

**SIKIŞAN ZEMİNLERDE TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA
MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE ULUABAT KUVVET
TÜNELİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren CANER

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Maden Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nuh BİLGİN

HAZİRAN 2010

**SIKIŞAN ZEMİNLERDE TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA
MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE ULUABAT KUVVET
TÜNELİ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Eren CANER
505081004**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nuh BİLGİN (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr.Hanefi ÇOPUR (İTÜ)
Doç.Dr.Ataç Başçetin (İÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca dersler ve ders dışındaki zamanlarda hem teorik bilgilerimin gelişmesinde hem de teorik bilgilerimi uygulama imkanı yaratan ve bitmez tükenmez bir ilgiyle eğitime gönül vermiş İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Öğretim Görevlilerine canı gönülden teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans bitirme projelerimde danışmanlığımı üstlenen, tünelcilik ve mekanizasyon konularında görüş açımı genişleten ve beni hep destekleyen sayın Prof.Dr.Nuh BİLGİN'e, proje süresince engin bilgilerini ve çalışmalarını bizlerle paylaşan sayın Melih ALGAN'a en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2010

Maden Mühendisi

Eren CANER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Özeti	3
1.2.1. Aydan ve diğerleri yaklaşımı.....	3
1.2.2. Hoek & Marinos (2000) yaklaşımı	4
1.2.3. Marco Ramoni ve Georgios Anagnostou	5
2. PROJE'NİN TANITILMASI.....	9
2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması.....	10
2.2. Proje Sahasında Yapılan Jeolojik Ön Çalışmalar	11
2.2.1. Emet-Orhaneli projesi, Uluabat Kuvvet Tüneli ve HES yeri mühendislik jeolojisi planlama raporu.....	11
2.2.2. Emet-Andranos Kuvvet Tüneli karst hidrojeolojisi.....	13
2.2.3. Emet-Andranos Kuvvet Tüneli karst hidrojeolojisi.....	14
2.2.4. DSİ tünel sorunları inceleme raporu.....	15
2.2.5. Uluabat Kuvvet Tüneli ve HES yeri jeolojik ön değerlendirme raporu.....	16
2.2.6. Uluabat Kuvvet Tüneli denge bacası, cebri boru hattı ve HES mühendislik jeolojisi değerlendirme raporu Temmuz-2005	16
2.2.7. Diğer çalışmalar.....	17
2.3. Genel Jeoloji ve Tektonik.....	17
2.3.1. Stratigrafik jeoloji.....	19
2.3.1.1. Metadetritikler (Triyas, Tr-m)	19
2.3.1.2. Kumtaşı-Marn (Jura, J-km)	20
2.3.1.3. Kireçtaşı (Jura, J-kçt).....	20
2.3.1.4. Tektonik zon (Triyas- Üst Kretease, Tr-pk)	21
2.3.1.5. Konglomera-Kumtaşı-Marn-Kil-Lav-Aglomera-Tüf (Neojen).....	21
2.3.1.6. Volkanik kayalar	22

2.3.1.7. Rezidüel karst örtüsü	22
2.3.1.8. Yamaç molozu	22
2.3.1.9. Alüvyon	22
2.4. Yapısal Jeoloji	23
2.5. Proje Alanı Mühendislik Jeolojisi	24
2.6. Tünel Güzergahı Mühendislik Jeolojisi.....	26
2.6.1. Tünel çıkış portalı	26
2.6.2. Km 11+465 – 7+800	27
2.6.3. Km 7+800-6+000.....	28
2.6.4. Km 6+000 – 0+700	29
2.6.5. Km 0+700-0+000.....	30
3. MEKANİZE KAZI.....	33
3.1. Kısmi Kesitli Kazı Makineleri.....	34
3.1.1. Kollu galeri açma makinelerinin çalışma prensipleri	35
3.1.2. Kollu galeri açma makinelerinin sınıflandırılması	35
3.2. Tam Cepheli Kazı Makineleri	37
3.2.1. Tünel açma makineleri (tunnel boring machine-tbm)	37
3.2.2. Tünel açma makinelerinin genel özellikleri.....	37
3.2.3. Tünel Açma Makinesi Sınıflandırılması.....	37
3.2.3.1. Kalkansız tünel açma makineleri.....	38
3.2.3.2. Tek kalkanlı tünel açma makineleri (Tek şiltli TBM)	39
3.2.3.3. Çift kalkanlı tünel açma makineleri (Çift şiltli TBM).....	39
3.2.3.4. Pasa Basınçlı tünel açma makineleri (EPB TBM).....	39
3.2.3.5. Çamur Şildi (Slurry TBM).....	41
4. BURSA ULUABAT KUVVET TÜNELİNDE KULLANILAN PASA BASINÇLI TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	43
5. ULUABAT KUVVET TÜNELİNDE KULLANILMAKTA OLAN PASA BASINÇLI TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNESİ PERFORMANS ANALİZİ.....	47
5.1. Günlük İlerlemeler.....	47
5.2. Haftalık İlerlemeler.....	50
5.3. Aylık İlerlemeler.....	52
6. ULUABAT KUVVET TÜNELİNDE KULLANILAN EPB-TBM'İN SIKIŞAN ZEMİNLERDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ.....	53
6.1. Şilt Sıkışması Nedeniyle Oluşan Zaman Kayıpları	53
6.2. Sıkışan Zeminlerde Makine Verilerinin İncelenmesi	56

6.2.1. Tünel açma makinesinin otomatik kaydettiği verilerin değerlendirilmesi	56
6.3. Sıkışmalar ve Vardiya Raporlarından Alınan Makine Değerlerinin İncelenmesi	64
6.3.1. Galeri 1	64
6.3.2. Galeri 2	69
6.3.3. Galeri 3-4-5-6-7-8	73
6.3.4. Galeri 9	80
6.3.5. Galeri 10	84
6.3.6. Galeri 11	87
6.3.7. Galeri 12	91
6.3.8. Galeri 13	95
6.3.9. Galeri 14-15	99
6.3.10. Galeri 16-17-18	103
6.4. Tünel Açma Makinesi Sıkışmalarının Toplu Değerlendirilmesi	107
6.5. Bentonit Uygulaması	109
6.6. Bekleme Zamanının İtme kuvvetlerine Etkisi	112
7. SONUÇLAR	119
KAYNAKLAR	123
EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ	135

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Kollu galeri açma makinelerinin ağırlıklarına göre sınıflandırılması	35
Çizelge 3.2:	Kesici kafa yapılarına göre kollu makinelerin sınıflandırılması	36
Çizelge 3.3:	Tünel açma makinelerinin yapılarına göre sınıflandırılması	38
Çizelge 4.1:	Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri.....	43
Çizelge 4.1:	Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri (devam)	44
Çizelge 4.1:	Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri (devam)	45
Çizelge 4.1:	Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri (devam)	46
Çizelge 6.1:	Makine sıkışma tarihleri ve kaybedilen zaman tablosu	55
Çizelge 6.2:	28.08.2008 - 26.01.2009 tarihleri arasındaki makine verilerinin ortalamaları	57
Çizelge 6.3:	02.12.2006- 21.12.2006 tarihleri arasındaki makine değerleri.....	64
Tablo 6.4:	05.01.2007-28.01.2007 tarihleri arasındaki makine değerleri	69
Çizelge 6.5:	Galeri 3-4-5-6-7-8- makine değerleri ve hesaplamalar	74
Çizelge 6.6:	2560,8m- 2622 m arasındaki makine değerleri	81
Çizelge 6.7:	4426,8m-4453,2m arasındaki makine değerleri	84
Çizelge 6.8:	6169,2m- 6223,2m arasındaki makine değerleri	88
Çizelge 6.9:	6376,8m- 6415,2m arasındaki makine değerleri	92
Çizelge 6.10:	6854,4m-6931,2m arasındaki makine değerleri	95
Çizelge 6.11:	6897,6m- 6940,8 m arasındaki makine değerleri	99
Çizelge 6.12:	7056m-7158m arasındaki makine değerleri	103
Çizelge 6.13:	Sıkışma başlangıcı ve sıkışma anındaki itme kuvveti değerleri, F_R/F_T oranları ve sıkışma mesafeleri	108
Çizelge 6.14:	Bentonit uygulamasıyla gerçekleşen kazı değerleri ortalamaları	109
Çizelge 6.15:	Ring numarasına göre itme kuvveti başlangıç ve bitiş değerleri ve kazı öncesindeki bekleme zamanları.....	112
Çizelge 6.16:	Ring numarasına göre itme kuvveti başlangıç ve bitiş değerleri ve kazı öncesindeki bekleme zamanları.....	116
Çizelge Ek A.1:	Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri.....	127

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 İdealleştirilmiş basınç-gerilme eğrisi ve sıkışan zeminlerle ilişkilendirilmes	4
Şekil 1.2.Zemin geçirgenliği ve ilerleme hızına bağlı olarak 5cm'lik fazla kazıyla yapılan ilerlemede zeminin uyguladığı basınç	5
Şekil 1.3.10 metre uzunluğundaki bir şilt için düşük geçirgenlikteki bir zeminde ilerleme hızı (v)'nın bir fonksiyonu olarak sürtünmeyi yenebilecek itme kuvveti gereksinimi	6
Şekil 1.4. Değişik ilerleme hızları ve fazla kazı oranlarına göre geçirgenlik katsayısı ve itme kuvveti ilişkisi	7
Şekil 2.1. Çalışma Alanı Yeri (Marmara Bölgesi Diri Fay Haritası, MTA)	8
Şekil 2.2. Uluabat Projesi Jeoloji Haritası	18
Şekil 3.1. Tünel Uzunluğuna Bağlı Olarak Oluşan Maliyetler	34
Şekil 3.2. Kollu Galeri Açma Makinesi Ana Bölümleri	35
Şekil 3.3. Arına paralel ve arına dik hareket eden kesici kafalı KGAM	36
Şekil 3.4. Kalkansız tünel açma makinesi görünümü	38
Şekil 3.5. Tek kalkanlı tünel açma makinesi	39
Şekil 3.6. Çift kalkanlı tünel açma makinesi	39
Şekil 3.7. Uluabat Kuvvet Tünelinde Kullanılan EPB TBM.	40
Şekil 3.8. EPB TBM görünüşü	41
Şekil 3.9. Wirth Aker Slurry TBM	41
Şekil 5.1. En iyi ilerlemenin gerçekleştiği 02.03.2007 tarihindeki iş dağılım grafiği	48
Şekil 5.2. Günlük İlerlemeler	49
Şekil 5.3. En iyi ilerlemenin gerçekleştiği 35.Hafta iş dağılım grafiği	50
Şekil 5.4. Haftalık İlerlemeler	51
Şekil 5.5. En iyi ilerlemenin gerçekleştiği Şubat 2007 tarihindeki iş dağılım grafiği	52
Şekil 5.6. Aylık İlerlemeler	52
Şekil 6.1. Galeri 3 kazısı sırasında zemin ve şilt görüntüsü	54
Şekil 6.2. Şilt Kenarında Açılan Galeri	54
Şekil 6.3. Sıkışma sonucu galeri kazısı dolayısıyla kaybedilen zamanlar	56

Şekil 6.4. Makine tarafından otomatik kaydedilen itme kuvveti değerleri dağılımı...	58
Şekil 6.5. Makine tarafından otomatik kaydedilen tork değerleri dağılımı.....	59
Şekil 6.6. Makine tarafından otomatik kaydedilen tork ve itme kuvveti oranları.....	60
Şekil 6.7. Kesme derinliği dağılım grafiği	62
Şekil 6.8. Spesifik Enerji dağılım grafiği	63
Şekil 6.9. 729,60m-808,80m arası İtme kuvveti değişimi.....	66
Şekil 6.10. 729,60m-808,80m arası Tork değişimi	67
Şekil 6.11. 729,60m-808,80m arası Spesifik enerji değişimi.....	67
Şekil 6.12. 729,60m-808,80m arası Kesme derinliği değişimi	68
Şekil 6.13. 729,60m-808,80m arası Tork/İtme Kuvveti değişimi.....	68
Şekil 6.14. 1011,6m-1102,8 m arası itme kuvveti değişimleri.....	71
Şekil 6.15. 1011,6m-1102,8 m arası tork değişimleri	72
Şekil 6.16. 1011,6m-1102,8 m arası spesifik enerji değişimleri	72
Şekil 6.17. 1011,6m-1102,8 m arası kesme derinliği değişimleri.....	73
Şekil 6.18. 1011,6m-1102,8 m arası tork/itme kuvveti değişimleri	73
Şekil 6.19. 2137,2m – 2358m arasındaki itme kuvveti değişimleri	78
Şekil 6.20. 2137,2m-2358m arasındaki tork değişimi.....	79
Şekil 6.21. 2137,2m – 2358m arasındaki kesme derinliği değişimleri	79
Şekil 6.22. 2137,2m – 2358m arasındaki spesifik enerji değişimleri.....	80
Şekil 6.23. 2137,2m – 2358m arasındaki tork/itme kuvveti değişimleri	80
Şekil 6.24. 2560,8m-2630,40 m arasındaki itme kuvvetleri değişimleri	83
Şekil 6.25. 2560,8m-2630,40 m arasındaki tork değişimleri	83
Şekil 6.26. 2560,8m-2630,40 m arasındaki kesme derinliği değişimleri	83
Şekil 6.27. 2560,8m-2630,40 m arasındaki spesifik enerji değişimleri	84
Şekil 6.28. 2560,8m-2630,40 m arasındaki tork/itme kuvveti değişimleri	84
Şekil 6.29. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki itme kuvveti değişimi.....	85
Şekil 6.30. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki tork değişimi.....	86
Şekil 6.31. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki kesme derinliği değişimi	86
Şekil 6.32. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki spesifik enerji değişimi	87
Şekil 6.33. 4426,8m- 4453,2m arasındaki tork/itme kuvveti oranı.....	87
Şekil 6.34. 6169,2m – 6223,2m arasındaki itme kuvvetleri.....	89
Şekil 6.35. 6169,2m-6223,2m arasındaki tork değişimleri	90
Şekil 6.36. 6169,2m-6223,2m arasındaki kesme derinliği değişimleri	90
Şekil 6.37. 6169,2m-6223,2m arasındaki Spesifik enerji değişimleri.....	91

Şekil 6.38. 6169,2m-6223,2m arasındaki torkun itme kuvvetine oranının değişimleri	91
Şekil 6.39. 6376,8m- 6415,2m arasındaki itme kuvvetleri değişimi	93
Şekil 6.40. 6376,8m- 6415,2m arasındaki tork değişimi	93
Şekil 6.41. 6376,8m- 6415,2m arasındaki kesme derinliği değişimi	94
Şekil 6.42. 6376,8m- 6415,2m arasındaki spesifik enerji değişimi	94
Şekil 6.43. 6376,8m- 6415,2m arasındaki torkun itme kuvvetine oranının değişimi	94
Şekil 6.44. 6854,4m-6931,2m arasındaki itme kuvveti değişimleri	97
Şekil 6.45. 6854,4m-6931,2m arasındaki tork değişimleri	97
Şekil 6.46. 6854,4m-6931,2m arasındaki kesme derinliği değişimleri	98
Şekil 6.47. 6854,4m-6931,2m arasındaki spesifik enerji değişimleri	98
Şekil 6.48. 6854,4m-6931,2m arasındaki tork/itme kuvveti oranı değişimleri	99
Şekil 6.49. 6897,6m- 6940,8m arasındaki itme kuvveti değişimleri	101
Şekil 6.50. 6897,6m- 6940,8 m arasındaki tork değerlerinin değişimi	101
Şekil 6.51. 6897,6m- 6940,8 m arasındaki kesme derinliği değişimi	102
Şekil 6.52. 6897,6m- 6940,8m arasındaki spesifik enerji değişimi	102
Şekil 6.53. 6897,6m-6940,8m arasındaki tork/itme kuvveti oranı değişimi	102
Şekil 6.54. 7056m-7158m arasındaki itme kuvvetleri değişimi	105
Şekil 6.55. 7056m- 7158m arasındaki tork değişimleri	106
Şekil 6.56. 7056m-7158m arasındaki kesme derinliği değişimi	106
Şekil 6.57. 7056m-7158m arasındaki spesifik enerji değişimi	107
Şekil 6.58. 7056m-7158m arasındaki tork/itme kuvveti değişimi	107
Şekil 6.59. Bentonit enjeksiyonuyla birlikte yapılan kazılardaki itme kuvveti değişimi	110
Şekil 6.60. Bentonit uygulamasıyla birlikte makine tork değerleri	110
Şekil 6.61. Bentonit uygulamasıyla birlikte makine kesme derinliği değerleri	111
Şekil 6.62. Bentonit uygulamasıyla birlikte spesifik enerji değerleri	111
Şekil 6.63. Bentonit uygulamasıyla birlikte tork/itme kuvveti değerleri	112
Şekil 6.64. Duraklama Süresine göre başlangıç-bitiş itme kuvveti değerleri	115
Şekil 6.65. Duraklama Süresine göre başlangıç-bitiş itme kuvveti değerleri	117

SIKIŞAN ZEMİNLERDE TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE ULUABAT KUVVET TÜNELİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Bu araştırmada, sıkışan zeminlerde tam cepheli tünel açma makinesinin (TBM) performansı incelenmiştir. Analiz edilen veriler, Ak Enerji Üretim A.Ş'nin proje sahibi ve Tinsa Tic. İnş. Ve San. Ltd. Şti.'nin yüklenici olduğu Bursa Uluabat Kuvvet Tüneli Projesi'nde 12 Haziran 2006- 24 Mart 2010 tarihleri arasında kullanılan Pasa Basınçlı (EPB) TBM'e aittir.

Yapılan çalışmada, tünel kazısı süresince, sıkışan zeminlerden ötürü meydana gelen, 18 adet şilt sıkışması problemi incelenmiştir. Bu sıkışma dönemlerindeki itme kuvveti, tork, tork/itme kuvveti oranı, spesifik enerji ve kesme derinliği verileri analiz edilmiş, sıkışmanın önceden tahmin edilebilirliği tartışılmıştır. Bulgular, sıkışan zeminlerde, TBM'in itme kuvvetinde ortalama 870kN/m'lik bir artışın 14,2 metre içerisinde sıkışmaya yol açtığını göstermektedir.

Şilt ile zemin arasına sabit debi ve basınçta bentonit enjeksiyonun sıkışan zeminlerdeki etkileri de ele alınmıştır. Buna göre, kazı sırasında uygulanan bentonit enjeksiyonunun sıkışma olasılığını minimum seviyede tuttuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, itme kuvvetlerindeki 733,33 kN/m'lik yüksek artışa rağmen, herhangi bir sıkışma problemiyle karşılaşmadığı kaydedilmiştir.

Araştırmanın en son bölümünde, kazı öncesi gecikme sürelerinin itme kuvvetlerine etkisine odaklanılmıştır. Sıkışan zeminlerde gerçekleşen gecikmeler, özellikle, zamanın bir faktörü olan zemin deformasyonları açısından çok önemlidir. İtme kuvvetinin başlangıç ve kazı sonu değerleri arasında farkın, aksama süresi, 60 dakikanın altında olduğunda sıfıra yakinken; 60 dakikayı aştığında 5000kN'a kadar yükselebildiği belirlenmiştir.

PERFORMANCE ANALYSIS OF FULLFACE TUNNEL BORING MACHINES IN SQUEEZING GROUND AND ULUABAT POWER TUNNEL EXAMPLE

SUMMARY

In this research, the performance of full-face tunnel boring machine (TBM) in squeezing grounds is investigated. The analyzed data belong to the earth pressure balance (EPB) TBM that was used between June 12, 2006 and March 24, 2010 in the Bursa-Uluabat Power Tunnel Project, owned by AK Energy- Production Incorporated Company and subcontracted to Tinsa Trade, Construction and Industry Ltd.

In this study, 18 shield squeezing problems, arose from the squeezing grounds during excavation, is investigated. The changes in thrust force, rolling force, the ratio of thrust force to rolling force, and other engine values in the squeezing periods are analyzed; the predictability of squeezing is discussed. The findings show that 870N/m increase in the TBM's thrust force cause a squeeze within 14,2 meters.

The effects of injecting betonite with a constant flow and pressure between shield and ground on squeezing grounds are also addressed. Accordingly, the betonite injection during the excavation keeps the possibility of squeezing at minimum. Moreover, despite the high increase in thrust forces, i.e. 733,33kN/ m, no squeezing problem was recorded.

The last part explores the effects of pre-excavation delays on thrust forces. The delays in squeezing grounds are particularly important for the ground deformations that depend on time. It is found out that the difference between the initial and final thrust force values reaches 5000 kN per meter for the delays exceeding 60 minutes, whilst it approaches to zero, when the delays are less than 60 minutes.

1. GİRİŞ

Teknoloji'nin gelişmesi ve dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, insanların yeryüzünde kullanma ihtiyacı duyduğu alanlar gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde yeryüzündeki yapıların yoğunluğundan dolayı insanların yer altı yapılarına ihtiyacı büyük ölçüde artmaktadır. Yer üstü yapılarının yoğunluğu ve düzensiz yerleşmeden dolayı özellikle ulaşım, su ve kanalizasyon vb. sistemlerin yer altından götürülmesi zorunluluğu taşımaktadır. Bu alt yapı ihtiyaçlarına cevap verebilmek için mühendislerin çeşitli tasarımlar üzerinde yoğunlaşmak ve yeni sistemler geliştirmek zorunda olduğu kaçınılmaz bir gerçektir.

Şehirlerde yeryüzünde kullanılabilecek alanların azalması ve özellikle nüfusun ve şehirleşmenin yoğun olduğu yerlerde eski tekniklerle alt yapı iyileştirme ve geliştirme çalışmaları büyük zorluklar ortaya çıkartmaktadır; bundan dolayı madencilik ve inşaat sektörünün önderliğinde tünelcilik dalı gelişme göstermiş ve alt yapı sorununu mekanize kazı yapan makinelerle çözme yoluna başvurulmuştur. Mekanize kazı sistemleri yer altı kazıları sırasında yeryüzündeki yapılara ve topografyaya en az derecede etki etmesi, yüksek üretim miktarı, emniyetli olması ve düşük maliyetler gibi avantajlar taşımaktadır. Avantajlarının yanı sıra mekanize kazı sistemlerinin dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, mobilitenin kısıtlı olmasıdır. Mekanize kazı yöntemleriyle çalışılacak bir projede jeolojik ve jeofiziki çalışmaların dikkatli ve detaylı olarak gerçekleştirilmesi ve makine tasarımının buna göre yapılması gerekmektedir, bu şekilde sürdürülen bir projede kazı verimliliği arttırılmakta ve çalışma aşamasında yaşanan problemler en düşük seviyede tutulabilmektedir.

K.Kovari ve J.Staus'a göre sıkışan zemin karakteristiği büyük kaya kütlesi basıncının ortaya çıkmasıyla birlikte tünel tahkimatının zarar görmesidir. Sıkışan zeminler tahkimat sistemlerinde deplasmanlara yol açmakta, mekanize kazı yöntemiyle açılan tünellerde ekipmanın sıkışmasına yani, koruyucu kalkanın tünel çevresindeki zemin tarafından sıkıştırılarak ilerleme yapamamasına sebep olmaktadır.

Bu durum karşısında özellikle tam cepheli tünel açma makinelerinin ekonomikliği tartişma konusu olabilmektedir. Tam cepheli tünel açma makineleri her hangi bir duraklama anında ya da ilerleme sırasında sıkışma olayıyla karşı karşıya gelebilmektedir. Bu sıkışma sorununun üstesinden gelebilmek için makinenin itme kuvvetlerinden yararlanılmaya çalışılır.

Sıkışan zeminlerde makinenin sahip olduğu itme kuvvetleri her zaman tam anlamıyla kullanılamamaktadır. Gripper tünel açma makinelerinde zeminin taşıma kuvveti, tek ve çift kalkanlı tünel açma makinelerinde ise prekast segmanların taşıma kuvvetine de bağlıdır. Bir tünel açma makinesinin sıkışması durumunda genellikle şilt etrafına elle kazı yapılarak galeri açılmakta ve şiltin zeminin uyguladığı kuvvetlerden kurtarılmasına çalışılmaktadır, bu işlem ise büyük zaman kayıpları ve maliyete sebep olmaktadır, ancak tünel açma makinesinin sıkışması durumunda zorunlu bir iş olarak görülmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Uluabat Kuvvet Tüneli Projesi, Bursa'nın Uluabat Gölü'nün güneyinde bulunmaktadır. Kuvvet tüneli güzergâhında yer yer topografik koşulların zorluğu nedeniyle ve tünelin hızlı bir şekilde açılması amacıyla pasa basınçlı tam cepheli Tünel Açma Makinesi (EPB TBM) kullanılmıştır. Bu çalışmada kuvvet tünelinde kullanılan pasa basınçlı tam cepheli tünel açma makinesinin (EPB TBM) sıkışan zeminlerdeki performansı incelenmiştir.

Çalışmada sıkışma anından önce ve sonra tünel açma makinesinin itme kuvveti, tork, spesifik enerji, kesme derinliği ve ilerleme hızı değerlerindeki değişimler analiz edilerek sıkışmanın ne kadar önce tahmin edilebileceği, kazı sırasında bentonit enjeksiyonunun sıkışan zeminlerdeki etkisi ve kazı sırasındaki gecikmelerin itme kuvvetleri üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

Uluslararası kaya mekaniği topluluğuna göre sıkışma: kayanın kesme dayanımının aşılmasıyla birlikte tünel çevresinde oluşan büyük deformasyonlardır (Barla 2001). Aynı şekilde H.H.Einstein ve A.Bobet'in belirttiği gibi sıkışma olayı tünellerde büyük zemin deformasyonları, yerindeki basınçlar, gözenek basınçlarını da içine alacak şekilde kesme dayanımının aşılmasıyla oluşmaktadır.[5]

Sıkışan zeminlerdeki konverjans ve sıkışma potansiyelinin anlaşılabilmesi için ve önceden tahmin yöntemlerinin geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında çok sayıdaki değerli çalışma arasından üç tane önemli örnek verilecektir.

1.2.1. Aydan ve diğerleri yaklaşımı

Aydan ve dig. Japonya'daki tünellerdeki deneyimlerine dayanarak, Eşitlik 1.1'de verildiği gibi sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı ve kaya kütlelerinin basınç dayanımı (σ_{cm})'nın aynı olduğu varsayımıyla, sağlam kaya σ_{ci} ve arazi basıncını γH ilişkilendirmiştir, [7]:

$$N_c = \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} = \frac{\sigma_{cm}}{P_o} \quad (1.1)$$

Şöyle ki;

σ_{cm} = kaya kütleleri tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

P_o = Arazi basıncı

γ = Kaya kütleleri özgül ağırlığı (gr/cm^3)

H = Örtü tabakası kalınlığı (m)

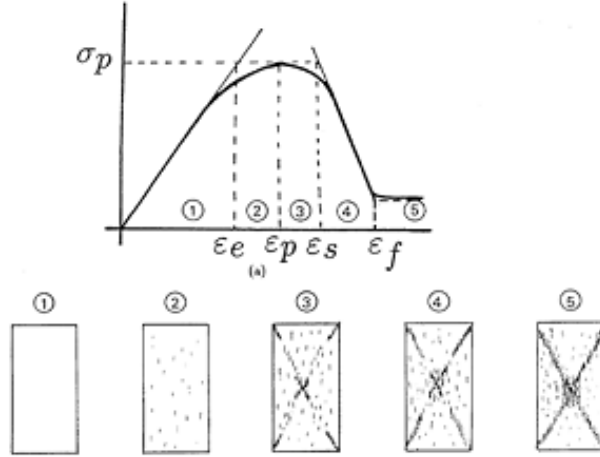
Aydan ve diğerlerine göre sıkışma durumu $\sigma_{ci} / \gamma H$ oranının 2.0 dan küçük olması durumunda gerçekleşmektedir.

Yaklaşımın temel konsepti kayanın laboratuvar testlerinde basınç ve gerilme altındaki davranışlarının ve tünel çevresindeki teğetsel gerilme ve basınç tepkilerinin mukayesesine göre dayanmaktadır. Normalleştirilmiş gerilme değerlerini verebilmek için 5 ayrı örnek yükleme sırasında incelenmiş ve aşağıdaki ilişkiler ortaya koyulmuştur.

$$\eta_p = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_c} = 2\sigma_{ci}^{-0.17}, \quad \eta_s = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} = 3\sigma_{ci}^{-0.25}, \quad \eta_f = \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_c} = 5\sigma_{ci}^{-0.32} \quad (1.2)$$

Şöyle ki;

$\varepsilon_p, \varepsilon_s, \varepsilon_f$ = Şekil 1.1’de verilen birim deformasyon değerleri



Şekil 1.1 İdealleştirilmiş basınç-gerilme eğrisi ve sıkışan zeminlerle ilişkilendirilmesi

Sonuç olarak, $\varepsilon_\theta^a/\varepsilon_\theta^e$ oranına bağlı olarak beş ayrı derecede sıkışma belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır. [7]

$$\varepsilon_\theta^a = \frac{u}{r}, \quad \varepsilon_\theta^e = \frac{1+\nu}{E} \frac{\sigma_{cm}}{2} \quad (1.3)$$

1.2.2. Hoek & Marinos (2000) yaklaşımı

Hoek 1998’de kaya kütesinin tek eksenli basınç dayanımı σ_{cm} yerindeki basınç P_o a oranının potansiyel sıkışma probleminde kullanmıştır (Barla 2001). Hoek ve Marinos (2000) tünel gerilmelerini ε_t göstermişlerdir. (Tünel duvarındaki deplasmanların yüzde oranı olarak tanımlamışlardır). [7]

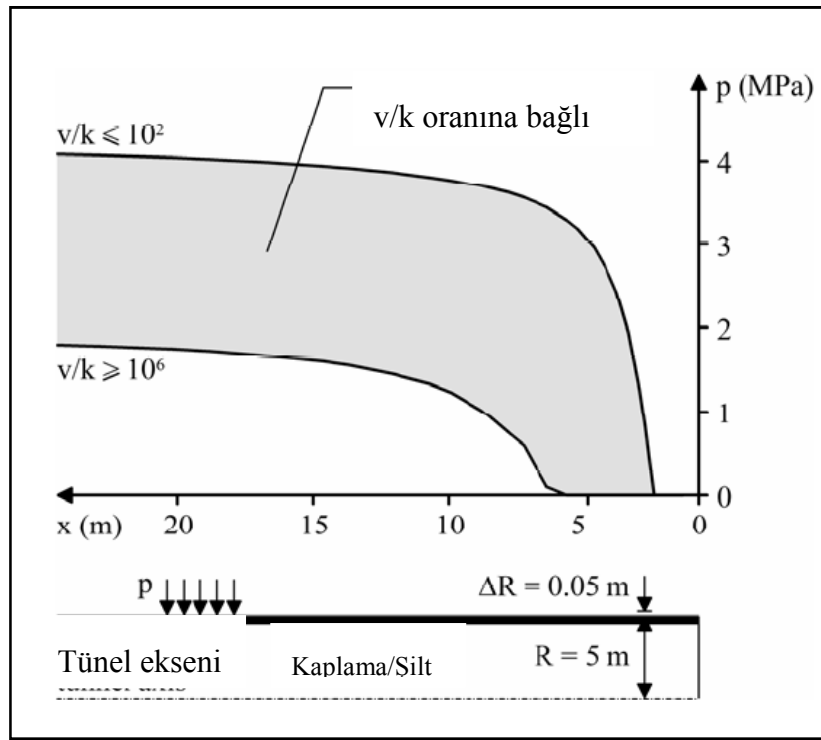
Hoek (2000), “Kötü kaya koşullarında büyük tüneller” konusundaki Terzaghi dersinde, sonlu eleman analizleri ve değişik kaya kütleleri, yerinde basınçlar ve tahkimat basınçları P_i , tünel gerilmelerini veren bir ilişki kurmaktadır;

$$\varepsilon_t(\%) = 0.15 \left(1 - \frac{P_i}{P_o} \right) \frac{\sigma_{cm}}{P_o} - \frac{(3^{P_i/P_o} + 1)}{(3.8 P_i/P_o + 0.54)} \quad (1.4)$$

1.2.3. Marco Ramoni ve Georgios Anagnostou

Ramoni ve Anagnostou 2007 yılında Uluslararası Tünel Derneği tarafından gerçekleştirilen Dünya Tünel Konferansında yayınladıkları “Sıkışan zeminlerde şilt üzerine gelen yüklerin ilerleme oranına etkisi” adlı makalelerinde sıkışan zeminlerde TBM’in ilerlemesini sürdürebilmesi için gerekli itme kuvvetini tayin edebilmek için aşağıda belirtilen yaklaşımı yapmışlardır;

Şiltli tünel açma makineleriyle yapılan kazılarda zemin ve makine şildi arasındaki fazla kazıdan dolayı sınırlı bir konverjans oluşabilir. Hızlı ve kuvvetli sıkışmanın gerçekleştiği zeminlerde kazı arınının çok yakınında bu fazla kazı kapanabilir ve zemin şilt üzerine basınç uygulamaya başlayabilir. Şekil 1.2’de Ramoni ve Anagnostou’nun zemin geçirgenliği ve ilerleme hızına bağlı olarak 5cm’lik fazla kazıyla yapılan ilerlemede zeminin uyguladığı basıncı göstermektedir.



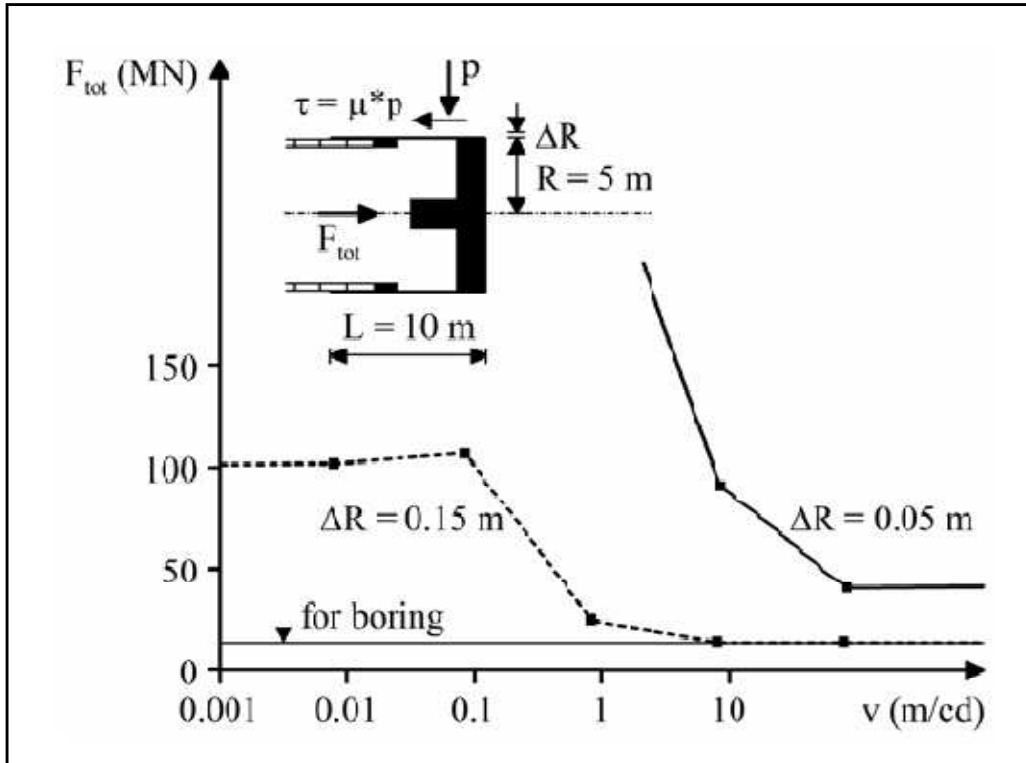
k = Zemin geçirgenliği, v = İlerleme hızı, p = Zemin basıncı, ΔR = Fazla Kesme, R = Tünel Çapı

Şekil 1.2. Zemin geçirgenliği ve ilerleme hızına bağlı olarak 5cm’lik fazla kazıyla yapılan ilerlemede zeminin uyguladığı basınç

Yukarıda verilen şekil’e göre zemin geçirgenliği düşük ilerleme hızı ise yüksek ise yani $v/k \geq 10^6$ ise fazla kesme ilerlemenin ilk 6 metresi için herhangi bir kapanma göstermemektedir.

Bunun yanı sıra yüksek geçirgenlikteki bir zeminde ve düşük ilerleme hızıyla gerçekleştirilen ilerlemelerde yani $v/k \leq 10^2$ ise fazla kesme 2 metre ilerleme içerisinde kapanmakta ve zemin şilt üzerine baskı uygulamaya başlamaktadır.

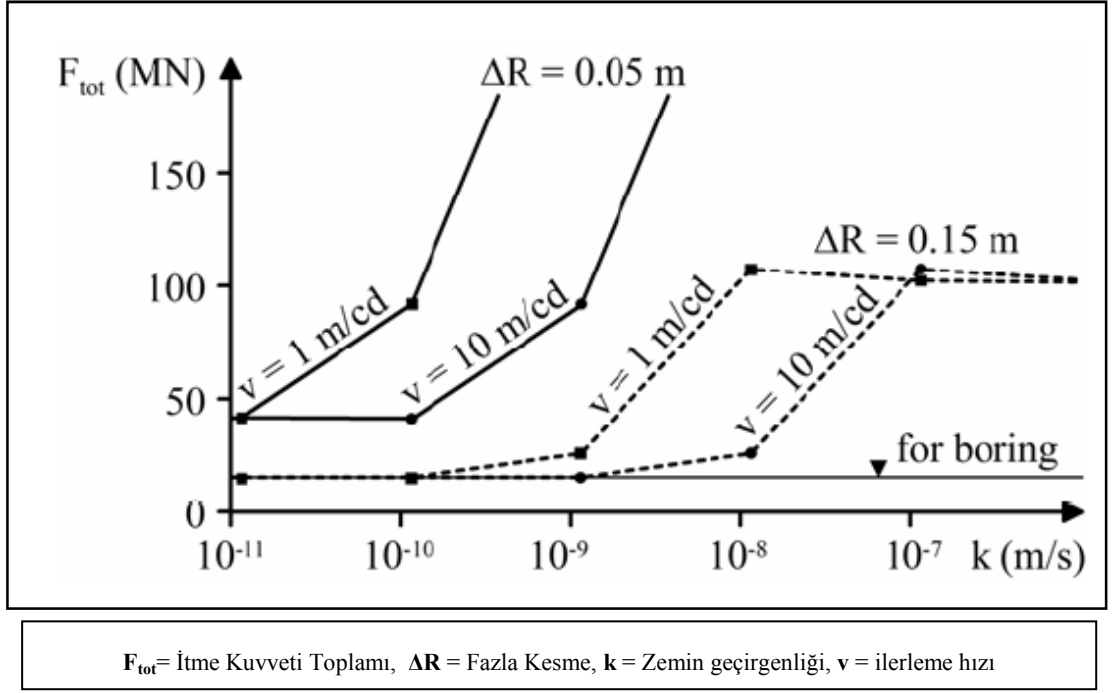
Ramoni ve Anagnostou 10 metre uzunluğundaki bir şilt için düşük geçirgenlikteki bir zeminde ilerleme hızı (v)'nın bir fonksiyonu olarak sürtünmeyi yenebilecek itme kuvveti ihtiyacını hesaplamak amacıyla zemin basıncının integrasyonu yöntemiyle itme kuvveti ihtiyacını hesaplamışlardır. İlerleme hızına göre itme kuvveti ihtiyacı Şekil 1.3'de verilmiştir.



L = Şilt Uzunluğu, F_{tot} = İtme Kuvveti Toplamı, μ = Sürtünme Katsayısı, ΔR = Fazla Kesme,
 R = Tünel Yarı Çapı

Şekil 1.3. 10 metre uzunluğundaki bir şilt için düşük geçirgenlikteki bir zeminde ilerleme hızı (v)'nın bir fonksiyonu olarak sürtünmeyi yenebilecek itme kuvveti gereksinimi

Aynı makale içerisinde Ramoni ve Anagnostou zeminin şilt üzerinde yarattığı sürtünmeyi yenebilecek itme kuvvetini zeminin geçirgenlik katsayısının bir fonksiyonu olarak hesaplamışlardır. Şekil 1.4'de değişik ilerleme hızları ve fazla kazı oranlarına göre geçirgenlik katsayısı ve itme kuvveti ilişkisi verilmiştir.



Şekil 1.4. Değişik ilerleme hızları ve fazla kazı oranlarına göre geçirgenlik katsayısı ve itme kuvveti ilişkisi

Sonuç olarak Ramoni ve Anagnostou bu araştırmayla birlikte şu sonuçlara varmışlardır;

- İtme kuvveti ihtiyacı şilt uzunluğuyla alakalıdır
- Fazla kesme miktarı itme kuvvetleri üzerinde doğrudan rol oynamaktadır
- Zemin ve şilt arasındaki sürtünme katsayısı itme kuvvetlerini doğrudan etkilemektedir.
- Sıkışan zeminlerde ilerleme hızı itme kuvvetleri üzerinde etkilidir.

2. PROJE'NİN TANITILMASI

Proje DSİ tarafından planlanan Emet- Orhaneli Projesi kapsamında yer alan Çınarcık Barajı, Uluabat Kuvvet Tüneli ve HES Projesi kapsamında bulunan ve yapımı EPDK tarafından üretim lisansı ile Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.'ye verilen Uluabat Enerji Tüneli, Cebri Boru hattı ve Hidroelektrik Santral yapımı projesidir.

