geçişlidir. Çamurtaşları daha koyu mor renklidir ve paralel, dalgalı paralel ve küçük ölçekli çapraz laminasyon gibi yaygın sedimanter yapılar içerirler. Menderesli akarsu ortamında çökelmiş olan bu istif yaklaşık 150 m kalınlıktadır. Petrografik olarak %75 kuvars, %20 ayrılmış ortoaz türü feldispat, %2-3 mika, %1-2 opak minerallerinden oluşmaktadır. Kurtköy Formasyonu ile üzerindeki Aydos Formasyonu arasında bazı bölgelerde mercekli geometrili, baskın olarak kuvars çakıllarından yapılmış kanal çakıltaşları mevcuttur. Tünellerin %29.7'lik kısmı Kurtköy (arkoz) formasyonundan geçecektir.

3.3.2 Dolayoba formasyonu

Gözdağ Formasyonu'nun kuvars arenit mercekli şeylleri ile girik, koyu mavimavimsi koyu gri renklerde ve çeşitli karbonat fasiyeslerinden oluşan bu birim Kartal-Pendik ve Tuzla çevresi ile Beykoz ve İstinye dolaylarında yaygın olarak mostra verir. Birim, Gözdağ Formasyonu ile geçiş bölgelerinde genellikle resifal karbonatlar ile başlar. Resifal fasiyes üzerinde bazı bölgelerde kalınlığı 500 m'nin üzerinde olan ince şeyl aratabakalı koyu mavimsi gri-pembemsi gri renklerde, çapraz lamine, dalgalı, mercekli ve flaser tabakalı kireçtaşları gelir. Resif önü platformunda çökelmiş olan bu birimin daha üstünde ince paralel lamine, koyu mavimsi gri mikrit ve ince pembemsi renkli lamine çamurtaşı ardalanmasından oluşan, dalga taban altı ve düşük enerjili platform içi derin çukurluk koşullarını yansıtan bir diğer fasiyes yer alır. Sedefadaşı Formasyonu olarak adlandırılmış bu birim mercekler şeklindedir. Bu birim Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi

güzergahının son kesimlerinde yaklaşık km. 17+860 ile 21+658 arasında gözlenmektedir. Cevizli istasyonu'ndan sonra Belgrat Formasyonu'nun altından başlayan Dolayoba Formasyonu Hastane İstasyonu'ndan sonra mostra vermeye başlar ve proje sonuna kadar bu birim devam eder. Dolayoba Formasyonu genel olarak çok sert kaya niteliğinde olmakla birlikte karstik boşluklar nedeniyle mühendislik açısından sorunlu kesimleri de bulunmaktadır. Tünellerin %17.5 i bu formasyondan geçecektir.

3.3.3 Kartal formasyonu

Bu birim sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı, bol brakyopod, mercan ve bryozoa fosilli, seyrek silttaşı ile kumtaşı aratabakalı şeyllerden ve kireçtaşı seviyelerinden oluşmuştur. Kartal, Pendik, Tuzla, Yakacık, Beykoz-Çengelköy arası ve İstinye kuzeyinde geniş alanlarda mostra verir. Kartal çevresinde yaklaşık 750 m kalınlığa ulaşır. Şeyller dilinimli, genelde silt boyutlu kuvars, feldispat ve mikalıdır. İnce orta kum boyutlu kuvars, feldispat ve serizit-muskovit türü mikalar başlıca taneler olup matriks ile sıkı tutturulmuştur.

Formasyon dalga tabanı altındaki düşük enerjili ve açık-derin denizel koşullarında çökelmiştir. Çesitli araştırmalarda içerisinde derlenen fosillere göre Kartal Formasyonu'nun Alt-Orta Devoniyen yaşında olduğu saptanmıştır. Formasyon güzergah boyunca Acıbadem İstasyonu'ndan sonra alüvyonların altından başlar ve Bostancı istasyonu'ndan sonra Çamaşırcı Deresi vadisine kadar devam eder. Kartal Formasyonu tektonik etkiler sonucu çok kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanmıştır. Bu tektonik deformasyonun yarattığı süreksizliklerin de etkisi ile birim yüzeyde kalınlığı 1-2 m arasında olan bir zon boyunca ayrılmış olarak görülür. Birimin makaslı, kırık ve ezik kesimleri kolay kazılır niteliktedir. Tünellerin %29.9 luk kısmı bu formasyondan geçecektir.

3.3.4 Trakya formasyonu

Yeşilimsi gri renkli, ayrılmış zonlarında kahverengi, yerel merceksel çakıltası ve türbiditik kumtaşı ara tabakalı bu formasyon tarafından adlanmıştır.

Genelde ince tabakalı ve paralel laminalı şeyllerden oluşmuştur. Bunlar içinde değişik stratigrafik düzeylerde sarımsı kahverengi kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve merceksel çakıltası ara tabakaları bulunmaktadır. Kumtaşlarının kalınlıkları 10 cm ile

2,5 m arasında değişmektedir. İstif içinde üste doğru kumtaşı aratabakalarının hem kalınlıkları ve hemde sayıları artar. Ayrıca, üst kesimde değişik düzeylerde merceksel çakıltaşları mevcuttur. Tünellerin %13.6 lık kısmı Trakya Formasyonundan geçecektir.

Bölüm 4’te hesap yapılmış formasyonların fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir. (Bilgin vd, 2006).

4. İTÜ MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜNDE YAPILAN DOĞRUSAL KESME DENEYLERİ VE PERFORMANS TAHMİNLERİ

Tez çalışmasında İTÜ Kazı Mekaniği laboratuvarında Kadıköy-Kartal hattı boyunca 4 farklı jeolojiden alınmış numuneler üzerinde yapılan doğrusal kesme deneyleri sonuçları kullanılmıştır. Bu testler sonucunda her jeolojik birim için elde edilen kayaç özellikleri, kesme kuvvetleri, spesifik enerji gibi hesaplamalarda kullanılmış olan veriler bu bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.1’de Kadıköy-Kartal Metro’sunda yapılan kazının 4 ana kayacının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri özetlenmiştir. Kazıyı yapan makine ana hat olarak bu 4 jeolojiden geçmiştir. Bu formasyonlar için İTÜ kazı mekaniği laboratuvarında yapılmış olan kesme deneyleri sonuçları ve grafikleri aşağıda ayrıntılı şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri (Bilgin vd, 2006)

	Kurtköy Formasyonu (Arkoz)	Kartal Formasyonu (KireçTaşı)	Dolayoba Formasyonu (KireçTaşı)	Trakya Formasyonu(Silttaşı)
Fiziksel ve Mekanik Özellikler				
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)	34,1	65,6	11,9	82,6
Çekme Dayanımı (Mpa)	4,2	7,4	7,5	5,3
Poission Oranı	0,26	0,35	0,36	
Statik Elastisite Modülü (Gpa)	6,4	12,6	15,5	
Dinamik Elastisite Modülü (Gpa)	70,1	77,3	100	88,3
P Dalga Hızı(m/s)	6068	7385	7623	8533
S Dalga Hızı (m/s)	3165	3265	3700	3423
Dinamik Poission Oranı	0,3	0,38	0,34	0,4
Cerchar Aşındırıcılık İndeksi	2	1,5	1,5	1
Shmidt Çekici	39	40	57	

4.1 Doğrusal Kesme Deneylerinin Sonuçları

Bu bölümde İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü tarafından Kartal-Kadıköy Metro hattında kazılan 4 ana kayacın doğrusal kesme deney sonuçları verilmektedir. Verilen çizelgelerdeki notasyon şöyledir ;

- s = Keskiler arası mesafe
- d = Kesme Derinliği
- FR = Yuvarlanma Kuvveti
- FN= Aynaya Uygulanan toplam baskı kuvveti
- SE = Spesifik Enerji

4.1.1 Kurtköy Formasyonu (Arkoz) Kesme Deneyi Sonuçları

Kurtköy (Arkoz) formasyonu için 70 mm ve 80 mm kesikler arası mesafelerde yapılan doğrusal kesme deneylerinden edilmiş olan sonuçlar çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Kurtköy (Arkoz) formasyonu için kesme deney sonuçları (Bilgin vd, 2006)

s(mm)	d(mm)	S/D	FR(kgf)	FR'(kgf)	FN(kgf)	FN'(kgf)	SE(kwh/m³)
70	3	23,3	396	688	4.609	7.056	3
			391	589	4.830	6.932	9,1
			272	661	3.573	6.514	4,5
			278	688	3.017	6.959	2,9
			322	548	4.083	6.152	25,3
ORTALAMA			332	635	4.022	6.723	8,96
70	5	14	879	1.862	6.249	14.163	4,2
			761	1.508	6.080	10.819	3,8
			983	1.726	8.382	14.085	5,9
			606	1.125	6.142	10.289	5,4
			529	881	4.192	6.776	6
ORTALAMA			788	1.449	6.543	11.483	5
70	7	10	1.210	2.478	7.734	12.976	5,8
			1.496	2.591	9.779	16.013	10,6
			1.487	2.563	9.258	14.884	7,7
			1.127	1.833	7.441	10.755	8,4
ORTALAMA			1.330	2.366	8.553	13.657	8,125
80	5	16	962	1.648	7.441	12.426	7,3
			740	1.335	6.163	10.445	5
			1.022	1.346	8.114	11.731	6,7
			898	1.826	8.911	15.355	5,2
			782	1.350	6.325	11.083	3,7
ORTALAMA			881	1.501	7.391	12.208	5,58
80	7	11,4	1.212	2.546	8.591	17.461	5,9
			1.294	2.859	8.351	19.415	5,9
			1.683	3.696	10.604	21.732	6,3
			1.385	2.703	8.274	15.269	7,8
			1.591	2.989	10.277	22.600	4,5
			972	2.400	6.086	13.996	4
			1.825	3.258	10.863	17.255	4,8
ORTALAMA			1.423	2.922	9.007	18.247	5,6

4.1.2 Dolayoba Formasyonu (Kireçtaşı) Kesme Deneyi Sonuçları

Dolayoba (kireçtaşı) formasyonu için 70 mm ve 80 mm keskiler arası mesafelerde yapılan doğrusal kesme deneylerinden elde edilmiş olan sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3: Dolayoba (Kireçtaşı) formasyonu için elde edilmiş deney sonuçları (Bilgin vd, 2006).

s(mm)	d(mm)	S/D	FR(kgf)	FR'(kgf)	FN(kgf)	FN'(kgf)	SE(kwh/m³)
70	3	23,3	700	1.625	10.331	14.885	8,5
			1.088	1.893	11.584	18.301	6,9
			763	1.503	11.045	16.714	6,5
			728	1.344	11.170	14.597	8,6
			709	1.924	6.900	15.551	5,1
ORTALAMA			798	1.658	10.206	16.010	7,1
70	5	14	1.513	2.940	15.669	21.736	8,5
			1.190	2.484	11.949	18.754	9,1
			1.226	1.904	11.134	15.096	5,9
			1.525	2.457	12.179	19.905	9,5
			1.569	2.896	15.454	24.921	12,9
			1.667	2.391	16.113	21.082	13,3
ORTALAMA			1.448	2.512	13.750	20.249	9,9
80	3	26,7	943	1.764	13.869	20.453	8,8
			491	908	7.567	11.727	7,8
			638	1.573	10.349	16.546	6,1
			990	1.664	11.111	16.601	4,7
			993	1.795	13.252	21.962	16,5
			838	1.544	12.799	19.302	7,1
			718	1.691	8.305	14.113	5,6
ORTALAMA			802	1.563	11.036	17.243	8,1
80	5	16	1.601	2.609	15.332	23.428	12,3
			1.423	2.259	11.544	19.770	8,4
			1.161	2.055	11.998	18.867	5,4
			1.495	2.646	13.407	20.997	11,9
			1.417	2.898	14.493	17.071	7,2
ORTALAMA			1.419	2.493	13.355	20.027	9,0