Orhaneli Çayı üzerinde inşaatı devam eden ve +330m kotuna kadar depolama yapacak olan Çınarcık Barajındaki su yükü ile +2m kotuna inşa edilecek Hidro Elektrik Santralinde (HES) 328m'lik bir düşüş ile enerji üretilmesi hedeflenmektedir. Baraj ile HES arasındaki su iletimi yaklaşık 11,4 km'lik Uluabat Kuvvet Tüneli ve yaklaşık 1150m'lik uzunluğundaki açıkta bulunan cebri boru ile sağlanacaktır. Projenin en kritik yapısı kuvvet tüneli olup, arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan EPB sınıfı TBM kullanılmıştır.

Söz konusu proje DSİ tarafından planlanmış ve planlama amaçlı ayrıntılı bir jeolojik çalışma da yapılmıştır, konvansiyonel olarak açılan kısımda yaşanan büyük deplasmanlar ve tahkimat sisteminin yer yer ciddi hasarlar görmesi sonrasında çeşitli önlemler alınmaya çalışıldıysa da başarılı olunamamıştır ve tünel açma yönteminin değiştirilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda DSİ projesine ek olarak Zemar Zemin Araştırma ve Teknik Müşavirlik Ltd. tarafında sondajlar ve araştırmalar yapılmıştır. Kasım 2005 tarihinde sona eren Jeolojik Araştırmalarda proje alanındaki jeolojik bilgiler genişletilmiş, jeolojik birimlerin özelliklerini deneyler ile belirlenmiş, tünel ve TBM uygulamasına yönelik parametreler toplanmış ve inşaatı yönelik diğer (şev, temeller, korozyon, vb.) tasarım parametreleri ortaya konmuştur. Yapılan detaylı araştırmalar sonucunda kuvvet tünelinin kazısında Tam Cepheli Tünel Açma Makinesinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu gelişmeler sonucunda tünel çıkış ağzından başlanılarak Herrenknecht S-330 model arazi basıncı dengeleme esasına göre çalışan EPB TBM kullanılmaya başlanılmıştır. 12 Haziran 2006 tarihinde başlanan kazı işlemleri 24 Mart 2010 tarihinde sona ermiştir.

2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı idari açıdan Bursa'ya bağlı olup, Uluabat (Apolyont) Gölü güneyinde bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Çalışma Alanı Yeri (Marmara Bölgesi Diri Fay Haritası, MTA) [1]

Proje alanında birbirlerinden genç bir fay zonu ile ayrılan Uluabat Gölü'nün 5-10m kotlarında yer alan düzlüğü ile 300-600m yükseklikte yayılan tepelik bölge olarak iki farklı morfolojik düzlem dikkati çeker. Bu morfoloji genç fay aktivitesinin en belirgin sonucudur. Güzergah boyunca topografik koşullar yer yer oldukça zorlu olup, eğim değerleri %10 – 60 arasında değişmektedir. Özellikle tünel güzergahının giriş ağzından yaklaşık 5.5 km 'ye kadar olan kesimi zorlu topoğrafik koşulları içerir. Bu kesimde yer yer hava koşullarına bağlı olarak ulaşım zorlukları yaşanmaktadır. Buna benzer bir durum tünel çıkış ağzı ile Unçukuru Köyü arasındaki kesimde de (yaklaşık 3 km) bulunmaktadır. [1]

Güzergâh çevresinde en yüksek tepe Sıçancık Tepe olup, 809m. yüksekliğindedir. Bunların dışında sahada 500-600m kotlara sahip çok sayıda tepe de gözlenir. Kazanpınar, Unçukuru ve Korucubaşı (Balyaz) köyleri civarında karstik çökme yapılarına bağlı genişçe bir düzlük (Kovalca Düzü) yer alır. Kireçtaşının olduğu bu kesimlerde karstik topografyanın karakteristik yapıları yaygınca gözlenir.[1]

Alandaki en önemli drenaj Çınarcık Barajı'nın üzerinde yer aldığı Orhaneli Çayı'dır. Civardaki drenajlar genellikle fay, makaslama ve eklem gibi yapısal unsurların kontrolünde gelişmiştir. Dere vadileri genellikle sarp ve derindir.[1]

İnceleme alanında, güzergâha yakın olarak güneyde Çınarcık, orta kesimlerde Balyaz, Gelemit, Unçukuru ve kuzeyde Fadıllı köyleri yer alır. Diğer başlıca yerleşimler ise batıda Kazanpınar, Doğanalan, Akçapınar, Ayvaköy; doğuda Maksempınar, Mamuriye köyleri ve Akçalar Nahiyesi 'dir. [1]

2.2. Proje Sahasında Yapılan Jeolojik Ön Çalışmalar

Yaklaşık 1980'li yılların ortalarından başlayarak aşama aşama yürütülen araştırma çalışmalarının kronoloji ve kapsam olarak kısaca tanıtılmasında yarar görülmüştür. Bu çalışmalar, planlama aşamasından proje realizasyonuna doğru giderek artan detay ve içerik ile sürdürülmüştür. Aşağıda yürütülmüş olan bu çalışmalar kısaca özetlenmeye çalışılmıştır.[1]

2.2.1. Emet-Orhaneli Projesi, Uluabat Kuvvet Tüneli ve HES yeri mühendislik jeolojisi planlama raporu

Proje alanı ile ilgili en önemli çalışma, 1983-87 yıllarında DSİ adına Esen YALIMER tarafından hazırlanmış olan "Emet-Orhaneli Projesi Uluabat Kuvvet Tüneli ve HES Yeri Mühendislik Jeolojisi Planlama Raporu" dur. Bu çalışma kapsamında gerek Kuvvet Tüneli Güzergâhı ile Cebri Boru Güzergâhı ve gerekse Hidroelektrik Santral yeri jeolojik yönden ayrıntılı olarak incelenmiş ve yapım koşulları ortaya konulmuştur. Çalışmada 4 ayrı alternatif üzerinde çalışılmış ve mevcut güzergâh en uygun olarak belirlenmiştir. Bu rapor, proje açısından günümüze kadar yürütülen çalışmaların planlanmasında kullanılan temel çalışma olarak kullanıla gelmiştir. Araştırma kapsamında genişçe bir alanın 1/25 000 ölçekli detaylı bir jeolojik harita hazırlanmış, temel ve su sondajları ile araştırma galerileri açılmıştır. Raporda genel jeolojik koşullar ve yapı yerleri ile ilgili mühendislik jeolojisi değerlendirmeleri, yapı gereçleri ve ulaşılan sonuçlar planlama safhası için yeterli düzeyde verilmiştir.[1]

Çalışma kapsamında, temel sondajlarında belirlenen seviyelerde basınçlı su deneyleri ve değerlendirmeleri, karot yüzdeleri ve ortalama RQD değerleri kayda alınmıştır. Yine bu çalışmalar kapsamında gereken yerlerde jeofizik yöntemler uygulanarak

yeraltı jeolojisi incelenmiş ve karst jeolojisi etüdü de yapılmıştır. Ayrıca tünel giriş ve çıkışlarında iki adet araştırma galerisi açılmıştır. Genelde tünelin büyük kısmının açılacağı metadetritik birimlerin RQD değerleri çok düşük, kireçtaşı ise yüksek olarak tarif edilmiştir. Meta-detritik birimlerde hızla destek uygulanması, gerekirse inşaat programını aksatmadan kazı ile beton kaplamanın birlikte yürütülmesinin uygun olduğu vurgulanmıştır.[1]

Tünel kazısında kireçtaşı formasyonu geçileceği dikkate alınarak, kazı kotlarında muhtemelen su sorunun olabileceği ve bu sorunun araştırılması gereği vurgulanmıştır. Bu amaçla, Jeoteknik Hizmetler ve YAS Daire Başkanlığı Karst Araştırma Şube Müdürlüğü'nden görüş istenmiş ve ilgili ünite konuyu ayrıntılarıyla etüt ederek sonuç ve önerileri bir rapor halinde derlemiştir. [1]

Ayrıca sondaj kuyularındaki statik su seviye ölçümleri, kireçtaşından boşalım yapan kaynakların debi ölçümleri ve bölgenin aldığı yağışlar periyodik olarak tespit edilmiş, gerekli noktalardan su numunesi alınarak kimyasal analizleri de yapılmıştır. Boşalımların genelde 350-400m kotlarında olduğu kaydedilerek karstlaşmanın bu derinliklere kadar etkili olduğu ancak tabana kadar az da olsa gelişmiş karst yapılarının ya da kırıklı zonlarda önemli su sorunları olabileceği vurgulanarak kireçtaşını en az boyda kesen bir güzergâh önerilmiştir.[1]

Tünel kotlarında yapılan 10 atmosferlik basınçlı su deneylerine göre de genelde ortam yeraltı suyu açısından geçirimsiz bulunmuştur. Bölgedeki kireçtaşı su potansiyeli açısından son derece riskli görüldüğünden ayrıca ayrıntıları aşağıda verilecek olan kapsamlı bir karst hidrojeolojisi etüdü de bu çalışmaya paralel olarak yürütülmüştür. Kuvvet tüneli güzergâhının ayrıntılı incelemelerinde öncelikle tünel ekseninde kireçtaşına girilip girilmeyeceğinin tespit edilmesi gerekmiştir. Bu amaçla hazırlanan temel sondaj programında kireçtaşı üzerindeki sondajların açımı yürütülmüştür. Sondajların bitiminden sonra kireçtaşının TSK-13 sondaj lokasyonunda 240.00m kotundan daha derin olduğu, 16/33400 su kuyusu lokasyonunda 284.50m kotuna ve TSK-6 lokasyonunda 296.50m kotuna kadar devam ettiği saptanmıştır. Bu verilere göre tünel ekseninde, toplam 1+325km'lik kazının kireçtaşları içinde yapılacağı belirlenmiştir. Kireçtaşının genelde sağlam olduğu ancak su riski açısından aynadan sürekli kontrol delgileri yapılarak ilerlenmesinin gereği vurgulanmıştır.

Kireçtaşı içinde teorik olarak maksimum 500 lt/s su gelirinin olabileceği ve cazibe ile drenajın dikkate alınması gerektiği ileri sürülmüştür. Ayrıca bu kesimin kurak mevsimde ve pompaj ile su düşürülerek geçilmesi önerilmiştir.

Meta-detritikler içinden yeterli sondaj veri ve numunesi alınamadığından kaya ortamını bire bir ölçekte incelemek üzere açılan galerilerde 150m'lik giriş ağzında yapılan galeride son metrelerde göçükler oluşmuş galeri terk edilmiştir. Göl tarafında, çıkış ağzında açılan 200m'lik galeride ise kuru şartlarda daha stabil bir ortam gözlenmiştir. Bu galeride meta-kumtaşları, meta-kıltaşı ve şistlerin karmaşık bir yapıda olduğu belirtilmiştir. [1]

Tüm bu çalışmalar ile elde edilen verilere dayanılarak ve gerekli önlemler alınmak kaydıyla proje uygun görülmüştür.

2.2.2. Emet-Andranos Kuvvet Tüneli Karst hidrojeolojisi

Planlama aşamasında yukarıda verilen raporla ilişkili olarak DSİ tarafından hazırlanan karst hidrojeolojisi raporu ile ilgili bazı ayrıntılar da aşağıda sunulmuştur.

Rapor, bölgede gözlenen kireçtaşı rezervuarını hidrojeoloji ve karst oluşumu açısından detaylı olarak incelemiştir. İncelemelerde, kireçtaşı beslenme alanının 45 km² olduğu, kireçtaşının 30 km²'lik bir alanda yüzeylendiği belirlenmiş ve bölgenin yağış özellikleri, karstik kaynak boşalımları, yeraltı su seviyeleri uzun süreli olarak gözlenmiştir. Çalışmada, kireçtaşı içinde açılmış bulunan sondajlar, karst araştırması için açılan kuyular ve su kuyusu verileri değerlendirilmiş ve bir pompa deneyi de yapılmıştır. Raporda, araştırma sonuçlarına göre karstlaşma derinliğinin 284m-341m arasında değiştiği belirtilerek ortalama karst derinliği 304m olarak verilmiştir.

Yağış kayıtları, sondaj kuyularında ve çevredeki kaynaklarda yapılan gözlemler, deneyler ve incelemeler sonucunda havzanın beslenme miktarının 270 lt/sn olduğu ve genel yeraltı suyu akımının güneybatı yönünde olduğu saptanmıştır. Çalışmalardan elde edilen bulgular ile yapılan hesaplamalardan kireçtaşı içinde yer alan yaklaşık 2km tünel uzunluğu boyunca maksimum 500 lt/sn kadar su gelebileceği tespit edilmiştir. Bu değer 222 lt/sn 'lik kısmi rezervuar deposundan kaynaklanmaktadır ve zamanla tükenebilecektir. Yapılan deneyde 13.5 lt/s gibi küçük bir çekimle 32m kadar düşüm olduğu göz önüne alınarak bölgenin yeraltı suyu açısından pek de zengin olmadığı vurgulanmıştır.

Raporda, karstlaşmanın yüzeydeki 50m'lik kesimde yaygın olduğu ve derinlere doğru azaldığı görüşü benimsenmiştir. Öneri olarak tünelin kurak mevsimde açılmasının ve su seviyesinin pompaj ile düşürülmesinin yarar sağlayacağından bu raporda da bahsedilmiştir. Ayrıca, proje uygulama safhasında mevcut hidrojeolojik koşulların daha ayrıntılı olarak incelenmesi ve inşaat sırasında da gözlenmesi önerilmiştir.[1]

2.2.3. Emet-Andranos Kuvvet Tüneli Karst hidrojeolojisi

Planlama aşamasında yukarıda verilen raporla ilişkili olarak DSİ tarafından hazırlanan karst hidrojeolojisi raporu ile ilgili bazı ayrıntılar da aşağıda sunulmuştur.

Rapor, bölgede gözlenen kireçtaşı rezervuarını hidrojeoloji ve karst oluşumu açısından detaylı olarak incelemiştir. İncelemelerde, kireçtaşı beslenme alanının 45 km² olduğu, kireçtaşının 30 km²'lik bir alanda yüzeyletiği belirlenmiş ve bölgenin yağış özellikleri, karstik kaynak boşalımları, yeraltı su seviyeleri uzun süreli olarak gözlenmiştir. Çalışmada, kireçtaşı içinde açılmış bulunan sondajlar, karst araştırması için açılan kuyular ve su kuyusu verileri değerlendirilmiş ve bir pompa deneyi de yapılmıştır. Raporda, araştırma sonuçlarına göre karstlaşma derinliğinin 284m-341m arasında değiştiği belirtilerek ortalama karst derinliği 304m olarak verilmiştir.

Yağış kayıtları, sondaj kuyularında ve çevredeki kaynaklarda yapılan gözlemler, deneyler ve incelemeler sonucunda havzanın beslenme miktarının 270 lt/sn olduğu ve genel yeraltı suyu akımının güneybatı yönünde olduğu saptanmıştır. Çalışmalardan elde edilen bulgular ile yapılan hesaplamalardan kireçtaşı içinde yer alan yaklaşık 2km tünel uzunluğu boyunca maksimum 500 lt/sn kadar su gelebileceği tespit edilmiştir. Bu değer 222 lt/sn 'lik kısmı rezervuar deposundan kaynaklanmaktadır ve zamanla tükenebilecektir. Yapılan deneyde 13.5 lt/s gibi küçük bir çekimle 32m kadar düşüm olduğu göz önüne alınarak bölgenin yeraltı suyu açısından pek de zengin olmadığı vurgulanmıştır.

Raporda, karstlaşmanın yüzeydeki 50m'lik kesimde yaygın olduğu ve derinlere doğru azaldığı görüşü benimsenmiştir. Öneri olarak tünelin kurak mevsimde açılmasının ve su seviyesinin pompaj ile düşürülmesinin yarar sağlayacağından bu raporda da bahsedilmiştir. Ayrıca, proje uygulama safhasında mevcut hidrojeolojik koşulların daha ayrıntılı olarak incelenmesi ve inşaat sırasında da gözlenmesi önerilmiştir.[1]

2.2.4. DSİ tünel sorunları inceleme raporu

Diğer bir çalışma ise tünel ile ilgili çalışmaların başlamasından sonra, tünelde gözlenen sorunlarla ilgili olarak DSİ uzmanlarından oluşan bir heyetin hazırladığı rapordur. Raporda belirtildiği üzere kuvvet tünelinin ilk 300m'lik bölümü 2002 yılı içinde açılmaya başlanmış püskürtme beton - tel kafes - çelik iksa'dan oluşan destek sistemiyle desteklenmiştir. Tünel açımı sırasında, 0+280-0+324 km 'ler arasında deformasyonlar meydana gelmiş ve 0+352 km civarında tünel açımına 10 ay ara verilmiştir. 2003 Kasımında yapılan gözlemlerde yer yer 30cm'ye varan deformasyonlar taban gergilerinde yer yer 1m'ye varan kabarmalar gözlemiştir. Daha sonra tünel 0+510m'ye kadar açılmaya devam etmiş ancak deformasyonların önlenememesi nedeni ile çalışmalar durdurulmuştur. Çalışmada birim ağırlık, nokta yük dayanımı, basınç dayanım gibi laboratuvar deneyleri ve yerinde pressiometre deneyleri, dilatometre deneyleri yapılmıştır. Ayrıca değişik kaya sınıflamaları metotları ile sınıflamalar yapılmış ve tüneldeki zemin davranışına yönelik değerlendirmeler sunulmuştur. Buna göre tünel ortamı için aşağıdaki parametreler verilmiştir:

Birim Hacim Ağırlığı (kuru) :	2.24-2.51 g/cm ³
Birim Hacim Ağırlığı (yaş) :	2.29-2.60 g/cm ³
Basınç Dayanımı (genel ort.):	12.5-13 kg/cm ²
Nokta Yük Dayanımı:	1-1.10 kg/cm ²
Elastisite Modülü:	300-2000 MPa

Kaya sınıflamaları çalışmalarında sorunlu kesimlerin RMR=24 ve Q=0.66 olarak hesaplanmış, Terzaghi sınıfı olarak V-VI olarak verilmiştir.

Söz konusu çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu yine aynı heyet tarafından km 0+250 den itibaren aynaya doğru beton kaplama yapılması, at nalı tipinde projelendirilmiş ve açılmış tünelde dairesel kesitte kazı yapılması önerilmiştir.

Ayrıca mevcut destekleme sisteminin gelen yükleri karşılayamadığı, destek sisteminin güçlendirilmesi ve deformasyonların tektonik etkiler ile oluştuğu düşüncesi ile ayrıntılı tektonik çalışmaların yapılması gereği belirtilmiştir. [1]

2.2.5. Uluabat Kuvvet Tüneli ve HES yeri jeolojik ön değerlendirme raporu

Projenin Akenerji Elektrik Üretim AŞ. Tarafından üstlenilmesinden sonra Mayıs-Haziran 2005’de ZEMAR Zemin Araştırma, Mühendislik ve Teknik Danışmanlık Ltd. tarafından önceki çalışmalar ışığında genel bir jeolojik ön değerlendirme çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmada, 1988 yılında planlama amacı ile DSİ tarafından hazırlanmış olan 1/25 000 ölçekli jeolojik harita sahada incelenmiş, birimlerin özellikleri, dağılımları ve dokanak ilişkileri gözden geçirilmiştir. Çalışmalar, harita alanının tünel güzergâhı civarında yoğunlaştırılmış, haritanın bu kesimleri özellikle mühendislik jeolojisi amaçlı olarak ayrıntılandırılmıştır. Buna paralel olarak daha önce yapılmış mevcut çalışmalardan elde olanlar incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, planlama amacı ile oldukça itinalı olarak hazırlanmış olduğu anlaşılan mevcut haritada kısmen detaylandırma, kısmen de yerel revizyonlar yapılmıştır. Harita alanının en kuzey kesimi ise bu çalışmada farklı olarak birden fazla kırık hattı içeren bir fay zone şeklinde değerlendirilmiştir. Ölçeği 1/10 000’e büyütülen cebri boru güzergahı ve HES yeri haritaları da bu şekilde detaylandırılmıştır. Bu çalışmada güzergâh mekanize tünel açma yöntemleri açısından incelenmiş, tünel güzergâhı ve ilgili yapılar bir bütün olarak değerlendirilmiştir.

Ayrıca mevcut araştırmalar ışığında özellikle TBM ile açılacak tünel güzergahında jeolojik koşullar ile ilgili bilgilerin detaylandırılması, jeoteknik parametrelerin elde edilmesi, ve karşılaşılabilecek koşulların türü yanı sıra boyutlarına da yaklaşım yapılabilmesi ve nihai tasarıma yönelik diğer parametrelerin toplanması amacı ile ilave araştırmalar için de bir çerçeve tanımlanmıştır. [1]

2.2.6. Uluabat Kuvvet Tüneli Denge bacası, Cebri Boru Hattı ve HES mühendislik jeolojisi değerlendirme raporu temmuz-2005

Daha sonra Denge Bacası, Cebri boru güzergahı ve HES yerini içeren 1/5000 ölçekli tamamlayıcı bir çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada denge bacası ile kanal sonu arasındaki kesim incelenmiş ve muhtemel alternatifler değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonunda mekanize tünel için giriş ağzı ve cebri boru hattı ile ilgili değerlendirme ve öneriler sunulmuştur.

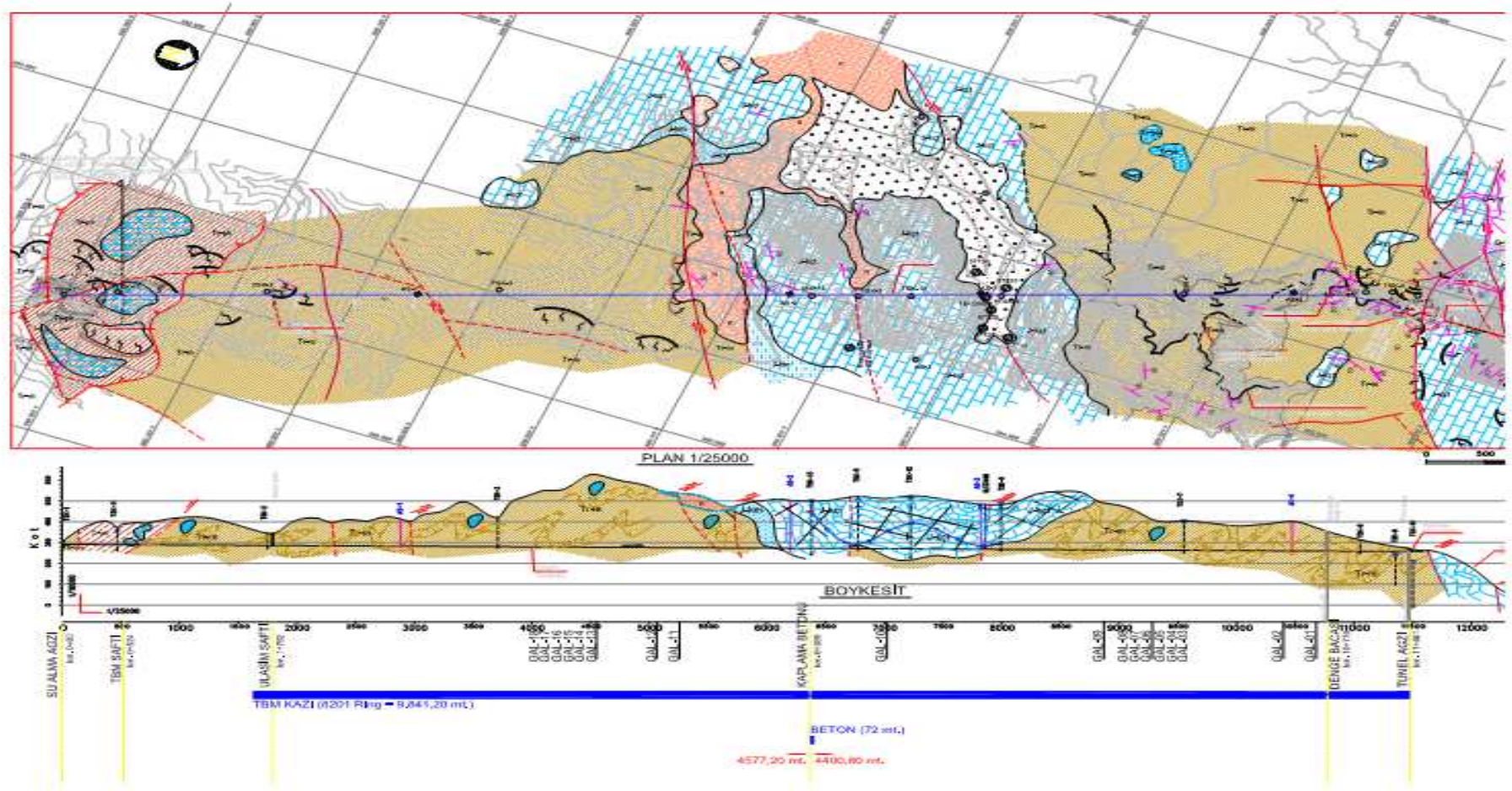
Çalışma sonunda tünel ağzının uygun bir lokasyona kaydırılması ve cebri boru hattının da heyelanlı alan dışına alınması ile ilgili öneriler sunulmuştur. Bu kesimde yapılacak ilave çalışmalar ayrıntılandırılmış ve önerilmiştir. [1]

2.2.7. Diğer çalışmalar

Bölgedeki bir diğer çalışma ise genel jeoloji amaçlı bağımsız bir çalışma olup, MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1986 yılında yayınlanmıştır. Açınsama nitelikli bu çalışma 1/100000 ölçekli Bandırma E-6 paftasına ait ve bölgenin batısını kapsayan jeolojik haritalama çalışmasıdır. [1]

2.3. Genel jeoloji ve tektonik

Harita alanında en yaşlı jeolojik birim Triyas yaşlı yer yer olistrosromal Permien kireçtaşı ve kuvarsit blokları içeren meta-detritiklerdir. Bu birim üzerine Jura yaşlı konglomera – kumtaşı – marndan oluşan merceksel bir seri gelir. Daha sonra yine Jura yaşlı kireçtaşı yer almaktadır. Bu birimler üzerinde inceleme alanı dışında Üst Kretase yaşlı Ofiyolit Karmaşığı tektonik bindirme yapısı ile yer alır. Kuvaterner yaşlı Yamaç Molozu, karstik alanda Rezidüel Örtü ve Alüvyon oluşumları sahadaki en genç jeolojik birimlerdir. Sahanın en kuzeydoğu ucunda ise fay zonu boyunca gelişmiş ve neojen oluşumları ile ardalanmalı genç volkanik kayalar bulunmaktadır. Yukarıda tarif edilen bu jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru bölüm 2.3.1’de sunulmaktadır. Güzergahı kapsayan 1/12500 ölçeğe küçültülmüş jeoloji haritası Şekil 2.2’de sunulmaktadır.[1]



Şekil 2.2. Uluabat Projesi Jeoloji Haritası [1]

2.3.1. Stratigrafik Jeoloji

2.3.1.1. Metadetritikler (Triyas, Tr-m)

Uluabat gölünün güney ve güneydoğusunda geniş alanlarda yayılım gösteren bu jeolojik formasyon inceleme alanının temelini teşkil etmektedir. Söz konusu formasyon MTA Grubu tarafından yapılmış olan “Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Bandırma E6 Paftası” nda “Karakaya Formasyonu” olarak tanımlanmıştır. Bu formasyon literatürde “Karakaya Karmaşığı” (Melanj) olarak da bilinmektedir. İnceleme alanı ortalarında ve Uluabat Gölü ’nün güneyinde Jura yaşlı kireçtaşları ve daha güneyde inceleme alanı dışında Üst Kretase yaşlı Ofiyolit Karmaşığı ile dokanaklıdır. [1]

Birim esas olarak litolojisine göre koyu kahve, mor, bej, gri, yeşil, sarı, pembe renkli metamorfize olmuş kumtaşı, konglomeratik kumtaşı, silisifiye kumtaşı, fillit, şist, grovak, silttaşı gibi değişik metamorfizma düzeyleri gösteren detritikler (kırıntılı malzeme) ve bunlar içinde düzensiz gelişmiş, grift ya da bloklar halinde metabazalt ve metatüflerden oluşmaktadır. Bazı kesimlerde masif olup yer yer de katmanlanma göstermektedir. İnceleme alanında genel olarak aşırı kıvrımlanma ve kırılmaya bağlı olarak sağlam kumtaşı düzeylerinin bütünlüğü bozulmuş killi ve şisti bir hamur içinde onlarca metreden yüzlerce metreye varan boyutlarda yüzer bloklar halinde olduğu gözlenmektedir. AS-1 sondajından alınan örneklerde yapılan analizler kumtaşı seviyelerinde klorit ve mika miktarının yüksek, kuvars oranının ise %10-15 civarında olduğunu göstermektedir. Ancak çok sert ve silisli seviyeler de gözlenmiştir. Yüzeyde, özellikle proje alanı güneyinde ileri derecede ayrıışmış ve bozunmuş bir yapıya sahiptir. Birim içerisinde değişik boyutlarda Permiyen yaşlı kireçtaşı bloklarına ve daha seyrek kuvarsit bloklarına rastlanır. Unçukuru köyü yakınlarında 100m’den büyük, muhtemelen paleozoik yaşlı ince-orta daneli, sert ve çok dayanımlı kuvarsit bloğu gözlenmiştir. Olistrostomal kireçtaşı gri, siyahımsı gri renkli rekristalize olup, bloklu oluşu formasyonun tanıttan özelliğidir. Tünel giriş ağzında ve Unçukuru batısından bu türden devasa kireçtaşı blokları yer yer gözlenmektedir. [1]

İleri derecede tektonizma etkisi nedeni ile birimin kesin kalınlığı belli değildir.

2.3.1.2. Kumtaşı-Marn (Jura, J-km)

İnceleme alanında Korucubaşı (Balyaz) Köyü ile Gelemit Mah. arasında görülür. Saha çalışmaları sırasında tipik olarak Balyaz kaynağı üstünde izlenmiştir. Planlama Raporu 'nda belirtildiği üzere Metadetritikler üzerine açısal diskordansla transgrasif olarak gelir. Üst seviyelerinde karbonat fasiyesine geçiş gösterir. Taban konglomerası ile başlayan formasyon, kumtaşı - marn ardalanması ile devam eder. Kirli sarı, gri, yeşilimsi gri renkli olup, gevşek çimentolu, çabuk ayrışabilen niteliktedir. Bol oranda bitki fosili içerir. Formasyonun alttaki konglomera seviyesi okside olduğundan yer yer kırmızımsı renklindedir. Genellikle ayrılmış, sık-çok sık eklemli ve çatlaklı olarak gözlenmiştir. Birim, sığ denizde çökelmiş olup Jura yaşlı kireçtaşı altında kuzeye doğru incelerek devam eder. [1]

2.3.1.3. Kireçtaşı (Jura, J-kçt)

İnceleme alanının orta kesimlerinde ve Uluabat Gölü'nün güney ve güneydoğusunda geniş alanlarda yayılım gösterir. Birim yine bu bölgelerde çalışma yapmış olan MTA Grubu tarafından Jura - Kretase yaşlı Akçakoyun Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Altındaki kumtaşı - marn ile geçişli üstte ise Neojen ve Kuvaterner ile örtülüdür. Formasyon genel olarak rekristalize kireçtaşı ile temsil edilir.[1]

Açık bej, beyazımsı, yer yer açık gri-bej renkli, genellikle orta – kalın tabakalı, yer yer masiftir. Geçiş zonu pembe renkli olup, orta kesimleri çört ve silis yumrulu olan kireçtaşının üst seviyeleri mikritik kireçtaşına geçer ve yüzeyde kabaca doğu – batı doğrultuda, özellikle üst kotlarda belirgin karst yapıları gözlenir. Bunlardan en önemli olan hatlar Söğütalan-Körekem, Doğanalan-Ayvaköy ve Balyaz-Maksempınar hatlarıdır. Bu hatlar boyunca önemli yeraltısu boşalımları söz konusudur. [1]

Birim içerisinde MTA Grubu tarafından yapılmış çalışmalarda elde edilen mikrofosillere dayanarak formasyonun yaşı Orta - Üst Jura – Alt Kretase 'dir. Birimin stratigrafik kalınlığı 100-130m arasındadır. Ancak güzergahta, yapılan sondajlardan ve jeolojik yapıdan bu formasyonun 200-250m civarında kalınlığa sahip olduğu gözlenmektedir. Karst oluşumu ve derinliği açısından kireçtaşının bileşimi ve diğer doku özellikleri de önemli olduğu dikkate alınarak kuzeyde AS-3 sondajından tüm kireçtaşı derinliği boyunca alınan numunelerde yapılan petrografik analizlerde kireçtaşlarının tüm derinlik boyunca %95 den fazla kristalin kalsit ve mikritik

kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Diğer bir deyişle bu lokasyonda kireçtaşı tüm kalınlığı boyunca benzer özelliklerdedir. Yine kireçtaşı içinde, meta-detritik dokanağına yakın olan güneydeki AS-2 nolu sondajdan alınan numuneler ise biraz farklılık göstermektedir. Bu kesimde örneklerde kalsit %60-95, dolomit %10, kuvars ise %5-30 aralıklarındadır. Buna göre güneyde kireçtaşı silisifiye özellik gösterir. Eriyebilirlik açısından da nisbeten farklı olması beklenir. [1]

nceki çalışmalara göre Kumtaşı-Marn Formasyonu ile Jura yaşlı kireçtaşı aynı denizin iki ayrı fasiyesinde oluşmuştur. Denizin karaya yakın sığ yerlerinde Kumtaşı – Marn Formasyonu karaya uzak derin yerlerinde ise kireçtaşı oluşmuştur. Bu nedenle Jura kireçtaşı her yerde Kumtaşı - Marn Formasyonu ‘nun üstüne gelmez. Bu durum Unuru civarında ve Kaletepe’de Jura kireçtaşının diskordansla (uyumsuzluk) metadetritikler üzerine geldiği kesimlerde gözlenir.[1]

2.3.1.4. Tektonik Zon (Triyas- st Kretease, Tr-pk)

Birim tektonizma nedeni ile tamamen paralanmış olup, Sıkça permien yaşlı kireçtaşı blokları içerir. Sahada yapılmış olan çalışmalardan ofiolit Karmaşığı ‘nın metadetritikler ile olan tektonik dokanakları boyunca oldukça kalın paralanma zonları izlenmiştir. Bu zonların kalınlıkları planda yer yer birkaç yüz metreyi aşmaktadır. Bu zonlar içinde sıkça ters faylar, makaslamalar da olağandır. Kuvvet Tüneli giriş ağzından ınarcık Köyü ‘ne giden yol boyunca bu paralanma zonları izlenebilmektedir.

Birim Triyas sonrasında ofiyolit yerleşimi sırasında gelişmiş kaotik bir oluşum olduğundan oluşum yaşı dikkate alınarak Jura sonrasında verilmiştir. [1]

2.3.1.5. Konglomera-Kumtaşı-Marn-Kil-Lav-Aglomera-Tf (Neojen)

İnceleme alanında Neojen oluşumları Korucubaşı köyü güneyinde bir fay zone önünde ve Uluabat Gölü yakınlarında yamaç molozu altında volkanik seviyeler ile ardalanmalı ve kömür ara seviyeleri ile görülür. Gölü yakınında görülen birimler daha geç evreleri temsil etmektedir.[1]

İnceleme alanında tepelik kesimde kaba bir taban konglomerası ile başlayıp kumtaşı, kıltaşı, marn ile devam eder. Bu kesimde bir miktar kömür retimide yapılmıştır. Bu birim geç tektonik hareketlerine bağlı olarak fay kontrolünde gelişmiş çanak ve eteklerde özellikle geç Neojen boyunca volkanik aktivite eşliğinde gelişmiştir.

2.3.1.6. Volkanik kayaçlar

Sahanın en kuzeydoğu ucunda Tasma Sırtı güneyinde ve HES yerinde yamaç molozları altında geç neojen çökelleri ile ardalanmalı olarak gözlenirler. Geometrileri net olarak izlenememekle birlikte Uluabat Gölü kuzeyini kontrol eden fay zonları boyunca gelişmiş volkanik faaliyetlere bağlı olarak oluştukları düşünülmektedir. Genellikle andezit, bazalt, aglomera, tuf ve lapili ile temsil edilir. Projenin HES lokasyonunda neojen ile ardalanmalı olarak yer alırlar. Yüzeyde ileri derecede ayrılmış olup, yeşil-kahverengi renklidir. Volkanik kayaçlar kırıklı ve çatlaklı yapıdadır. [1]

2.3.1.7. Rezidüel Karst örtüsü

Proje güzergahında Unçukuru ile Korucukaşı Köyü arasındaki düz alanda gözlenir. Genellikle kireçtaşının karst zonları boyunca çökmesi ile oluşan düz alanlara killi ve çakıllı malzemenin gelmesi ile oluşmuşlardır. İçerisinde yer yer su batanlar, düzensiz kireçtaşı blokları ve genellikle kırmızı renkli terra-rosa killeri ile karakteristiktir. Bu alan tarım yapmaya en uygun koşulları sağlar. Kalınlığının 5-10 metre civarındadır. Jura yaşlı kireçtaşı üzerindeki bu alanlar proje alanı dışında da su batanlar ve karstik çöküntülerle bölgenin değişik yerlerinde dikkati çekmektedir.[1]

2.3.1.8. Yamaç molozu

Cebri boru çıkış ağzına yakın kesimlerinde, HES yerinde, tepe yamaçlarını oluşturan Jura yaşlı kireçtaşları önünde gelişen Kuvaterner yaşlı yamaç molozu kum, kil, çakıl ve bloklardan oluşmuştur. Çimentolanmamış bu gereç içerisinde özellikle orta - iri kireçtaşı çakıl ve blokları yaygındır. Çakıllar az köşeli – yarı yuvarlaktır. Yer yer altta yer alan volkanik malzemenin ayrılmış üst kesimi ile ayrılması kolay olmamaktadır.[1]

2.3.1.9. Alüvyon

Alüvyon Fadıllı Köyü ve Uluabat Gölü kıyısında yer alan düzlüklerinin bulunduğu alanda yer almaktadır. Çimentolanmamış kil, silt, kum, çakıl, blok karışımlarının oluşturduğu allüvyal malzemede dönemsel enerji yükselmelerine ve göl seviyesine bağlı olarak (Genç fay aktivitesi gibi) iri çakıllı ve bloklu seviyeler daha ince daneli seviyeler ile ardalanır. Birim genelde Pliyo-Kuvaterner olarak düşünülmektedir. [1]

2.4. Yapısal jeoloji

İnceleme alanında iki ayrı fazda gelişmiş tektonik aktivite dikkati çekmektedir. Bunlardan ilki Ofiyolit bindirmeleri ile temsil edilen Triyas-Üst Kretase aralığındaki sıkışma tektoniği ve ikincisi halen aktif olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonu ‘nun güney kolu üzerindeki yanıl atımlı bileşeni de olan gerilme rejimidir. [1]

Bölgenin güneyindeki yükseltelerde, Triyas çökelleri üzerine, okyanus kabuğuna ait derin mafik - ultramafik malzeme içeren ofiyolit karmaşığının, bindirme fayı (şariyaj) ile itildiği ve etkilediği alanlarda ters fayların ve makaslamaların oluşumu izlenmektedir. Bu yapılar özellikle tünel güzergâhının güneyinde oldukça etkili olup, mevcut zayıf kaya koşullarının başlıca sebebidir. [1]

Bölge Kuzey Anadolu Fay sistemi ile Ege gerilme sisteminin örtüştüğü bir alanda yer almaktadır. Bilindiği gibi KAF Zonu Marmara Bölgesi ‘nde üç ana morfolojik unsuru denetlemektedir. Bunlar Sapanca Gölü-İzmit Körfezi-Marmara Çukuru hattı, İznik Gölü-Gemlik Körfezi hattı ve Uluabat Gölü-Manyas Gölü çöküntüleridir. Gözlenen yapısal doğrultuların genel uzanımı halen aktif olan Uluabat Fay zone ile uyumlu olarak KD-GB dır. Bölgenin yükselimi sırasında ve genç tektonikle oluşmuş düşey ve doğrultu atımlı fay sistemleri, genel yapısal doğrultuyu belirlemektedir. Tüm temel birimlerin ilksel koşullarını değiştiren bu genç tektoniğin oluşturduğu düşey ve doğrultu atımlı faylar önünde genç çökel depoları yer alır. Tüm bölgede gözlenen termal kaynak sistemleri bu tektonik ve volkanik aktivite ile ilgili görülmektedir. Uluabat gölünün güneyinden geçen KD-GB doğrultulu fay hattı da tünel güzergahı çıkış bölgesini ve cebra boru hattını kesmektedir. Pliyosen ve sonrasında da genç tektonik faaliyetini devam ettire gelmektedir. [1]

Daha önceki çalışmadan farklı olarak inceleme alanının en kuzeyinde yer alan kireçtaşlarının Metadetritikler ile olan dokanağının normal değil faylı olduğu ve bu fayın KD-GB uzanımlı Uluabat Fay zonuna ait olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bir farklılık da Uluabat Gölü kıyısını denetleyen ana fayın da tamamen Alüvyon içinde olmadığı kireçtaşı tepelerinin hemen eteklerinde yer alan sekileri oluşturacak şekilde yamaçtan geçtiği şeklindedir. Proje alanının kuzeyinde yer alan birbirine paralel bu iki fayın aktif olduğu gerek hat boyunca gözlenen genç morfolojik unsurlardan, gerek hat boyunca takip eden volkanik kayalardan ve gerekse de literatürdeki bilgilerden anlaşılmaktadır. Bunun dışında Alüvyon içinden geçen kırık

hatlarının varlığı da kuvvetle muhtemeldir. Bu durum, projenin özellikle HES yapısının ve cebri boru hattının proje ömrü boyunca sismik (Deprem) güvenliği açısından sismik gereklere uygun olarak inşa edilmesi gereğine işaret etmektedir.[1]

Diğer yandan inceleme alanı ortasında yer alan Jura yaşlı kireçtaşları 35-55 dereceler arası eğimlidir ve yaklaşık KD-GB uzanımlı bir senklinal yapısı gösterir. Metadetritikler ise daha uzun bir süre tektonik akfivitelere maruz kaldığından karmaşık bir kıvrım yapısına sahip olmalıdırlar. Takip edilebilir ölçekte mostralar olmadığından ve genelde mostra gözlenen kesimlerde çoğun kumtaşı seviyelerinden ayrılmış bloklar olarak gözlemlendiğinden kıvrımlanma geometrisini ortaya koyabilecek veriler derlenememiştir. Diğer yandan nisbeten mostra izlenebilen projenin kuzey kesiminde eğimler genelde kuzey-kuzeybatı yönündedir.

Yukarıda bahsedilen ve çok fazlı tektonik aktiviteler bütün birimlerdeki fay, kıvrım, makaslama ve eklem sistemlerinin oluşumunda etkili olmuştur.[1]

2.5. Proje alanı mühendislik jeolojisi

Proje kapsamındaki yapılar açısından inceleme alanında genelde iki jeolojik birim, Triyas yaşlı Metadetritikler ve Jura yaşlı Kireçtaşları temel kaya olarak gözlenmektedir.[1]

Metadetritikler, inceleme alanında oldukça kalın, yer yer 40m'yi aşan bir ayrışma zonu geliştirmişlerdir. Özellikle proje alanının güneyinde, tünel girişinden Balyaz köyüne, kireçtaşı dokanağına kadar olan meta-kumtaşı ve kilitaşı seviyelerinin hakim olduğu kesimde, kayanın tabaka ve eklem gibi yapısal unsurlarının tanınabildiği mostra hemen hemen yok gibidir. Meta kilitaşı koyu gri-siyah, yer yer şisti dokulu ve sık kayma izli süreksizlikler içerir. Yer yer yüksek basınç metamorfizmasına bağlı olarak karbon şist/grafit şist seviyeleri de gözlenir. Kumtaşı seviyeleri taze olduğunda gri, yeşilimsi-kırmızımsı gri, ayrılmış kesimlerinde kahverengi/boz, inceden-iriye daneli ve kuvarslı/ silisifiye ve dayanımlı özellikte olmakla birlikte genelde ileri derecede ezilmelerle parçalanmıştır. Çoğunlukla kumtaşlarının birincil yapıları tamamen kaybolmuş, dayanımlı seviyeler dayanımsız ve kolay deforme olan ince daneli seviyelerin oluşturduğu şisti bir doku içinde bloklar halinde sarmalanmış olarak gözlenir. Bu birim içinde yer alan sondajlarda ayrışma zonu altında (30-40m) 3m ye varan karotlar tek parça olarak alınabilmekte ancak santimetre ölçeğinden

metre ölçeğine varan kumtaşı parçalarını sarmalamış olan ince daneli şisti dokulu malzeme kolaylıkla bükülmekte ve kumtaşı bloklarını sınırlayan yüzeyler boyunca kolaylıkla ayrılmakta ve/veya dağılabilmektedir. Birimin ince daneli seviyeleri hakim olan kesimleri zayıf çok zayıf yer yer “yumuşak kaya” hatta “ zemin” karakteri gösterdiğinden uzun karotlar alınmasına rağmen RQD değeri verilmemiştir.

Burada özellikle vurgulanması gereken nokta Metadetritik birimin oluşumu esnasında etkili olan tektonizma nedeni ile içinde yer alan birimlerin (birincil olarak kumtaşı, silttaşı, kiltası) tamamının tektonik deformasyona maruz kalmış olduğu ve daha oluşurken ve/veya oluşumu takibeden kısa süre içinde birincil özelliklerinin kaybolmuş olmasıdır. Bu durum sahanın tamamında söz konusudur. Bununla beraber sahanın güneyinde yer alan Ofiolit bindirme hattına komşu olan kesimde bindime zonu etkisi ile birim adeta hamurlaşmış ve tamamen ezik, kaotik bir yapı kazanmıştır. Tünelin güney ağzından açılan kesimi bu zon içinde yer almakta olup, dilimli bindirme hatları ile sınırlanan bu kesim tektonik zon olarak harita ve kesitlerde ayrı bir birim olarak gösterilmiştir. Sahanın kuzeyine doğru, bindirme hattından uzaklaştıkça birim kaya koşulları açısından nisbeten ve giderek daha az etkilenmiş olmakla birlikte genel kaotik yapısını korumaktadır. Sahanın kuzeyindeki tünel çıkışına yakın kesimde yer alan AS-4 sondajında da (bkz., Araştırma Raporu, Karot fotoğrafları) birimin oluşumu esnasındaki tektonik aktiviteyi açıkça gösteren kaotik yapı (Melanj oluşumu), bloklanmış kumtaşı seviyeleri, volkanik kökenli bloklar vb. izlenebilmektedir. Kuzeye doğru azalan ancak tüm sahada varlığını koruyan tektonik etkinin kesin sınırlar ile birbirinden ayrılması ise mümkün değildir. Ancak ilgili bölümde tünelin hangi kesimlerinde tektonik etki ile daha zayıf davranış beklendiği gözlemlere dayalı olarak belirtilmiştir. [1]

Birim içinde yer alan olistroktal, Permiyen kireçtaşı gri, koyu gri, kalsit damarlı genellikle dayanımlı özellik göstermekte olup, esasen devasa bloklar olarak izlenmektedir. Yer yer çok sert ve dayanımlı kuvarsitik kumtaşı blokları da mevcuttur.[1]

Proje alanında gözlenebildiği hemen her yerde metadetritikler çok sayıda kayma izli süreksizlikler içermektedir. Bunun dışında gözlenebilen kumtaşı seviyelerinde eklem aralıkları genel olarak yüzeyde 0.2-1 m aralı, düzlemsel, açık, yer yer kil sıvalı ve/veya FeO boyalıdır. Ayrıca ayrıştığı kesimlerde bünyesindeki fiziksel ayrışma sonucu gelişmiş mikro süreksizlikler boyunca kolaylıkla dağılmaktadır.[1]

Bu birimin hakim olduğu kesimlerde, yamaç ve dik şevlerde genellikle ayrışma zonu içinde yaygın stabilite sorunları, eski ve yeni heyelan alanları gözlenmektedir. Proje alanı güneyinde ayrıca ofiyolit bindirmesi ile ilgili ileri derecede paralanmış bir zon ve çok sayıda ilişkili yapısal unsur içermektedir. Birim genel olarak geçirimsiz olmakla birlikte kireçtaşı blokları ve meta-kumtaşının kırıklı kesimlerinde ve kıltaşı, şist vb. geçirimsiz seviyeler ile dokanaklarında yerel olarak bir miktar su taşıyabilir ve nispeten daha geçirimlidir. Suyla temasta birimin stabilitesi önemli ölçüde bozulmaktadır.[1]

Diğer yandan kireçtaşı taze yüzeylerinde açık bej, pembemsi beyaz renkli, ayrışma yüzeylerinde gri renklidir. Kireçtaşı mikritik (ince daneli) dokulu, sıklıkla rekristalize özelliktedir. Yoğun kalsit dolgulu mikro çatlaklar ve çört/sileks yumruları sıklıkla gözlenir. Yer yer masif, yer yer tabaka ve eklemlili özellik gösteren kireçtaşları yüzeyde önemli ölçüde karstik yapılar gösterir. Genellikle sert ve dayanımlı olarak gözlenen kireçtaşları erimeye bağlı karst çöküntü alanları dışında topografyada yüksek kotlarda sarp ve dik morfolojik yapılar oluşturur. Birim içerisinde gerek mermer gerekse mıcır üretimi için çok sayıda taş ocağı işletmesi mevcuttur.[1]

Kireçtaşı içinde tabakalanma genelde belirgin olup, bazı kesimlerde masif bir yapı gösterir. Süreksizlikler genelde 0.3-2m aralı olup, ondüleli ve pürüzlüdür. Eklemler boyunca gelişen erime yapıları nedeni ile süreksizlik yüzeyleri yer yer dalgalı-ondüleli veya düzensizdir. [1]

Kireçtaşlarının dağılımı ve geçirimsiz metadetritikler ile dokanaklarının geometrisi bölgede yeraltı suyu hareketlerini denetleyen temel unsurdur. Bu durum tünel açımı sırasında kireçtaşlarının ciddi risk içerdiği düşüncesinin de başlıca sebebidir.[1]

2.6. Tünel Güzergahı Mühendislik Jeolojisi

2.6.1. Tünel çıkış portalı

Tünel kazısının km 11+465 de yer alan çıkış ağzından başlayarak TBM ile kazılmıştır. Bu kesimde TBM ve back-up ekipmanlarının yerleşimi için bir platform ve portal yapısı için şevler oluşturulmuştur. Bu kesim de yer alan meta-detritik birimler yüzeyde 40m'ye varan derinliklere kadar ileri derecede ayrılmış, killeşmiş ve dayanımsız özelliklerdedir. Birim atmosferik koşullara duyarlı olup, havayla temasta kolaylıkla bozuşma ve dağılmaya maruz kalmaktadır.

Kolay kazılabilir özellikte olan birim içinde yer alan kumtaşı blokları kazı yüzeylerinin kontur hatlarının kontrolünde dikkate alınmalıdır. Şev duraylılığı, şevin nispeten düşük bir parçasını oluştursa bile, genelde en zayıf elemanla kontrol edilebilecektir. Ayırışmış kesimlerde 1D:1Y oranı uygundur. Bu oranın üstünde ve uzun süre açıkta kalacak şevlerde yüzey desteklemesi ve kaplaması yapılmıştır.[1]

2.6.2. Km 11+465 – 7+800

Tünelin, bu kesiminde DSİ tarafından açılmış TSK-7, 8, 9, 10 ve bu araştırma kapsamında açılmış AS-4 No'lu sondajlar yer almaktadır. Tüm sondajlarda Triyas yaşlı metadetritik birimler gözlenmektedir. Birim, daha öncede belirtildiği gibi yoğun tektonik etkiler ile deforme olmuş, dayanımlı kumtaşı seviyeleri ve olistrosromal bloklar ince daneli, şisti malzeme içinde sarmalanmış durumda gözlenmektedir. Örtü kalınlığı 200m'den 300m'ye kadar ulaşmaktadır.

Birim içindeki ince daneli seviyeler suyla dağılgan özelliktedir. Bu birime ait bazı jeoteknik parametreler AS-4 sondaj numunelerinden elde edildiği şekli ile aşağıda verilmiştir.[1]

Serbest basınç dayanımı (MPa):	0.12-1 (örnekler özellikle ince daneli zayıf kesimleri temsil eder)
Elastisite Modülü (GPa):	0.22-1.53
Poisson oranı:	0.1-0.45
Birim Ağırlık(t/m^3):	2.4-2.7
Serbest Şişme potansiyeli:	%4

Birimin karmaşık yapı ve dokusu oldukça heterojen koşulların egemen olduğu bir ortama işaret etmektedir. Bu durum, gerek kazı gerekse destek sistemine aktarılacak yükler açısından önemlidir.

Birim Terzaghi sınıflamasına göre IV ila VII (orta derecede bloklu,damarlı- orta derinlikte baskılı) gurup aralığında geniş bir dağılım gösterir. Heterojen ortamda bu durum olağandır. Bieniawski, RMR sınıflamasına göre III-V (orta-çok zayıf) ve NGI, Q sınıflama sistemine göre D-F (Zayıf-ileri derecede zayıf) aralığındadır. Genel olarak hakim olan koşulların orta ve yer yer zayıf olması beklenmektedir. [1]

Kazılabilirlik açısından sert, nisbeten dayanımlı meta-kumtaşı, meta-silttaşı seviye ve blokları ile birim içinde yer alan Paleozoik kireçtaşı, kuvarsit vb. blokların dayanımsız, ince daneli meta-kiltaşı, şist vb. seviyelerle sıklıkla ardışık olarak ya da aynı anda aynada olacağı karma koşullar beklenmektedir. Bu durum TBM uygulamasında kesici diskler ile kazıyıcı tırnakların birlikte yer aldığı ve/veya değiştirilebildiği bir kazı başlığı gerektirmektedir. Ayrıca kıvamlandırıcı kimyasallar kazı performansında önemli iyileşmeler neden olabilmektedir. [1]

Birimde hakim olan yapı benzer şekilde desteklere gelecek yük ve stabilite koşulları açısından da heterojen bir davranışa neden olacaktır. Düzensiz dayanımlı bloklarının tünel etrafında rastgele olması nedeni ile desteklerin veya kaplamanın dengesiz ve noktasal yüklere maruz kalarak uzun vadede istenmeyen deformasyonların oluşması ve birimin deformasyon kabiliyeti nedeni zaman içinde kaplamaya gelen yüklerin artması bu gibi birimler için zaman zaman rastlanan bir özelliktir. TBM uygulamasında kalkan, dairesel kesit ve prekast betonarme segman ile destekleme yapılması bu özellikler için avantajlar sağlamaktadır. Segman desteklerin arkasının süratle çeper enjeksiyonu ile doldurulması gerek kaya-destek kontağının etkili bir biçimde sağlayacağından, gerekse de yüklerin destek sistemine dengeli olarak aktarılmasına yarayacak bir tampon gibi davranacağından oldukça önemlidir. [1]

Tünelin bu kesiminin en zorlu kısmı kireçtaşı kontağına doğru son birkaç yüz metrelik kesimdir; ve bu birim için beklenen olumsuz koşullar genelde bu kesim ile ilgilidir. Bu kesimde kireçtaşı rezervuarı ile temasta olan meta-detritik birim, stabilite açısından son derece olumsuz etkisi olan suyun varlığından etkilenecektir. Ayrıca bu kesimin hemen sonunda yeraltısuyu problemi beklenen kireçtaşına girileceğinden güzergahın en kritik kesiminin bu bölge olması beklenmektedir. Güzergahın en olumsuz koşullarını içeren bu kesimin inşaatında uygulama ve mevsimsel zamanlama konularında dikkatli bir planlama yapılması zorunludur. [1]

2.6.3. Km 7+800-6+000

Güzergahta yaklaşık km 7+800 civarında bir fay zone ile kireçtaşına girilmesi beklenmektedir. Yüksek yeraltısuyu (~200m su sütunu) ve karstik kireçtaşının fay zone etkisi ile de tünel derinliğine kadar yüksek geçirimli özellik gösterme olasılığının yüksek olması projenin başlangıç aşamalarından beri dikkat çekmektedir. Bu kesimde tünel üzerindeki örtü kalınlığı 250m'yi aşmaktadır.

AS-2 ve 3 sondajlarından alınan örneklerde yapılan deney sonuçlarına göre birime ait bazı parametreler aşağıda verilmiştir [1]

Serbest basınç dayanımı (MPa):	24-127
Çekme dayanımı (MPa):	3.3-5.4
Elastisite Modülü (GPa):	9.1-126.6
Poisson oranı:	0.2-0.34
Birim Ağırlık(t/m^2):	2.42-2.7
Spesifik enerji (MJ/m^3):	33.9-46.3
Cerchar Aşınma İndeksi:	1.1-1.25

Kireçtaşı yerel fay ve makaslama zonları dışında oldukça homojen özelliktedir. Birim Terzaghi sınıflamasına göre genelde III (masif, orta derecede eklemli). Bieniawski, RMR sınıflamasına göre II-III (orta-iyi) ve NGI, Q sınıflama sistemine göre B-D (zayıf ila iyi kaya) sınıfındadır. Genel olarak hakim olan koşullar ortadan daha çok iyi kaya tarafındadır. Aslında kaya koşullarını olumsuz etkileyen en önemli unsur yeraltı suyu olup zayıf koşullar yaratmaktadır. Olağan koşullarda kireçtaşı stabilitesi oldukça iyi beklenmektedir.

Tünel boyunca yapılan sondajlarda ve yüzey gözlemlerinde rastlanmamış olmakla birlikte bölgedeki volkanik aktivite ve göl tarafında fay hatları yakınlarında volkanik oluşumlar dikkate alındığında yer yer , özellikle fay zonlarında andezitik karakterli volkanik daykların yer alabileceği uzak bir ihtimal değildir. Bu gibi zonlarda da su geliri ve ayrışmaya bağlı olarak stabilite açısından sorunlu kesimlerin yer alabileceği dikkate alınmalıdır.[1]

2.6.4. Km 6+000 – 0+700

Güzergahın bu kesiminde yine Triyas yaşlı Karakaya formasyonunun meta-detritik birimleri yer almaktadır. Daha önce tünelin ilk bölümündeki koşullar bu kesim içinde km 6+000 ila yaklaşık 3+000 arasında büyük ölçüde geçerli olacağı beklenmektedir. Bu kesimde DSİ tarafından açılmış bulunan TSK-1, 2, 3, 11 ve bu çalışmada açılan AS-4 sondajları mevcuttur. Örtü kalınlığı 100-350m arasında değişmektedir.

Birim içinde hakim olan ince daneli şist, meta-kiltaşı gibi zayıf zonlardan alınan numuneler laboratuarda deneye imkan vermeyecek ölçüde dağılgandır. Bu nedenle aşağıda verilen parametreler birim içindeki nisbeten dayanımlı kumtaşı blok ve seviyelere aittir.

Serbest basınç dayanımı (MPa): 7.7-96 (devamsız kumtaşı blok ve seviyelerini temsil eder)

Elastisite Modülü (GPa): 13.71-39.5 (devamsız kumtaşı blok ve seviyelerini temsil eder)

Poisson oranı: 0.2-0.23 (devamsız kumtaşı blok ve seviyelerini temsil eder)

Birim Ağırlık(t/m^2): 2.56-2.57 (devamsız kumtaşı blok ve seviyelerini temsil eder)

Suda Dağılma İndisi $Id_2(\%)$: 16-100

Daha önce de belirtildiği gibi Birim Terzaghi sınıflamasına göre IV ila VII (orta derecede bloklu,damarlı- orta derinlikte baskılı) gurup aralığında yine geniş bir dağılım göstermesi beklenir. Bieniawski, RMR sınıflamasına göre III-V (orta-çok zayıf) ve NGI, Q sınıflama sistemine göre D-F (Zayıf-ileri derecede zayıf) aralığındadır. Bu kesimde yeraltı suyu etkisinin kuzeydeki bölümden daha etkili olması beklenir. Birimin suyla dağılgan özelliği olan seviyeleri mevcuttur.[1]

2.6.5. Km 0+700-0+000

Bu kesimde meta-detritik birimlerin tektonik etkiler ile ileri derecede deforme olduğu bir tektonik zon yer almaktadır. Bu kesimde DSİ tarafından açılmış bulunan TSK-1 ve 11 sondajları yer alır. Planlanan kuvvet tünelinin yaklaşık 500m' lik kesimi hali hazırda açılmıştır. İlk 352m'nin açılması sırasında 280-324m arasında önemli deplasmanlar oluşmaya başlamıştır. Enjeksiyon, ilave bulon gibi önlemler alınmıştır. Tünel çalışmalarına 10 ay ara verilmiş daha sonra çalışmalar yeniden başlamıştır. Tünel kazısı devam ederken 420m civarına ulaşıldığında deplasmanlarda belirgin artışlar saptanmıştır. Daha sonra da deplasmanlarda artış devam etmiş, 284-500m arasında tabanda 1m ye, kenarlarda 30cm'ye varan kararlı deformasyonlar gözlenmiştir. Sonuçta tünel kesit kontrolü imkansız hale gelmiş, geçici kaplama bütünlüğünü yitirerek yer yer tamamen yenilmiştir.

Sonuçta bu ağızdan yapılan çalışmalara nihai kaplamanın tamamlanarak son verilmesi kararlaştırılmıştır. Aynı kesimde yer alan kapak şaftı ise kazının tamamlanması aşamasında iken destek sisteminde meydana gelen çatlama ve yenilmeler nedeni ile durdurularak doldurulmuştur. [1]

3. MEKANİZE KAZI

Yeraltı madenciliğinde ve tünelcilikte kazı işlemleri klasik kazı ve mekanize kazı olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Mekanize kazı kayaç ortamının makineler aracılığı ile kazılması işlemi olarak tanımlanabilir. Klasik kazı yöntemleri ise insan gücü, delme patlatma vb. yöntemleriyle kayaç ortamının kazılması işlemi olarak tanımlanabilir. Kazı yöntemi seçiminde kazının ekonomikliği, jeolojik formasyon, ve çevre etkileri dikkatle göz önüne alınmalıdır.

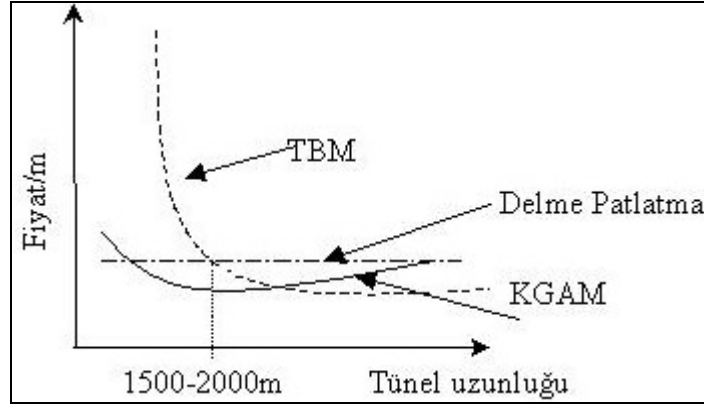
Mekanize kazı yöntemlerinin Delme-Patlatma yöntemlerine göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir.[3]

- Yeryüzü tasmanlar daha azdır
- İşçi sayısı daha azdır
- Kazı profili sabittir ve profil düzeninin oluşturulması kolaydır
- Pasa boyutu sabit ve kolaydır
- Havalandırma ihtiyacı daha azdır
- Devamlı kazı yapılabilir

Bu avantajlarının yanında mekanize kazı yöntemlerinin bazı dezavantajları da vardır. Bunlarda:

- İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması
- Montaj ve demontaj sürelerinin uzun olması
- Kalifiye eleman ihtiyacı
- Makine özel olarak hazırlandığından temin edilmesi uzun sürer

Bütün bu avantaj ve dezavantajlar göz önüne alındığında, uzun boylu tünellerde tam cepheli ya da kısmi cepheli tünel açma makinelerinin kullanılması, maliyetler açısından daha uygun olduğu belirlenmiştir. Tünel uzunluğuna bağlı olarak oluşan maliyetler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tünel Uzunluğuna Bağlı Olarak Oluşan Maliyetler [8]

Mekanize kazı yapan galeri ve tünel açma makinelerinin kazı arınına göre sınıflandırılması şu şekildedir:

- Kısmi kesitli Kazı Makineleri (Kollu Galeri Açma Makinesi)
- Tam kesitli Kazı Makineleri (Tam Cepheli Tünel Açma Makineleri)

3.1. Kısmi kesitli kazı makineleri

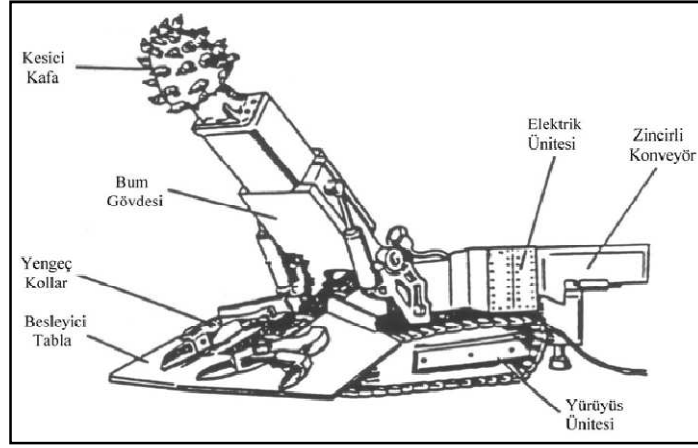
Kollu galeri açma makineleri kazı arınının tamamında aynı anda kazı yapılmadığından kısmi cepheli kazı yapan makineler olarak adlandırılırlar. Bu makineler genellikle yumuşak ve orta-sert olan kayaçların kazısında kullanılır. Madencilikte üretim amaçlı, tünelcilik sektöründe ise kazı amaçlı kullanımı sıklıkla görülmektedir.

Kollu galeri açma makineleri iki parametre içinde değerlendirilir. Bu parametreler jeolojik süreksizlikler ve basınç dayanımlarıdır.

$RQD > \%50 \Rightarrow$ Basınç dayanımı 70 Mpa altında olan kayaçlar

$RQD < \%50 \Rightarrow$ Basınç dayanımı 120–130 Mpa olan kayaçlar.

Bir kollu makine 5 ana bölümden oluşur, bum ünitesi, yürüyüş ünitesi, malzeme yükleme ünitesi, malzeme aktarma ünitesi, hidrolik ve elektrik ünitesi. Şekil 3,2’de Kollu Makine ve üniteleri görülmektedir.



Şekil 3.2. Kollu Galeri Açma Makinesi Ana Bölümleri [5]

3.1.1. Kollu galeri açma makinelerinin çalışma prensipleri

Kollu galeri açma makinelerinin çalışma prensibi Dalma ve Kesme olmak üzere iki aşamada incelenir. Dalma işlemi kesici kafanın aynaya dayanması ve dönmeye ba laması ile ba lar. Kesme işlemi ise kazı yüzeyinde oluşan derinliğin tüm kazı yüzeyi boyunca geni letilmesidir. Kesme işleminde harcanan enerji dalma işleminde harcanan enerjiden daha azdır. Bunun sebebi dalma işleminin sonra ayna yüzeyinde serbest bir yüzeyin olu mu  olmasıdır. [4]

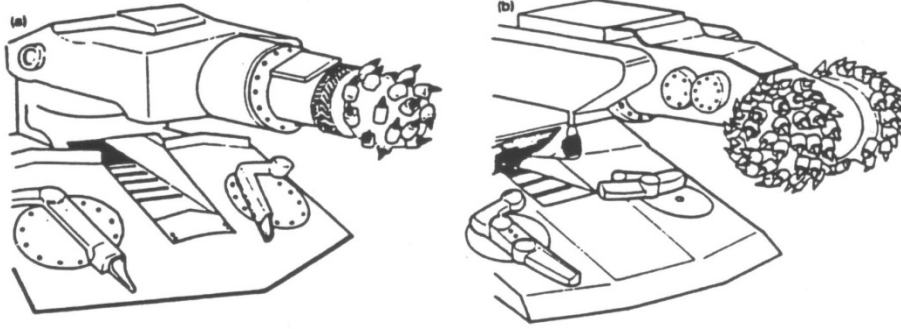
3.1.2. Kollu galeri açma makinelerinin sınıflandırılması

Kollu makineler kesici kafa tipine ve makine a ırlı ına göre iki ana grupta sınıflandırılır. Üreticiler tarafından makine a ırlı ına göre yapılmış en bilinen sınıflandırma  izelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 Kollu galeri açma makinelerinin ağırlıklarına göre sınıflandırılması [4]

Sınıf	Ağırlık (ton)	
0	< 20	Hafif
I	20 - 30	
II	30 - 50	Orta
III	50 - 75	
IV	> 75	Ağır

Kollu makineler, dönme eksenini bum eksenine paralel olan kesici kafalı kollu makineler (aksiyel) ve dönme eksenini bum eksenine dik olan kesici kafalı kollu makineler (travers) olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu tipteki kollu galeri açma makineleri Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.3. Arına paralel ve arına dik hareket eden kesici kafalı KGAM [6]

Arına dik ve arına paralel kesici kafalı kollu galeri açma makinelerinin bum tiplerine ve kesici kafa yapılarına göre sınıflandırması Tablo 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Kesici kafa yapılarına göre kollu makinelerin sınıflandırılması [2]

Arına Dik Kesici Kafa ($\sigma_c < 60$ Mpa, aşındırıcı olmayan kayalar için)	Arına Paralel Kesici Kafa ($\sigma_c < 120$ Mpa, az aşındırıcı kayalar için)
• Tekil bumlu KGAM -Teleskopik bum -Değiştirilebilir bum • İkiz bum • Şiltli KGAM	• Teleskopik • Eklemlili bum • Değiştirilebilir bumlu KGAM • Bum eksenini boyunca döndürülebilen bum

3.2. Tam Cepheli Kazı Makineleri

3.2.1. Tünel açma makineleri (Tunnel Boring Machine-TBM)

1853 yılında Hoosac Tünel inşaatı için ilk tünel açma makinesi yapılmıştır. Dökme demirden imal edilmiş olan makinenin mucidi Charles Wilson tarafından Wilson'un Patenti Taş Kesme Makinesi olarak adlandırılmıştır. Bu makine kırılmadan yaklaşık 3.048 metre kazı yapabilmiştir.[9]

Daire kesitli kazı yapan TBM'ler farklı jeolojilerde, sert kayaç ile kum arasında kalan neredeyse tüm zeminlerde çalışabilmektedirler. Tünel çapları bir metreden on beş metreye kadar çeşitlilik sergilemektedir. Şu ana kadar üretilmiş en büyük iki TBM on beş metre çapıyla Madrid'de çalışmaktadırlar.[9]

1853 yılında üretilen ilk tünel açma makinesi sonrasında 100 yıl boyunca geliştirilmemiştir. Yumuşak ve kömür damarları üzerinde bazı çalışmalar yapılmışsa da istenilen sonuçlar alınamamıştır. James Robbins'in kalem uçlu keskiler yerine döner diskli keskilerin kullanılması fikriyle birlikte 1956 yılında Toronto'daki bir uygulamada 38 m lik ilerleme sağlanmıştır. Bu uygulama ile TBM'lerin yumuşak ve orta sert kayaçlarda ekonomik olarak kullanılabileceği gerçeğini ortaya koymuştur. [9]

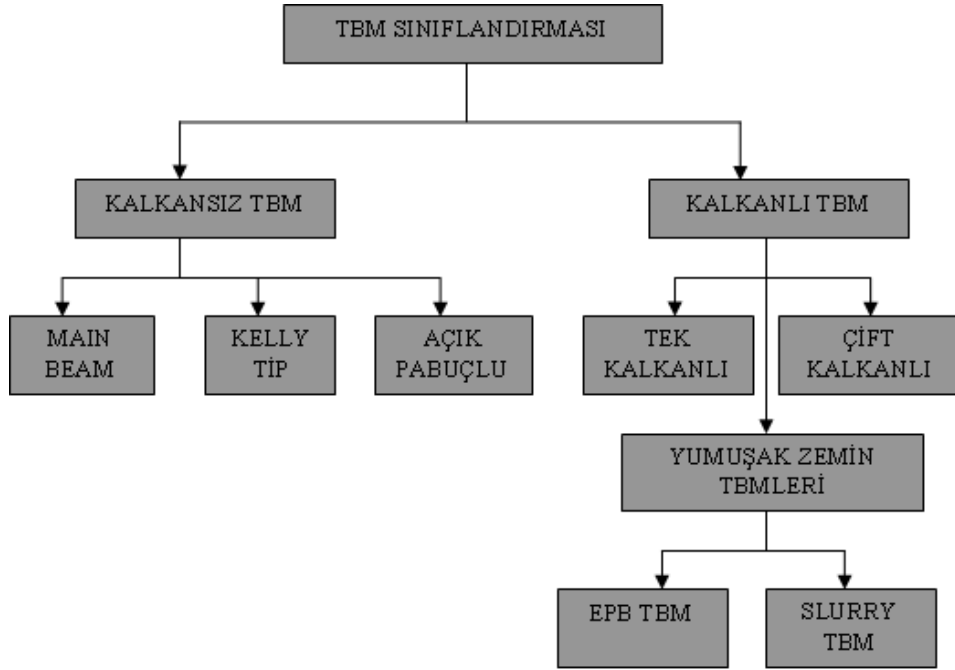
3.2.2. Tünel açma makinelerinin genel özellikleri

Tünel açma makineleri genel olarak kesici kafa, itme silindirleri, yönlendirme silindirleri, kilitleme pabuçları (gripper), kesici kafayı döndüren motorlar ve beton tahkimat elemanlarını yerleştiren erektörlerden oluşur. Tünel açma makinelerinin destek donanımlarına back-up sistemleri adı verilir, bu kısımda hidrolik güç üniteleri, elektrik trafoları, tavan cıvataları için delici, havalandırma fanları, pasa nakliyatı için bant konveyör ve vagonlar bulunmaktadır.

3.2.3. Tünel açma makinesi sınıflandırılması

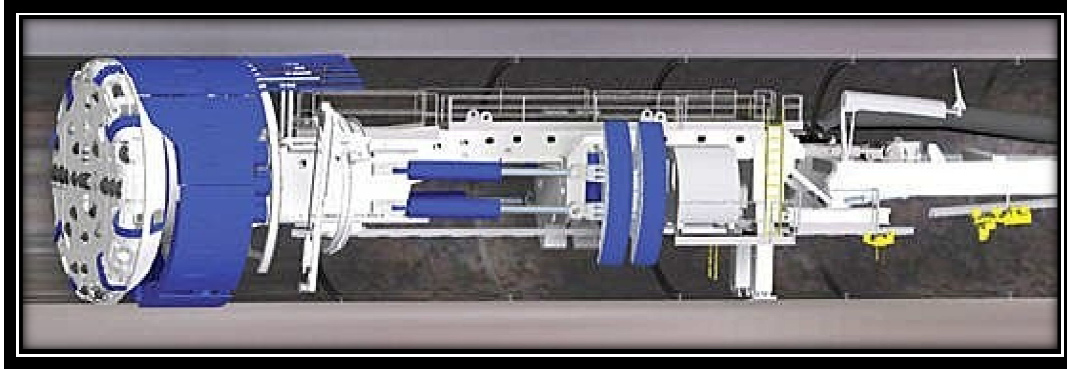
Tünel açma makineleri genel olarak kazı yaptıkları formasyona ve yapılarına göre sınıflandırılırlar. Aşağıdaki Çizelge 3,3'de TBM sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 3.3: Tünel açma makinelerinin yapılarına göre sınıflandırılması [5]



3.2.3.1. Kalkansız tünel açma makineleri

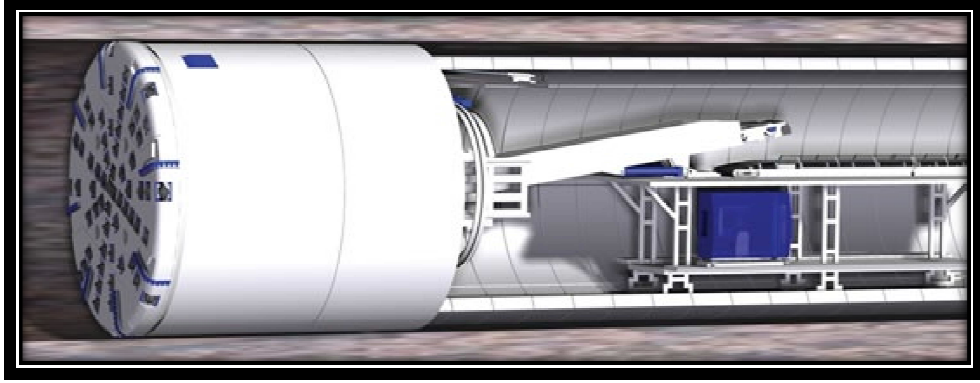
Sert ve kendini tutabilen formasyonlarda kullanılırlar. Bu tür makinelerde kalkan ihtiyacı yoktur. TBM arkasından tavan civatası veya dairevi tahkimat yapılır. Şekil 4.4 Kalkansız tünel açma makinesi'nin genel görünümünü göstermektedir.



Şekil 3.4. Kalkansız tünel açma makinesi görünümü [10]

3.2.3.2. Tek kalkanlı tünel açma makineleri (Tek Şiltli TBM)

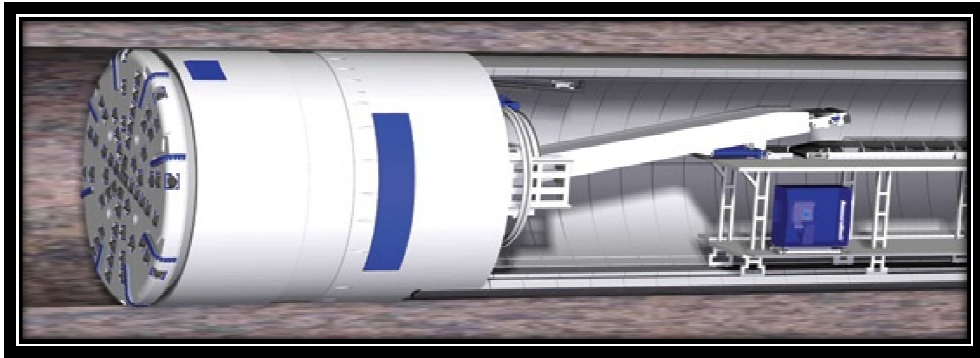
Tam daire Şeklinde komple bir kalkan mevcuttur. Yumuşak zeminlerde, kompleks zeminlerde ve kaya içerisinde açılacak tünellerde kullanılırlar.



Şekil 3.5. Tek kalkanlı tünel açma makinesi [10]

3.2.3.3. Çift kalkanlı tünel açma makineleri (ift Şiltli TBM)

Bu makine 2 türlü çalıŐabilmektedir. Yukarda anlatıldığı gibi tek kalkanlı olarak veya teleskopik olarak ana kalkan içinde uzanabilen kuyruk tarafındaki ikinci kalkan kavrayıcılar (gripper) düzeniyle kullanmak mümkündür. Bu makineler sert ve kompleks zeminlerde kullanılabilir. Çift kalkanlı TBM Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Çift kalkanlı tünel açma makinesi [10]

3.2.3.4. Pasa Basınçlı tünel açma makineleri (EPB TBM)

Pasa basınçlı (EPB) makineleri ilk olarak Japonya’da 1960–70 ’li yıllarda görülmeye başlamıştır (Maidle,1996). YapıŐkan 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.

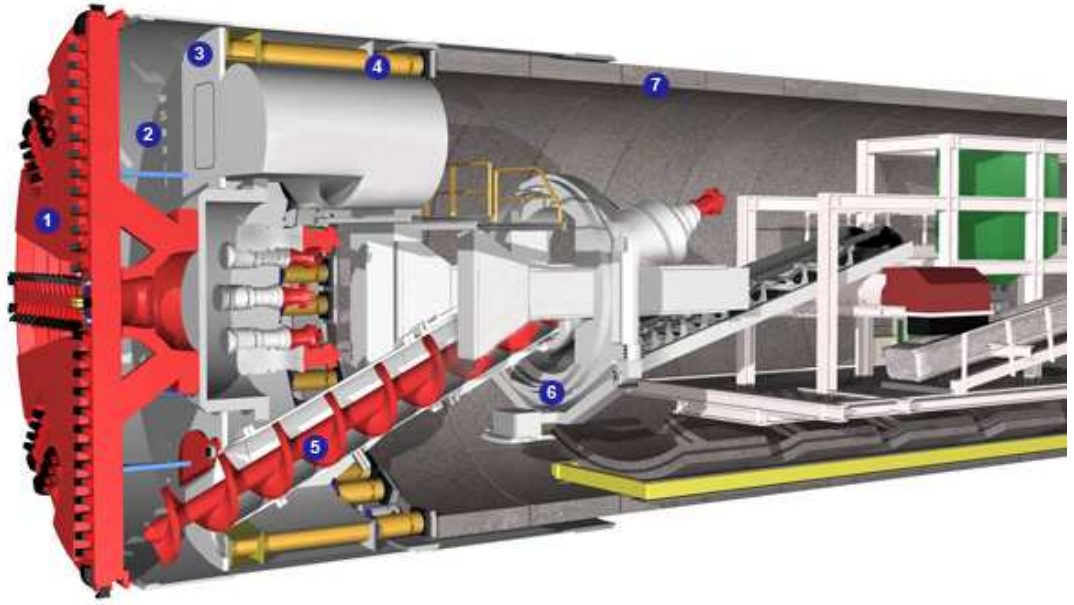
Temel çalışma prensibi su getirisini veya arazi akmasını kontrol etmek amacıyla ayna boşluğunun kapalı bir hacim haline getirilerek basınç altında tutulması diye tanımlanabilir.

Başka bir şekilde tanımlamak gerekirse amaç kazılan malzemenin kesici kafa haznesinde tutularak arından gelen basınçlara karşı bir basınç oluşturma işlemidir.

Bir EPB makinesinde kazılan malzeme bir vida konveyör vasıtası ile kesici kafa haznesinden çıkarılır. Dengeli ve güvenli bir kazı yapabilmek için malzeme çıkış hızının makine ilerleme hızına eşit olması gerekir. Eğer malzeme destekleme basıncını sağlayabilecek durumda ve vida konveyörle taşınacak kıvamda değilse çeşitli kıvamlaştırıcı katkı maddeleri eklemek gerekebilir. EPB TBM örneği şekil 3.7 ve 3.8’de sunulmaktadır.



Şekil 3.7. Uluabat Kuvvet Tünelinde Kullanılan EPB TBM.