4.1.3 Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu Kesme Deneyi Sonuçları

Kartal (kireçtaşı) formasyonu için 70 mm ve 80 mm keskiler arası mesafelerde yapılan doğrusal kesme deneylerinden elde edilmiş olan sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4: Kartal(Kireçtaşı) Formasyonu kesme deneyi sonuçları (Bilgin vd, 2006).

s (mm)	d (mm)	S/D	FR (kgf)	FR' (kgf)	FN (kgf)	FN' (kgf)	SE (kwh/m³)
70	3	23,3	561	1.672	7.586	13.139	7,2
			711	1.440	10.773	15.002	14,3
			836	1.801	10.865	19.908	5,7
			456	1.027	5.892	10.179	6,4
			690	1.503	7.992	13.422	4,9
			707	1.610	8.581	11.636	4,8
ORTALAMA			660	1.509	8.615	13.881	7,2
70	5	14	1.060	2.356	8.937	16.146	6,3
			1.213	2.197	11.039	15.111	5,9
			935	1.801	11.436	24.353	6,4
			1.074	2.227	9.557	18.450	6,1
ORTALAMA			1.071	2.145	10.242	18.515	6,2
70	7	10	901	2.076	7.526	15.275	4,2
			1.098	2.281	8.659	14.460	4,4
			1.129	2.968	10.478	20.333	4,7
			1.327	2.410	9.601	16.478	6,1
ORTALAMA			1.114	2.434	9.066	16.637	4,9
80	5	16	439	1.171	4.895	12.574	3,8
			722	1.627	7.536	13.017	6,9
			736	1.914	9.697	18.883	4,8
			871	1.824	8.269	16.285	7
			966	2.068	8.677	14.225	5,3
ORTALAMA			747	1.721	7.815	14.997	5,6
80	7	11,4	727	1.741	6.125	12.085	3,1
			869	1.836	6.266	12.159	4,6
			896	2.238	6.621	14.131	3,2
			605	1.253	5.890	10.540	3,5
ORTALAMA			774	1.767	6.226	12.229	3,6

4.1.4 Trakya Formasyonu (Silttaşı) Kesme Deneyi Sonuçları

Trakya (silttaşı) formasyonu için 70 mm ve 80 mm keskiler arası mesafelerde yapılan doğrusal kesme deneylerinden elde edilmiş olan sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5: Trakya Formasyonu (Silttaşı) kesme deneyi sonuçları (Bilgin vd, 2006).

s (mm)	d (mm)	S/D	FR (kgf)	FR' (kgf)	FN (kgf)	FN' (kgf)	SE (kwh/m3)
80	5	16	851	2.439	9.348	18.035	3,8
			536	1.366	4.387	8.301	3,3
			676	1.684	6.679	13.087	6,5
			1.415	2.578	10.979	23.012	11
			1.439	2.578	11.066	23.012	10,5
ORTALAMA			983	2.129	8.492	17.089	7,0
80	7	11,4	1.511	3.034	9.901	21.981	5,5
			1.645	2.578	12.301	19.824	7,8
			1.323	3.046	8.729	14.606	4,85
ORTALAMA			1.493	2.673	10.098	19.302	7

4.2 Performans Tahmin Yöntemi ve Tahmin Sonuçları

Kazı mekaniği laboratuvarında elde edilen kesme deneyleri sonuçlarında pasa basınçlı tünel açma makinesinin günlük ve net kazı hızları deterministik yollar ile tahmin edilmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken belli makine sabitleri, jeolojik özellikler gibi parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler şu şekilde özetlenebilir :

- s/d Değeri
- Normal Kuvvet
- Yuvarlanma Kuvveti
- Tork
- Güç
- Spesifik enerji
- Toplam disk sayısı
- Makine çapı
- Kesici kafa dönüş hızı

Yukarıda verilmiş olan parametrelerde görüldüğü gibi makine çapı, kesici kafa dönüş hızı, toplam disk sayısı gibi değerler sabit olmakla beraber yuvarlanma kuvveti, tork, güç, spesifik enerji gibi değerler jeolojiye ve operatöre göre değişiklik gösteren

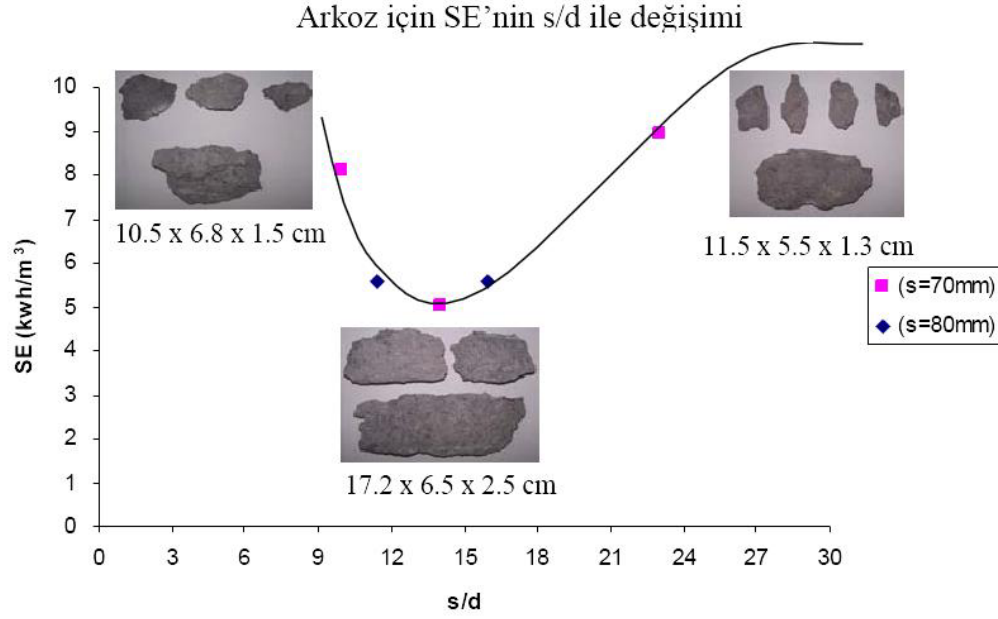
parametrelerdir. Deterministik yollar ile yapılan hesaplamalarda her formasyon için ayrı ayrı net ve günlük kazı hızları ortalama değer olarak hesaplanmıştır.

4.2.1 Kurköy (Arkoz) formasyonu için deterministik tahmin sonuçları

Deterministik yollar ile yapılan hesaplamalar sırası ile şu şekilde özetlenebilir ;

- Makine sabitlerinin belirlenmesi
- Optimum s/d değeri belirlenmesi
- Optimum şartlarda bir diske gelen ortalama normal kuvvet (FN)
- Optimum şartlarda TBM'in aynaya uyguladığı toplam itme kuvveti
- Optimum şartlarda bir diske gelen yuvarlanma kuvveti (FR)
- Optimum şartlarda TBM'in tork gereksinimi
- Optimum şartlarda TBM'in harcayacağı kesme gücü
- Günlük ilerleme miktarı
- Net kazı hızı

Yukarıda verilmiş olan değişken değerler kesme deneyleri grafikleri sonucunda ortalama veya optimum değer olarak kullanılmış olup her bir formasyon için ayrı hesap edilmiştir. Makine sabitleri bilinen sabit değerlerdir. Fakat optimum keskiler arası mesafe/kesme derinliği değeri (s/d) kesme deneyi sonucunda elde edilen grafikten bulunur. Arkoz için spesifik enerji ve (s/d) ilişkisi Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Kurtköy(Arkoz) formasyonu için spesifik enerji ile s/d grafiği (Bilgin vd, 2006)

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 70 mm ve 80 mm keskiler arası mesafede optimum enerji ortalama 5.0 kWh/m^3 olarak görülebilir. Yapılmış hesaplamalarda s/d değerinin optimum olarak kullanılması çok büyük önem taşır. Kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar ve kullanılmış olan deterministik yöntem aşağıda verilmiştir. (Bilgin vd, 2006)

- Optimum s/d oranı = 13, s=80 mm için optimum d= 6 mm
- Kesme deneyi sonucunda elde edilen grafik ve toplam 44 adet keski sayısı verileri ile aynaya uygulanan toplam itme kuvveti 507 ton
- Optimum şartlarda TBM’in tork gereksinimi 1129 kNm
- Optimum şartlarda TBM’in harcayacağı kesme gücü 709 kW
- Net kazı hızı $101 \text{ m}^3/\text{saat}$
- Günlük ilerleme %40 makine kullanım oranı ve 10 saatlik 2 vardiya ve formasyona uygun olarak düzeltilmiş olarak 36 m/gün

Makinenin tork değerinin deterministik olarak hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır ;

$$\text{Tork} = \text{Yuvarlanma Kuvveti} \times \text{Toplam Disk Sayısı} \times \text{Makine Çapı}/4 \times \text{Sürtünme Faktörü} \quad (4.1)$$

Makinenin harcayacağı güç değeri hesaplamasında eşitlik 4.2 kullanılmıştır :

$$\text{Güç} = \text{Tork} \times \text{Pi} \times \text{Devir Sayısı} \times 2 \quad (4.2)$$

Net kazı hızı ise eşitlik 4.3 ile hesap edilmektedir.