Şekil 3.8. EPB TBM görünüşü [9]

3.2.3.5. Çamur şildi (Slurry TBM)

Slurry tip TBM'ler arazinin çok akıcı olduğu veya yapılan jeolojik ve jeofiziki çalışmalarda akışı formasyonların bulunmasının düşünüldüğü projelerde kullanılmaktadır. Genel olarak kalem keskil kullanılmakla birlikte bazen disk keskillerle kombinezon 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.



Şekil 3.9. Wirth Aker Slurry TBM [11]

4. BURSA ULUABAT KUVVET TÜNELİNDE KULLANILAN PASA BASINÇLI TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bursa Uluabat Kuvvet Tünelinde Herrenknecht marka S-330 model numaralı arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan tek kalkanlı tam cepheli tünel açma makinesi kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.1’de Herrenknecht S-330 model tünel açma makinesinin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1: Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri

Genel Özellikler	Makine tipi	Kalkanlı EPB	Bant konveyör	Uzunluk	65 m
	Toplam tünel uzunluğu	Yakl. 11800 m		Genişlik	650 mm
	Kurulu güç	Yakl. 2100 kW		Tahrik motor gücü	37 kW
	Toplam TBM ve treyler uzunluğu	Yakl. 108 m		Bant hızı	0 – 2,5 m/s
	TBM ağırlığı	Yakl. 335 t		Granülasyon	0 – 200 mm
	Treyler ağırlığı	Yakl. 240 t		Taşıma Kapasitesi	400 t/h max.
	Yatay dönüş yarıçapı	Yakl. 600 m	Treyler	Sayısı	9 x treyler + 1 köprü
				Toplam uzunluk	Yakl. 92 m

Çizelge 4.1: (devam) Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri

Kesici Kafa	Çap	5050 mm	Segment vinci	Toplam Ağırlık	1800 kg
	Uzunluk + kalkan	Yakl. 12 m	Segment vinci	Sürüş yolu	Yakl. 17 m
	Ağırlık (disk kesicilerle)	Yakl. 41 t		Kaldırma yüksekliği	Yakl. 1,8 m
	Yapım Şekli	Tek parça, döner çerçeveli kapalı disk kesiciler		Hızı	33 m/min max.
				Kaldırma hızı	5,5 m/min max.
	Disk Sayısı	34 adet	Malzeme vinci	Toplam Ağırlık	1000 kg
				Kaldırma yüksekliği	1,56 m
	Disk kesici çapı	17'' (432 mm)		Kaldırma hızı	Yakl. 0,8 m/min
	Kova sayısı	8 adet	Havalandırma Yuvası	Toplam Yük	1000 kg
	Kesici bıçak sayısı	48 adet		Kaldırma yüksekliği	1,76 m
	Köpük	Evet		Kaldırma hızı	Yakl. 0,8 m/min
Ön Kalkan	Çap	4990 mm	Döndürme vinci	Toplam Ağırlık	500 kg
	Ağırlık (sadece çelik konstrüksiyon)	Yakl. 69 t		Kaldırma yüksekliği	0,68 m
	Çap	4980 mm		Kaldırma hızı	Yakl. 0,2 m/min
	Ağırlık (sadece çelik konstrüksiyon)	Yakl. 8,8 t			

Çizelge 4.1: (devam) Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri

Kuyruk Kalkanı	Çap	4970 mm	Drenaj ünitesi	Pompa sayısı	2 adet
	Ağırlık	Yakl. 15,5 t		Pompa akış hızı	10 m ³ /h
Tahrik	Tip	Elektrikli	Hidrolik	Pompaların toplam gücü	Yakl. 440 W
	Motor Sayısı	6 adet	Hidrolik	Nominal Basınç	350 bar
	Toplam Güç	1500 kW		Tank hacmi	2400 l
	Nominal Tork	Yakl. 2048 kNm (6,25rpm)			
	Tork	Yakl. 3276 kNm			
	Frekans Çevirici Sayısı	6 adet	Elektrik sistemler	Primer (birincil) gerilim	10000 V
İlerleme	İtme silindir sayısı	24 adet bağımsız		Sekonder (ikincil) gerilim	400 V
	Silindirlerin bir itmesi uzunluğu	2300 mm		Kontrol gerilimi	24 / 230 V
	Toplam itme Kapasitesi(FT)	26389 kN (350 bar)		Valf gerilimi	24 V DC
	Nominal Tork	Yakl. 2048 kNm (6,25 rpm)		Hat frekansı	50 Hz
	Yedek silindir sayısı	8 adet		Dönüştürücülerin gücü	2500 kVA (400 V)
	Yedek silindir itmesi	300 mm		Koruma derecesi	IP 55
			Elektrik sistemler	Kablo tanburu	1 adet / 200 m

Çizelge 4.1: (devam) Herrenknecht S-330 model EPB TBM teknik özellikleri

Gripper (tutucu pabuçlar)	Toplam pabuç sayısı	2 adet	İkincil havalandırma	Gücü	22 kW
	Tutucu pabuç itmesi	120 mm		Hat çapı	1000 mm
	Dengeleyici sayısı	2 adet	Su devridayımı	Su hacmi	45 m³/h
	Dengeleyici itmesi	100 mm		Komprasör sayısı	1 adet
Erektör	Tahrik	Hidrolik	Basınçlı Hava sistemleri	Gücü	55 kW
	Yük kapasitesi	80 kN		Kullanma basıncı	8 bar
	Dönüş hızı	Yakl. 2,5 rpm max.			
	Dönme açısı	+/- 200°	Köpük uygulaması	Elektrik pompası gücü	0,37 kW
	Uzunluk	1200 mm		Köpük jeneratör sayısı	4 adet
	Tutma sistemi	Mekanik		İşletme modu	Manuel, yarı-otomatik, otomatik
	Kontrol ünitesi	Radyo kontrol panelli		Sayısı	1 adet
Burgulu konveyör	Çapı	600 mm	Sonda Delme Ünitesi	Tahrik / kapasite	Elektrikli / 250 kW
	Ağırlık	Yakl. 21,5 t			4,5 bar itme, 8 bar statik
	Uzunluk	Yakl. 15m	Burgulu konveyör		

5. ULUABAT KUVVET TÜNELİNDE KULLANILMAKTA OLAN PASA BASINÇLI TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNESİ PERFORMANS ANALİZİ

Bursa Uluabat kuvvet tüneline kullanılan arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan tünel açma makinesinin genel performansını incelemek amacıyla tünel kazısının başladığı günden bitim gününe kadar olan vardiya raporları incelenmiş günlük, haftalık, aylık ilerlemeler belirlenmiştir. Bu incelemeler sonucunda en iyi günlük ilerlemeler, en iyi haftalık ilerlemeler ve en iyi aylık ilerlemeler bulunmuştur. En iyi günlük, haftalık ve aylık ilerlemelerdeki iş süreleri hesaplanarak dağılım grafikleri oluşturulmuştur.

5.1. Günlük İlerlemeler

Bursa Uluabat kuvvet tüneline tünel açma makinesiyle kazılan toplam uzunluğu 10810,80 metredir. Arızalar, tatiller ve her türlü gecikmeler hesaba katılırsa, kazı başlangıcından sonuna kadar tünel kazısı 1381 gün sürmüştür; ancak 08 Haziran 2009 tarihinde tünel açma makinesi ulaşım şaftına yaklaştığında ilerleme durdurularak şaft ile tüneli birleştirecek galeri kazısı yapılmıştır. Bu kazı toplam 118 gün sürmüştür, toplam kazı süresinden bu duraklamayı çıkartırsak kazı 1263 günde tamamlanmıştır. Aşağıda yapılacak hesaplamalarda günlük ortalama ilerleme miktarı bu iki değere göre ayrı ayrı hesaplanacak eşitlik 5.1 ve 5.2 de verilecektir.

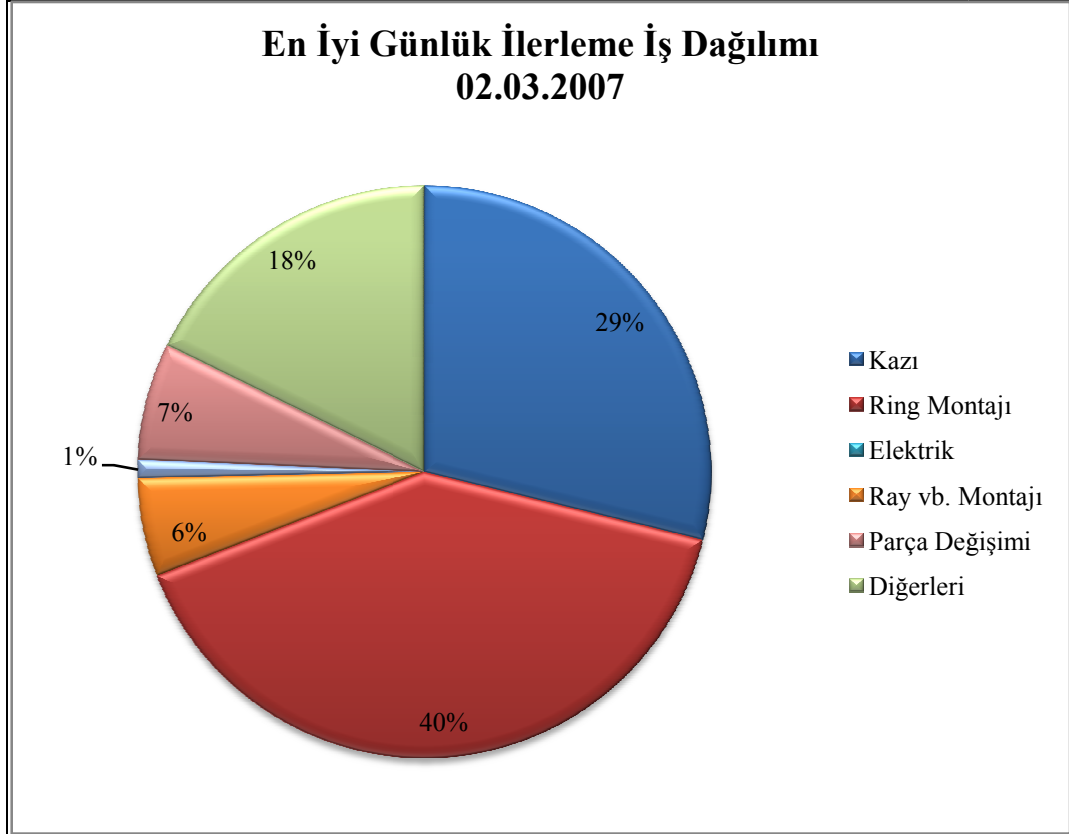
TBM ile kazılan tünel uzunluğu: 10,810.80 metre
Çalışılan Toplam Gün Sayısı(Arıza ve tatiller dahil) : 1381 gün

$$\frac{\text{Toplam İlerleme}}{\text{Toplam Gün Sayısı}} = \text{Günlük Ortalama İlerleme} \quad \frac{10,810.80 \text{ metre}}{1381 \text{ gün}} = 7,83 \text{ m/gün} \quad (5.1)$$

TBM ile kazılan tünel uzunluğu: 10,810.80 metre
Çalışılan Gün Sayısı (Ulaşım şaftı için duraklamalar olmaksızın) : 1263 gün

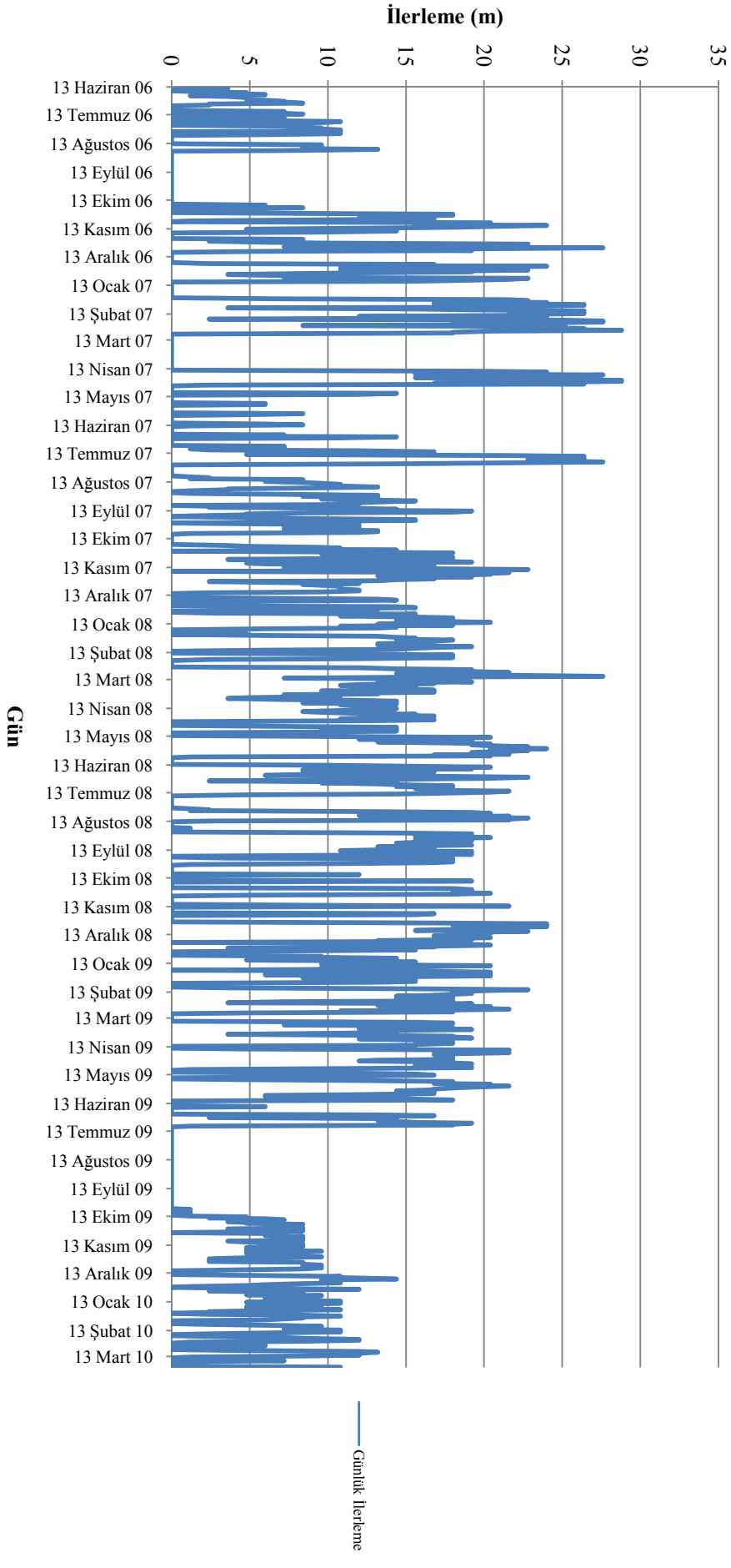
$$\frac{\text{Toplam İlerleme}}{\text{Gün Sayısı}} = \text{Günlük Ortalama İlerleme} \quad \frac{10,810.80 \text{ metre}}{1263 \text{ gün}} = 8,56 \text{ m/gün} \quad (5.2)$$

En iyi günlük ilerleme 28.80 metre ile 02 Mart 2007 ve yine aynı ilerleme miktarıyla 25 Nisan 2007 tarihinde gerçekleşmiştir. Bu tarihlerde kaydedilen vardiya raporlarından iş sürelerinin hesabı yoluyla en iyi ilerlemenin kaydedildiği gündeki iş dağılım yüzdeleri aşağıdaki Şekil 5.1’de verilmiştir. Kazı süresince elde edilen ilerleme miktarlarıda Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. En iyi ilerlemenin gerçekleştiği 02.03.2007 tarihindeki iş dağılım grafiği

Günlük İlerleme

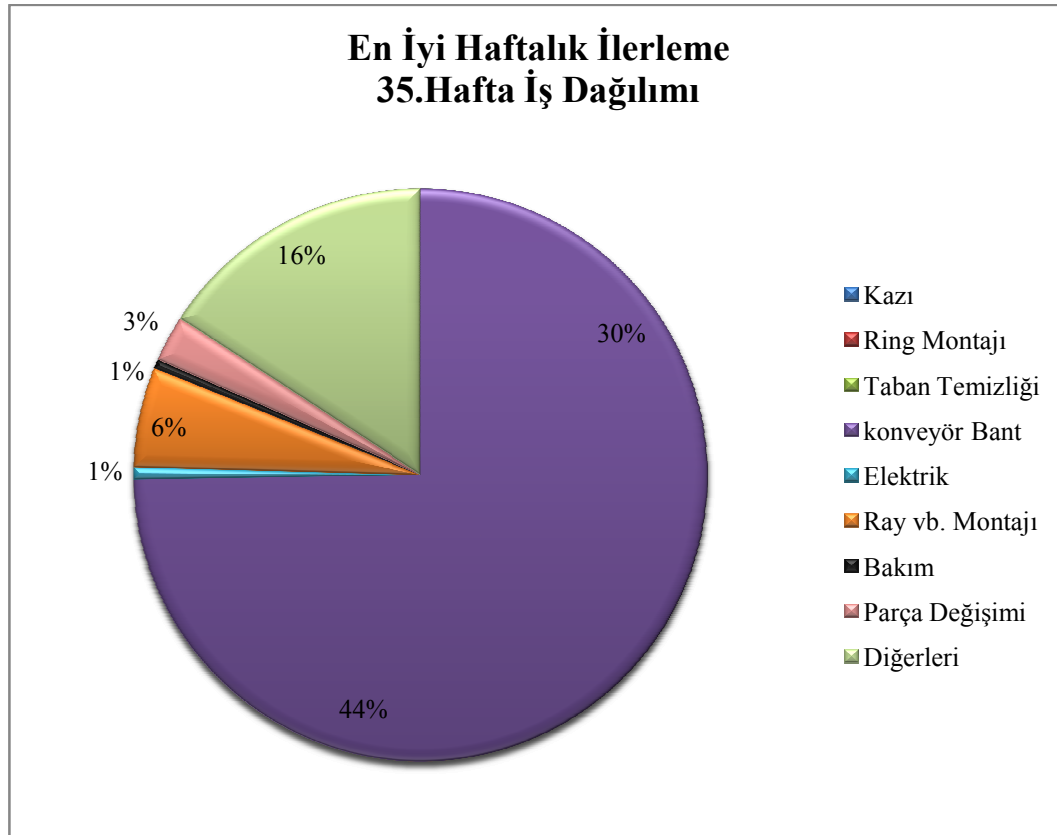


Şekil 5.2. Günlük İlerlemeler

5.2. Haftalık İlerlemeler

Haftalık ilerlemeler tatil günleri, arızalar vb. duraklamalar çıkartılmaksızın yedi gün üzerinden hesaplanmıştır.Şekil 5.4’de 197 haftalık değerler grafiksel olarak verilmiştir.

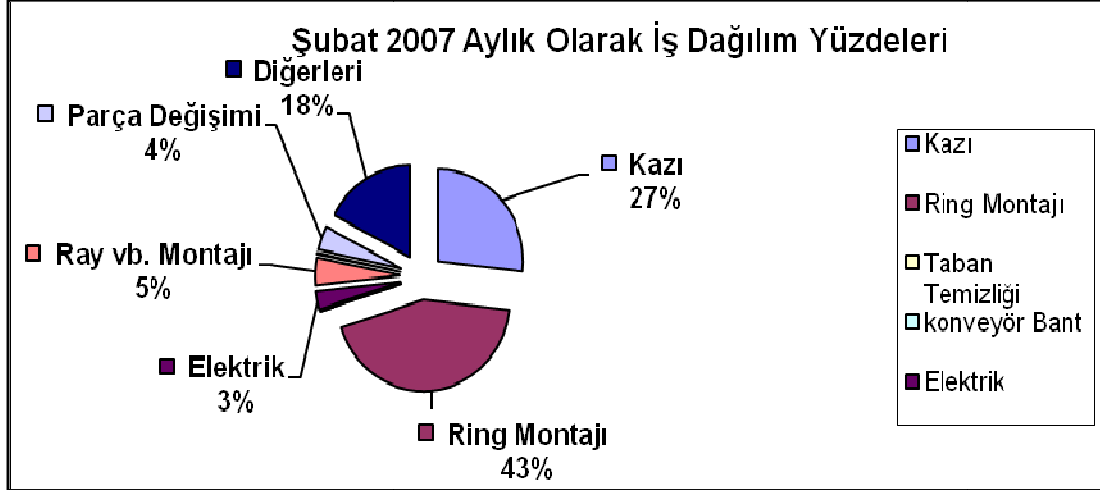
En iyi haftalık ilerlemenin gerçekleştiği tarih 06 Şubat 2007 ile 12 Şubat 2007’dir. Kazı başlangıcının 35.haftası olan bu tarihlerde 170,40 metre ilerleme gerçekleştirilmiştir. Şekil.5.3 en iyi ilerlemenin gerçekleştiği 35.haftadaki iş dağılım zamanlarına göre hazırlanan iş dağılım grafiğini göstermektedir.



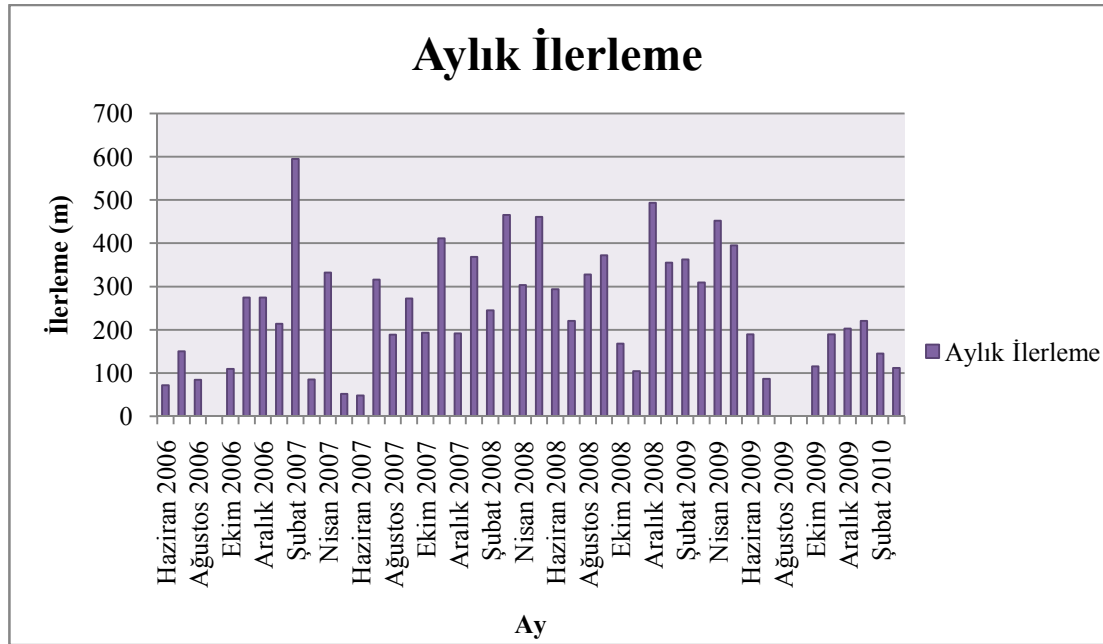
Şekil 5.3. En iyi ilerlemenin gerçekleştiği 35.Hafta iş dağılım grafiği

5.3. Aylık İlerlemeler

Bursa Uluabat Kuvvet tüneli kazısı toplam 45 ay sürmüştür. Haziran 2006 tarihinde başlayan tünel kazıları Mart 2010'da tamamlanmıştır. Bu zaman içerisinde en iyi aylık ilerleme Şubat 2007 tarihinde 583,20 metre olarak gerçekleşmiştir. Bu aya ait iş sürelerinden hazırlanan iş dağılım yüzdeleri Şekil 5.5'de verilmiştir. Aylık ilerlemeler Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5. En iyi ilerlemenin gerçekleştiği Şubat 2007 tarihindeki iş dağılım grafiği



Şekil 5.6. Aylık İlerlemeler

6. ULUABAT KUVVET TÜNELİNDE KULLANILAN EPB-TBM’İN SIKIŞAN ZEMİNLERDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

6.1. Şilt Sıkışması Nedeniyle Oluşan Zaman Kayıpları

Uluabat kuvvet tüneli kazıları sırasında arazi basınçlarından dolayı tünel açma makinesinin şildi üzerine baskılar gelmiştir, bu baskılar şilt üzerinde sürtünme yaratarak ilerleme yönü tersine kuvvet uygulamışlardır. Makine itme kuvvetlerinin bu sürtünme gücünü yenemediği yerlerde makine’ye ek kuvvet ekipmanları bağlanarak itme gücünü artırılması yoluyla bu durum bertaraf edilmeye çalışılmıştır, Şekil 6.1’de tam cepheli tünel makinesinin sıkışma durumu gösterilmiştir. Zaman zaman gerek makine itme kuvvetlerinin gerekse ek itme kuvvetlerinin sürtünme kuvvetini yenemeyerek makinenin sıkışmasına yol açtığı görülmüştür. Makine’nin sıkışması durumunda şilt arkasındaki ilk precast segman kırılarak şilt etrafına eski madencilik yöntemlerinden olan elle kazı yöntemiyle galeri açma işlemleri yapılmaktadır.Şekil 6.2’de elle kazılarak oluşturulmuş galeri ve tahkimat gösterilmektedir. Galeri açma işlemleri makine şildinin zemin tarafından sıkıştırılması karşısında şilt ile zemin arasındaki boşluk artırılarak sürtünme kuvvetinin yok edilmesi amaçlanmaktadır.

Tünel kazıları sırasında sıkışan zeminlerden kaynaklanan zaman kayıpları yaşanmıştır. Tam cepheli tünel açma makinesi genel performansını yukarıda incelemiştik, bu bölümde inceleyeceğimiz konu sıkışan zeminlerden kaynaklanan duraklamalar ve bu zeminlerin makine performansı üzerindeki etkilerdir.



Şekil 6.1. Galeri 3 kazısı sırasında zemin ve şlit görüntüsü



Şekil 6.2. Şilt Kenarında Açılan Galeri

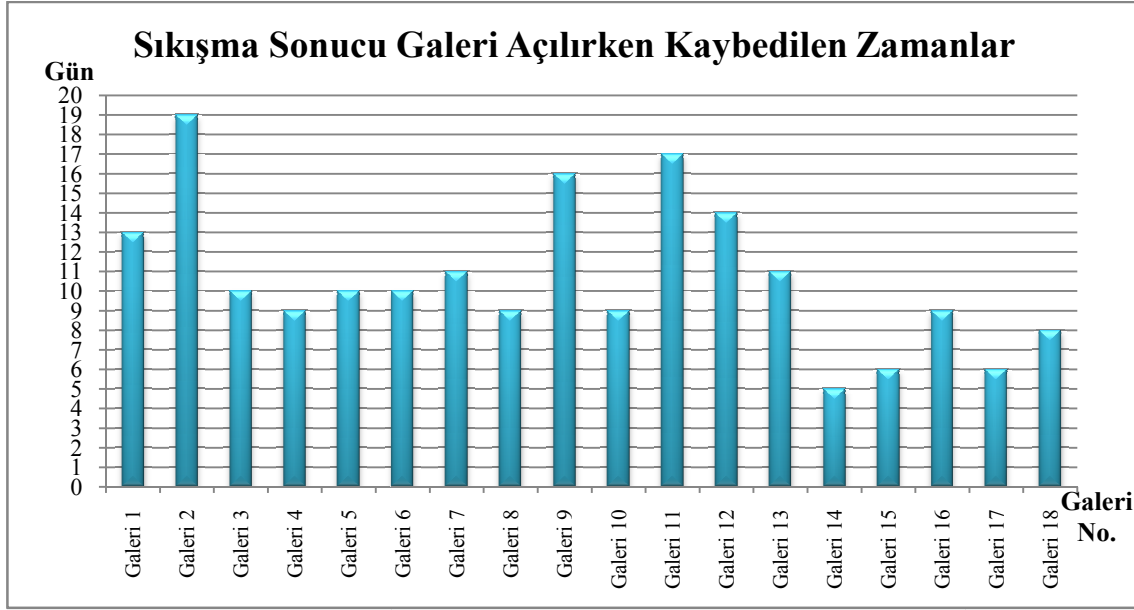
Tünel kazısı 1381 günde tamamlanmıştır, bu süreç içerisinde tünel güzergâhının jeolojisinden kaynaklanan makine şildinin sıkışması sonrasında elle galeri açılmasından dolayı toplam 192 gün kaybedilmiştir. Tünel kazı işleri süresince toplam 18 adet galeri açılmak zorunda kalınmıştır. Çizelge 6.1’de makine sıkışma ve kurtarılma tarihleri ile galeri kazılarının süreleri verilmektedir.

Çizelge 6.1: Makine sıkışma tarihleri ve kaybedilen zaman tablosu

Galeri No:	Makine Sıkışma Tarihi	Makine Kurtarılma Tarihi	Çalışılmayan Gün Sayısı
Galeri 1	06.12.2006	19.12.2006	13
Galeri 2	07.01.2007	26.01.2007	19
Galeri 3	28.04.2007	08.05.2007	10
Galeri 4	10.05.2007	19.05.2007	9
Galeri 5	20.05.2007	30.05.2007	10
Galeri 6	01.06.2007	11.06.2007	10
Galeri 7	11.06.2007	22.06.2007	11
Galeri 8	25.06.2007	04.07.2007	9
Galeri 9	24.07.2007	09.08.2007	16
Galeri 10	19.02.2008	28.02.2008	9
Galeri 11	14.07.2008	31.07.2008	17
Galeri 12	10.08.2008	24.08.2008	14
Galeri 13	27.09.2008	08.10.2008	11
Galeri 14	09.10.2008	14.10.2008	5
Galeri 15	16.10.2008	22.10.2008	6
Galeri 16	31.10.2008	09.11.2008	9
Galeri 17	12.11.2008	18.11.2008	6
Galeri 18	21.11.2008	29.11.2008	8
Galeri Kazısı Dolayısıyla Çalışılmayan Gün Sayısı		192	gün
Galeri Kazısı Ortalama Süresi		10,67	gün

Galeri açma işlemi makine şildinin sıkışmasından sonra şilt arkasındaki segmentlerin kırılması işlemiyle başlamaktadır. Segmentler kırıldıktan sonra eski madencilik yöntemleriyle elle kazı yapılarak makine şildinin çevresi açılır ve tahta tahkimat sistemleriyle desteklenir.

Her bir galerinin açılması ortalama olarak 10 gün almaktadır. Şekil 6.3’de makine sıkışması sonrasında galeri açılması için kaybedilen zamanlar (Çizelge 6.1’de verilen) çubuk diyagram olarak verilmektedir.



Şekil 6.3. Sıkışma sonucu galeri kazısı dolayısıyla kaybedilen zamanlar

6.2. Sıkışan Zeminlerde Makine Verilerinin İncelenmesi

Sıkışan zeminlerde zemin şilt üzerine kuvvet uygulayarak bir sürtünme kuvveti doğurmaktadır. Bu kuvvetin yenilebilmesi için makine itme kuvveti’nin uygulanan sürtünme kuvvetinden büyük olması gerekir. Bu bölümde, tünel kazısı süresince makinenin otomatik olarak kaydettiği raporlardan yola çıkılarak makine değerleri incelenecek, ayrıca sıkışan zeminlerden kaynaklanan sürtünmeler sonucunda makine’nin sıkıştığı ve galeri açma yöntemiyle kurtarıldığı dönemlerdeki vardiya raporlarında kaydedilen itme kuvveti, kesici kafa torku, kesme derinlikleri, spesifik enerji ve tork/itme kuvvetleri oranları ayrı ayrı incelenecektir.

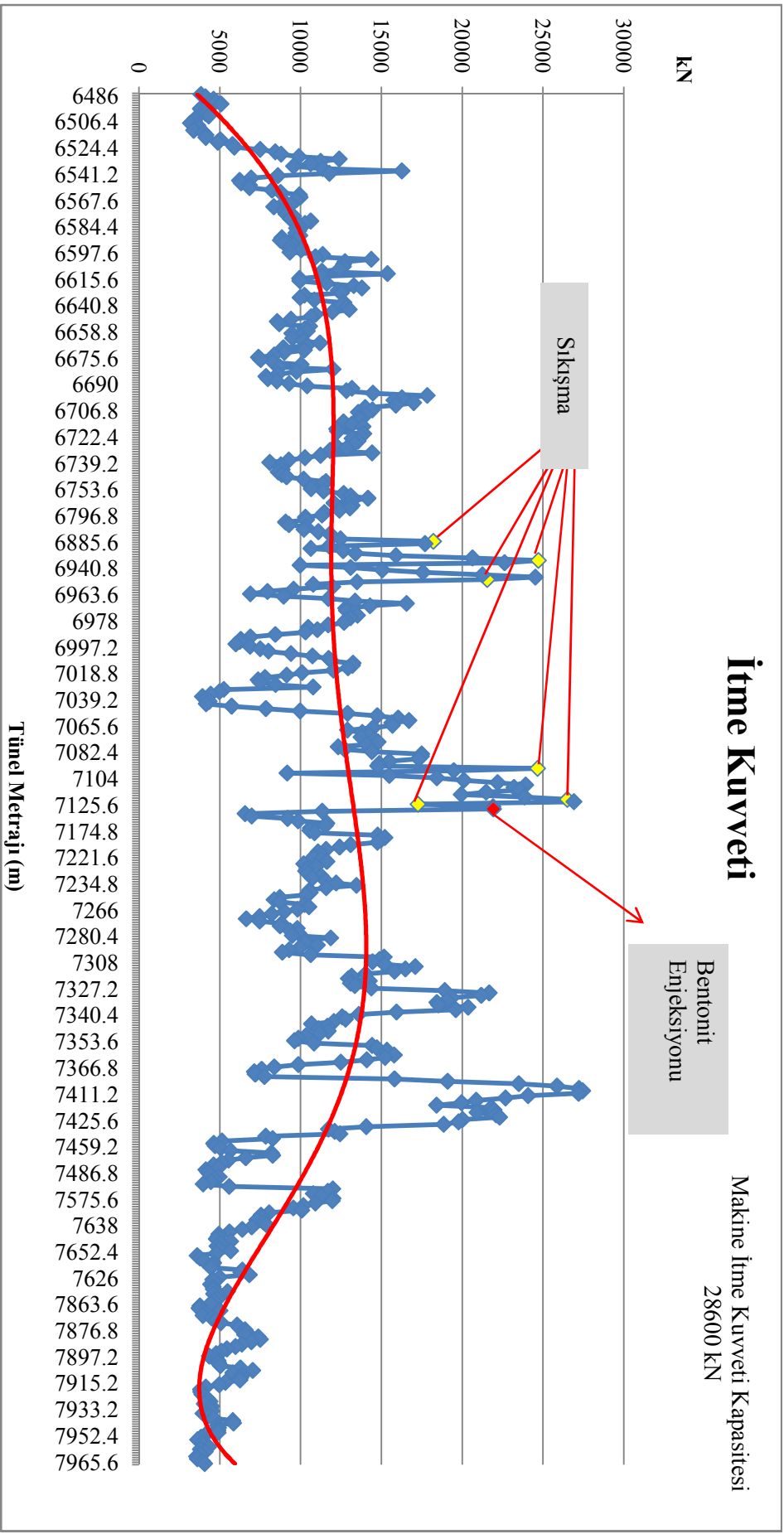
6.2.1. Tünel açma makinesinin otomatik kaydettiği verilerin değerlendirilmesi

Herrenknecht S-330 pasa basınçlı tam cepheli tünel açma makinesi her ring kazısı için ayrı ayrı rapor kaydetmektedir. 28.08.2008 – 26.01.2009 tarihleri arasında incelenen toplam 574 ring kazısını içeren makinenin otomatik olarak kaydettiği değerlerin ortalamaları aşağıdaki Çizelge 6,2’de verilmiştir.

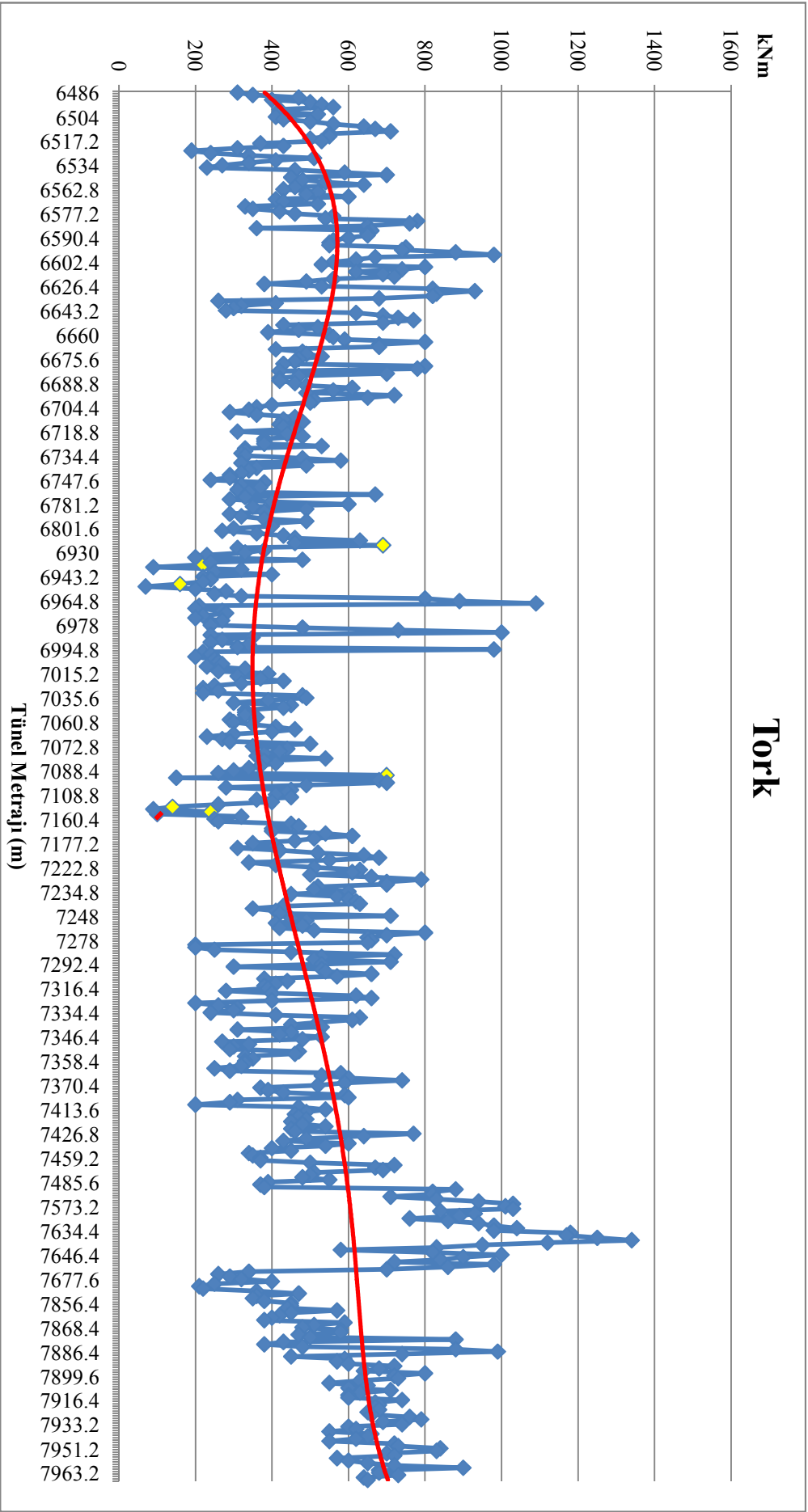
Çizelge 6.2: 28.08.08-26.01.09 tarihleri arasındaki makine verilerinin ortalamaları

rev/dk.	Tork	İtme Kuvveti	İlerleme Hızı	Tork / İtme Kuvveti	Spesifik Enerji	Kesme Derinliği
Rpm (dev/dk.)	kNm	kN	mm/dk.		kW/m ³	mm/dev
6,27	501.10	10533,83	40,83	0,06	8,17	6,48

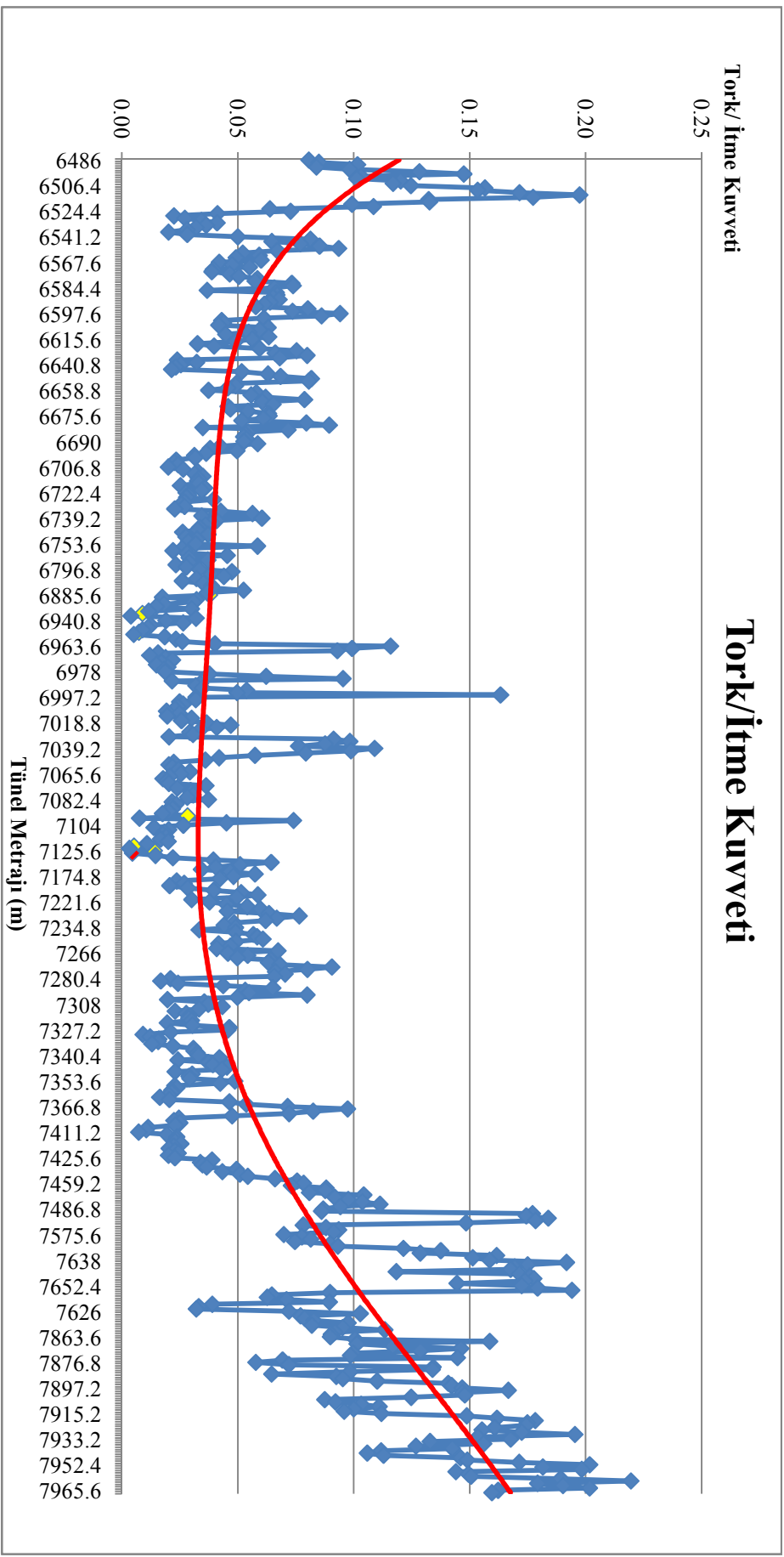
Bu raporlarda itme kuvvetleri, tork, ilerleme hızı, makinenin vermiş olduğu alarmlar vb. değerler bulunmaktadır. Şekil 6.4’de gösterilmiş olan itme kuvveti değerleri 5392 nolu ring ile 6628 nolu ring arasındaki makinenin kaydetmiş olduğu itme kuvveti değerlerine göre hazırlanmıştır. Şekilde sarı nokta ile gösterilen noktalarda soldan sağa Galeri 13-14-15-16-17 ve 18 gösterilmekte kırmızı nokta ile belirtilmiş yerden itibaren de kazı sırasında zemine bentonit enjeksiyonu yapılmaktadır. Aynı şekilde Şekil 6.5 makine tork değerlerini göstermektedir. Şekil 6.6’da makinenin kaydetmiş olduğu itme kuvveti ve tork değerlerinin birbirine oranını vermektedir.