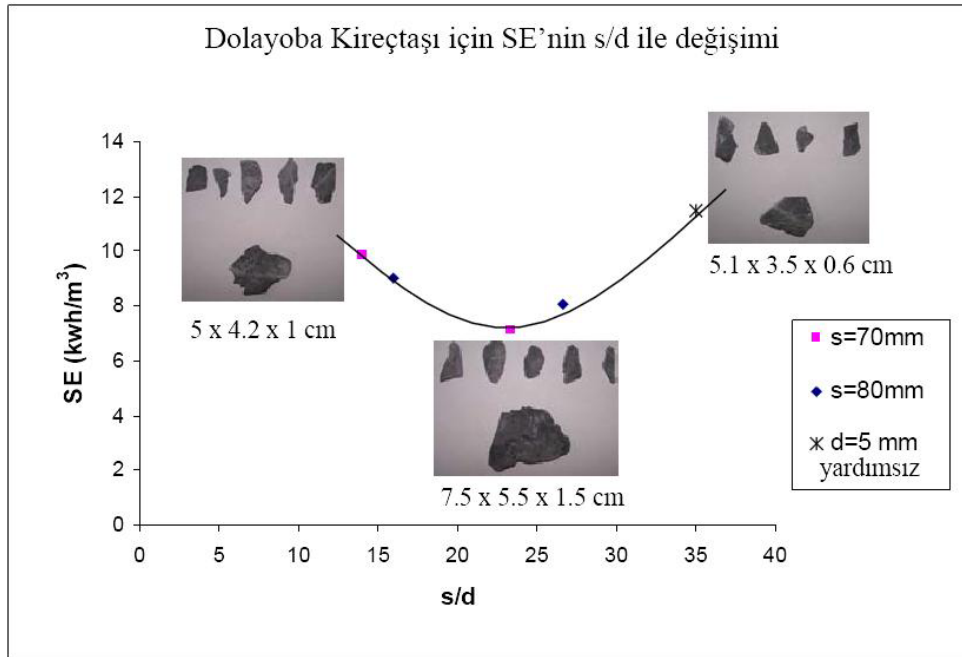
$$\text{Net Kazı Hızı} = \text{Makine Sabiti} \times \text{Güç} / \text{Spesifik Enerji} \quad (4.3)$$

Günlük ilerleme hızı ise eşitlik 4.4 ile hesap edilmektedir.

$$\text{Günlük İlerleme Hızı} = \text{Net Kazı Hızı} \times \text{Günlük Çalışma saati} \times \text{Makine Faydalanma Oranı} \quad (4.4)$$

4.2.2 Dolayoba (Kireçtaşı) için tahmin sonuçları

Dolayoba formasyonu için de aynı makine sabitleri ve değişken parametreler kullanılmıştır. Spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Dolayoba (Kireçtaşı) formasyonu için spesifik enerji ile s/d grafiği.
(Bilgin vd, 2006)

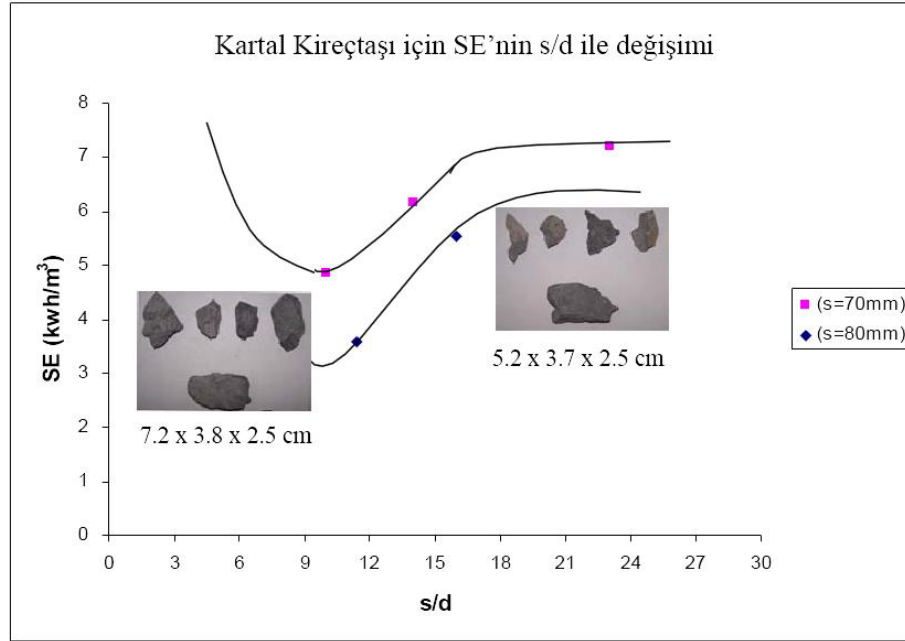
Optimum s/d değeri bulunduktan ve deterministik yollar ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Optimum s/d oranı = 23, s=80 mm için optimum d= 3,5 mm

- Kesme deneyi sonucunda elde edilen grafik ve toplam 44 adet keski sayısı verileri ile aynaya uygulanan toplam itme kuvveti 729 ton
- Optimum şartlarda TBM'in tork gereksinimi 884 kNm
- Optimum şartlarda TBM'in harcayacağı kesme gücü 555 kW
- Net kazı hızı 63 m³/saat
- Günlük ilerleme % 40 makine kullanım oranı ve 10 saatlik 2 vardiya ve formasyona uygun olarak düzeltilmiş olarak 20 m/gün.

4.2.3 Kartal (Kireçtaşı) için deterministik tahmin sonuçları

Kartal formasyonu için de aynı makine sabitleri ve değişken parametreler kullanılmıştır. Spesifik enerji ile s/d değeri grafiği Şekil 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.3 : Kartal (kireçtaşı) formasyonu için spesifik enerji ile s/d grafiği. (Bilgin vd, 2006)

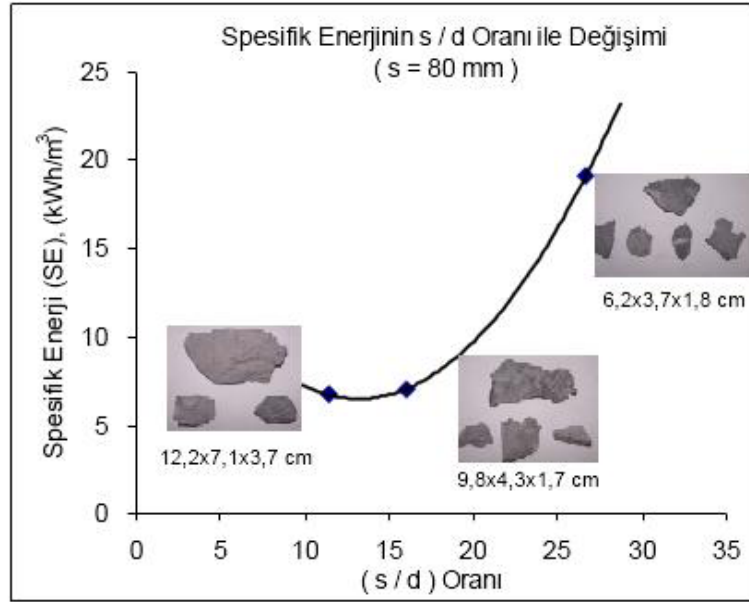
Optimum s/d değeri bulunduktan ve deterministik yollar ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Optimum s/d oranı = 10, s=80 mm için optimum d= 8 mm
- Kesme deneyi sonucunda elde edilen grafik ve toplam 44 adet keski sayısı verileri ile aynaya uygulanan toplam itme kuvveti 413 ton

- Optimum şartlarda TBM'in tork gereksinimi 737 kNm
- Optimum şartlarda TBM'in harcayacağı kesme gücü 463 kW
- Net kazı hızı 93 m³/saat
- Günlük ilerleme %40 makine kullanım oranı ve 10 saatlik 2 vardiya ve formasyona uygun olarak düzeltilmiş olarak 33 m/gün.

4.2.4 Trakya (Silttaşı) formasyonu için deterministik tahmin sonuçları

Trakya (silttaşı) formasyonu için aynı makine sabitleri ve değişken parametreleri kullanılmıştır. Spesifik enerji ile s/d değeri için elde edilen grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Trakya Formasyonu için spesifik enerji ile s/d grafiği. (Bilgin vd, 2006)

Deterministik yollar sonucunda elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.

- Optimum s/d oranı = 11,4, s=8 mm için optimum d= 7 mm
- Kesme deneyi sonucunda elde edilen grafik ve toplam 44 adet keski sayısı verileri ile aynaya uygulanan toplam itme kuvveti 576 ton
- Optimum şartlarda TBM'in tork gereksinimi 1133 kNm
- Optimum şartlarda TBM'in harcayacağı kesme gücü 712 kW
- Net kazı hızı 85 m³/saat
- Günlük ilerleme %40 makine kullanım oranı ve 10 saatlik 2 vardiya ve formasyona uygun düzeltilmiş olarak 31,5 m/gün.

5. KANTİTATİF RİSK ANALİZİ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında daha önce anlatıldığı gibi Risk analizi yöntemlerinden sayısal olan kantitatif yöntem kullanılarak TBM performans tahmini çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı şimdiye kadar yapılan performans analizlerinde elde edilen ortalama tek bir değer ile yorum yapmak yerine, yine aynı tahmin yaklaşımları kullanılarak sonuçlar farklı dağılım fonksiyonlarına göre tanımlanarak verilmektedir. Bunun avantajı ise sonuçları kullanacak olan proje sahipleri veya bilirkişilerin istedikleri şekilde projeyi yönetebilme imkanı sağlamaktır. Kötümser olmak isteyen yöneticiler kötümser, iyimser olmak isteyen yöneticiler iyimser, ortalama sonuçlara göre hareket etmek isteyen yöneticiler ise ortalama sonuçlara göre karar verebilmekte ve güven aralıklarını bilmektedirler.

5.1 Kadıköy-Kartal Metro Hattı Net Kazı ve Günlük İlerleme Hızlarının Risk Analizi ile Tahmini

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekaniği Labaratuvarında yapılmış olan kesme deneyleri sonucunda (Bilgin vd, 2006) elde edilen değerler doğrultusunda sonuçları stokastik olarak yorumlamak için yine deterministik tahmin yöntemleri kullanılarak Monte Carlo Simulasyonu ile hesaplar yapılmış sonuçlar grafikler ile yorumlanmıştır. Doğru sonuç elde etmek için her formasyon için değerler ayrı ayrı hesap edilmiştir.

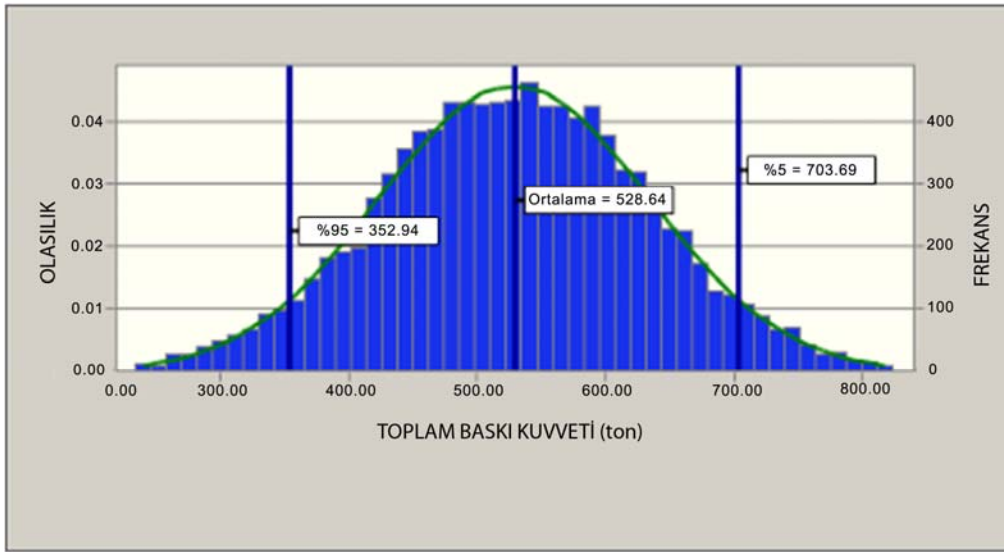
5.1.1 Kurtköy (Arkoz) formasyonu için risk analizi

Yapılan deneyler sonucunda (Bilgin vd, 2006) Arkoz için optimum s/d oranının 13 olduğu bulunmuştur. Bölüm 4'te anlatılmış olan hesaplama sırası takip edilmiş ve kesme deneyleri sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.2'den alınmıştır (s = 70 mm, d= 5 mm).