Şekil 6.4. Makine tarafından otomatik kaydedilen itme kuvveti değerleri dağılımı



Şekil 6.5. Makine tarafından otomatik kaydedilen tork değerleri dağılımı



Şekil 6.6. Makine tarafından otomatik kaydedilen tork ve itme kuvveti oranları

Kesme derinliği Şekil 6.7’de verilmiştir, bu değerler makine tarafından otomatik olarak kaydedilmemektedir. Makine tarafından otomatik kaydedilen ilerleme hızı ve kesici kafa devir değerlerinden Eşitlik 6.1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Kesme Derinliği (mm/devir)} = \frac{\text{İlerleme Hızı (mm/dk.)}}{\text{Devir (devir/dk.)}} \quad (6.1)$$

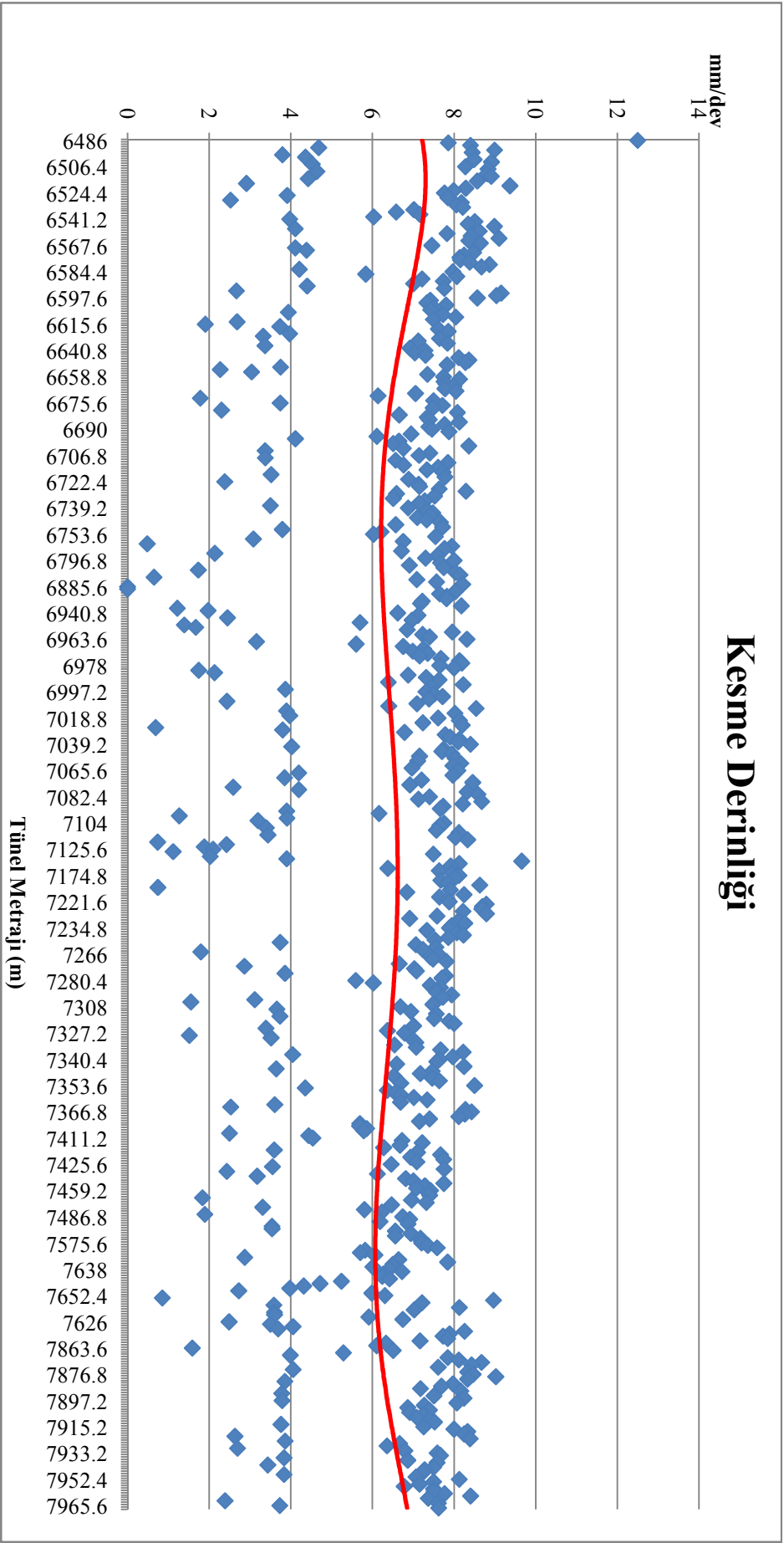
Spesifik enerji ise aşağıdaki formülasyona göre hesaplanmaktadır ve spesifik enerji dağılımları Şekil 6.8’de verilmektedir.

$$\text{Spesifik Enerji} \left(\frac{kW}{m^3} \right) = \frac{\text{Güç} \left(\frac{kW}{\text{saat}} \right)}{\frac{m^3}{\text{saat}}} = \frac{[2\pi \times \left(\frac{\text{Devir}}{dk} \right) \times \text{Tork}] / 60}{[\text{İlerleme Hızı} \times 60 \times \pi \times R^2] / 4} \quad (6.2)$$

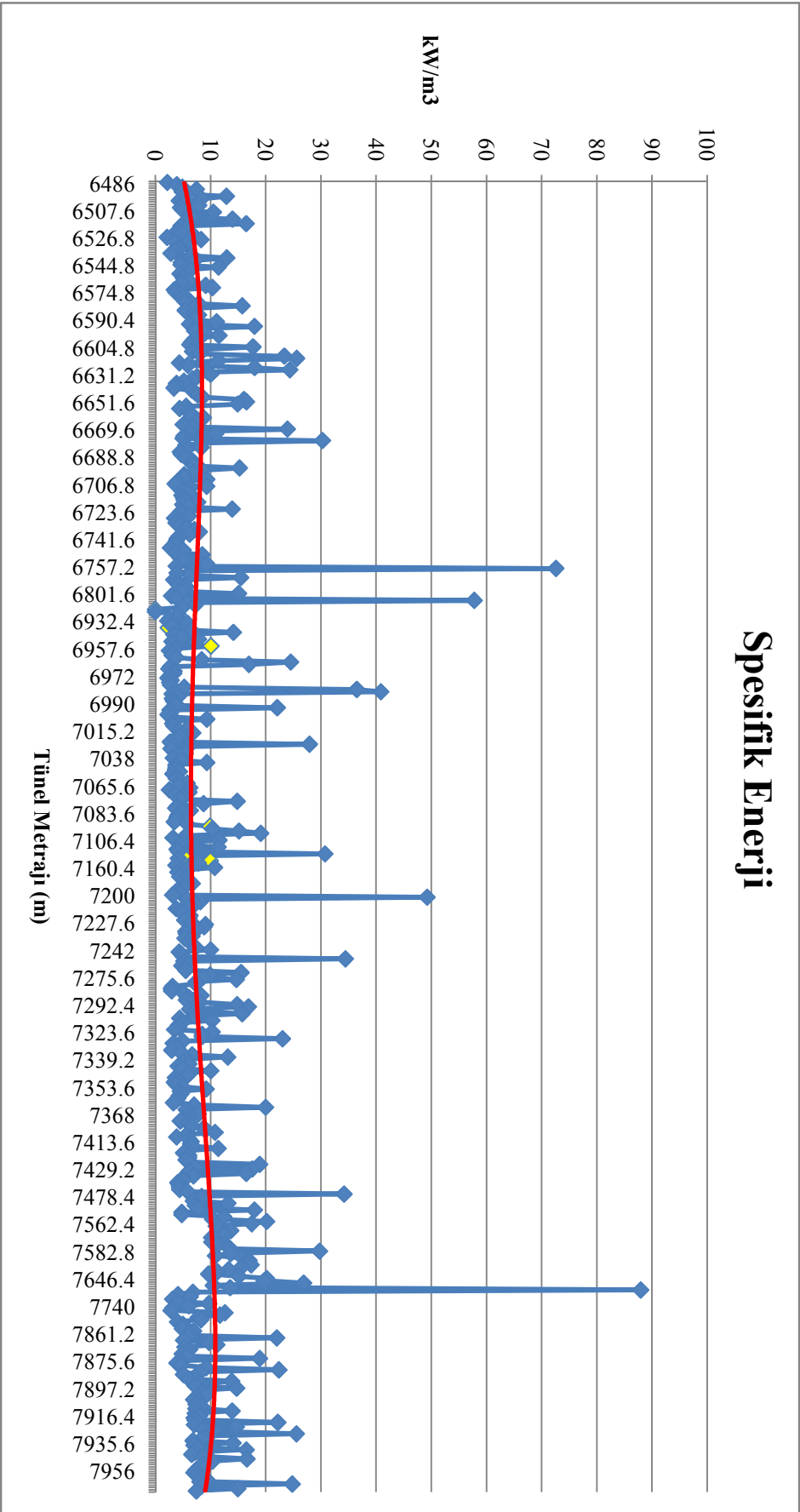
Yapılan çalışmalarda genel olarak arazi basınçlarının artması ve zeminin şilt üzerine etkilediği kuvvetlerin meydana getirdiği sürtünme kuvvetinin artmasıyla birlikte itme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. Şekil 6.4’de görüldüğü gibi sıkışmaların olduğu sarı ile işaretlenmiş noktalarda itme kuvvetleri makinenin en yüksek itme kuvveti değerlerine ulaşmıştır.

Şekil 6.5’deki tork dağılım grafiğine bakıldığında zaman görülmektedir ki genel olarak sıkışan zeminlerde tork değerleri düşmektedir.

Şekil 6.6’da görülen torkun itme kuvvetine oranı ise özellikle sıkışmanın olduğu yerlerde itme kuvvetlerinin maksimum düzeylerde uygulanmasından ve torkun düşmesinden dolayı bu oranın azaldığı gözlenmektedir. Bentonit enjeksiyonunun başlaması yani kırmızı ile işaretlenen noktadan (Şekil 6.6’daki) ilerideki değerlere bakıldığında tork/itme kuvvetleri oranının yükseldiği gözlemlenmektedir. Bu değerdeki artış bentonit enjeksiyonunun şilt üzerindeki sürtünmeyi %50 dolayında azalmasıyla birlikte, itme kuvvetlerinin düşmesine sebep olması ve tork değerlerinin kesme derinliklerindeki artışla birlikte artmasının sebep olduğu açıkça gözlenmektedir.



Şekil 6.7. Kesme derinliği dağılım grafiği



Şekil 6.8. Spesifik Enerji dağılım grafiği

6.3. Sıkışmalar ve Vardiya Raporlarından Alınan Makine Değerlerinin İncelenmesi

Uluabat kuvvet tüneli daha önce anlatıldığı üzere Km 0+000-Km 0+500 arası konvansiyonel (klasik) yöntemlerle açılmaya çalışılmış ancak çalışma sırasında deplasmanların yoğun şekilde devam etmesi ve tünel stabilitesinin sağlanamamasından dolayı kazı yönteminin değiştirilmesine karar verilmiştir. Yapılan ek arazi çalışmaları sonrasında çıkış ağzı Km 11+461'den itibaren pasa basınçlı tam cepheli tünel açma makinesiyle kazısının gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Yapılan arazi araştırmalarında da belirtildiği üzere tünel güzergahı boyunca zaman zaman sıkışan zeminler bulunmakta ve ayrıca metadetritik (metakumtaşı) kayadan kireçtaşına geçiş yapılırken yer altı suyu tünel açısından tehlike oluşturmuştur.

6.3.1. Galeri 1

06.12.2006 tarihinde metadetritik kayada kazı yapılırken projedeki ilk şilt sıkışması problemiyle karşı karşıya kalınmış itme kuvvetlerinin ek ekipmanlarla arttırılmaya çalışılmasına karşın her hangi bir ilerleme kaydedilememiş ve şilt arkasından galeri açma yöntemine başvurulmuştur. Galeri açma işlemleri 13 gün sürmüş ve 19.12.2006 tarihinde ilerleme denemesi yapılmış ve başarılı bir ilerleme gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.3'de görüldüğü gibi 06.12.2006 tarihinde tünel ilerlemesi 784.8 metrede 654.ring kazısı yapılmaktayken şilt sıkışması gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.3: 02.12.2006- 21.12.2006 tarihleri arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
608	729,60	02.12.2006	800	17967,71	8,78	7,94	0,0445
609	730,80	02.12.2006	800	17967,71	9,47	7,36	0,0445
610	732,00	02.12.2006	900	17967,71	9,46	8,29	0,0501
611	733,20	03.12.2006	1000	18022,16	9,47	9,20	0,0555
612	734,40	03.12.2006	900	15463,12	7,21	10,88	0,0582
613	735,60	03.12.2006	800	17858,81	7,73	9,02	0,0448
614	736,80	03.12.2006	900	15517,57	8,13	9,64	0,0580
615	738,00	03.12.2006	700	14537,51	7,05	8,66	0,0482

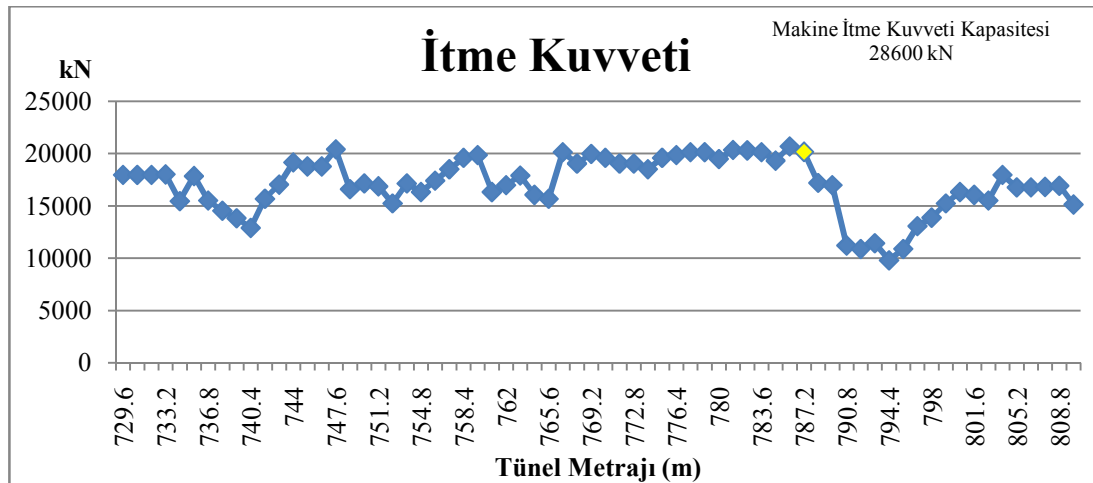
Çizelge 6.3: (devam) 02.12.2006- 21.12.2006 tarihleri arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
618	741,60	03.12.2006	800	15680,91	6,40	10,90	0,0510
619	742,80	03.12.2006	800	17042,10	6,88	10,14	0,0469
620	744,00	03.12.2006	900	19165,56	7,56	10,38	0,0470
621	745,20	03.12.2006	800	18784,42	6,74	10,34	0,0426
622	746,40	03.12.2006	900	18784,42	5,25	14,93	0,0479
623	747,60	04.12.2006	900	20417,85	6,22	12,60	0,0441
624	748,80	04.12.2006	900	16606,52	8,05	9,75	0,0542
625	750,00	04.12.2006	800	17150,99	7,07	9,87	0,0466
626	751,20	04.12.2006	900	16878,76	5,71	13,72	0,0533
627	752,40	04.12.2006	700	15245,33	9,17	6,65	0,0459
628	753,60	04.12.2006	800	17150,99	7,69	9,06	0,0466
629	754,80	04.12.2006	800	16334,28	8,57	8,13	0,0490
630	756,00	04.12.2006	1000	17423,23	10,00	8,71	0,0574
631	757,20	04.12.2006	1000	18512,18	9,29	9,38	0,0540
632	758,40	04.12.2006	1200	19601,14	8,54	12,25	0,0612
633	759,60	04.12.2006	1000	19873,37	9,41	9,26	0,0503
634	760,80	05.12.2006	1000	16334,28	9,17	9,51	0,0612
635	762,00	05.12.2006	1100	16987,65	8,53	11,24	0,0648
636	763,20	05.12.2006	1100	17913,26	8,30	11,55	0,0614
637	764,40	05.12.2006	900	16062,04	7,64	10,27	0,0560
638	765,60	05.12.2006	1300	15680,91	6,51	17,41	0,0829
639	766,80	05.12.2006	600	20145,61	4,29	12,20	0,0298
640	768,00	05.12.2006	400	19056,66	4,67	7,46	0,0210
641	769,20	05.12.2006	700	19982,27	5,12	11,91	0,0350
642	770,40	05.12.2006	700	19601,14	9,17	6,65	0,0357
643	771,60	05.12.2006	800	19056,66	7,69	9,06	0,0420
644	772,80	05.12.2006	800	19056,66	8,57	8,13	0,0420
645	774,00	05.12.2006	1000	18512,18	10,00	8,71	0,0540
646	775,20	05.12.2006	900	19601,14	10,83	7,24	0,0459
647	776,40	05.12.2006	1000	19873,37	8,57	10,17	0,0503
648	777,60	05.12.2006	1500	20145,61	8,46	15,45	0,0745
649	778,80	05.12.2006	1300	20145,61	8,66	13,09	0,0645
650	780,00	06.12.2006	600	19492,24	6,58	7,95	0,0308
651	781,20	06.12.2006	600	20363,40	7,39	7,07	0,0295
652	782,40	06.12.2006	1100	20308,95	7,25	13,23	0,0542
653	783,60	06.12.2006	1300	20145,61	6,23	18,18	0,0645
654	784,80	06.12.2006	1400	19328,90	7,46	16,34	0,0724
655	786,00	19.12.2006	900	20690,09	0,00	0,00	0,0435
656	787,20	19.12.2006	700	20145,61	5,63	10,83	0,0347

Çizelge 6.3: (devam) 02.12.2006- 21.12.2006 tarihleri arasındaki makine değerleri

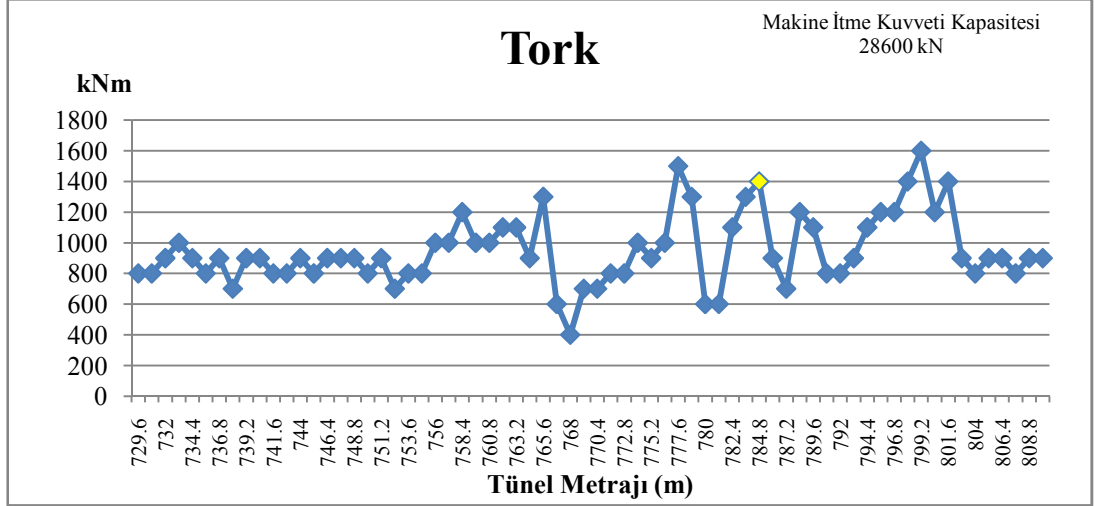
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
659	790,80	20.12.2006	800	11216,21	6,81	10,23	0,0713
660	792,00	20.12.2006	800	10889,52	5,63	12,39	0,0735
661	793,20	20.12.2006	900	11434,00	6,25	12,55	0,0787
662	794,40	20.12.2006	1100	9800,57	8,89	10,78	0,1122
663	795,60	20.12.2006	1200	10889,52	9,44	11,07	0,1102
664	796,80	20.12.2006	1200	13067,42	10,71	9,76	0,0918
665	798,00	20.12.2006	1400	13884,14	9,59	12,72	0,1008
666	799,20	20.12.2006	1600	15245,33	9,86	14,14	0,1050
667	800,40	20.12.2006	1200	16334,28	10,00	10,46	0,0735
668	801,60	20.12.2006	1400	16062,04	9,86	12,37	0,0872
669	802,80	20.12.2006	900	15517,57	10,00	7,84	0,0580
670	804,00	20.12.2006	800	17967,71	9,86	7,07	0,0445
671	805,20	21.12.2006	900	16769,86	7,63	10,27	0,0537
672	806,40	21.12.2006	900	16769,86	7,63	10,27	0,0537
673	807,60	21.12.2006	800	16824,31	8,02	8,69	0,0476
674	808,80	21.12.2006	900	16933,20	7,98	9,83	0,0532

Şekil 6.9’da görüldüğü gibi zemin koşullarından dolayı ilerleme yüksek itme kuvvetleriyle gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan çalışmada ortalama itme kuvveti 10533,84 kN olarak bulunurken burada gözlemlendiği üzere ortalama itme kuvveti değeri 17410,85 kN’dur. Şilt sıkışması 784,8 metre’de 20145.61 kN itme kuvvetindeyken gerçekleşmiştir.



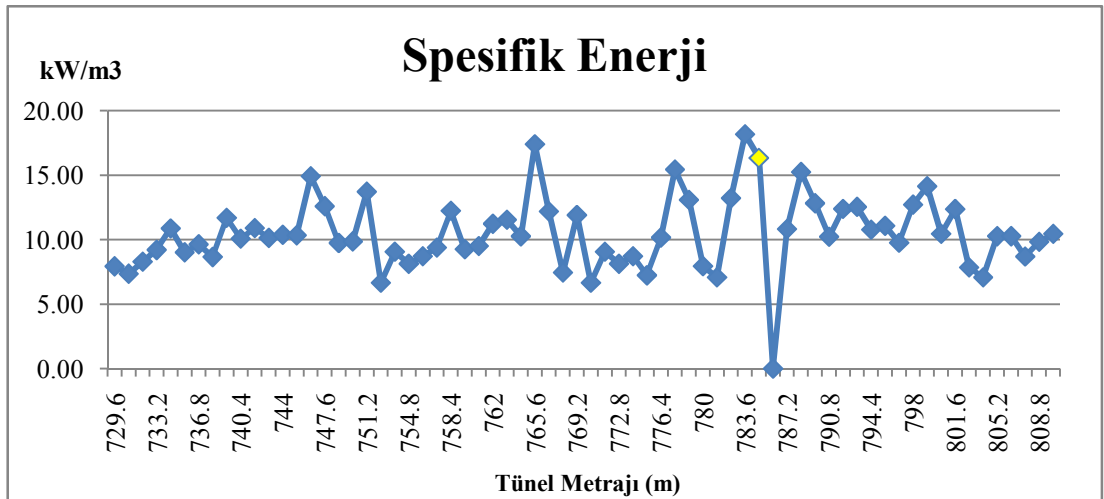
Şekil 6.9. 729,60m-808,80m arası İtme kuvveti değişimi

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi tork değerleri 729,6 metreden itibaren düzenli bir ortalama ile devam etmektedir; ancak zemin etkilerinin çoğalmasıyla birlikte tork değerlerindeki değişim başlamakta ve grafikte sarı olarak gösterilen noktada makine tamamen sıkışmaktadır. Galeri kazısı yapıldıktan sonra ilerlemelerde bir süre daha tork değişimleri devam etmekte ve sonrasında yine ortalama değerine ulaşmaktadır.



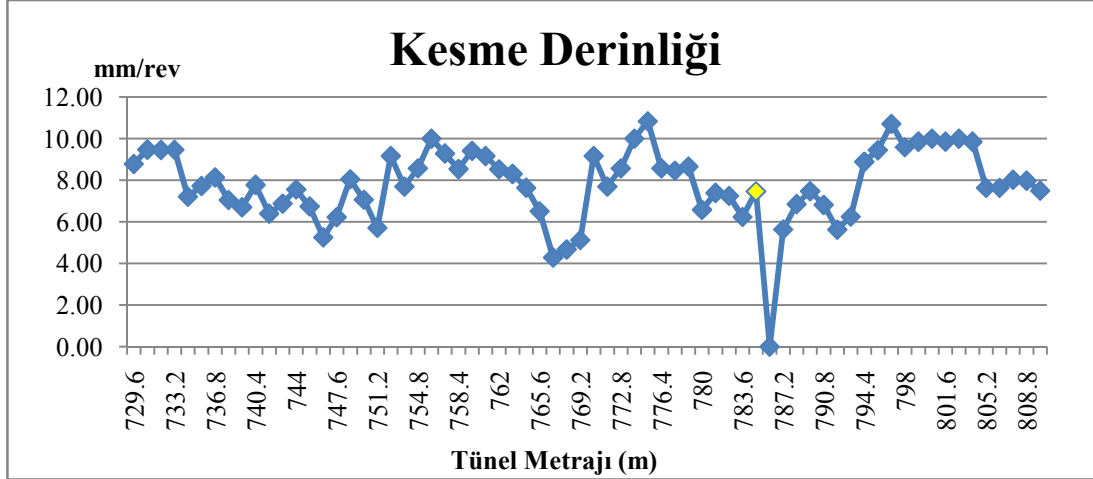
Şekil 6.10. 729,60m-808.80m arası Tork değişimi

Şekil 6.11'de görüldüğü üzere şiltin sıkışmaya başlamasıyla birlikte spesifik enerji değerleride normal değerlerinin üzerine çıkmıştır. Sıkışmanın gerçekleştiği ring ve bir önceki kazıda spesifik enerji'nin en yüksek değerine ulaştığı görülmektedir.

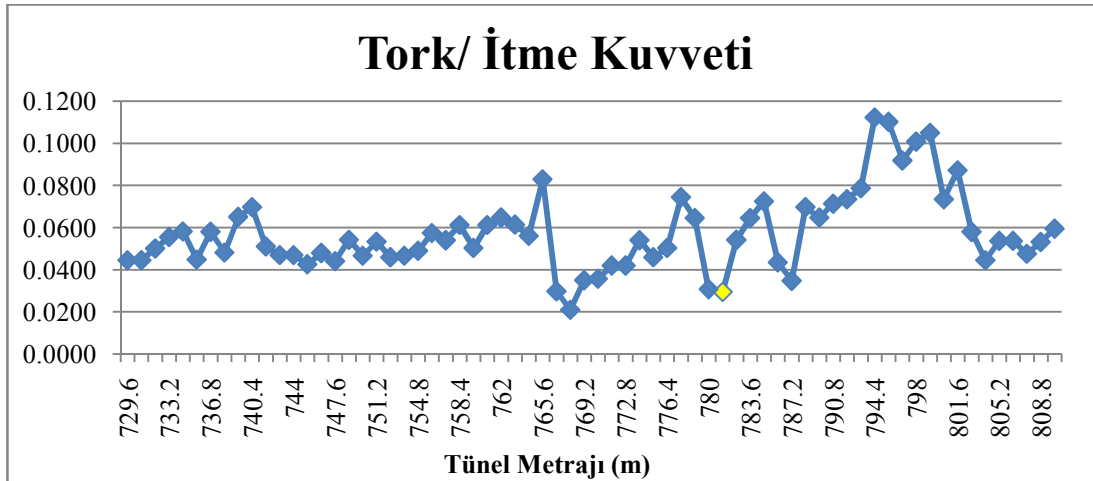


Şekil 6.11. 729,60m-808.80m arası Spesifik enerji değişimi

Şekil 6.12’de görüldüğü gibi sıkışan zemin’in TBM üzerine uyguladığı kuvvetler sonucunda şilt sıkışmadan önce kesme derinlikleri azalmakta, itme kuvvetlerinin arttırılmasıyla birlikte bir süre normal değerlerine ulaşmış olsada sıkışma esnasında düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 6.12. 729,60m-808.80m arası Kesme derinliği değişimi



Şekil 6.13. 729,60m-808.80m arası Tork/İtme Kuvveti değişimi

Şekil 6.13’de görüldüğü gibi tork ve itme kuvveti oranı 0,04 ile 0,06 arasında seyrederken zemin sıkışmasından dolayı itme kuvvetlerinin arttırılması ve tork değerlerinin düşmesiyle birlikte düşmüştür. Sıkışmanın gerçekleşmesi ve galeri açılıp tünel açma makinesinin kurtarılmasından sonra itme kuvvetlerindeki düşüş tork itme kuvveti oranını belirli bir süre yükseltmiş ancak sonradan yine 0,04 ile 0,06 arasındaki değerlerine taşımıştır.

6.3.2. Galeri 2

07.01.2007 tarihinde metadetritik (metakumtaşı) kayaçta kazı devam ederken ikinci şilt sıkışması gerçekleşmiştir. İtme kuvvetleri sınır değerlerde uygulanmasına rağmen ilerleme kaydedilememiş ve şilt arkasından galeri açma yöntemine başvurulmuştur. Galeri açma işlemleri 19 gün sürmüş ve 26.01.2007 tarihinde galeri işlemleri bitmiş, şilt çevresi taranarak şilt zeminin uyguladığı kuvvetlerden kurtarılmıştır. İlerleme denemesi yapılmış ve başarılı bir ilerleme gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi 07.01.2007 tarihinde tünel ilerlemesi 1065,6. metrede 888.ring kazısı yapılmaktayken şilt sıkışması gerçekleşmiştir.

Tablo 6.4: 05.01.2007-28.01.2007 tarihleri arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
843	1011,6	05.01.2007	700	11434,00	7,25	8,42	0,0612
844	1012,8	05.01.2007	900	11978,47	8,11	9,67	0,0751
845	1014	05.01.2007	800	10889,52	7,33	9,51	0,0735
846	1015,2	05.01.2007	900	9800,57	8,57	9,15	0,0918
847	1016,4	05.01.2007	900	8167,14	7,69	10,20	0,1102
849	1018,8	05.01.2007	700	8167,14	8,02	7,60	0,0857
850	1020	05.01.2007	600	8167,14	6,71	7,79	0,0735
851	1021,2	05.01.2007	500	8221,59	6,25	6,97	0,0608
852	1022,4	05.01.2007	500	8276,04	7,73	5,64	0,0604
853	1023,6	05.01.2007	700	8221,59	8,24	7,41	0,0851
854	1024,8	05.01.2007	500	8221,59	7,75	5,62	0,0608
855	1026	05.01.2007	900	8276,04	8,00	9,80	0,1087
856	1027,2	05.01.2007	500	8221,59	7,90	5,51	0,0608
857	1028,4	05.01.2007	900	8167,14	7,06	11,11	0,1102
858	1029,6	05.01.2007	700	8276,04	8,40	7,27	0,0846
859	1030,8	05.01.2007	500	8221,59	7,47	5,83	0,0608
860	1032	05.01.2007	800	8221,59	8,00	8,71	0,0973
861	1033,2	06.01.2007	700	8276,04	8,29	7,36	0,0846
862	1034,4	06.01.2007	700	8820,51	8,59	7,10	0,0794
863	1035,6	06.01.2007	500	8929,41	9,23	4,72	0,0560
864	1036,8	06.01.2007	500	9038,30	8,70	5,01	0,0553
865	1038	06.01.2007	700	9147,20	8,96	6,81	0,0765
866	1039,2	06.01.2007	600	9256,09	8,70	6,01	0,0648
867	1040,4	06.01.2007	800	10617,28	8,62	8,09	0,0753
868	1041,6	06.01.2007	700	8276,04	6,37	9,57	0,0846

Tablo 6.4: (devam) 05.01.2007-28.01.2007 tarihleri arasındaki makine değerleri

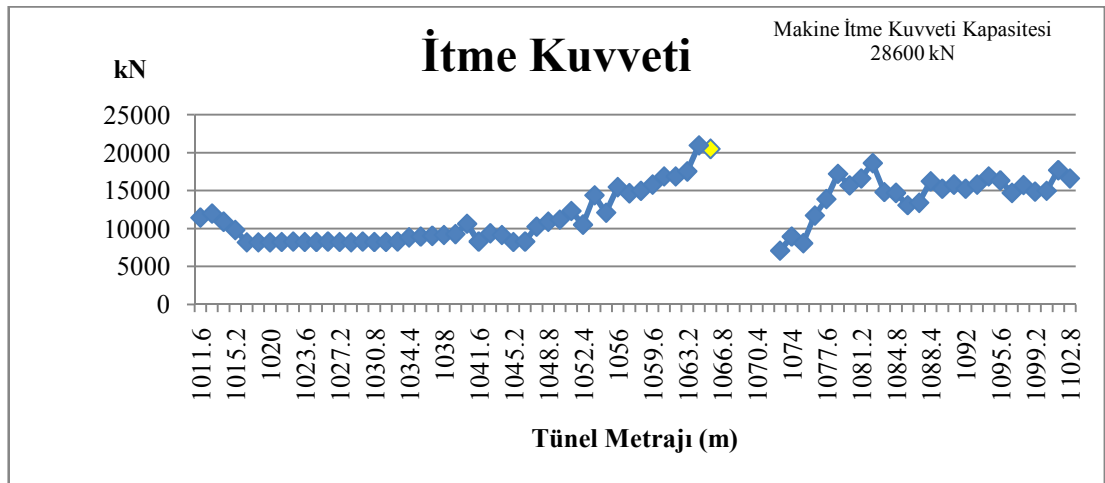
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	Tork/İtme Kuvveti
871	1045,2	06.01.2007	800	8221,59	8,33	8,37	0,0973
872	1046,4	06.01.2007	600	8276,04	7,21	7,25	0,0725
873	1047,6	06.01.2007	600	10236,15	6,37	8,20	0,0586
874	1048,8	06.01.2007	600	10889,52	7,14	7,32	0,0551
875	1050	06.01.2007	1100	11161,76	8,82	10,86	0,0986
876	1051,2	06.01.2007	700	12305,16	8,00	7,62	0,0569
877	1052,4	07.01.2007	700	10508,39	7,14	8,54	0,0666
878	1053,6	07.01.2007	500	14374,17	7,86	5,55	0,0348
879	1054,8	07.01.2007	600	12087,37	8,82	5,93	0,0496
880	1056	07.01.2007	600	15463,12	9,09	5,75	0,0388
881	1057,2	07.01.2007	500	14646,40	9,56	4,56	0,0341
882	1058,4	07.01.2007	700	14973,09	8,82	6,91	0,0468
883	1059,6	07.01.2007	500	15789,80	8,70	5,01	0,0317
884	1060,8	07.01.2007	700	16878,76	8,96	6,81	0,0415
885	1062	07.01.2007	600	16878,76	8,70	6,01	0,0355
886	1063,2	07.01.2007	800	17532,13	8,62	8,09	0,0456
887	1064,4	07.01.2007	500	20962,33	7,25	6,01	0,0239
888	1065,6	07.01.2007	400	20472,30	6,79	5,14	0,0195
889	1066,8	26.01.2007					
890	1068	26.01.2007					
891	1069,2	26.01.2007					
892	1070,4	26.01.2007					
893	1071,6	26.01.2007					
894	1072,8	26.01.2007	550	7078,19	9,63	4,98	0,0777
895	1074	26.01.2007	1100	8929,41	8,75	10,95	0,1232
896	1075,2	27.01.2007	800	8058,24	7,39	9,43	0,0993
897	1076,4	27.01.2007	800	11706,23	8,70	8,02	0,0683
898	1077,6	27.01.2007	800	13884,14	9,38	7,44	0,0576
899	1078,8	27.01.2007	400	17205,44	8,09	4,31	0,0232
900	1080	27.01.2007	400	15680,91	8,92	3,91	0,0255
901	1081,2	27.01.2007	600	16606,52	8,70	6,01	0,0361
902	1082,4	27.01.2007	600	18621,08	8,00	6,54	0,0322
903	1083,6	27.01.2007	500	14809,75	9,19	4,74	0,0338
904	1084,8	27.01.2007	700	14700,85	8,11	7,52	0,0476
905	1086	27.01.2007	600	13067,42	8,80	5,94	0,0459
906	1087,2	27.01.2007	600	13394,11	8,41	6,22	0,0448
907	1088,4	27.01.2007	500	16225,38	8,59	5,07	0,0308
908	1089,6	27.01.2007	700	15245,33	8,93	6,83	0,0459
909	1090,8	27.01.2007	600	15789,80	10,00	5,23	0,0380

Tablo 6.4: (devam) 05.01.2007-28.01.2007 tarihleri arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	Tork/İtme Kuvveti
912	1094,4	27.01.2007	1200	16878,76	10,00	10,46	0,0711
913	1095,6	27.01.2007	900	16334,28	10,83	7,24	0,0551
914	1096,8	27.01.2007	1100	14700,85	9,23	10,38	0,0748
915	1098	28.01.2007	1100	15735,36	8,33	11,50	0,0699
916	1099,2	28.01.2007	900	14864,19	8,64	9,08	0,0605
917	1100,4	28.01.2007	900	14973,09	8,33	9,41	0,0601
918	1101,6	28.01.2007	1100	17695,47	9,23	10,38	0,0622
919	1102,8	28.01.2007	900	16606,52	9,55	8,21	0,0542

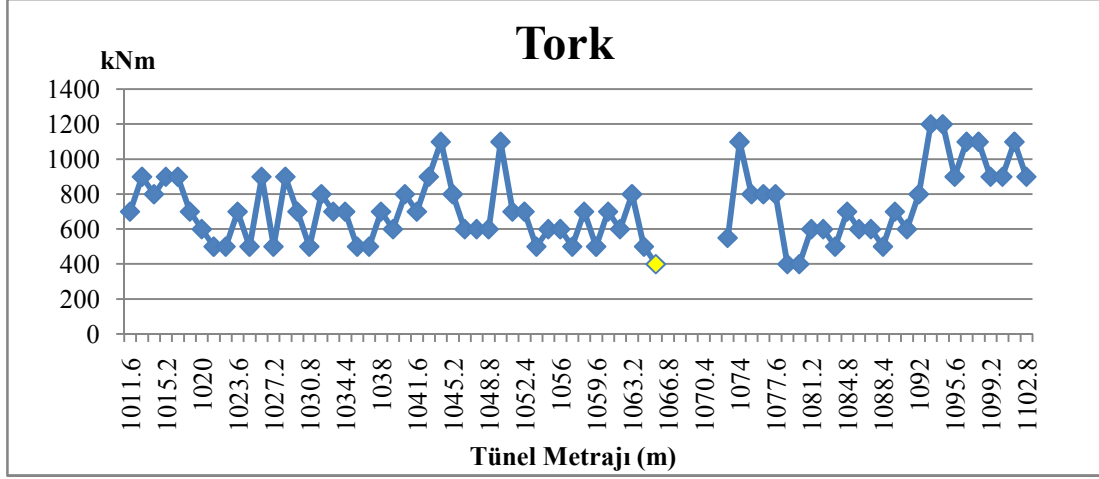
Şekil 6.14’de görüldüğü gibi itme kuvvetleri 1041,6.metreden itibaren düzenli bir şekilde artış göstermektedir buradan, zemin şilt etrafında sıkışmalara yol açmakta ve sürtünme kuvvetlerini yenebilmek için itme kuvvetleri arttırılmaktadır.1065,6.m 888.ring kazısından sonra makine sıkışmış ve ilerleme gerçekleştirilememiştir.