Deterministik yol ile hesap edilmiş kesme deneyleri sonucunda bulunan belirli sayıdaki farklı sonucun aritmetik ortalaması kullanılarak hesaba gidilmiş ve kazı hızı

tek bir değer olarak tahmin edilmiştir. Monte Carlo simülasyonunda ise kesme deneylerinde bulunmuş değerler kullanılarak, dağılım parametresi ve cinsi tanımlanmış ve sadece elde edilen ortalama değerler yerine bir program (Crystal Ball) yardımı ile simülasyon yapılarak hesaba katılmayan fakat makinenin gerçek kazıda görmesi muhtemel ara değerler de göz önüne alınmış ve grafiksel olarak sonuçlar elde edilmiştir.

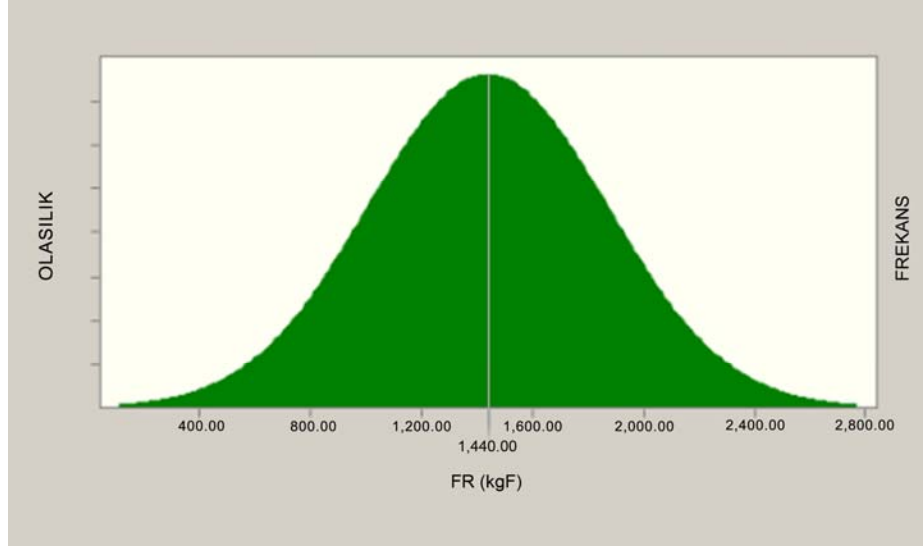
Kurtköy (Arkoz) formasyonu için aynaya kesikler ile uygulanacak toplam baskı kuvvetinin olasılık ve frekans dağılımı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Kurtköy (Arkoz) için aynaya uygulanacak toplam baskı kuvvetinin olasılık dağılımı.

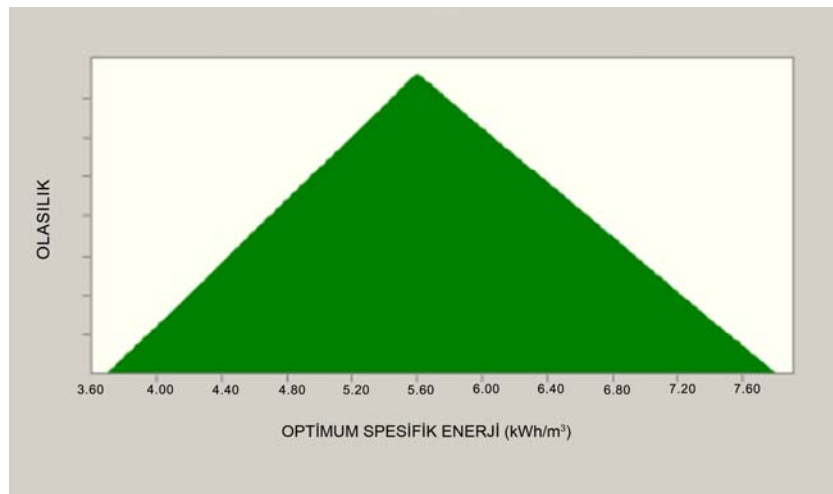
Normal dağılıma uygun dağılım gösteren bu grafikte ortalama toplam baskı (itme) kuvveti olarak 529 ton bulunmuş olup deterministik yollar ile hesaplanan 507 ton değeri ile %4 oranında farklılık göstermektedir. Daha da önemlisi tek bir değer elde edip hesap yapmak yerine proje sahibi, kontrat sahibi veya bilirkişi yorumuna dayalı sonuç elde edilmiştir. Sonuca göre %5 olasılık ile TBM baskı kuvveti 352 tonun altına düşmez, %95 ihtimalle de 700 tonun üzerine çıkmaz şeklinde yorumlanabilir.

Optimum şartlarda TBM’in Tork gereksinimi Bölüm 4’te verilen eşitlik [4.1] kullanılarak hesap edilmiş ve normal dağılım göstererek dağılmıştır. (Şekil 5.2) Şekil 5.2’de tork hesabı için gerekli olan FR kuvvetinin dağılımı görülmektedir. Ortalaması 1440 kgf ve standart sapması 440 kgf olarak bulunmuştur.



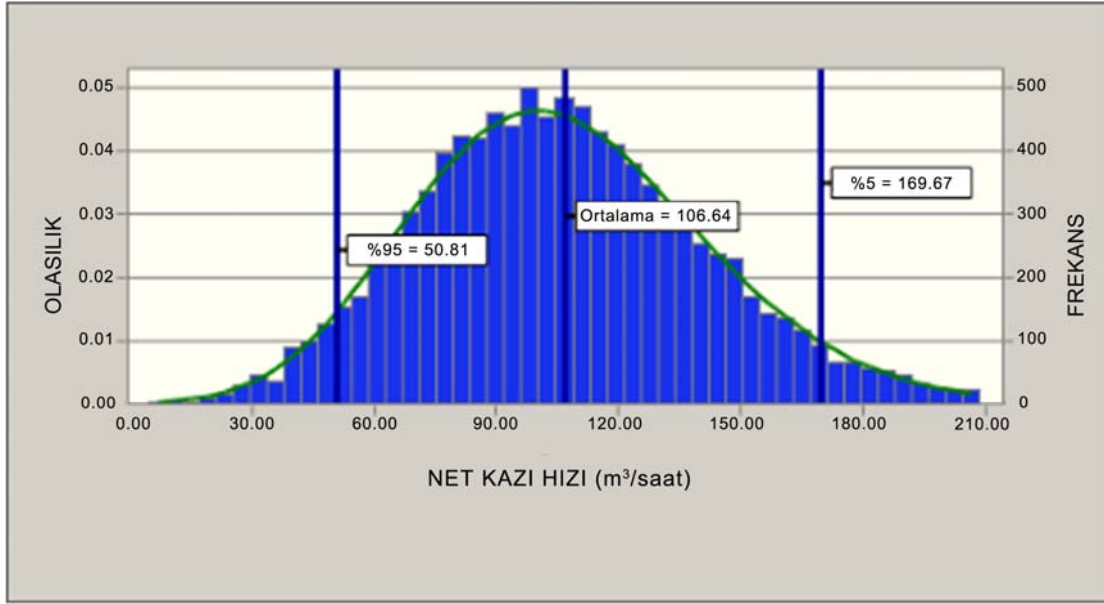
Şekil 5.2 : Kurtköy (Arkoz) yuvarlanma kuvveti değerleri olasılık dağılımı.

Arkoz kesme deneyleri sonucunda elde edilen optimum spesifik enerji değerleri üçgen dağılım tarzına uygun olarak tanımlanmış ve hesaplamalar da bu dağılıma uygun olarak kullanılmıştır. (Şekil 5.3) Maksimum, minimum ve ortalama değerler olarak sırasıyla 3, 8 ve 5.6 kWh/m³ değerleri kullanılmış arada kalan diğer bütün değerler ise hesaplamalarda üçgen dağılıma uygun olarak dağıtılmıştır. Deterministik yaklaşımlarda ve yapılan hesaplamalarda normal dağılım, gauss dağılımı, Weibull dağılımı gibi başka dağılımlar tercih edilebilirdi. Özellikle   gen dağılım yönteminin seçilmesinin ana sebebi spesifik enerji hesaplarında asıl olan noktaların minimum orta değer ve maksimum (pik) noktaları olmasıdır. Bu 3 noktayı en kesin şekilde belirten dağılım cinsi üçgen dağılımdır.

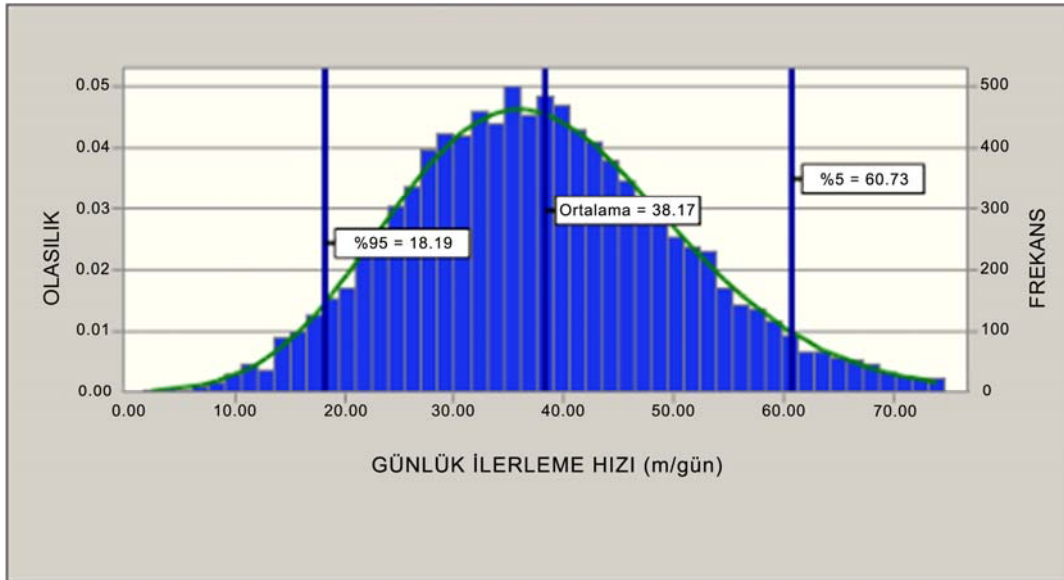


Şekil 5.3 : Kurtköy (Arkoz)   gen Dağılım olarak tanımlanmış optimum spesifik enerji grafiği.

Bölüm 4’de bahsedilen net kazı hızı ve günlük ilerleme miktarı Monte Carlo Simulasyonuna belirlenmiş olan dağılım fonksiyonlarına uygun olarak tanıtılmış ve hesaplamalar yapılarak olasılık dağılımı olarak Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.4 : Kurtköy (Arkoz) net kazı hızı olasılık dağılımı.



Şekil 5.5 : Kurtköy (Arkoz) Günlük İlerleme Hızı olasılık dağılımı.

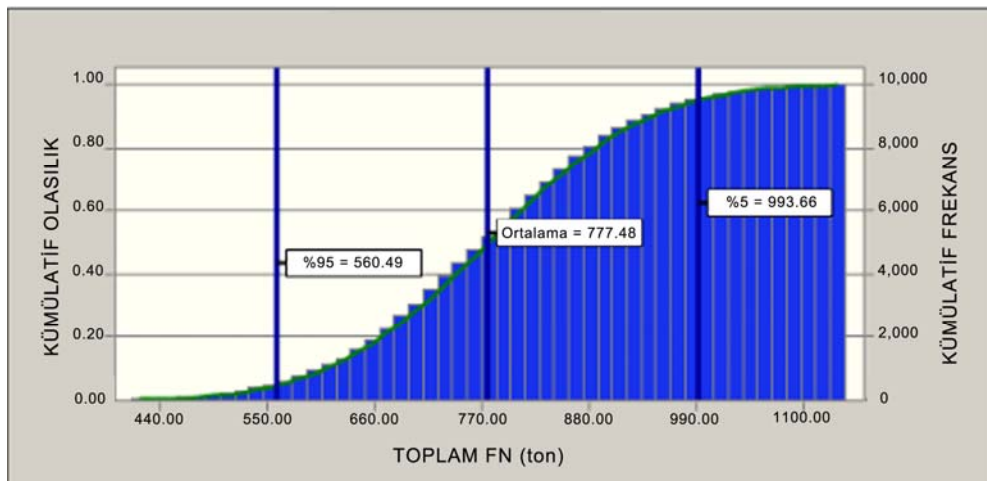
Kurtköy formasyonu günlük ilerleme değerini yorumlayacak olursak ; ortalama saatte 106 m³ net kazı yapılarak ortalama 38 metre günlük ilerleme elde edilebilecektir. Determistik yollar ile bulunan sonuçlar ve Bölüm 4’te anlatılmış olan sonuçlar ile örtüşmektedir. Tez kapsamında daha önce de bahsedildiği gibi amaç tek

bir ortalama üzerine yoğunlaşmak yerine bilirkişi veya proje sahibine yorum olanağı bırakacak şekilde stokastik bir sonuç vermektir. Monte Carlo Simulasyonu sonucunda elde edilen grafiklere bakacak olursak yüzdesel dilimler ile ortalama maksimum ve minimum değerlerin hangi dağılımlara uygun olarak bulunduğu gösterilmektedir. Makine günlük 38 metre kazı yapar sonucu yerine makine %95 günlük 18 metre ilerlemenin altına inmez, %95 61 metre ilerlemenin üzerine çıkamaz ve ortalama olarak 38 metre günlük ilerleme kaydeder şeklinde verilecek bir sonuç çok daha olumlu sonuçlar verecektir. Benzer şekilde %10 güven aralığı yerine istenilen yüzdesel dilimde grafiğin istenilen bölgesindeki sonuçlar elde edilebilir. Tecrübesine, zemine ve maddi gücüne göre projeyi üstlenen firmalar “pesimist” “ortalama” ve “optimist” gibi ayrımları kendileri yapabilir ve yatırımlarını buna göre yapabilirler.

5.1.2 Dolayoba (Kireçtaşı) formasyonu için risk analizi

Yapılan deneyler sonucunda (Bilgin vd, 2006) Dolayoba (kireçtaşı) için optimum s/d oranının 23 olduğu bulunmuştur. Bölüm 4’te anlatılmış olan hesaplama sırası takip edilmiş ve kesme deneyleri sonucunda elde edilen toplam baskı kuvveti Çizelge 4.3’ten alınmıştır ($s = 70$ mm, $d = 3$ mm).

Dolayoba (kireçtaşı) formasyonu için aynaya keskiler ile uygulanan toplam baskı kuvvetinin kümülatif olarak olasılık ve frekans dağılımı Şekil 5.6’da verilmiştir.

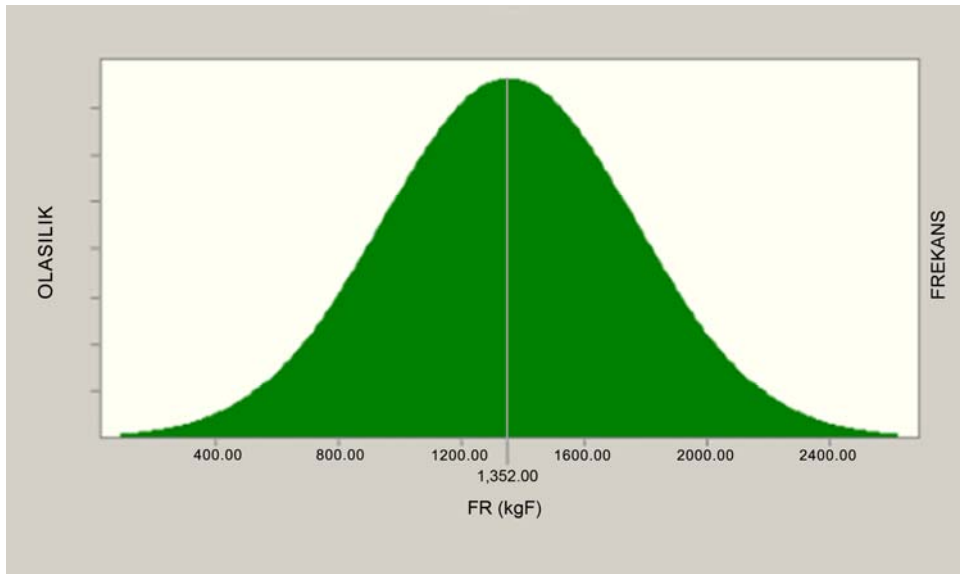


Şekil 5.6 : Dolayoba (Kireçtaşı) Formasyonu aynaya uygulanan toplam baskı kuvvetinin kümülatif olasılık dağılım grafiği.

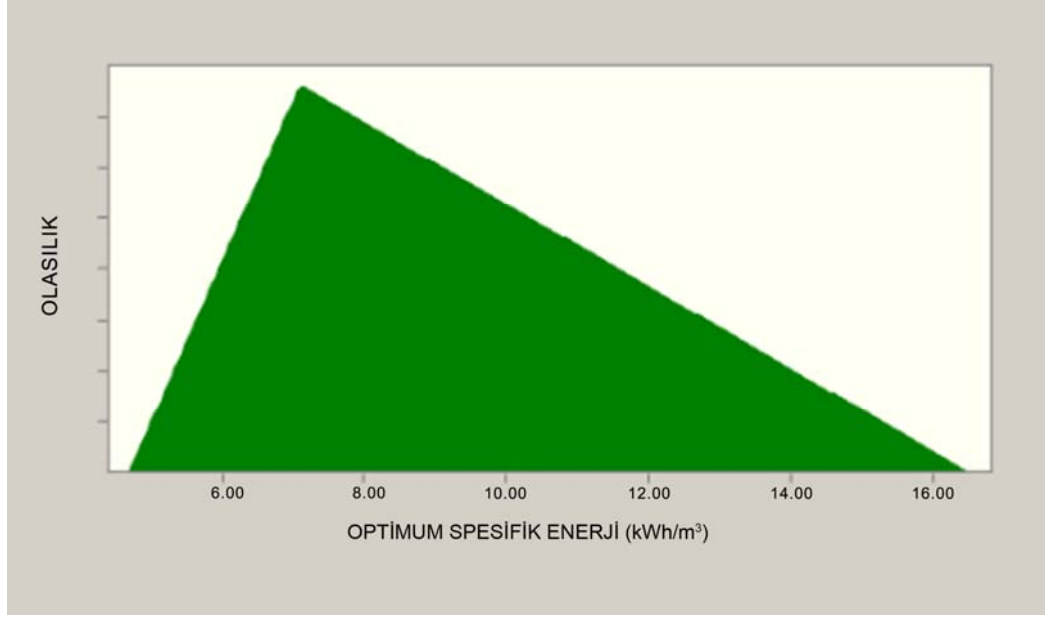
Monte Carlo Simulasyonunu yapacak olan programa girdi parametresi olarak aynaya uygulanan baskı kuvveti normal dağılım fonksiyonu olarak tanımlanmıştır ve Şekil 5.6'daki sonuçlar elde edilmiştir. Kazı yapan makinenin aynaya uygulayacağı toplam baskı kuvvetinin minimum 560 ton, maksimum 994 ton ve ortalama 777 ton olarak uygulanacağı %95 ihtimal ile 560 tonun altına inmeyeceği, %95 ihtimal ile 994 tonun üzerine çıkamayacağı sonucuna varılmıştır.

Tork hesabında Bölüm 4'te anlatıldığı gibi optimum koşullardaki yuvarlanma (FR) değerine ihtiyaç vardır. Monte Carlo Simulasyonunu yapacak olan programa girdi parametresi olarak FR değerleri, standart sapması 410 kgf olan, ortalama değeri 1300 kgf olan normal dağılım fonksiyonuna uygun olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.7).

FR değeri yardımı ile tork ve güç hesaplamaları yapıldıktan sonra spesifik enerji dağılımı kullanılarak net kazı hızı elde edilir. Spesifik enerji üçgen dağılım grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir.

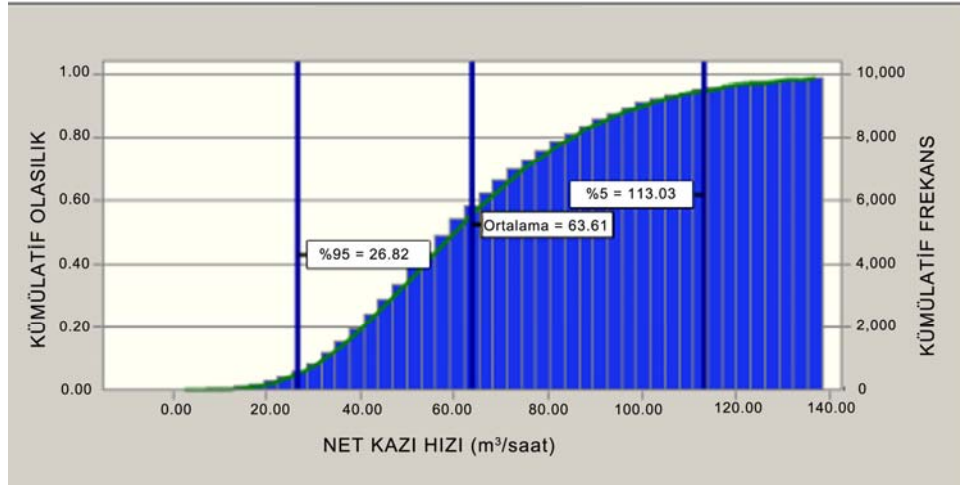


Şekil 5.7 : Dolayoba (Kireçtaşı) yuvarlanma kuvveti değerleri olasılık dağılım grafiği.



Şekil 5.8 : Dolayoba (Kireçtaşı) Formasyonu spesifik enerji üçgen dağılım grafiği.