1041,6 metrede zeminin şildi sıkıştırmaya başladığı varsayımından yola çıkarak 1065,6.metrede sıkışmanın gerçekleşmesiyle 24 metrelik bir sıkıştırma bölgesini inceleyebiliriz. 1041,6. Metrede itme kuvvetleri 8276,03 kN iken 1065,6.metrede 20472,29 kN’dur. Buradan 24 metredeki itme kuvveti farkı 12196,26 kN’dur metrede itme kuvveti artışı 508,17 kN/m olarak bulunmaktadır.



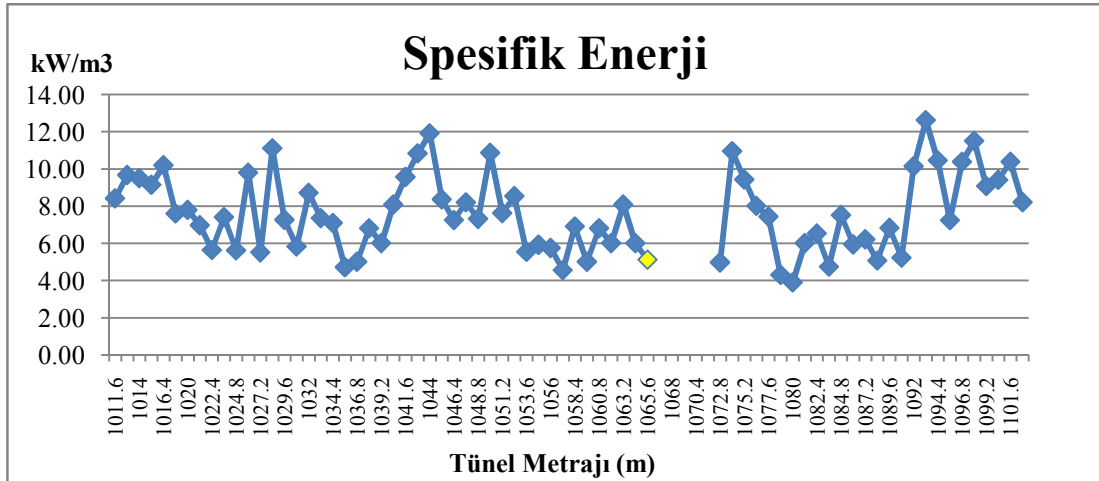
Şekil 6.14. 1011,6m-1102,8 m arası itme kuvveti değişimleri

Şekil 6.15’de görüldüğü üzere sıkışma öncesinde zeminin uyguladığı kuvvetlerden dolayı tork düzensiz bir şekilde dalgalanmaktadır ve sıkışmadan önce düşmektedir.



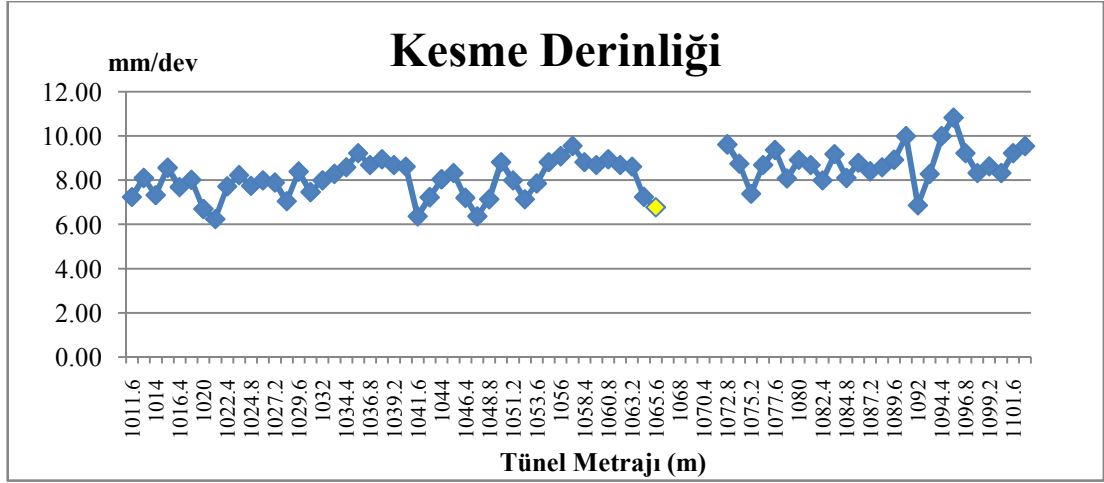
Şekil 6.15. 1011,6m-1102,8 m arası tork değişimleri

Şekil 6.16’da verildiği gibi spesifik enerji sıkışan zeminin etkisiyle birlikte çeşitli dalgalanmalar göstermesi ardından sıkışma öncesinde düşüş göstermektedir.

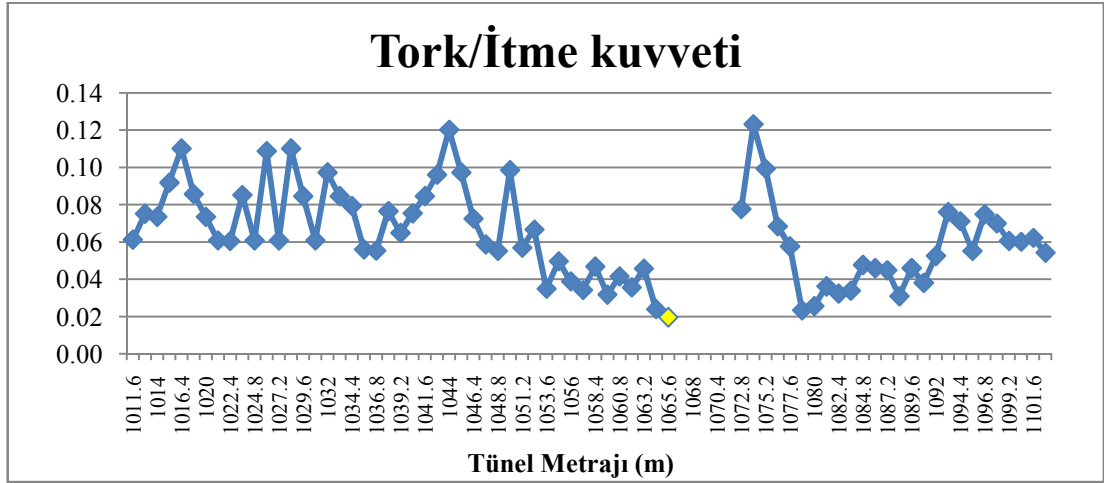


Şekil 6.16. 1011,6m-1102,8 m arası spesifik enerji değişimleri

Şekil 6.17’de görüleceği üzere kesme derinlikleri incelenen 1011,6m ile 1102,8m arasında genelde birbirine yakın değerlerde seyretmektedir ancak sıkışma öncesinde ve hemen sonrasında kesme derinliklerinde değişimler göze çarpmaktadır. Sıkışan zeminin şilt üzerine etkilediği kuvvetler vasıtasıyla itme kuvvetlerinin yetersiz gelmesi kesme derinliğinin azalmasına yol açmaktadır. Aynı şekilde şekil 6.18’de verilen torkun itme kuvvetine oranında da itme kuvvetlerinin sıkışan zemin karşısında arttırılması ve torkun düşmesiyle birlikte bu oranın azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 6.17. 1011,6m-1102,8 m arası kesme derinliği değişimleri



Şekil 6.18. 1011,6m-1102,8 m arası tork/itme kuvveti değişimleri

6.3.3. Galeri 3-4-5-6-7-8

28.04.07- 25.06.07 tarihleri arasında 6 adet sıkışma gerçekleşmiş ve 6 adet galeri kazısı yapılmıştır. Tünel'in 2178.metresinden 2278,8.metresine kadar zemin'in yüksek deformasyon özelliğinden dolayı sıkışmalar sıklıkla tekrar etmiştir, ilk sıkışmadan sonra galeri açılarak ilerlenme sağlanmış ancak hemen arkasından tekrar makine sıkışmıştır, çizelge 6.5'de bu dönem içerisinde vardiya raporlarından elde edilen ve bu değerlerin daha önce verilen formüllerle hesaplanmasından elde edilen veriler gösterilmiştir.

Çizelge 6.5: Galeri 3-4-5-6-7-8- makine değerleri ve hesaplamalar

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
1781	2137,2	27.04.2007	500	6510,00	10,00	4,36	0,0768
1782	2138,4	27.04.2007	500	7310,00	9,29	4,69	0,0684
1783	2139,6	27.04.2007	400	6860,00	9,03	3,86	0,0583
1784	2140,8	27.04.2007	500	7172,00	9,71	4,49	0,0697
1785	2142	27.04.2007	500	7460,00	9,28	4,70	0,0670
1786	2143,2	27.04.2007	600	8440,00	9,86	5,30	0,0711
1787	2144,4	27.04.2007	500	10000,00	9,86	4,42	0,0500
1788	2145,6	27.04.2007	500	10800,00	8,67	5,03	0,0463
1789	2146,8	27.04.2007	200	10700,00	8,57	2,03	0,0187
1790	2148	27.04.2007	400	11300,00	9,26	3,76	0,0354
1791	2149,2	27.04.2007	500	12600,00	9,86	4,42	0,0397
1792	2150,4	27.04.2007	400	9600,00	9,57	3,64	0,0417
1793	2151,6	28.04.2007	500	19600,00	8,62	5,05	0,0255
1794	2152,8	28.04.2007	500	17800,00	9,17	4,75	0,0281
1795	2154	28.04.2007	600	17900,00	9,67	5,41	0,0335
1796	2155,2	28.04.2007	600	17100,00	10,00	5,23	0,0351
1797	2156,4	28.04.2007	600	16000,00	10,67	4,90	0,0375
1798	2157,6	28.04.2007	600	15400,00	9,67	5,41	0,0390
1799	2158,8	28.04.2007	500	16400,00	10,00	4,36	0,0305
1800	2160	28.04.2007	500	16125,00	9,58	4,55	0,0310
1801	2161,2	28.04.2007	500	17425,00	9,71	4,49	0,0287
1802	2162,4	28.04.2007	500	16650,00	9,86	4,42	0,0300
1803	2163,6	28.04.2007	500	17825,00	10,00	4,36	0,0281
1804	2164,8	28.04.2007	500	17450,00	10,00	4,36	0,0287
1805	2166	28.04.2007	500	19840,00	9,86	4,42	0,0252
1806	2167,2	28.04.2007	500	18540,00	9,86	4,42	0,0270
1807	2168,4	28.04.2007	400	22300,00	9,86	3,54	0,0179
1808	2169,6	28.04.2007	300	22600,00	9,72	2,69	0,0133
1809	2170,8	28.04.2007	200	22290,00	9,56	1,82	0,0090
1810	2172	28.04.2007	300	21600,00	9,57	2,73	0,0139
1811	2173,2	28.04.2007	300	20750,00	9,57	2,73	0,0145
1812	2174,4	28.04.2007	300	19800,00	9,71	2,69	0,0152
1813	2175,6	28.04.2007	400	22000,00	10,00	3,49	0,0182
1814	2176,8	28.04.2007	400	21400,00	10,00	3,49	0,0187
1815	2178	28.04.2007	200	26150,00	9,71	1,79	0,0076
1816	2179,2	08.05.2007	400	27200,00	8,82	3,95	0,0147
1817	2180,4	08.05.2007	300	20000,00	2,63	9,93	0,0150
1818	2181,6	08.05.2007	400	16400,00	7,14	4,88	0,0244
1819	2182,8	08.05.2007	500	14000,00	8,38	5,20	0,0357

Çizelge 6.5: (devam) Galeri 3-4-5-6-7-8- makine değerleri ve hesaplamalar

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/itme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
1822	2186,4	08.05.2007	500	9500,00	8,19	5,32	0,0526
1823	2187,6	08.05.2007	500	12000,00	8,96	4,87	0,0417
1824	2188,8	08.05.2007	600	14000,00	10,00	5,23	0,0429
1825	2190	08.05.2007	600	15500,00	9,69	5,39	0,0387
1826	2191,2	08.05.2007	600	17000,00	10,00	5,23	0,0353
1827	2192,4	08.05.2007	500	17700,00	9,69	4,50	0,0282
1828	2193,6	08.05.2007	600	21000,00	10,00	5,23	0,0286
1829	2194,8	09.05.2007	600	21150,00	9,84	5,31	0,0284
1830	2196	09.05.2007	500	20550,00	6,71	6,50	0,0243
1831	2197,2	09.05.2007	600	22300,00	6,67	7,84	0,0269
1832	2198,4	09.05.2007	600	23150,00	6,74	7,75	0,0259
1833	2199,6	09.05.2007	600	23500,00	5,95	8,78	0,0255
1834	2200,8	09.05.2007	600	26000,00	6,75	7,75	0,0231
1835	2202	09.05.2007	700	25800,00	6,79	8,98	0,0271
1836	2203,2	09.05.2007	600	27000,00	6,67	7,84	0,0222
1842	2210,4	19.05.2007	700	15800,00	7,61	8,01	0,0443
1843	2211,6	19.05.2007	600	15600,00	7,39	7,08	0,0385
1844	2212,8	20.05.2007	800	19000,00	7,53	9,26	0,0421
1845	2214	20.05.2007	700	25800,00	7,59	8,04	0,0271
1846	2215,2	20.05.2007	700	27085,00	7,47	8,16	0,0258
1847	2216,4	20.05.2007	800	28600,00	7,98	8,74	0,0280
1848	2217,6	20.05.2007	400	28600,00	4,58	7,61	0,0140
1849	2218,8	20.05.2007	300	28600,00	5,19	5,04	0,0105
1850	2220	30.05.2007	300	20690,09	8,27	3,16	0,0145
1851	2221,2	30.05.2007	200	21506,80	6,22	2,80	0,0093
1852	2222,4	01.06.2007	100	21670,14	7,86	1,11	0,0046
1865	2238	11.06.2007	800	19000,00	9,33	7,47	0,0421
1866	2239,2	11.06.2007	600	18700,00	8,73	5,99	0,0321
1867	2240,4	11.06.2007	700	19000,00	9,59	6,36	0,0368
1868	2241,6	11.06.2007	800	19500,00	8,87	7,86	0,0410
1869	2242,8	11.06.2007	900	19500,00	9,52	8,24	0,0462
1870	2244	11.06.2007	1000	19500,00	10,17	8,57	0,0513
1871	2245,2	11.06.2007	550	21234,56	8,06	5,94	0,0259
1873	2247,6	22.06.2007	300	18500,00	3,75	6,97	0,0162
1874	2248,8	22.06.2007	300	23000,00	6,25	4,18	0,0130
1875	2250	22.06.2007	900	22000,00	9,17	8,56	0,0409
1876	2251,2	22.06.2007	500	18000,00	6,00	7,26	0,0278
1877	2252,4	22.06.2007	900	14400,00	6,41	12,23	0,0625
1878	2253,6	22.06.2007	1100	13700,00	8,75	10,95	0,0803

Çizelge 6.5: (devam) Galeri 3-4-5-6-7-8- makine değerleri ve hesaplamalar

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
1881	2257,2	24.06.2007	1100	22800,00	9,55	10,04	0,0482
1882	2258,4	24.06.2007	900	23200,00	8,55	9,17	0,0388
1883	2259,6	24.06.2007	1100	23400,00	6,00	15,98	0,0470
1884	2260,8	24.06.2007	700	23850,00	8,20	7,44	0,0294
1885	2262	24.06.2007	800	22000,00	5,76	12,11	0,0364
1886	2263,2	24.06.2007	900	23750,00	6,50	12,07	0,0379
1887	2264,4	24.06.2007	900	22420,00	5,17	15,18	0,0401
1888	2265,6	24.06.2007	700	18070,00	6,50	9,38	0,0387
1889	2266,8	24.06.2007	600	16640,00	3,40	15,39	0,0361
1890	2268	24.06.2007	400	18625,00	3,26	10,69	0,0215
1891	2269,2	25.06.2007	600	28750,00	5,00	10,46	0,0209
1892	2270,4	25.06.2007	800	27600,00	3,67	19,01	0,0290
1893	2271,6	25.06.2007	400	28600,00	5,56	6,27	0,0140
1894	2272,8	25.06.2007	800	28600,00	6,96	10,02	0,0280
1895	2274	25.06.2007	800	28400,00	7,73	9,02	0,0282
1896	2275,2	25.06.2007	900	28000,00	7,30	10,74	0,0321
1897	2276,4	25.06.2007	700	26950,00	7,93	7,69	0,0260
1898	2277,6	25.06.2007	900	28500,00	7,42	10,58	0,0316
1899	2278,8	25.06.2007	1100	28600,00	7,59	12,63	0,0385
1901	2281,2	04.07.2007	300	28650,00	8,75	2,99	0,0105
1902	2282,4	04.07.2007	400	24760,00	7,55	4,62	0,0162
1903	2283,6	04.07.2007	700	16500,00	7,39	8,26	0,0424
1904	2284,8	04.07.2007	600	14100,00	7,59	6,89	0,0426
1905	2286	04.07.2007	600	14200,00	7,14	7,32	0,0423
1912	2294,4	06.07.2007	300	28700,00	4,35	6,01	0,0105
1913	2295,6	06.07.2007	200	28700,00	6,19	2,82	0,0070
1914	2296,8	06.07.2007	300	28700,00	6,40	4,08	0,0105
1926	2311,2	09.07.2007	600	18300,00	8,11	6,45	0,0328
1927	2312,4	09.07.2007	500	18300,00	8,42	5,17	0,0273
1928	2313,6	09.07.2007	400	16700,00	9,46	3,68	0,0240
1929	2314,8	10.07.2007	1200	20700,00	9,71	10,76	0,0580
1930	2316	10.07.2007	700	19500,00	9,37	6,51	0,0359
1931	2317,2	10.07.2007	800	19800,00	8,51	8,19	0,0404
1932	2318,4	10.07.2007	1000	20800,00	9,29	9,38	0,0481
1933	2319,6	10.07.2007	900	21400,00	9,56	8,20	0,0421
1934	2320,8	10.07.2007	800	18900,00	8,82	7,90	0,0423
1935	2322	10.07.2007	900	16200,00	9,42	8,32	0,0556
1936	2323,2	10.07.2007	800	15600,00	8,96	7,78	0,0513
1937	2324,4	10.07.2007	900	16200,00	6,91	11,35	0,0556

Çizelge 6.5: (devam) Galeri 3-4-5-6-7-8- makine değerleri ve hesaplamalar

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/itme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
1940	2328	10.07.2007	1000	17200,00	8,55	10,19	0,0581
1941	2329,2	10.07.2007	800	16900,00	8,82	7,90	0,0473
1942	2330,4	10.07.2007	800	19100,00	9,26	7,52	0,0419
1943	2331,6	12.07.2007	900	19100,00	13,75	5,70	0,0471
1944	2332,8	12.07.2007	700	26700,00	12,50	4,88	0,0262
1945	2334	12.07.2007	1000	22450,00	12,50	6,97	0,0445
1946	2335,2	12.07.2007	700	21900,00	10,60	5,75	0,0320
1947	2336,4	12.07.2007	600	18400,00	8,33	6,27	0,0326
1948	2337,6	12.07.2007	800	16900,00	7,71	9,04	0,0473
1949	2338,8	12.07.2007	700	15300,00	7,57	8,06	0,0458
1950	2340	12.07.2007	800	13000,00	7,69	9,06	0,0615
1951	2341,2	12.07.2007	800	12000,00	8,48	8,22	0,0667
1952	2342,4	12.07.2007	800	10800,00	7,69	9,06	0,0741
1953	2343,6	12.07.2007	800	8500,00	7,35	9,48	0,0941
1954	2344,8	12.07.2007	800	6900,00	8,57	8,13	0,1159
1955	2346	12.07.2007	700	7800,00	9,56	6,38	0,0897
1956	2347,2	12.07.2007	800	8905,00	10,00	6,97	0,0898
1957	2348,4	12.07.2007	1000	13000,00	9,71	8,97	0,0769
1958	2349,6	12.07.2007	1000	13100,00	8,67	10,05	0,0763
1959	2350,8	12.07.2007	1000	10300,00	8,92	9,77	0,0971
1960	2352	12.07.2007	900	9000,00	10,00	7,84	0,1000
1961	2353,2	12.07.2007	900	9300,00	9,86	7,96	0,0968
1962	2354,4	12.07.2007	600	8100,00	9,42	5,55	0,0741
1963	2355,6	12.07.2007	700	7600,00	8,82	6,91	0,0921
1964	2356,8	12.07.2007	600	6900,00	10,14	5,15	0,0870
1965	2358	12.07.2007	500	6200,00	10,14	4,29	0,0806

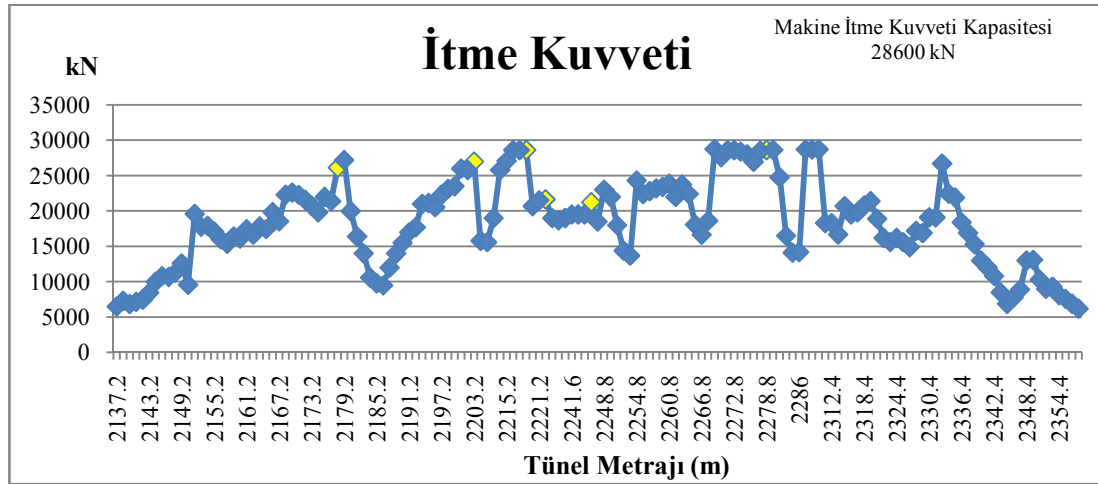
Sıkışma anından önce gerçekleşen son kazılardaki itme kuvvetleri Şekil 6.19’da sarı noktalar ile gösterilmiştir. Galeri 3-4 ve 5 için bakıldığında itme kuvvetlerinin düzenli bir şekilde artmasını takiben sıkışmanın gerçekleştiği görülmektedir. İnceleme verilerinden belirlenen genel itme kuvveti ortalaması 10533,83 kN olmasına karşın yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere 10000 kN’ın altındaki değerlerden itme kuvvetleri 25000 kN değerlerinin üzerine çıkmıştır. Makine itme kuvvetleriyle kurtarılmaya çalışılmış olmasına rağmen ilerleme sürdürülememiş ve 100,8 metrelik bir bölümde 6 adet galeri açılarak kazı devamlılığı sağlanmıştır.

Galeri 3 için itme kuvvetlerinin artmaya başladığı nokta olarak 2144,4. metreyi başlangıç noktası alırsak 33,6 metre içerisinde itme kuvvetinde 10000kN'dan 26150kN'a bir yükseliş gözlenmektedir. 16150kN'lık artışı metre bazında hesaplarsak metrede 480,65kN itme kuvvetinin arttırıldığı görülür.

Galeri 4 için aynı hesabı yaparsak 2186,4. Metre itme kuvvetindeki artışın başlangıcı kabul edilirse itme kuvveti 9500 kN'dan 27000 kN'a 16,8 metre içinde yükselmiştir. Metredeki itme kuvveti artışı 1041,66 kN olarak bulunmaktadır.

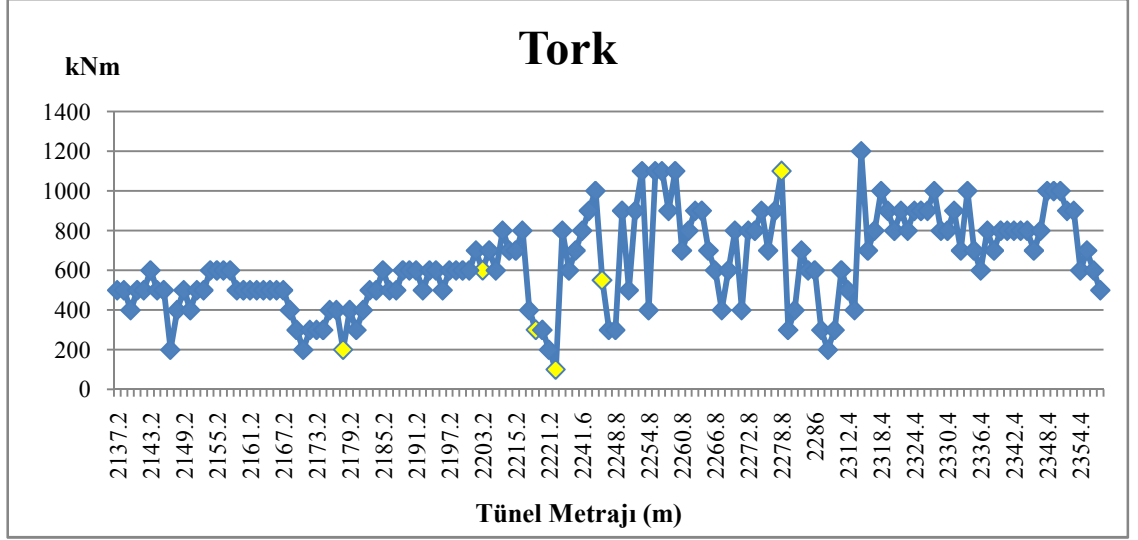
Galeri 5'de ise 2211,6. M başlangıç noktası alınır 7,2 metre içerisinde itme kuvveti 15600kN'dan 28600 kN değerine ulaşmıştır. Metrede itme kuvveti artışı 1805.55 kN olmuştur.

Galeri 6,7 ve 8 için bu hesaplamayı yapmak mümkün değildir itme kuvvetlerinde herhangi bir değişim yapılamadan makine sıkışmıştır.



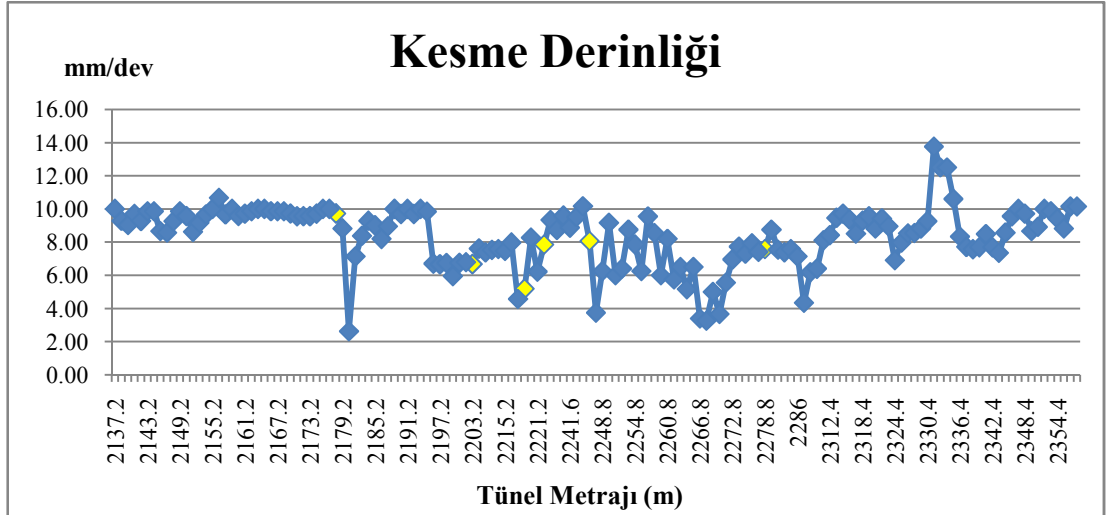
Şekil 6.19. 2137,2m – 2358m arasındaki itme kuvveti değişimleri

2137,2.metre ve 2358. Metre arasındaki tork değerlerine bakıldığında zaman zaman sıkışan zeminin ortaya çıkmasıyla birlikte tork değerleri genel olarak azalmaktadır;ancak şekil 6.20'de görüldüğü üzere zaman zaman tork değerlerinde yükselmelerde gözlenmektedir.

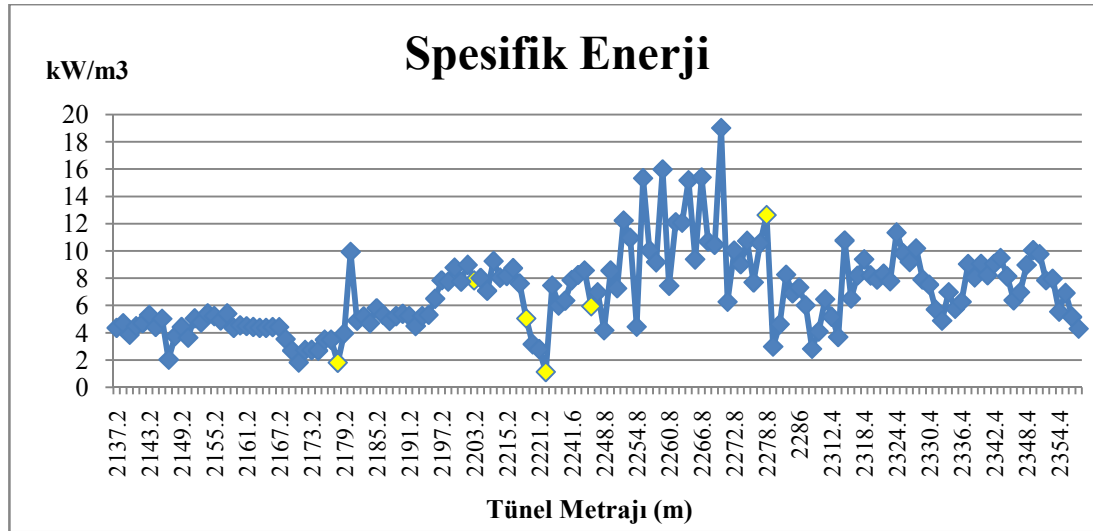


Şekil 6.20. 2137,2m-2358m arasındaki tork değişimi

Makinenin sıkışan zeminlerin uyguladığı kuvvetlerle karşı karşıya kalmasıyla beraber Şekil 6.21’de gösterilen kesme derinliklerinde değişimler başlamaktadır. Birbirine yakın değerlerde seyreden kesme derinlikleri sıkışma olayıyla birlikte değişimler göstererek genel olarak kesme derinlikleri itme kuvvetlerinin artırılmasına karşın düşmüştür. Bunun yanı sıra Şekil 6.22’de gösterilen spesifik enerji grafiğinde görüleceği gibi spesifik enerjide 5 kW/m³ değerine yakın seyrederken sıkışma olayıyla birlikte geniş bir alanda değişiklik göstermiştir.

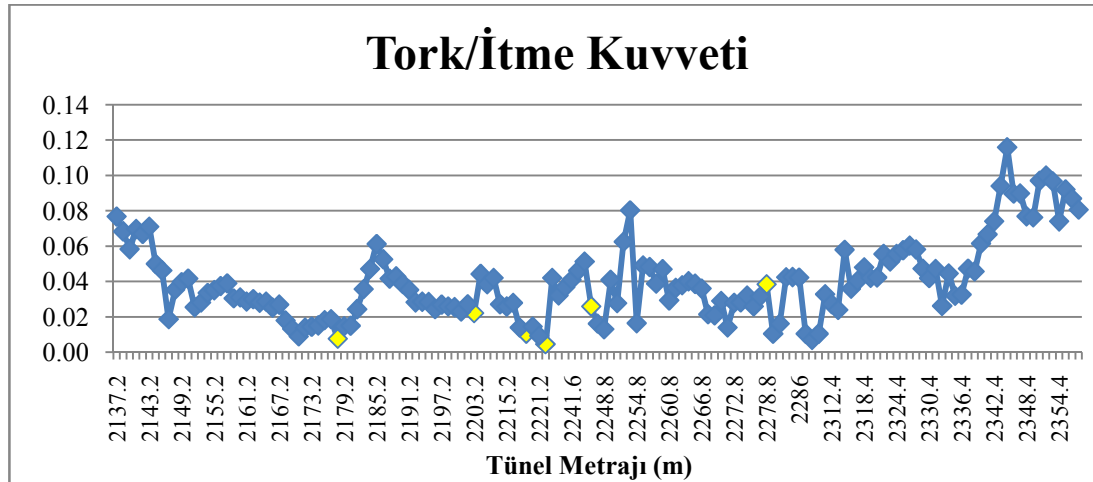


Şekil 6.21. 2137,2m – 2358m arasındaki kesme derinliği değişimleri



Şekil 6.22. 2137,2m – 2358m arasındaki spesifik enerji değişimleri

Sıkışan zeminlerin makine şildini sıkıştırmadan bu yerlerden geçebilmek adına alınan tedbirlerden biri olan makine itme kuvvetlerinin arttırılması 2137,2m ve 2358m arasında da denenmiş ancak 6 yerde bu tedbir işe yaramamıştır. Şekil 6.23’de gösterildiği gibi itme kuvvetlerindeki artış ve makinenin sıkışmaya başlamasıyla birlikte torkun düşüşü aşağıdaki şekilde görülen dalgalanmalara sebep olmuştur.



Şekil 6.23. 2137,2m – 2358m arasındaki tork/itme kuvveti değişimleri

6.3.4. Galeri 9

Galeri 9’un açılmasına sebep olan sıkışma 24.07.2007 tarihinde gerçekleşmiştir, bu sıkışmadan dolayı galeri kazısı 19 gün sürmüş ve galeri tamalanmasıyla birlikte ilerlemeye geçilebilmiştir. Bu sıkışma öncesindeki ve sonrasındaki makine değerleri Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6: 2560,8m- 2622 m arasındaki makine değerleri

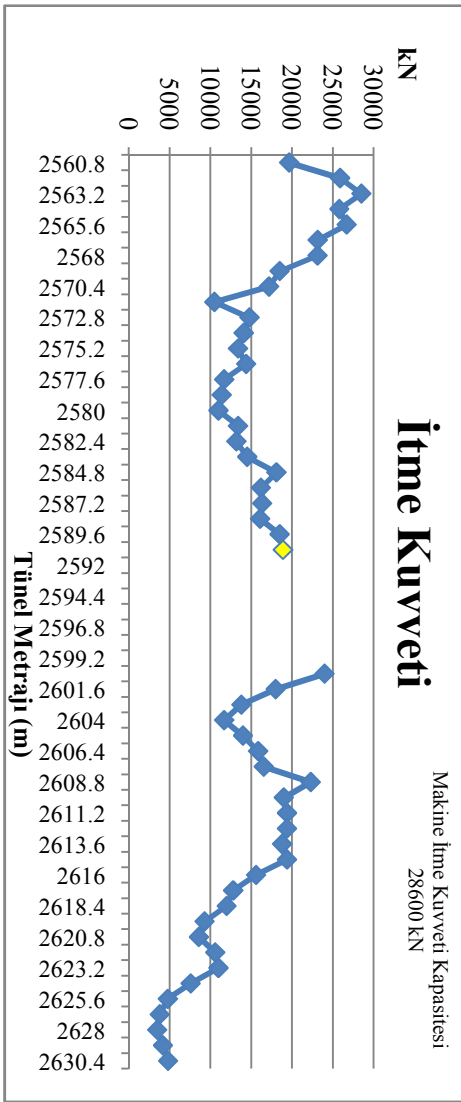
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
2134	2560,8	22.07.2007	800	19670	8,07	8,64	0,0407
2135	2562	22.07.2007	900	25900	8,33	9,41	0,0347
2136	2563,2	22.07.2007	800	28500	7,87	8,86	0,0281
2137	2564,4	22.07.2007	800	25800	8,72	7,99	0,0310
2138	2565,6	22.07.2007	800	26700	8,54	8,16	0,0300
2139	2566,8	22.07.2007	900	23150	8,71	9,01	0,0389
2140	2568	22.07.2007	800	23132	7,78	8,96	0,0346
2141	2569,2	22.07.2007	800	18500	7,95	8,76	0,0432
2142	2570,4	22.07.2007	900	17200	10,13	7,74	0,0523
2143	2571,6	22.07.2007	800	10500	8,97	7,77	0,0762
2144	2572,8	22.07.2007	800	14800	8,54	8,17	0,0541
2145	2574	22.07.2007	600	14100	8,54	6,12	0,0426
2146	2575,2	22.07.2007	400	13400	8,54	4,08	0,0299
2147	2576,4	22.07.2007	400	14400	7,65	4,56	0,0278
2148	2577,6	22.07.2007	700	11700	8,64	7,06	0,0598
2149	2578,8	22.07.2007	700	11400	8,14	7,49	0,0614
2150	2580	22.07.2007	800	11000	8,05	8,66	0,0727
2151	2581,2	23.07.2007	900	13400	7,30	10,74	0,0672
2152	2582,4	23.07.2007	700	13200	7,61	8,01	0,0530
2153	2583,6	23.07.2007	400	14520	4,46	7,81	0,0275
2154	2584,8	23.07.2007	500	18100	4,65	9,37	0,0276
2155	2586	23.07.2007	700	16200	8,49	7,19	0,0432
2156	2587,2	23.07.2007	600	16350	8,47	6,17	0,0367
2157	2588,4	23.07.2007	500	16100	7,77	5,61	0,0311
2158	2589,6	23.07.2007	800	18500	8,33	8,37	0,0432
2159	2590,8	24.07.2007	700	18900	8,43	7,24	0,0370
2160	2592						
2161	2593,2						
2162	2594,4						
2163	2595,6						
2164	2596,8						
2165	2598						
2166	2599,2						
2167	2600,4	09.08.2007	600	24000	9,00	5,81	0,0250
2168	2601,6	09.08.2007	500	18000	10,00	4,36	0,0278
2169	2602,8	09.08.2007	500	13800	10,00	4,36	0,0362
2170	2604	09.08.2007	400	11700	10,00	3,49	0,0342
2171	2605,2	09.08.2007	300	14000	7,50	3,49	0,0214
2172	2606,4	09.08.2007	1000	15860	6,25	13,94	0,0631

Çizelge 6.6: (devam) 2560,8m- 2622 m arasındaki makine değerleri

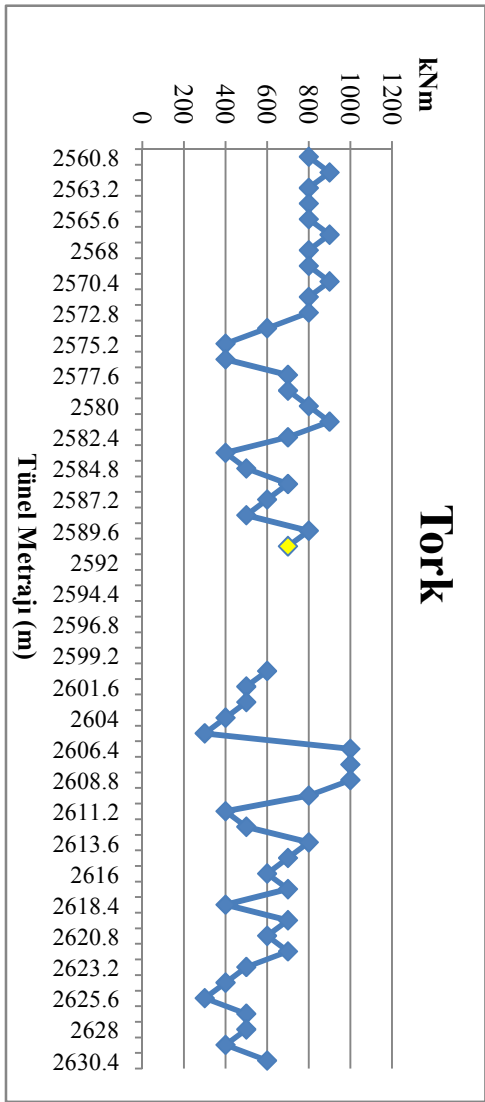
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	Tork/İtme Kuvveti
2175	2610	10.08.2007	800	19000	10,00	6,97	0,0421
2176	2611,2	10.08.2007	400	19400	10,00	3,49	0,0206
2177	2612,4	10.08.2007	500	19400	7,50	5,81	0,0258
2178	2613,6	10.08.2007	800	18800	7,50	9,29	0,0426
2179	2614,8	10.08.2007	700	19400	7,11	8,58	0,0361
2180	2616	10.08.2007	600	15600	5,77	9,06	0,0385
2181	2617,2	10.08.2007	700	12800	8,60	7,09	0,0547
2182	2618,4	11.08.2007	400	12000	8,33	4,18	0,0333
2183	2619,6	11.08.2007	700	9300	8,75	6,97	0,0753
2184	2620,8	11.08.2007	600	8600	10,00	5,23	0,0698
2185	2622	11.08.2007	700	10600	10,00	6,10	0,0660
2186	2623,2	12.08.2007	500	11000	13,33	3,27	0,0455
2187	2624,4	12.08.2007	400	7600	7,50	4,65	0,0526
2188	2625,6	12.08.2007	300	4800	8,50	3,08	0,0625
2189	2626,8	12.08.2007	500	3800	8,75	4,98	0,1316
2190	2628	12.08.2007	500	3500	12,50	3,49	0,1429
2191	2629,2	12.08.2007	400	4200	7,27	4,79	0,0952
2192	2630,4	12.08.2007	600	4835	9,52	5,49	0,1241

İtme kuvvetleri Şekil 6.24'den incelendiği zaman sıkışma olmadan 25 metre önce makine itme kuvvetlerinin yükseldiği ancak şilt sıkışması problemiyle karşılaşılardan ilerlemenin devam edebildiği görülmektedir. İtme kuvvetinin artmasına karşın Şekil 6.25'de verilen tork, Şekil 6.26'da verilen kesme derinliği, Şekil 6.27'de verilen spesifik enerji değerleri ve Şekil 6.28'de verilen tork/itme kuvveti oranının da küçük değişimler dışında herhangi bir değişim olmadığı gözlenmektedir. Şilt sıkışmasının gerçekleştiği 2590,8 metrede ise tork'un düştüğü gözlenmektedir.