Şekil 5.8'e bakacak olursak ; net kazı hızı ve günlük kazı hızı değerlerini elde etmek için Monte Carlo Simulasyonuna optimum spesifik enerji değerleri üçgen dağılım fonksiyonu olarak girilmiş ve minimum 4.70 kWh/m^3 , ortalama değer olarak $7,10 \text{ kWh/m}^3$ ve en yüksek $16,5 \text{ kWh/m}^3$ değerleri kullanılmıştır. Buna göre elde edilen net kazı hızı kümülatif olasılık dağılımı Şekil 5.9'da verilmiştir.

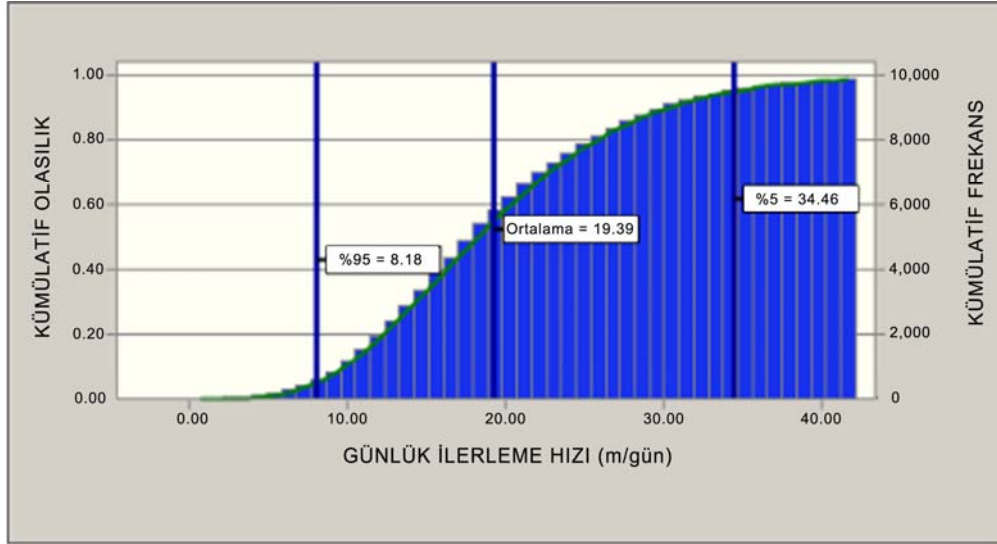


Şekil 5.9 : Dolayoba (Kireçtaşı) için net kazı hızı kümülatif olasılık dağılımı.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen saatlik net kazı miktarına bakacak olursak sonuçların yine deterministik yollar ile bulunan hesaplar ile örtüştüğü gözlemlenmektedir. Farklı olarak ise yorum yapma şansını kişiye bırakmasıdır. Sonuçta ortalama saatte 64 m^3 kazı yapılabilir. %95 ihtimal ile bu makine ile bu

formasyonda 27 m³/saat değerinin altına inilmemekte ve %95 ihtimal ile 113 m³/saat değerinin üzerine çıkılamamaktadır.

Günlük ilerleme miktarlarına bakacak olursak (Şekil 5.10) Dolayoba kireçtaşı formasyonunda makinenin ortalama günde 19 metre kazı yapabileceği, jeolojik koşullar aynı kaldığı sürece %95 8 metre ilerlemenin altına inmeyeceği, ve %95 34 metre günlük ilerleme değerinin üzerine çıkılamayacağı hesaplanmıştır.



Şekil 5.10 : Dolayoba (Kireçtaşı) için günlük ilerleme hızı kümülatif olasılık dağılımı.

5.1.3 Kartal (Kireçtaşı) formasyonu için risk analizi

Yapılan deneyler sonucunda (Bilgin vd, 2006) Kartal (kireçtaşı) için optimum s/d oranının 10 olduğu bulunmuştur. Bölüm 4'te anlatılmış olan hesaplama sırası takip edilmiş ve kesme deneyleri sonucunda elde edilen baskı kuvveti (FN) değerleri Çizelge 4.4'den alınmıştır (s = 70 mm, d = 7 mm).

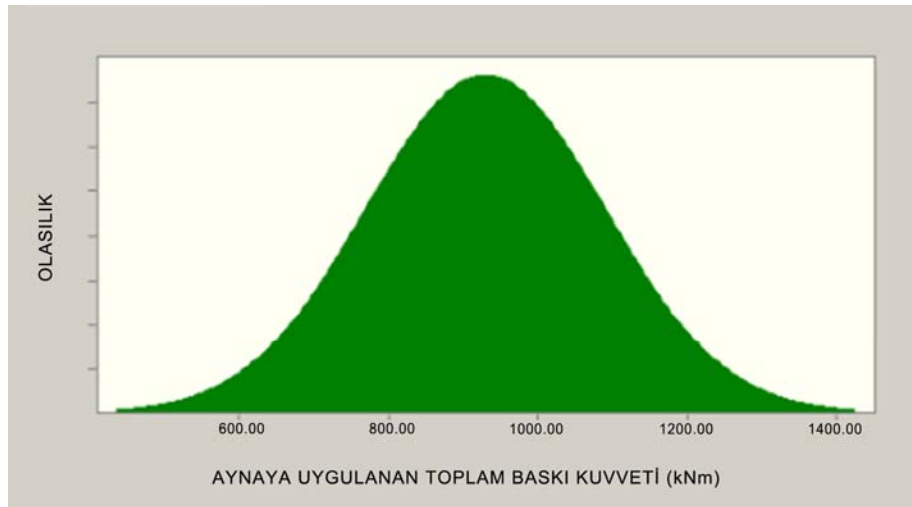
Şekil 5.11'de verilen grafikten anlaşılabacağı gibi makinenin aynaya uygulayacağı toplam itme kuvveti jeoloji benzer özellikler gösterdiği takdirde ortalama 395 ton olacak ve %95, 362 tonun altına inmeyecek ve %95, 427 tonun üzerine çıkmayacaktır.

Tork hesabında Bölüm 4'te anlatıldığı gibi optimum koşullardaki bir keskiye etkiyen yuvarlanma kuvveti (FR) değerine ihtiyaç vardır. Monte Carlo Simulasyonunu yapacak olan programa girdi parametresi olarak baskı kuvveti değerleri, bir standart

sapması 160 kgf olan, ortalama değeri 930 kgf olan normal dağılım fonksiyonuna uygun olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.12).

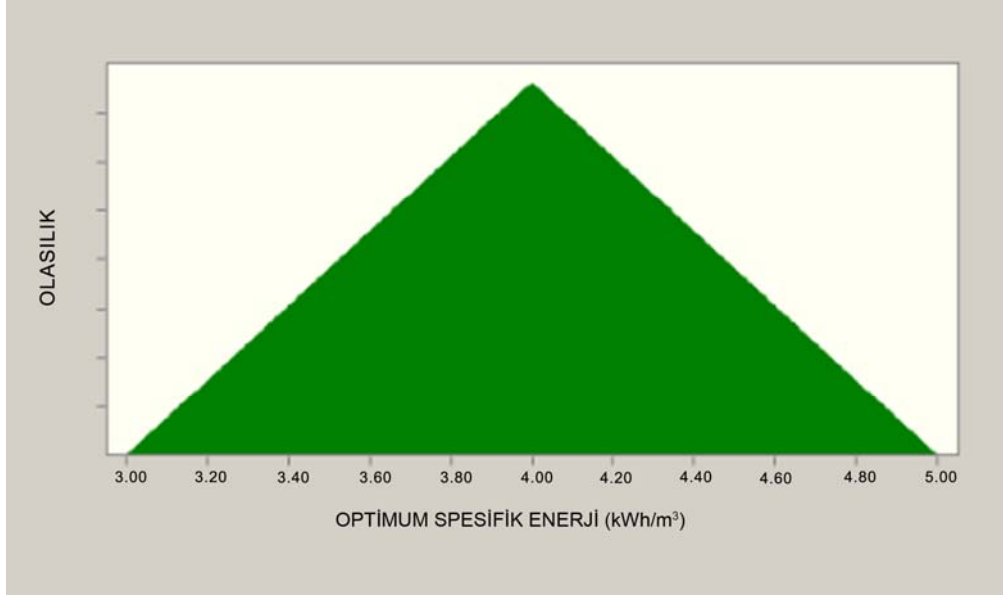


Şekil 5.11 : Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu aynaya uygulanan toplam baskı kuvvetinin kümülatif dağılım grafiği.



Şekil 5.12 : Kartal (Kireçtaşı) yuvarlanma kuvveti değerleri normal dağılım grafiği.

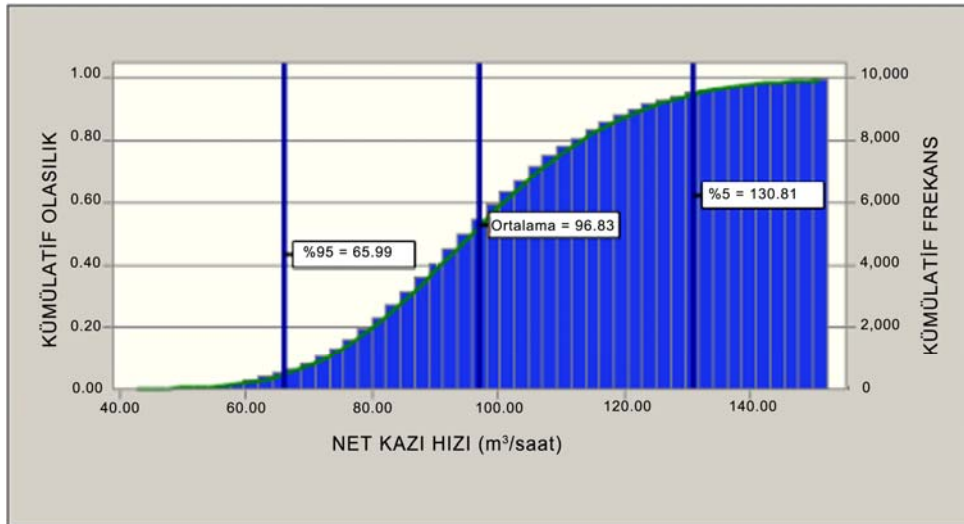
Kartal Kireçtaşı kesme deneyleri sonucunda elde edilen spesifik enerji değerleri üçgen dağılım tarzına uygun olarak tanımlanmış ve hesaplamalarda bu dağılıma uygun olarak kullanılmıştır. Şekil 5.13'te görüldüğü gibi minimum 3 kWh/m³, maksimum 5 kWh/m³ ve ortalama 4 kWh/m³ değerleri kullanılmış, arada kalan diğer bütün değerler ise hesaplamalarda üçgen dağılıma uygun olarak dağıtılmıştır.



Şekil 5.13 : Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu spesifik enerji dağılım grafiği.

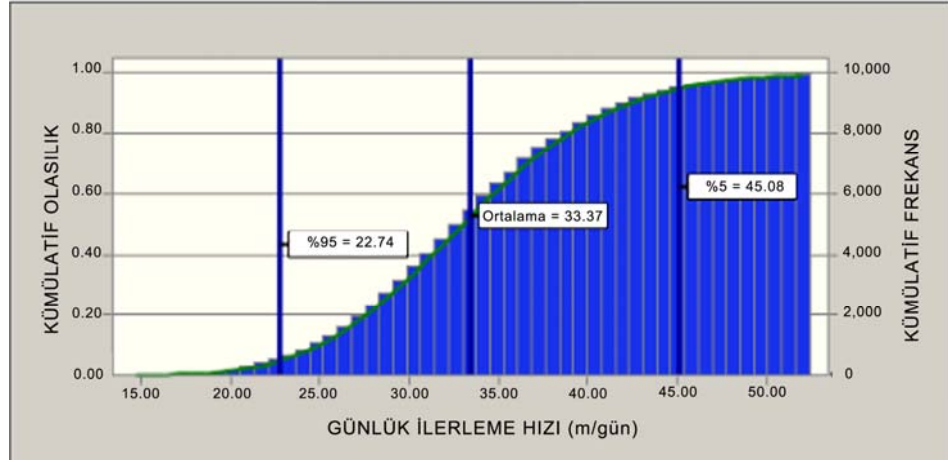
Şekilden 5.14'ten anlaşıldığı gibi Kartal (Kireçtaşı) formasyonu için ortalama net kazı hızı saatte 97 m^3 olarak hesaplanmıştır. Değer aralığı olarak bakacak olursak lognormal dağılım özelliği göstermekte ve %95 $66 \text{ m}^3/\text{saat}$ değerinin altına düşmemekte ve %95 $131 \text{ m}^3/\text{saat}$ değerinin üzerine çıkmamaktadır.

Bu elde edilen net kazı hızından hesaplanan günlük ilerleme hızı grafiği Şekil 5.15'te verilmektedir.



Şekil 5.14 : Kartal (Kireçtaşı) için net kazı hızı kümülatif olasılık dağılımı.

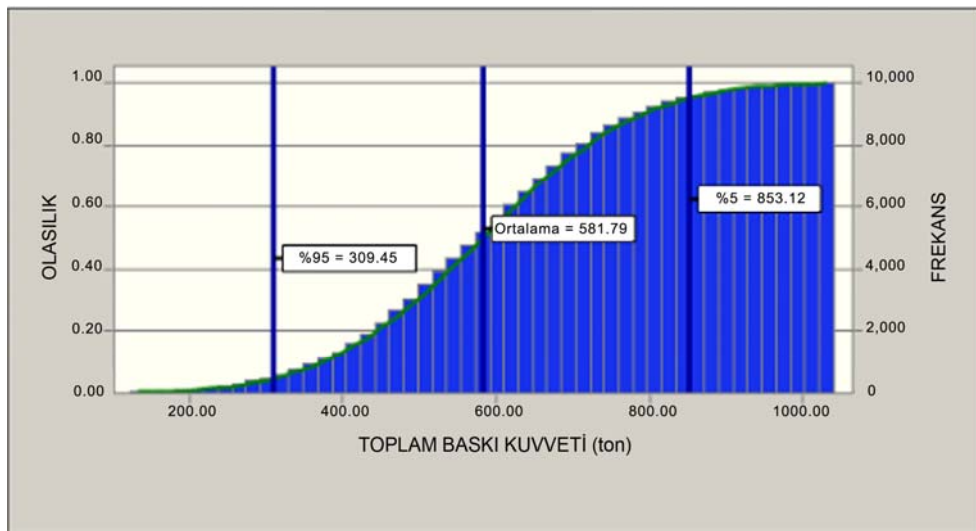
Şekil 5.15'te verilen grafikten anlaşıldığı gibi Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu için ortalama 33 m günlük ilerleme hesap edilmiş ve %10 güven aralığında en az 23 m ve en fazla 45 metre günlük ilerleme değerleri yapılan simülasyonlar sonucunda hesap edilmiştir.



Şekil 5.15 : Kartal (Kireçtaşı) günlük ilerleme hızı kümülatif olasılık dağılımı.

5.1.4 Trakya (Silttaşı) formasyonu için risk analizi

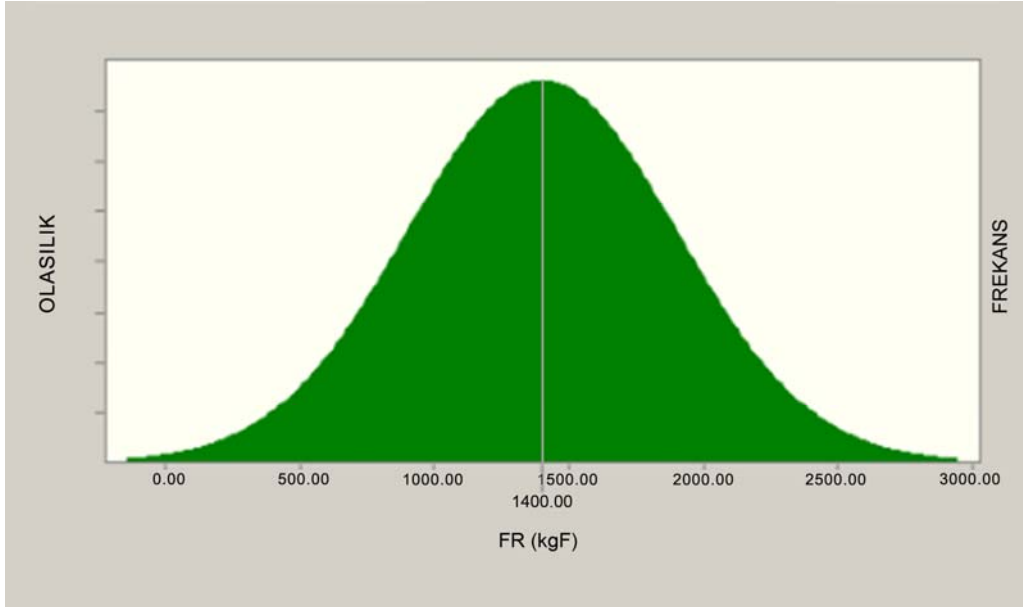
Yapılan deneyler sonucunda (Bilgin vd, 2006) Silttaşı için optimum s/d oranının 11,4 olduğu bulunmuştur. Bölüm 4'te anlatılmış olan hesaplama sırası takip edilmiş ve kesme deneyleri sonucunda elde edilen baskı kuvveti (FN) değeri Çizelge 4.5'den hesap edilmiştir (s = 80 mm, d = 7 mm). Aynaya uygulanacak toplam baskı kuvvetinin kümülatif olasılık dağılımı Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16 : Trakya (Silttaşı) Formasyonu aynaya uygulanan toplam baskı kuvvetinin kümülatif dağılım grafiği.

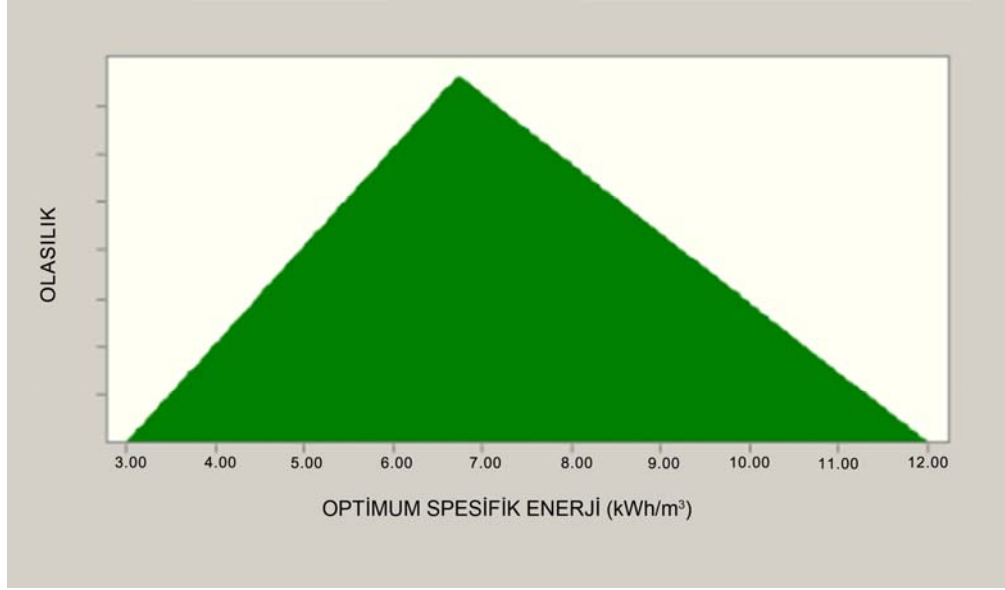
Şekil 5.16’da verilen grafikten anlaşılacağı gibi aynaya ortalama 582 tonluk bir kuvvet uygulanacaktır. %10 güven aralığında oluşacak olan kuvvet 310 ton değerinin altına inmeyecek, 853 ton değerinin üzerine çıkılamayacaktır.

Tork hesabında Bölüm 4’te anlatıldığı gibi optimum koşullarda bir keskiye etkiyen yuvarlanma kuvveti (FR) değerine ihtiyaç vardır. Monte Carlo Simulasyonunu yapacak olan programa girdi parametresi olarak FR değerleri Şekil 5.17’de görüldüğü gibi, standart sapması 500 kgf olan, ortalama değeri 1400 kgf olan normal dağılım fonksiyonuna uygun olarak tanımlanmıştır.



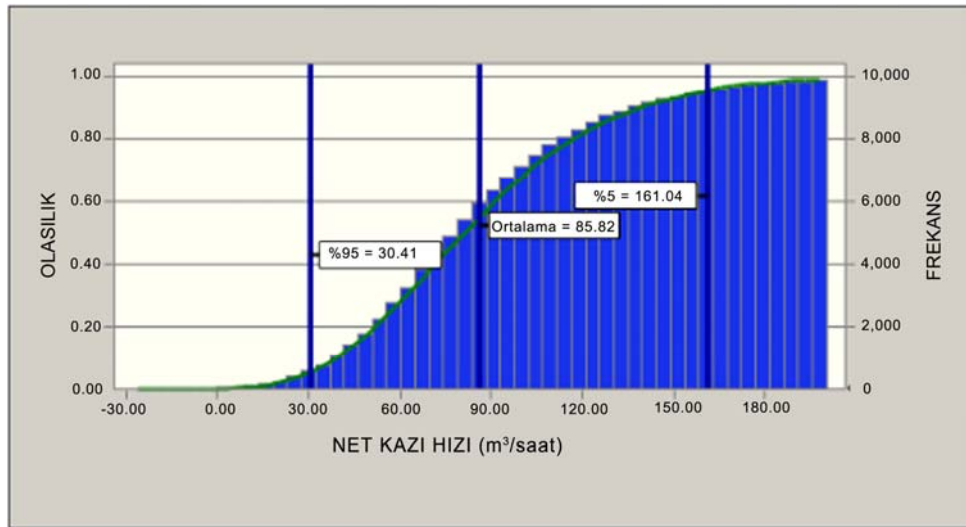
Şekil 5.17 : Trakya (Silttaş) yuvarlanma kuvveti değerleri normal dağılım grafiği.

Tork ve güç hesaplamalarında kullanılması gerekli olan spesifik enerji dağılım grafiği Şekil 5.18’de görüleceği gibi üçgen dağılım fonksiyonu olarak tanımlanmış, yine üçgen dağılım fonksiyon karakterine uygun olarak “ortalama” “maksimum” ve “minimum” değerler almaktadır. 3 kWh/m³ minimum değer, 12 kWh/m³ maksimum değer, 6,7 kWh/m³ değeri ise ortalama değer olarak hesaplamalarda kullanılmıştır.