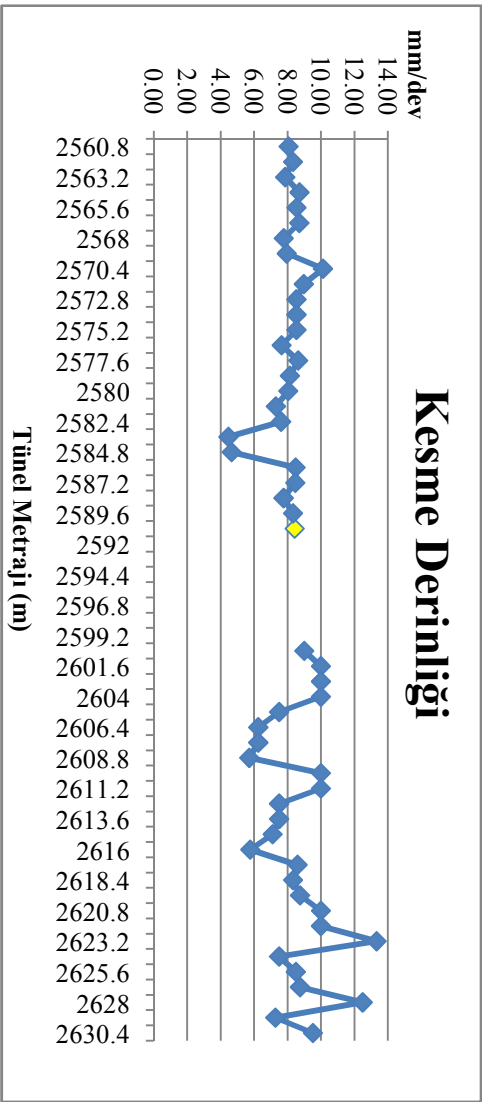
2577,6 metre itme kuvvetlerinin artmaya başladığı nokta olarak alınırsa o noktadaki itme kuvveti 11700kN iken şilt sıkışmasının gerçekleştiği 2590,8 metrede itme kuvveti 18900kN olarak kaydedilmiştir. 13,2 metre içerisinde itme kuvveti 7200kN artarak metrede 545,45kN artış göstermiştir.



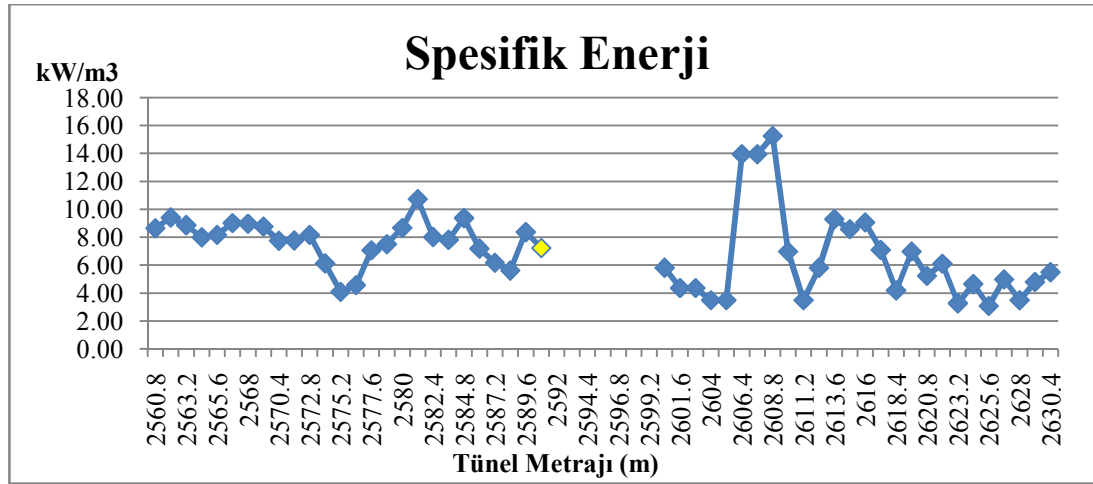
Şekil 6.24. 2560,8m-2630,40 m arasındaki itme kuvvetleri değişimleri



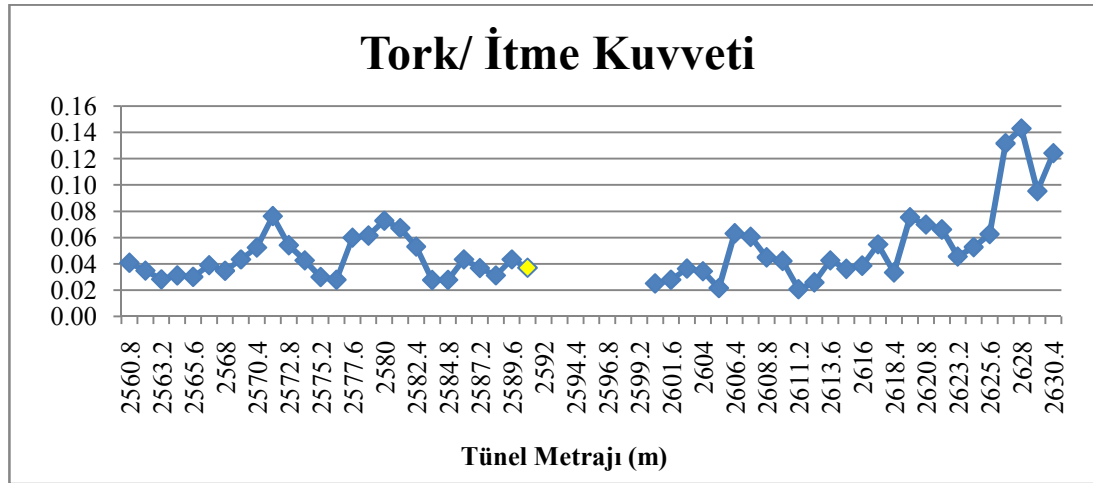
Şekil 6.25. 2560,8m-2630,40 m arasındaki tork değişimleri



Şekil 6.26. 2560,8m-2630,40 m arasındaki kesme derinliği değişimleri



Şekil 6.27. 2560,8m-2630,40 m arasındaki spesifik enerji değişimleri



Şekil 6.28. 2560,8m-2630,40 m arasındaki tork/itme kuvveti değişimleri

6.3.5. Galeri 10

Galeri 10 19.02.2008 tarihindeki şilt sıkışmasından dolayı açılmıştır ve toplam 9 gün gecikmeye sebep olmuştur. Bu bölgedeki veriler incelendiği zaman itme kuvvetlerinin normalin üzerinde ve sabit seyrettiği gözlenmekte bunun yanı sıra tork, spesifik enerji ve kesme derinliklerinin normal ortalamaların altında seyrettiği görülmektedir.

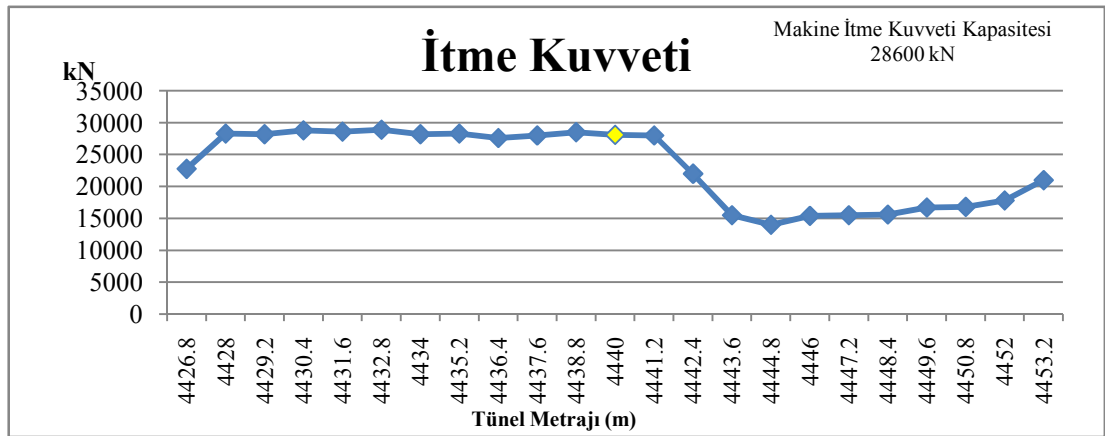
Çizelge 6.7: 4426,8m-4453,2m arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
3689	4426,8	18.02.2008	800	22765	3,75	18,59	0,0351
3690	4428	18.02.2008	800	28311	4,12	16,93	0,0283
3691	4429,2	18.02.2008	600	28200	3,75	13,94	0,0213

Çizelge 6.7: (devam) 4426,8m-4453,2m arasındaki makine değerleri

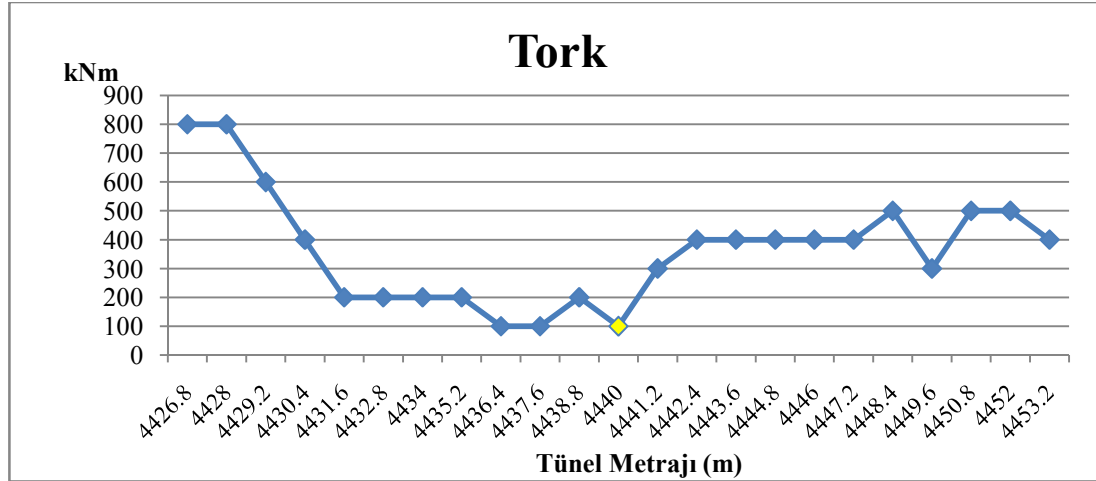
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork kNm	İtme Kuvveti kN	Kesme Derinliği mm/rev	SE kW/m ³	Tork/İtme Kuvveti
3694	4432,8	18.02.2008	200	28900	2,50	6,97	0,0069
3695	4434	18.02.2008	200	28200	1,25	13,94	0,0071
3696	4435,2	18.02.2008	200	28300	1,43	12,20	0,0071
3697	4436,4	18.02.2008	100	27600	1,43	6,10	0,0036
3698	4437,6	18.02.2008	100	28000	1,25	6,97	0,0036
3699	4438,8	18.02.2008	200	28520	1,43	12,20	0,0070
3700	4440	19.02.2008	100	28100	0,40	21,78	0,0036
3701	4441,2	28.02.2008	300	28000	6,67	3,92	0,0107
3702	4442,4	28.02.2008	400	22000	5,71	6,10	0,0182
3703	4443,6	28.02.2008	400	15500	5,71	6,10	0,0258
3704	4444,8	28.02.2008	400	14000	5,71	6,10	0,0286
3705	4446	28.02.2008	400	15400	5,71	6,10	0,0260
3706	4447,2	28.02.2008	400	15500	5,00	6,97	0,0258
3707	4448,4	28.02.2008	500	15600	5,00	8,71	0,0321
3708	4449,6	28.02.2008	300	16700	5,71	4,57	0,0180
3709	4450,8	28.02.2008	500	16800	5,71	7,62	0,0298
3710	4452	28.02.2008	500	17800	5,00	8,71	0,0281
3711	4453,2	28.02.2008	400	21000	5,00	6,97	0,0190

Sıkışan zeminden kaynaklanan sürtünme kuvveti dolayısıyla yukarıdaki şekil 6.29’da görüldüğü gibi itme kuvvetleri makine kapasitesinin en son seviyesine kadar çıkartılmıştır. 13,2 metre bu şekilde ilerlenmiş olmasına rağmen 12 metre olan şilt tamamıyla bu zemin içerisine girmesiyle birlikte şilt sıkışması gerçekleşmiş ve itme kuvvetleri sürtünme kuvvetlerini yenemeyerek ilerleme gerçekleştirilememiştir.

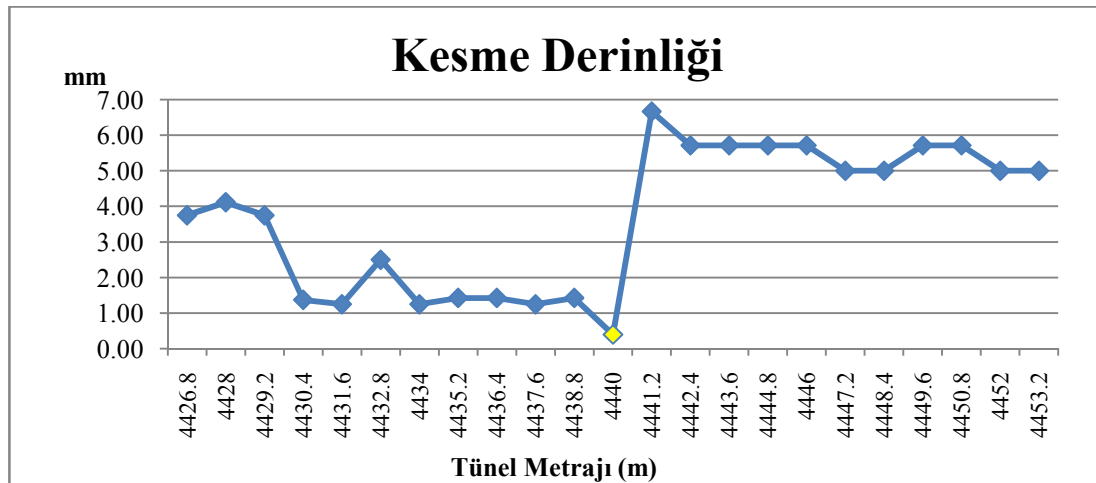


Şekil 6.29. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki itme kuvveti değişimi

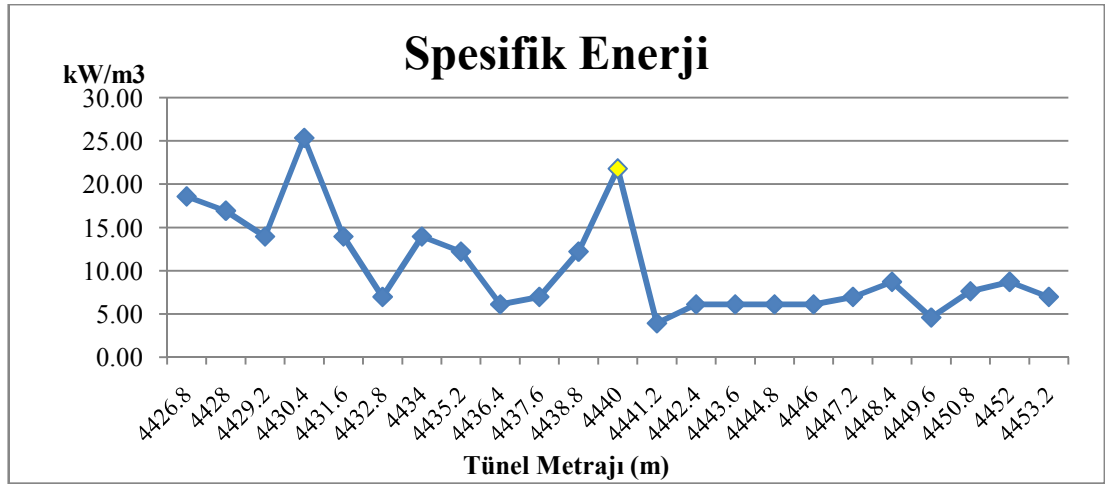
Tork değerlerine bakıldığı zaman Şekil 6.30’da gösterildiği gibi tork değerleri sıkışan zeminin kuvvetlerinin şilt üzerine etkimesiyle birlikte normal değerlerinden çok aşağıda seyrettiği görülmektedir. Bu verilerin doğru analizi yapılabilirse şilt sıkışmasının önceden tahmini mümkün olmaktadır.



Şekil 6.30. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki tork değişimi

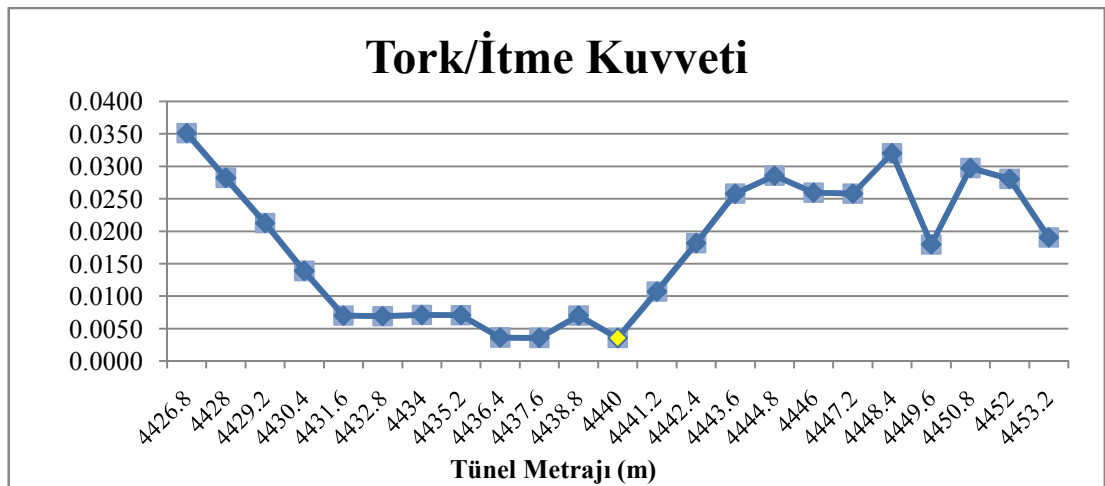


Şekil 6.31. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki kesme derinliği değişimi



Şekil 6.32. 4426,8 m- 4453,2m arasındaki spesifik enerji değişimi

Sıkışan zeminin etkisiyle Şekil 6.31’de görüleceği gibi kesme derinliği 1mm/dev ile 2mm/dev arasında seyretmektedir, bu değer normal kazı değerlerinin çok çok altında olmaktadır. Bunun yanı sıra Şekil 6.32’de verilen spesifik enerji dağılım grafiğinden görüleceği üzere spesifik enerji sıkışma esnasında geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Makine tork değerlerinin düşmesi ve itme kuvvetlerinin sabit ve yüksek olmasından dolayı Şekil 6.33’de görülen torkun itme kuvvetine oranında düşük seviyelerde seyretmektedir.



Şekil 6.33. 4426,8m- 4453,2m arasındaki tork/itme kuvveti oranı

6.3.6. Galeri 11

Galeri 11 14.07.2008 tarihinde kazılmaya başlanmıştır makine sıkışmasından sonra şilt arkasındaki ilk segment kırılarak elle kazı yapılmaya başlanmış ve şilt etrafının kazılıp desteklenmesi toplam 17 gün sürmüştür. Çizelge 6.8’de sıkışma öncesi ve sonrasındaki makine değerleri gösterilmektedir.

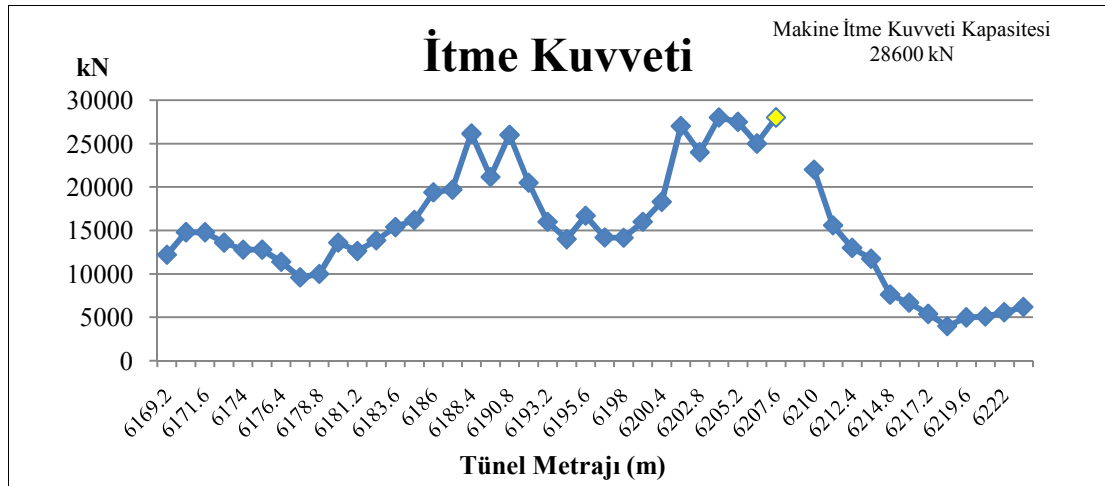
Çizelge 6.8: 6169,2m- 6223,2m arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5141	6169,2	12.07.2008	500	12200	10,00	4,36	0,0410
5142	6170,4	12.07.2008	400	14800	8,75	3,98	0,0270
5143	6171,6	12.07.2008	400	14800	9,00	3,87	0,0270
5144	6172,8	12.07.2008	400	13600	9,09	3,83	0,0294
5145	6174	12.07.2008	700	12800	9,17	6,65	0,0547
5146	6175,2	12.07.2008	500	12800	7,50	5,81	0,0391
5147	6176,4	12.07.2008	400	11400	7,50	4,65	0,0351
5148	6177,6	12.07.2008	500	9600	7,50	5,81	0,0521
5149	6178,8	12.07.2008	500	10000	7,50	5,81	0,0500
5150	6180	12.07.2008	500	13600	7,50	5,81	0,0368
5151	6181,2	12.07.2008	800	12640	7,33	9,51	0,0633
5152	6182,4	12.07.2008	700	13860	6,71	9,08	0,0505
5153	6183,6	12.07.2008	600	15400	7,00	7,47	0,0390
5154	6184,8	12.07.2008	500	16200	7,50	5,81	0,0309
5155	6186	12.07.2008	200	19390	7,83	2,22	0,0103
5156	6187,2	12.07.2008	700	19700	7,00	8,71	0,0355
5157	6188,4	12.07.2008	800	26150	8,00	8,71	0,0306
5158	6189,6	12.07.2008	600	21150	8,00	6,54	0,0284
5159	6190,8	12.07.2008	800	26000	6,67	10,46	0,0308
5160	6192	12.07.2008	800	20500	6,67	10,46	0,0390
5161	6193,2	12.07.2008	500	16000	5,71	7,62	0,0313
5162	6194,4	13.07.2008	700	14000	6,67	9,15	0,0500
5163	6195,6	13.07.2008	600	16700	6,67	7,84	0,0359
5164	6196,8	13.07.2008	300	14200	5,71	4,57	0,0211
5165	6198	13.07.2008	300	14160	5,71	4,57	0,0212
5166	6199,2	13.07.2008	800	16000	5,71	12,20	0,0500
5167	6200,4	13.07.2008	300	18300	5,71	4,57	0,0164
5168	6201,6	13.07.2008	700	27000	5,71	10,67	0,0259
5169	6202,8	13.07.2008	800	24000	7,00	9,96	0,0333
5170	6204	14.07.2008	600	28000	8,00	6,54	0,0214
5171	6205,2	14.07.2008	800	27500	6,67	10,46	0,0291
5172	6206,4	14.07.2008	800	25000	6,67	10,46	0,0320
5173	6207,6	14.07.2008	500	28000	3,00	14,52	0,0179
5174	6208,8	14.07.2008					
5175	6210	31.07.2008	500	22000	4,00	10,89	0,0227
5176	6211,2	01.08.2008	600	15600	6,00	8,71	0,0385
5177	6212,4	01.08.2008	800	13000	3,75	18,59	0,0615
5178	6213,6	01.08.2008	100	11750	7,50	1,16	0,0085
5179	6214,8	01.08.2008	200	7620	6,00	2,90	0,0262

Çizelge 6.8: (devam) 6169,2m- 6223,2m arasındaki makine değerleri

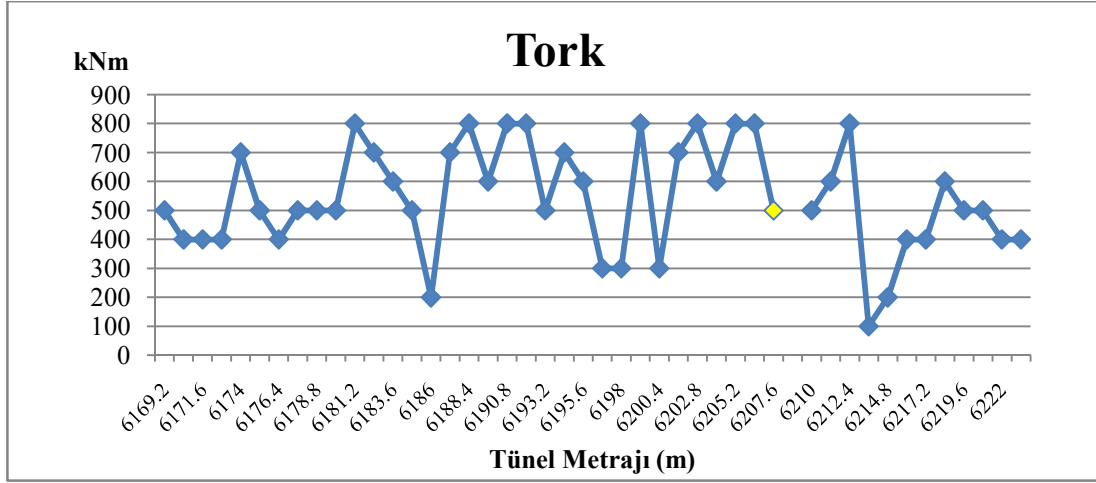
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5182	6218,4	01.08.2008	600	4000	6,67	7,84	0,1500
5183	6219,6	01.08.2008	500	5000	6,25	6,97	0,1000
5184	6220,8	01.08.2008	500	5100	7,50	5,81	0,0980
5185	6222	01.08.2008	400	5600	7,50	4,65	0,0714
5186	6223,2	01.08.2008	400	6200	7,50	4,65	0,0645

Tünel kazısı sırasındaki 11inci sıkışma incelendiğinde itme kuvvetleri sıkışmadan 13,2m önce normal değerlerinden yükselmeye başladığı görülmektedir 14000 kN değerinden sıkışmanın olduğu kazıda 28000 kN değerine ulaşmıştır. 13,2m'lik kazı sırasında her metrede 1060,60 kN itme kuvveti arttırılmak zorunda kalınmıştır. Şekil 6.34'de itme kuvvetleri gösterilmektedir.

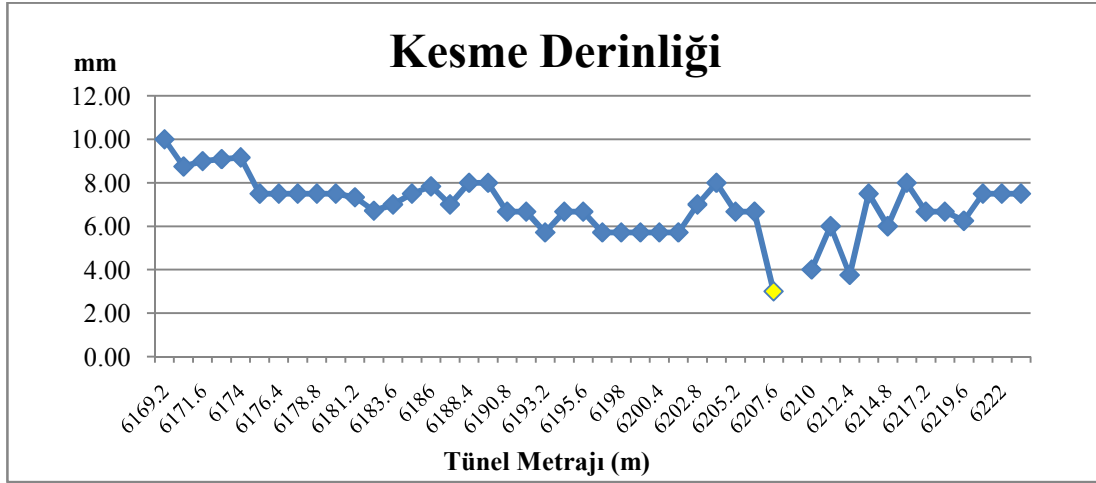


Şekil 6.34. 6169,2m – 6223,2m arasındaki itme kuvvetleri

6169,2m ile 6223,2 m arasındaki tork değişimlerine bakıldığında tork değerlerinin 400-500 kNm değerinden başlayıp genelde 800 kNm değerinde olduğunu ancak zaman zaman 300 kNm değerine kadar düştüğü gözlenmektedir.Şekil 6.35.'de tork değerleri verilmektedir.



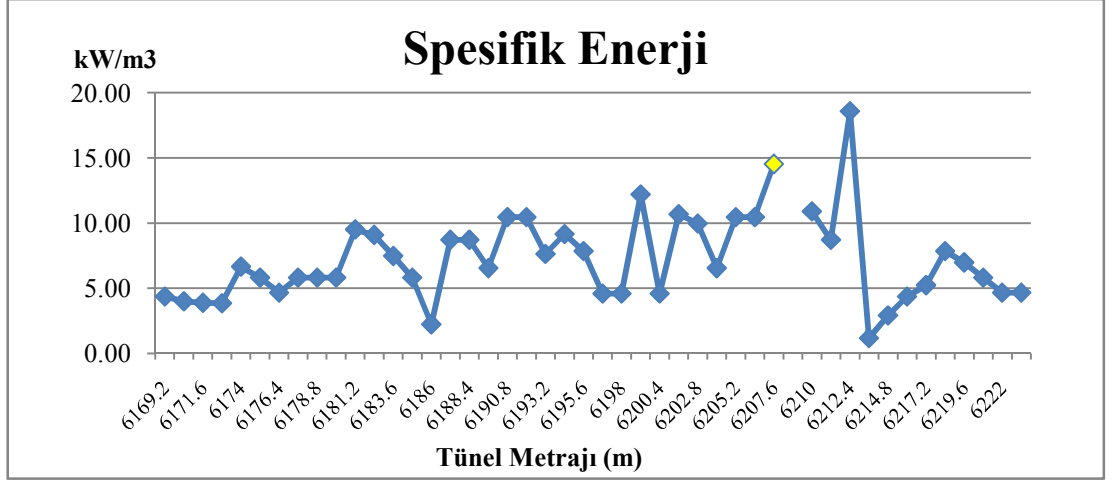
Şekil 6.35. 6169,2m-6223,2m arasındaki tork değişimleri



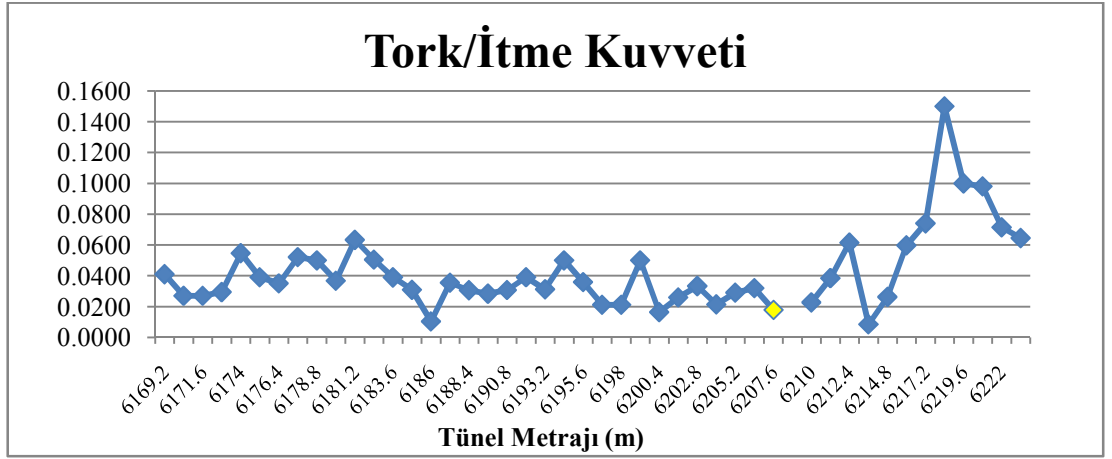
Şekil 6.36. 6169,2m-6223,2m arasındaki kesme derinliği değişimleri

Şekil 6.36’da verilen kesme derinliği değişim grafiğinde görüleceği gibi itme kuvvetlerindeki yükselme kesme derinliklerinde çok büyük bir etki göstermemektedir. Zeminin şildi sıkıştırmasıyla birlikte itme kuvvetleri kesme işlemi için değil zeminin sıkıştırma kuvvetlerinin ortaya çıkardığı sürtünme kuvvetini yenmeye yönelik kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 6.37’de verilen spesifik enerji değerleri sıkışma esnasında spesifik enerji değerlerinin yükseldiğini göstermektedir, bu durum torkun ve kesme derinliklerinin sıkışma durumundan çok fazla etkilenmemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.37. 6169,2m-6223,2m arasındaki Spesifik enerji değişimleri



Şekil 6.38. 6169,2m-6223,2m arasındaki torkun itme kuvvetine oranının değişimleri

Tork değerlerinin sıkışma durumunda değişim göstermeyişi ve itme kuvvetlerinin düzenli bir şekilde arttırılmasıyla birlikte torkun itme kuvvetine oranı düşmüştür. Şekil 6.38’de gösterildiği gibi galeri kazısı bitiminde makine şildinin etrafının açılması ve itme kuvvetlerinin direkt kazıya etki etmesiyle birlikte bu oranda yükselmiş sonrasında normal değerlerine ulaşmıştır.

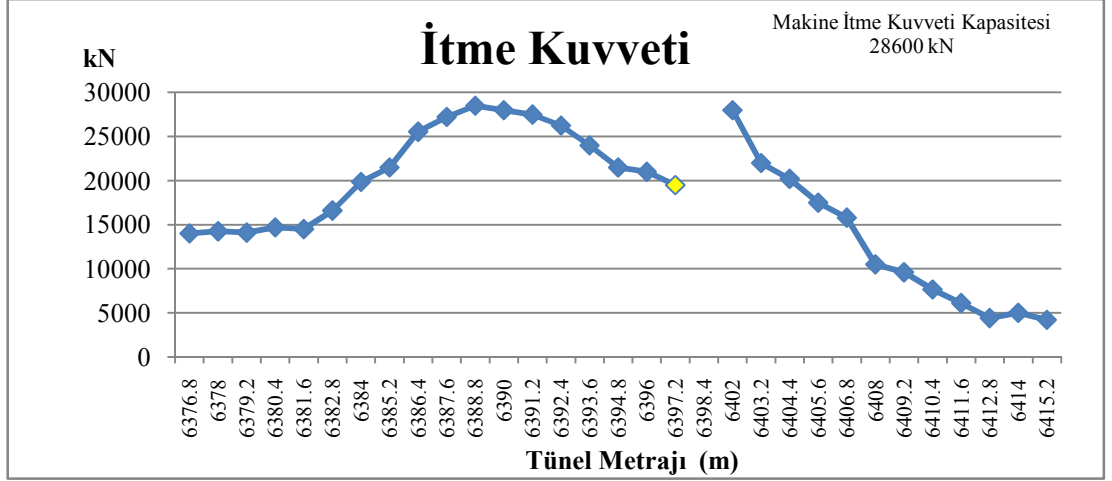
6.3.7. Galeri 12

12.sıkışma sonucunda açılması zorunlu hale gelen galeri kazıları 10.08.2008 tarihinde başlamış ve 14 gün süren çalışmalar sonucunda 24.08.2008 tarihinde ilerleme yapılabilmiştir. 6376,8m ile 6415,2m arasındaki makine değerleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9: 6376,8m- 6415,2m arasındaki makine değerleri

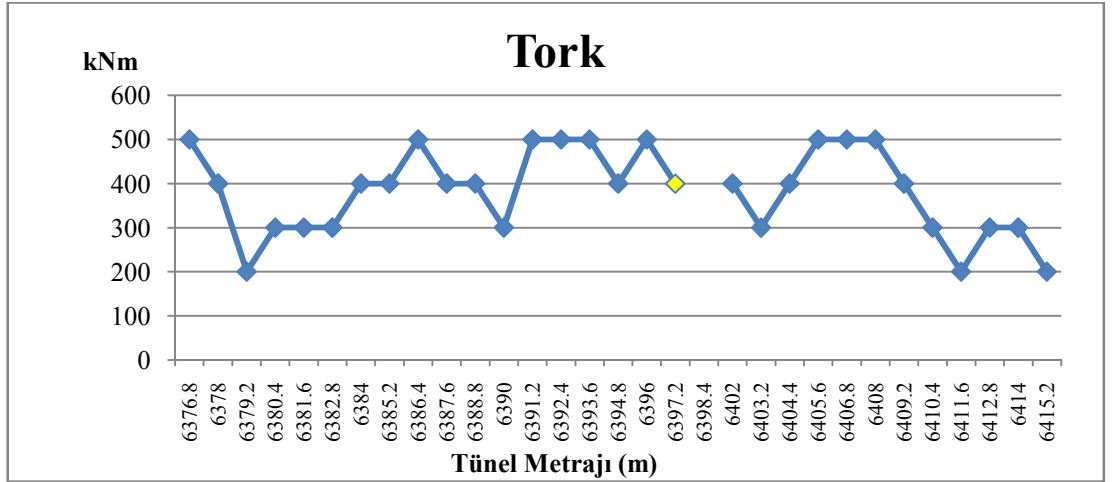
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5314	6376,8	10.08.2008	500	14000	8,40	5,19	0,0357
5315	6378	10.08.2008	400	14250	9,00	3,87	0,0281
5316	6379,2	10.08.2008	200	14100	8,80	1,98	0,0142
5317	6380,4	10.08.2008	300	14700	9,20	2,84	0,0204
5318	6381,6	10.08.2008	300	14500	9,00	2,90	0,0207
5319	6382,8	10.08.2008	300	16600	8,00	3,27	0,0181
5320	6384	10.08.2008	400	19850	8,00	4,36	0,0202
5321	6385,2	10.08.2008	400	21500	8,00	4,36	0,0186
5322	6386,4	10.08.2008	500	25550	8,00	5,45	0,0196
5323	6387,6	10.08.2008	400	27230	8,40	4,15	0,0147
5324	6388,8	10.08.2008	400	28500	8,80	3,96	0,0140
5325	6390	10.08.2008	300	28000	8,00	3,27	0,0107
5326	6391,2	10.08.2008	500	27500	8,00	5,45	0,0182
5327	6392,4	10.08.2008	500	26250	8,00	5,45	0,0190
5328	6393,6	10.08.2008	500	24000	8,00	5,45	0,0208
5329	6394,8	10.08.2008	400	21500	8,00	4,36	0,0186
5330	6396	10.08.2008	500	21000	8,00	5,45	0,0238
5331	6397,2	10.08.2008	400	19500	8,40	4,15	0,0205
5332	6398,4						
5335	6402	24.08.2008	400	28000	17,50	1,99	0,0143
5336	6403,2	24.08.2008	300	22000	12,75	2,05	0,0136
5337	6404,4	24.08.2008	400	20200	11,00	3,17	0,0198
5338	6405,6	24.08.2008	500	17500	6,67	6,54	0,0286
5339	6406,8	24.08.2008	500	15800	8,33	5,23	0,0316
5340	6408	24.08.2008	500	10500	8,33	5,23	0,0476
5341	6409,2	24.08.2008	400	9600	8,00	4,36	0,0417
5342	6410,4	24.08.2008	300	7640	7,00	3,73	0,0393
5343	6411,6	24.08.2008	200	6100	6,67	2,61	0,0328
5344	6412,8	24.08.2008	300	4400	6,67	3,92	0,0682
5345	6414	24.08.2008	300	5000	5,71	4,57	0,0600
5346	6415,2	24.08.2008	200	4200	6,43	2,71	0,0476

Sıkışmanın gerçekleştiği 6398.4.m de itme kuvvetleri incelenirse 6381,6.m den itibaren itme kuvvetlerindeki artış Şekil 6.39'dan rahatlıkla görülebilmektedir. İtme kuvvetleri maksimum seviyeye kadar yükseltilmiş sonrasında 20000kN değerine düşmüştür. Maksimum seviyeye yükseldiği noktadaki itme kuvveti 28500 kN'dur. 7,2m içerisinde 14000kN'dan bu seviyeye yükselmiştir metredeki artışı 1944.44kN/m olarak hesaplanabilir.