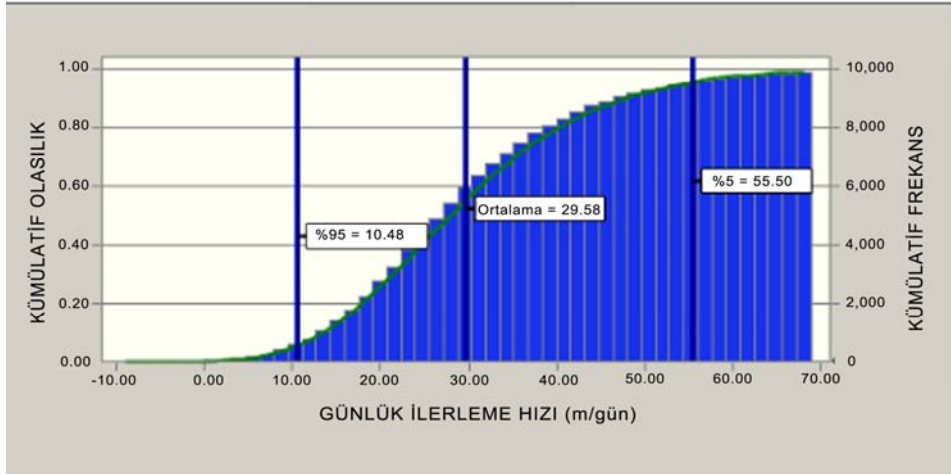
Şekil 5.18 : Trakya (Silttaşı) Formasyonu spesifik enerji üçgen dağılım grafiği

Şekil 5.19’da görüldüğü gibi net kazı hızı logaritması normal dağılım gösteren rastsal değişkenlerin gösterdiği istatistiksel dağılım olan lognormal dağılımın fonksiyonu olarak bulunmuş ve saatlik kazı hızı ortalama 85 m³ olarak hesap edilmiştir. %95 ihtimal ile saatte 30 m³ değerinin altına inmeyeceği ve 161 m³ değerinin üzerine çıkamayacağı hesaplanmıştır.



Şekil 5.19 : Trakya (Silttaşı) Formasyonu kümülatif net kazı hızı olasılık dağılımı.

Trakya formasyonu günlük ilerleme miktarı simulasyon sonuçları Şekil 5.20’de verilmiştir. Ortalama 30 metre günlük ilerleme yapıldığı görülmektedir. %10 güven aralığında ortalama veya %50 30 metre ilerleme, en az 10,5 metre en fazla ise 55,5 metre günlük ilerleme değerlerine ulaşılacağı görülmektedir.



Şekil 5.20 : Trakya (Silttaşı) günlük ilerleme hızı kümülatif olasılık dağılımı.

5.2 Sonuçların Genel Değerlendirilmesi ve Tartışma

Monte Carlo Simulasyonu sonucunda elde edilen değerler grafiklerden de anlaşılacağı gibi tek bir değer olarak değilde bir veri dağılımı tablosu şeklinde elde edilmiştir. Bu yapılan çalışmada elde edilen sonuçların doğruluğunu ve yöntemini kıyaslamak amacı ile Dünya Tünelcilik Kongresi'nde sunulmuş olan bildirideki veriler doğru bir karşılaştırmaya imkan tanımaktadır (Bilgin vd, 2008).

Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu için gerçekleşen değerler, deterministik yol ile tahmin edilmiş değerler ve tez kapsamında yapılmış risk analizi sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1: Kartal Kireçtaşı formasyonu için deterministik, gerçekleşen ve risk Analizi sonuçlarının karşılaştırılması

	Net Kazı Hızı (m ³ /h)	Günlük İlerleme Hızı (m/gün)
Gerçekleşen Kazı Performansı (Bilgin vd, 2008)	115 m ³ /saat	11-12 m/gün
Kesme deneyi sonuçları (Bilgin vd, 2008) (Kesme derinliği d=8 mm/devir)	98 m ³ /saat	11,5 m/gün
Risk Analizi Sonucunda elde edilen ortalama değer (Bu çalışma)	96,3 m ³ /saat	12 m/gün

Monte Carlo Simulasyonu sonuçlarına bakıldığında %50 değer ile 96,3 m³/saat değeri bulunduğu görülmektedir. Gerçek makine değerlerine bakıldığında ise 115 m³/saat değeri elde edilen kümülatif eğrilerinde %80 oluşma olasılığı aralığında olmaktadır. Buradan yola çıkarak tez çalışmasında elde edilen sonuçların güven aralıklarında oldukça doğru sonuçlar verdiğini görmek mümkündür. Deterministik yöntemler yoruma açık olmayıp ortamala değer olarak doğru sonuçlar vermektedir.

6. SONUÇLAR

Risk analizi yöntemi ile elde edilen performans tahminleri ve ilgili sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

Kurtköy (Arkoz) Formasyonu için net kazı hızı ortalama $106 \text{ m}^3/\text{saat}$, %95 50 m^3/saat 'ten fazla, %95 150 m^3/saat değerinden azdır. Yine aynı formasyon için günlük ilerleme miktarları ortalama 38 m/gün, %95 18 m/gün'den fazla ve %95 60 m/gün'den azdır.

Dolayoba (Kireçtaşı) Formasyonu için net kazı hızı değeri ortalama $63 \text{ m}^3/\text{h}$, %95 26 m^3/saat 'ten fazla, %95 113 m^3/saat 'ten az olacaktır. Günlük ilerleme hızı ortalama 20 m/gün, %95 8 metre/gün'den fazla %95 34 m/gün'den az olacaktır.

Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu için net kazı hızı ortalama $95 \text{ m}^3/\text{h}$, %95 60 m^3/saat 'ten fazla ve %95 130 m^3/saat 'ten az olacaktır. Aynı formasyon için günlük ilerleme hızı ortalama 33 m/gün, %95 22 metre/gün'den fazla ve %95 45 m/gün'den az olacaktır.

Trakya (Silttaşı) Formasyonu için ortalama net kazı hızı $85 \text{ m}^3/\text{gün}$, %95 ihtimal ile en az $30 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve %95 ihtimal ile en fazla $160 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesap edilmiştir. Günlük ilerleme hızı ortalama 30 m/gün, %95 ihtimal ile en az 10 m/gün ve %95 ihtimal ile en fazla 50 m/gün olarak hesap edilmiştir.

Kartal (Kireçtaşı) Formasyonu için arazide gerçekleşen performans değerleri ile laboratuvar kesme deneyleri ve risk analizi yöntemi ile bulunan değerler kıyaslandığında, arazide gerçekleşen değerlerin %80 olasılıkla gerçekleşebileceği bir performans elde edildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Ang, A.H.S. and Tang, W.H.**, 1984. Probability concepts in engineering planning and design. In: Decision, Risk and Reliability, vol. II. Wiley, New York.
- Bilgin, N., Balci, C., Tuncdemir, H., Eskikaya, S., Akgul, M. and Algan, M.**, 1999. The performance prediction of a TBM in Tuzla–Dragos sewerage tunnel, *Proceedings of the world tunnel congress on challenges for the 21st century.*, pp. 817– 827.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balci, C., Feridunoğlu, C. and Tumaç, D.**, 2006. TBM performans tahmini için Kadıköy-Kartal metro tünel hattındaki formasyonların kazılabilirlik özellikleri, *İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü*, Anadoluray için hazırlanmış yayınlanmamış rapor, İstanbul.
- Bilgin, N., Dincer, T. and Copur, H.**, 2002. The Performance Prediction of Impact Hammers from Schmidt Hammer Rebound Values in Istanbul Metro Tunnel Drivages, *Tunnels & Tunnelling*, **17**, No. 3, pp. 237-247.
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Tumaç, D., Akgul, M. and Yuksel, A.**, 2008. The selection of a TBM using full scale laboratory tests and comparison of measured and predicted performance values in İstanbul Kozyatağı-Kadıköy metro tunnels. *World Tunnel Congress 2008, India*, pp . 1509-1517.
- Bolak, M.**, 2004. *Risk ve Yönetimi*, Birsen Yayınevi, İstanbul s. 44-51
- Dollinger, G.L. and Raymer, J.H.**, 2002. Rock mass conditions as baseline values for TBM performance evaluation. *North American Tunnelling*, **21** p 3-7.
- Gertsch, L., Fjeld, A., Nilsen, B. and Gertsch, R.**, 2000. Use of TBM muck as construction material. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **15**, pp. 379-472.
- Nasuf, E. ve Orun, E.**, 1990. Madencilik projelerinde mikro-bilgisayar destekli risk analizi. *TMMOB MMO, Madencilik*, Ankara s.19-30.
- Okka, O.**, 2000. *Mühendislik Ekonomisi*, Nobel yayın dağıtım, Ankara 749 s.
- Reilly, J.J.**, 2000. The management process for complex underground and tunnelling projects. *Tunnelling and Underground Space Technology* **15** (1), 31–44.
- Rostami, J., Ozdemir, L. and Neil, D.M.**, 1994. Performance prediction a key issue in mechanical hard rock mining. *Mining Engineering* **24** 1263-1267.
- TTK**, 2004. *Faaliyet Raporu*, TTK, Zonguldak.

Ünlü, T., Aydın, H. ve Yağcı, L. 2004. TTK ocaklarındaki rijit çelik bağlar ile kaya saplaması-püskürtme beton tahkimat maliyetlerinin karşılaştırılması, Türkiye 14. Bilimsel ve Teknik Kongresi

Yüksel, A., Sözak, N.N. and Gulle, G., 2006. Engineering Geology Report Prepared for Kadıköy Kartal Metro Tunnels.

url-1 < <http://www.sabah.com.tr/2005/08/27/ercel.html>> 15.05.2011

url-2 < http://dergi.tbd.org.tr/yazarlar/02062003/meryem_fikirkoca.htm> 09.01.2011

url-3 < http://www.crystalball.com/articles/download/hulett_ics.zip> 15.04.2011

url-4 < <http://cc.ibu.edu.tr/aaltun/courses/207/msonmez.ppt>> 11.04.2011

url-5 < <http://www.uytes.com.tr/simulasyon/simulasyon.html>> 11.04.2011

url-6 < <http://www.herrenknecht.com/news/media-service/photo-archives.html>> 11.04.2011

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Can DAYANÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: 1984 / İstanbul

Adres: Hülya Sokak Zirve Apt No 48/2 Kadıköy-İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği

Can Dayanç 1984 yılında İstanbul’da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Terakki Vakfı Özel Şişli Terakki Lisesi’nde tamamladı. 2002 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. 2007 senesinde fakülteden mezun olarak Mühendis ünvanı aldı. 2010 senesinde Marmaray projesinde Taisei şirketinde Saha Mühendisi olarak görev almaya başladı. Kadıköy ve Üsküdar şantiyelerinde makas tünelleri ve ara bağlantı tünelleri inşaatlarında çalıştı. Halen Yenikapı şantiyesinde görevini sürdürmektedir.