Şekil 6.39. 6376,8m- 6415,2m arasındaki itme kuvvetleri değişimi

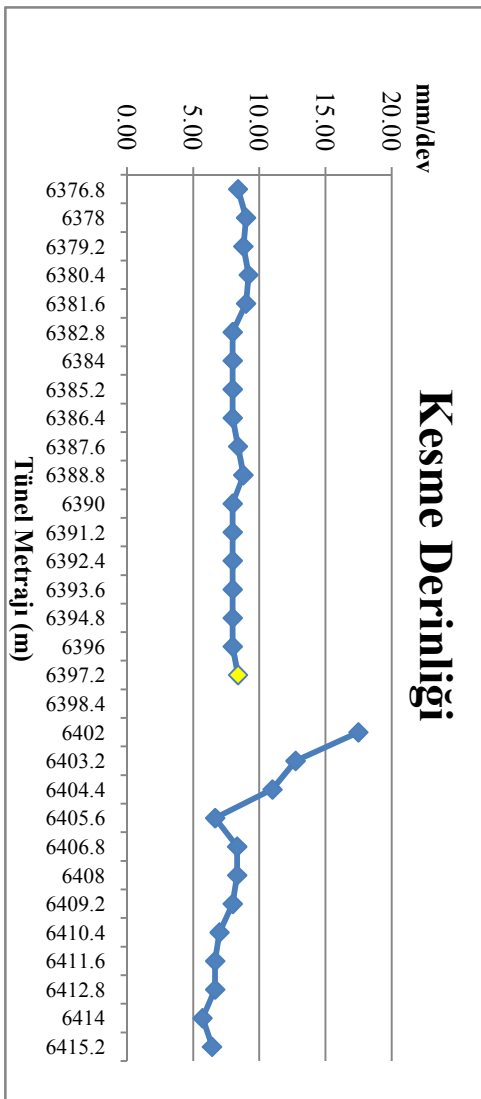
Şekil 6.40’da tork değerleri verilmiştir, bu değerlere bakıldığında itme kuvvetlerinin artış göstermeye başladığı 6381,6.metreden itibaren tork değerlerinde düşüşün gerçekleştiği itme kuvvetinin maksimuma ulaştığı noktadan sonra torkun 500kNm değerinde sabitlendiği görülmektedir.



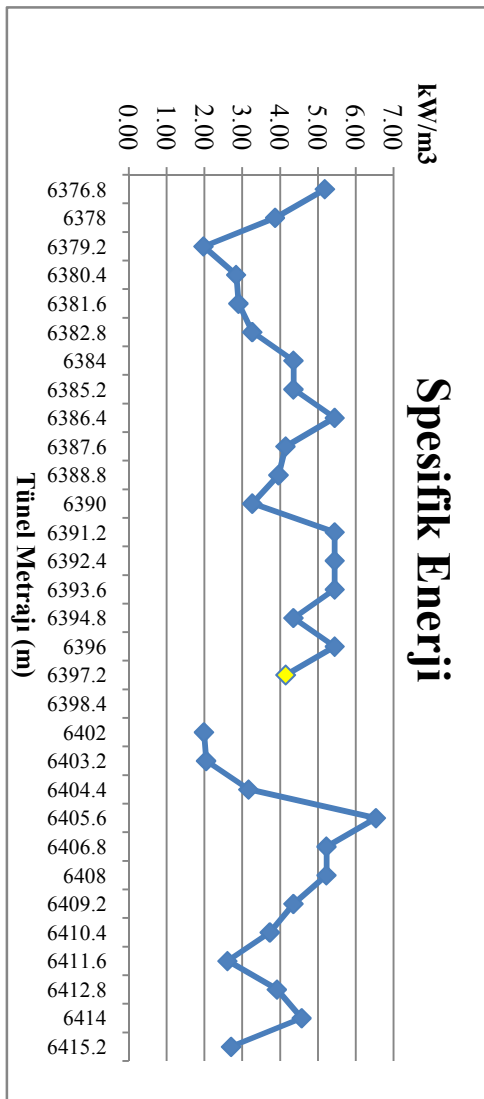
Şekil 6.40. 6376,8m- 6415,2m arasındaki tork değişimi

Şekil 6.41’de kesme derinliği değişimleri verilmektedir, kesme derinliklerinin 8 mm/dev değerinde sabit olduğu gözlenmektedir. Şekil 6.42’de verilen spesifik enerji değişimleri ise makine itme kuvvetlerinin arttırılmasıyla birlikte yükselmiştir.

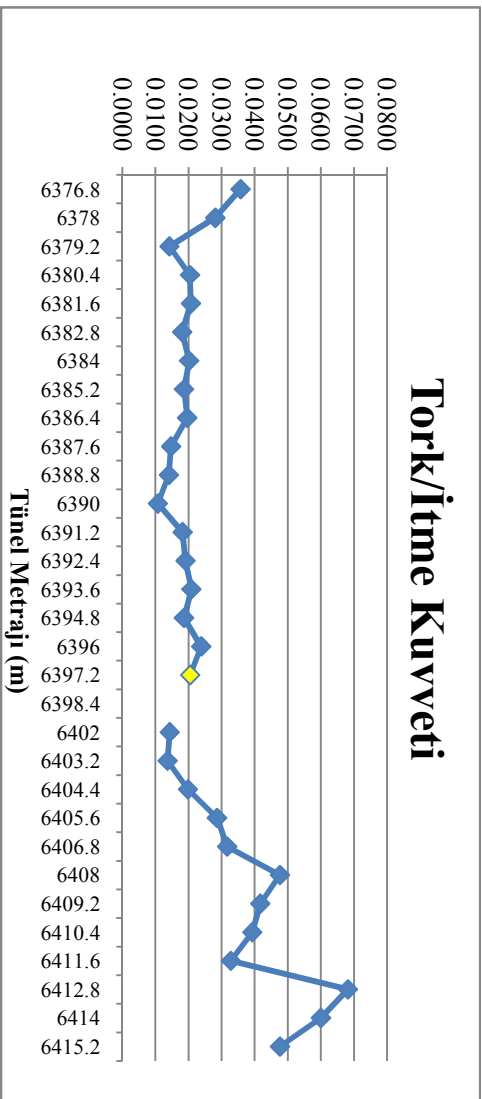
Şekil 6.43’de verilen torkun itme kuvvetine oranı ise itme kuvvetlerindeki artış ve tork değerlerindeki nispeten sabit durumdan dolayı düşüş göstermiştir.



Şekil 6.41. 6376,8m- 6415,2m arasındaki kesme derinliği değişimi



Şekil 6.42. 6376,8m- 6415,2m arasındaki spesifik enerji değişimi



Şekil 6.43. 6376,8m- 6415,2m arasındaki torkun itme kuvvetine oranının değişimi

6.3.8. Galeri 13

Kazı sırasında gerçekleşen 13. Sıkışma 6908,4 metrede 26.08.2008 tarihinde gerçekleşmiştir. Galeri çalışmaları toplam 11 gün sürmüştür. Çizelge 6.10'da 23.09.2008 tarihi ile 15.10.2008 tarihi arasındaki makine değerleri verilmektedir.

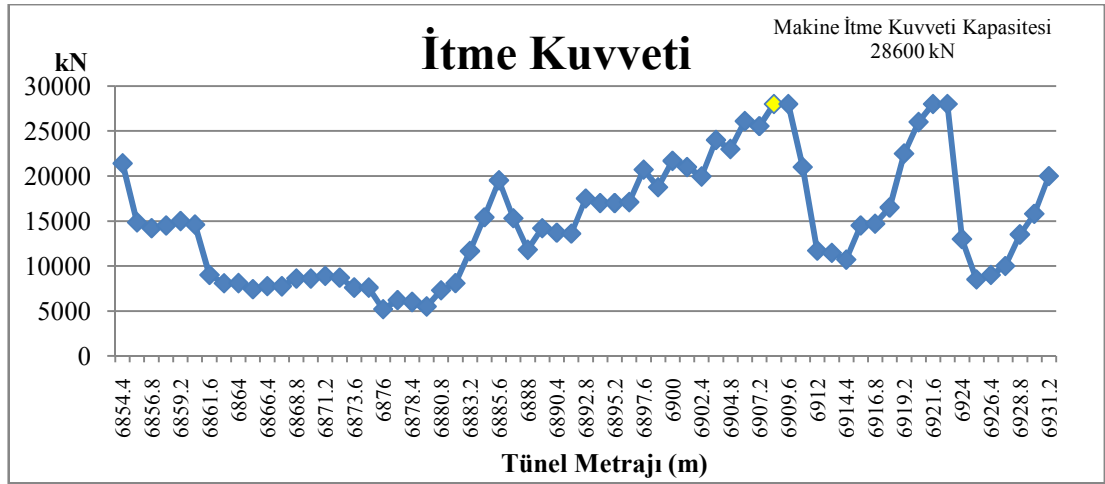
Çizelge 6.10: 6854,4m-6931,2m arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5712	6854,4	23.09.2008	400	21400	9,00	3,87	0,0187
5713	6855,6	23.09.2008	400	14850	10,00	3,49	0,0269
5714	6856,8	23.09.2008	400	14200	10,00	3,49	0,0282
5715	6858	23.09.2008	300	14500	8,67	3,02	0,0207
5716	6859,2	23.09.2008	200	15000	8,33	2,09	0,0133
5717	6860,4	23.09.2008	300	14600	8,83	2,96	0,0205
5718	6861,6	23.09.2008	400	9000	8,50	4,10	0,0444
5719	6862,8	24.09.2008	300	8080	7,50	3,49	0,0371
5720	6864	24.09.2008	400	8091	6,43	5,42	0,0494
5721	6865,2	24.09.2008	500	7419	7,50	5,81	0,0674
5722	6866,4	24.09.2008	300	7754	5,71	4,57	0,0387
5723	6867,6	24.09.2008	400	7744	12,50	2,79	0,0517
5724	6868,8	24.09.2008	400	8600	10,00	3,49	0,0465
5725	6870	24.09.2008	400	8600	10,00	3,49	0,0465
5726	6871,2	24.09.2008	400	8900	10,00	3,49	0,0449
5727	6872,4	24.09.2008	400	8700	10,00	3,49	0,0460
5728	6873,6	24.09.2008	400	7600	10,00	3,49	0,0526
5729	6874,8	24.09.2008	400	7600	10,00	3,49	0,0526
5730	6876	24.09.2008	300	5200	8,67	3,02	0,0577
5731	6877,2	24.09.2008	300	6200	8,33	3,14	0,0484
5732	6878,4	24.09.2008	400	6000	8,83	3,95	0,0667
5733	6879,6	24.09.2008	400	5500	8,50	4,10	0,0727
5734	6880,8	25.09.2008	400	7300	6,67	5,23	0,0548
5735	6882	25.09.2008	600	8086	6,43	8,13	0,0742
5736	6883,2	25.09.2008	500	11649	7,50	5,81	0,0429
5737	6884,4	25.09.2008	300	15408	6,43	4,07	0,0195
5738	6885,6	25.09.2008	300	19516	7,50	3,49	0,0154
5739	6886,8	25.09.2008	300	15300	9,00	2,90	0,0196
5740	6888	25.09.2008	300	11800	9,00	2,90	0,0254
5741	6889,2	25.09.2008	400	14200	7,50	4,65	0,0282
5742	6890,4	25.09.2008	600	13700	7,50	6,97	0,0438
5743	6891,6	25.09.2008	400	13600	8,33	4,18	0,0294
5744	6892,8	25.09.2008	300	17500	8,67	3,02	0,0171
5745	6894	25.09.2008	300	17000	8,33	3,14	0,0176

Çizelge 6.10: (devam) 6854,4m-6931,2m arasındaki makine değerleri

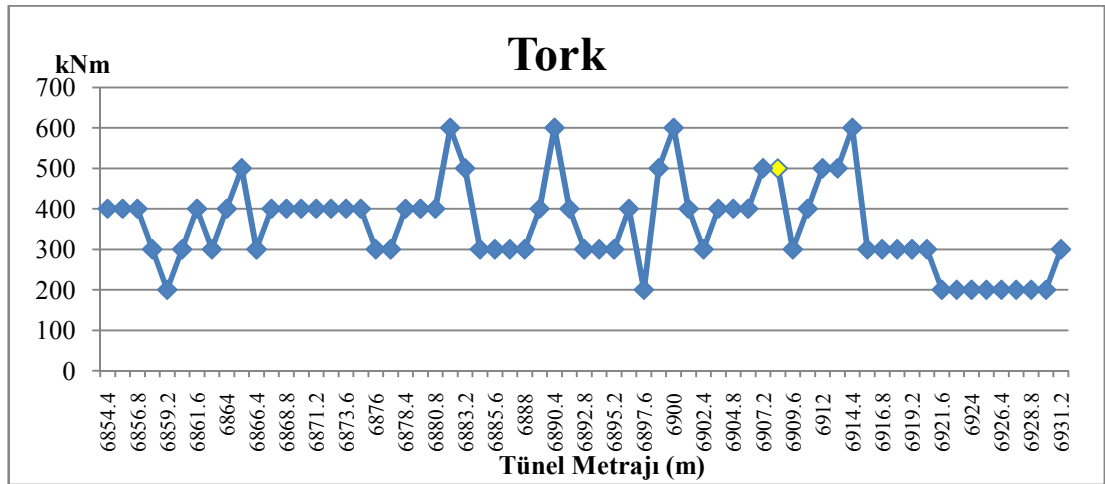
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5748	6897,6	26.08.2008	200	20706	8,33	2,09	0,0097
5749	6898,8	26.08.2008	500	18746	8,33	5,23	0,0267
5750	6900	26.08.2008	600	21690	7,14	7,32	0,0277
5751	6901,2	26.08.2008	400	21000	7,14	4,88	0,0190
5752	6902,4	26.08.2008	300	19950	9,09	2,88	0,0150
5753	6903,6	26.08.2008	400	24000	9,09	3,83	0,0167
5754	6904,8	26.08.2008	400	23000	10,00	3,49	0,0174
5755	6906	26.08.2008	400	26100	10,00	3,49	0,0153
5756	6907,2	26.08.2008	500	25550	10,00	4,36	0,0196
5757	6908,4	26.08.2008	500	28000	2,00	21,78	0,0179
5758	6909,6	27.08.2008	300	28000	2,50	10,46	0,0107
5759	6910,8	08.10.2008	400	21000	8,33	4,18	0,0190
5760	6912	08.10.2008	500	11700	8,33	5,23	0,0427
5761	6913,2	08.10.2008	500	11460	8,33	5,23	0,0436
5762	6914,4	08.10.2008	600	10700	8,33	6,27	0,0561
5763	6915,6	08.10.2008	300	14500	8,33	3,14	0,0207
5764	6916,8	08.10.2008	300	14700	8,33	3,14	0,0204
5765	6918	08.10.2008	300	16500	8,33	3,14	0,0182
5766	6919,2	08.10.2008	300	22500	8,33	3,14	0,0133
5767	6920,4	08.10.2008	300	26000	9,23	2,83	0,0115
5768	6921,6	08.10.2008	200	28000	8,33	2,09	0,0071
5769	6922,8	15.10.2008	200	28000	8,33	2,09	0,0071
5770	6924	15.10.2008	200	13000	8,33	2,09	0,0154
5771	6925,2	15.10.2008	200	8500	8,33	2,09	0,0235
5772	6926,4	15.10.2008	200	9000	8,33	2,09	0,0222
5773	6927,6	15.10.2008	200	10000	8,00	2,18	0,0200
5774	6928,8	15.10.2008	200	13500	8,00	2,18	0,0148
5775	6930	15.10.2008	200	15800	7,00	2,49	0,0127
5776	6931,2	15.10.2008	300	20000	8,75	2,99	0,0150

Şekil 6.44’de İtme kuvvetleri verilmektedir. Grafik incelendiği zaman itme kuvvetleri 5000kN ile 10000kN arasında seyrederken 6879,6 metre de sıkışan zeminle karşılaşılmasıyla 6908,4m de 28000 kN’a ulaşmaktadır. İtme kuvveti artışı sıkışan zeminin etkilemeye başlamasıyla metrede 781,25 kN/m olacak şekilde artmıştır.

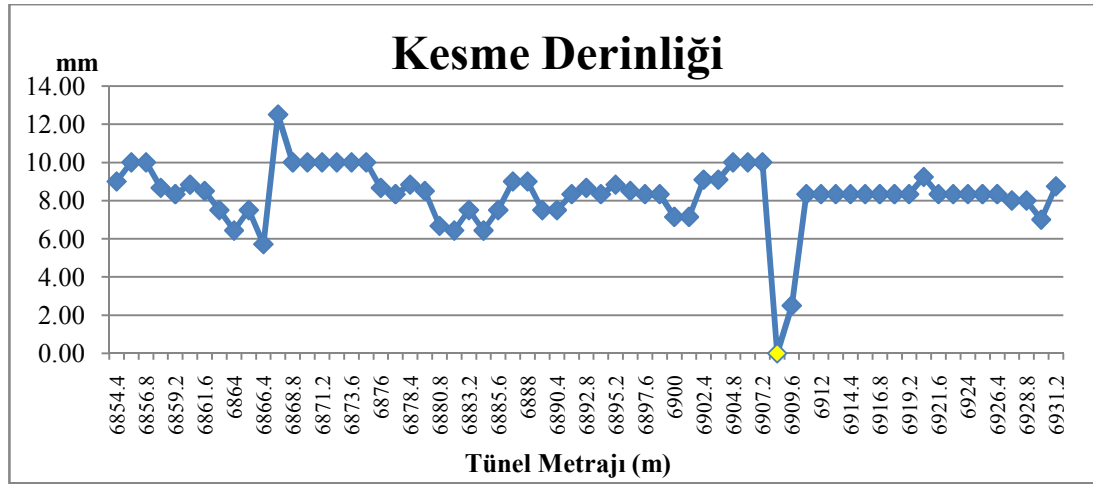


Şekil 6.44. 6854,4m-6931,2m arasındaki itme kuvveti değişimleri

Sıkışma 13 incelenirken tork değerlerine bakıldığında zaman genel olarak 400 kNm civarında olan tork değerleri sıkışma anından önceki kazıda artış göstermektedir. Şekil 6.45’de tork değişim grafiği verilmektedir. Şekil 6.46’da verilen kesme derinliklerinde sıkışma anı dışında ufak bir aralıkta değişim gösterdiği gözlenmektedir.

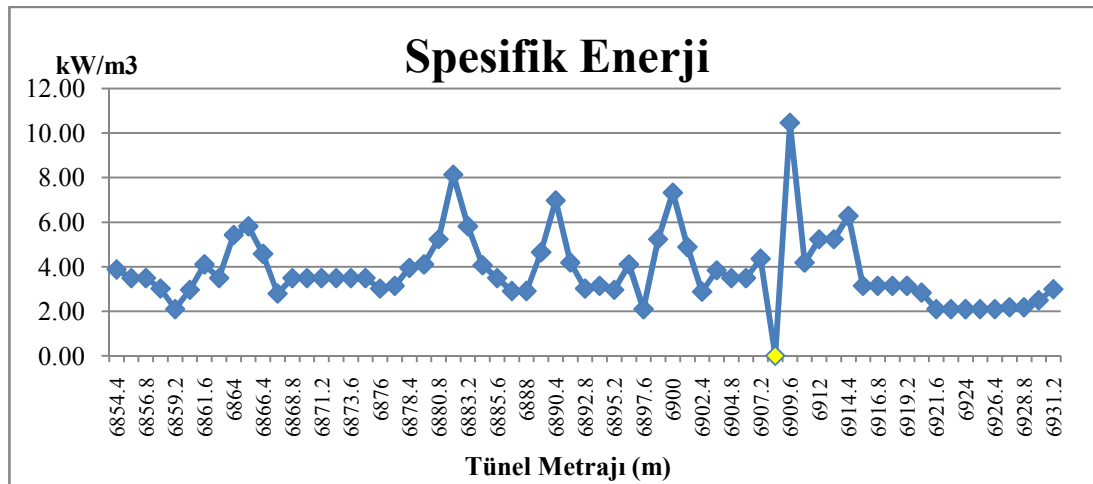


Şekil 6.45. 6854,4m-6931,2m arasındaki tork değişimleri

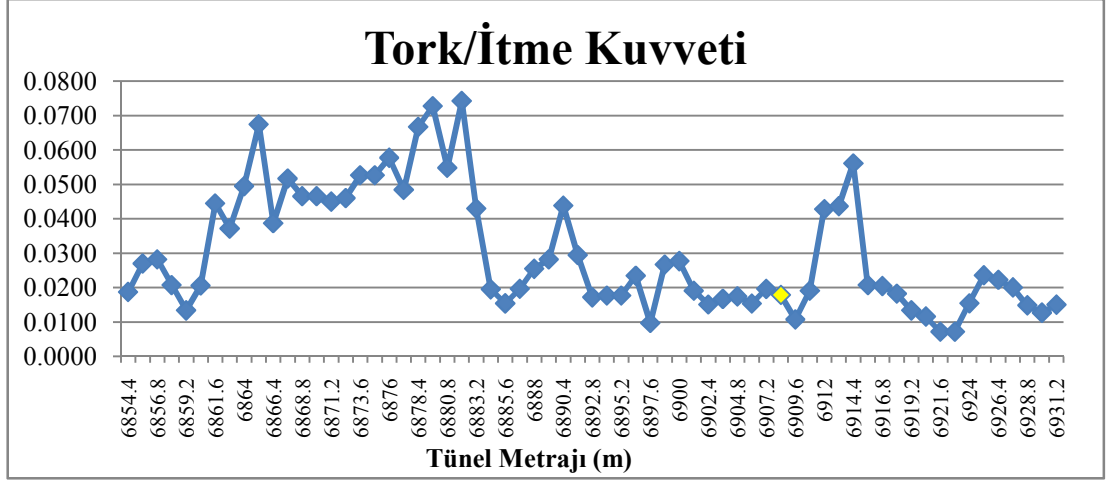


Şekil 6.46. 6854,4m-6931,2m arasındaki kesme derinliği değişimleri

Spesifik enerji değerlerine bakıldığı zaman sıkışma öncesinde spesifik enerji değerlerinin bir dalgalanma gösterdiği görülmektedir. Şekil 6.47’de bu değişim grafiği verilmiştir. Torkun itme kuvvetine oranında görüleceği gibi sıkışma anından önce bu oran itme kuvvetlerinin düzenli şekilde artması ve tork’un sabite yakın durumda kalmasından dolayı düşüş göstermektedir. Bu değişim grafiği Şekil 6.48’de verilmiştir.



Şekil 6.47. 6854,4m-6931,2m arasındaki spesifik enerji değişimleri



Şekil 6.48. 6854,4m-6931,2m arasındaki tork/itme kuvveti oranı değişimleri

6.3.9. Galeri 14-15

Tünel kazısı sırasında gerçekleşen 14 ve 15. Sıkışmalar arka arkaya gerçekleşmiştir, bundan dolayı bu iki sıkışma bir arada incelenecektir. 14.Sıkışma 26.09.2008 tarihinde gerçekleşmiş ve galeri kazıları 5 gün sürmüştür. 15. Sıkışma ise 08.10.2008 tarihinde gerçekleşmiş galeri kazısı 6 gün sürmüştür. Bu iki sıkışma arasında 12 metre ilerleme yapılabilmektedir, buradan anlaşılacağı gibi galeri 14'ün tamamlanıp ilerleme yapılmasıyla birlikte şilt sıkışan zeminden kurtulmuş ancak şilt kurtulmaz tekrar sıkışmıştır. Çizelge 6.11'de 26.09.2008 tarihi ile 15.10.2008 tarihleri arasındaki makine değerleri verilmiştir.

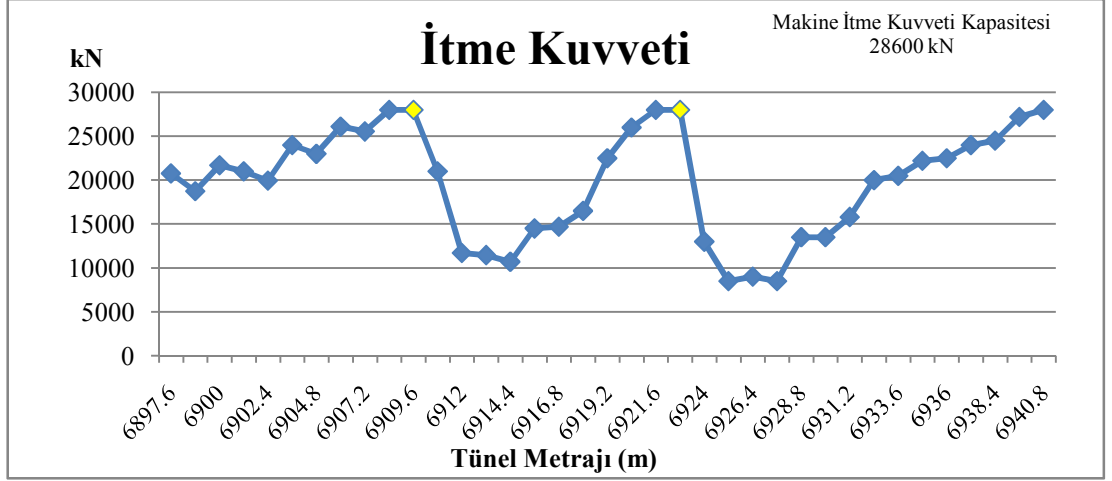
Çizelge 6.11: 6897,6m- 6940,8 m arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork kNm	İtme Kuvveti kN	Kesme Derinliği mm/rev	SE kW/m ³	Tork/İtme Kuvveti
5748	6897,6	26.09.2008	200	20766	7,50	2,32	0,0096
5749	6898,8	26.09.2008	500	18743	7,50	5,81	0,0267
5750	6900	26.09.2008	600	21690	6,43	8,13	0,0277
5751	6901,2	26.09.2008	400	21000	7,50	4,65	0,0190
5752	6902,4	26.09.2008	500	19950	7,50	5,81	0,0251
5753	6903,6	26.09.2008	300	24000	9,09	2,88	0,0125
5754	6904,8	26.09.2008	400	23000	9,09	3,83	0,0174
5755	6906	26.09.2008	400	26100	10,00	3,49	0,0153
5756	6907,2	26.09.2008	400	25550	10,00	3,49	0,0157
5757	6908,4	26.09.2008	500	28000	10,00	4,36	0,0179
5758	6909,6	26.09.2008	100	28000	2,50	3,49	0,0036
5759	6910,8	08.10.2008	400	21000	8,33	4,18	0,0190
5760	6912	08.10.2008	500	11700	8,33	5,23	0,0427

Çizelge 6.11: (devam) 6897,6m- 6940,8 m arasındaki makine değerleri

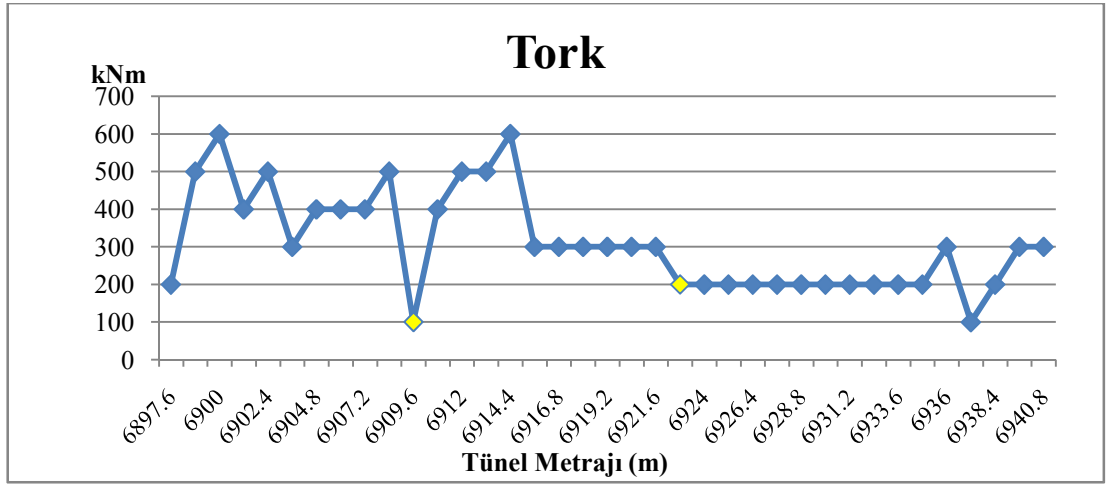
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5763	6915,6	08.10.2008	300	14500	8,33	3,14	0,0207
5764	6916,8	08.10.2008	300	14700	8,33	3,14	0,0204
5765	6918	08.10.2008	300	16500	8,33	3,14	0,0182
5766	6919,2	08.10.2008	300	22500	8,33	3,14	0,0133
5767	6920,4	08.10.2008	300	26000	8,33	3,14	0,0115
5768	6921,6	08.10.2008	300	28000	9,23	2,83	0,0107
5769	6922,8	08.10.2008	200	28000	8,33	2,09	0,0071
5770	6924	15.10.2008	200	13000	8,33	2,09	0,0154
5771	6925,2	15.10.2008	200	8500	8,33	2,09	0,0235
5772	6926,4	15.10.2008	200	9000	8,33	2,09	0,0222
5773	6927,6	15.10.2008	200	8500	8,33	2,09	0,0235
5774	6928,8	15.10.2008	200	13500	10,00	1,74	0,0148
5775	6930	15.10.2008	200	13500	8,00	2,18	0,0148
5776	6931,2	15.10.2008	200	15800	10,00	1,74	0,0127
5777	6932,4	15.10.2008	200	20000	7,00	2,49	0,0100
5778	6933,6	15.10.2008	200	20500	7,00	2,49	0,0098
5779	6934,8	15.10.2008	200	22200	8,00	2,18	0,0090
5780	6936	15.10.2008	300	22500	8,00	3,27	0,0133
5781	6937,2	15.10.2008	100	24000	8,33	1,05	0,0042
5782	6938,4	15.10.2008	200	24500	9,17	1,90	0,0082
5783	6939,6	15.10.2008	300	27200	9,17	2,85	0,0110
5784	6940,8	15.10.2008	300	28000	8,33	3,14	0,0107

Sıkışan zeminin şilt üzerinde göstermiş olduğu kuvvetlerden dolayı itme kuvvetleri sıkışma 14 ve 15 de düzenli olarak arttırılmıştır. 20000kN değerinden başlayan artış makinenin en yüksek değerlerine ulaşmış ve sıkışma gerçekleşmiştir.Sıkışma 14 için metredeki itme kuvveti artışı 602,83 kN/m olarak hesaplanmış, sıkışma 15 için ise bu değer 2402,77 kN/m olarak hesaplanmıştır. İtme kuvveti değerleri Şekil 6.49’da verilmiştir.



Şekil 6.49. 6897,6m- 6940,8m arasındaki itme kuvveti değişimleri

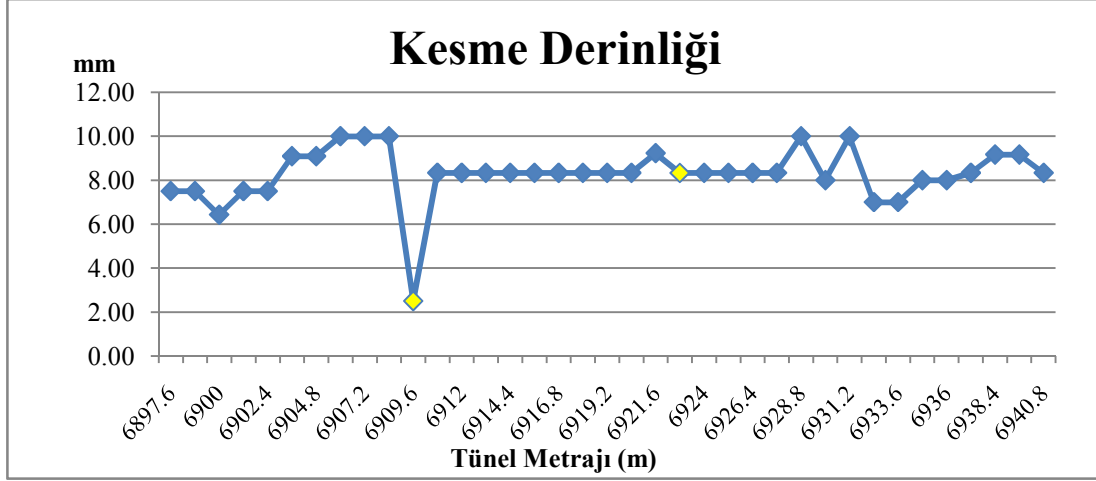
Sıkışma 14 ve 15 deki tork değerleri incelendiğinde görülmektedir ki tork değerleri sıkışan zemine girilmesiyle birlikte düşüş göstermiştir. Bu değişim Şekil 6.50’de verilmiştir.



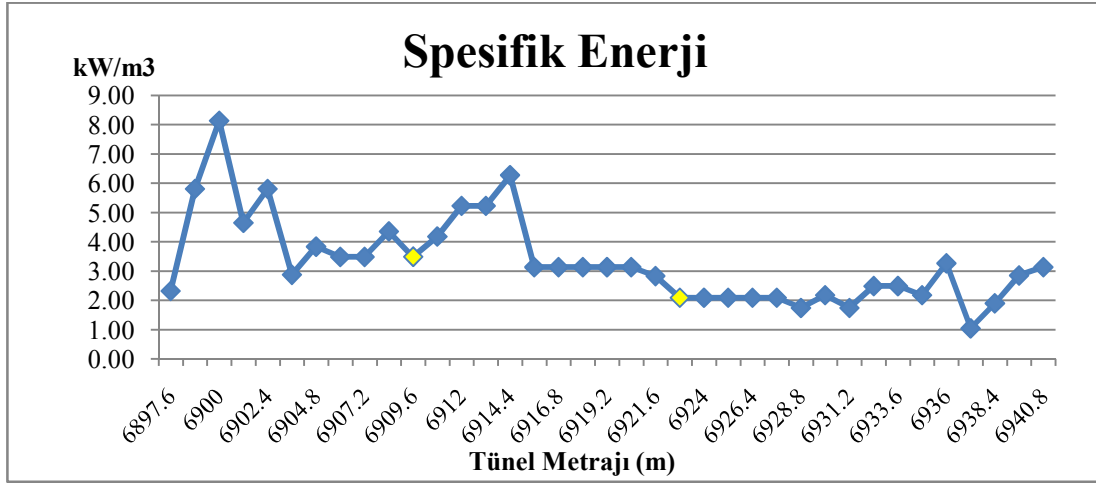
Şekil 6.50. 6897,6m- 6940,8 m arasındaki tork değerlerinin değişimi

Tork ve itme kuvvetlerindeki değişimlerden dolayı kesme derinliklerinde Şekil 6.51’de görüldüğü gibi sıkışmalar dışında herhangi önemli bir değişim yaşanmamıştır; ancak spesifik enerji değerlerindeki değişim sıkışan zeminin ortaya çıkmasıyla birlikte düşüş gösterdiği Şekil 6.52’de görülmektedir.

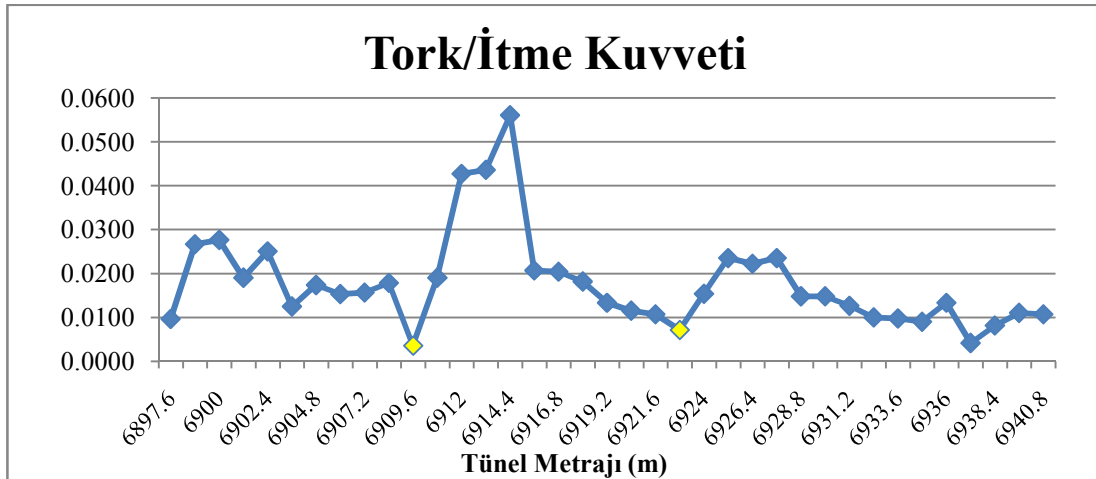
Şekil 6.53’de verilen tork/itme kuvveti değerleri incelendiğinde ise itme kuvvetlerinin artması buna karşı tork değerlerindeki düşüşten dolayı sıkışma esnasında bu oranın düşük olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6.51. 6897,6m- 6940,8 m arasındaki kesme derinliği değişimi



Şekil 6.52. 6897,6m- 6940,8m arasındaki spesifik enerji değişimi



Şekil 6.53. 6897,6m-6940,8m arasındaki tork/itme kuvveti oranı değişimi

6.3.10. Galeri 16-17-18

Sıkışma 16-17 ve 18 bir ay içerisinde gerçekleşmiştir. Bu sıkışmalardan dolayı galeri kazıları sırasıyla 9 gün, 6 gün ve 8 gün sürmüştür. Çizelge 6.12’de 29.10.2008 tarihi ile 29.11.2008 tarihi arasındaki makine değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.12: 7056m-7158m arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5880	7056	29.10.2008	300	15700	45	2,90	0,0191
5881	7057,2	29.10.2008	400	16700	40	4,36	0,0240
5882	7058,4	29.10.2008	400	17200	40	4,36	0,0233
5883	7059,6	29.10.2008	400	16600	40	5,23	0,0241
5884	7060,8	29.10.2008	300	16500	40	3,92	0,0182
5885	7062	29.10.2008	300	17000	40	3,27	0,0176
5886	7063,2	29.10.2008	400	17000	40	4,36	0,0235
5887	7064,4	29.10.2008	400	15000	40	5,23	0,0267
5888	7065,6	29.10.2008	500	14500	40	5,45	0,0345
5889	7066,8	29.10.2008	500	15000	40	5,45	0,0333
5890	7068	29.10.2008	400	20000	40	4,36	0,0200
5891	7069,2	29.10.2008	300	19000	40	3,27	0,0158
5892	7070,4	29.10.2008	300	19500	40	3,27	0,0154
5894	7072,8	29.10.2008	300	16900	40	3,27	0,0178
5895	7074	29.10.2008	300	16900	40	3,27	0,0178
5896	7075,2	30.10.2008	200	25300	40	2,18	0,0079
5897	7076,4	30.10.2008	400	25400	40	5,23	0,0157
5898	7077,6	30.10.2008	200	27000	10	8,71	0,0074
5899	7078,8	10.11.2008	300	28000	25	3,14	0,0107
5900	7080	10.11.2008	200	20000	40	1,74	0,0100
5901	7081,2	10.11.2008	200	12860	35	1,99	0,0156
5902	7082,4	10.11.2008	400	10000	40	4,36	0,0400
5903	7083,6	10.11.2008	300	10600	35	3,73	0,0283
5904	7084,8	10.11.2008	300	11260	35	3,73	0,0266
5905	7086	10.11.2008	200	13700	35	1,99	0,0146
5906	7087,2	10.11.2008	200	16800	40	2,18	0,0119
5907	7088,4	11.11.2008	500	18700	60	4,36	0,0267
5908	7089,6	11.11.2008	500	20500	60	5,08	0,0244
5909	7090,8	11.11.2008	300	21650	60	3,05	0,0139
5910	7092	11.11.2008	300	23550	60	3,05	0,0127
5911	7093,2	11.11.2008	400	26700	60	4,07	0,0150
5912	7094,4	11.11.2008	400	26600	60	4,07	0,0150
5913	7095,6	11.11.2008	500	27500	60	5,08	0,0182

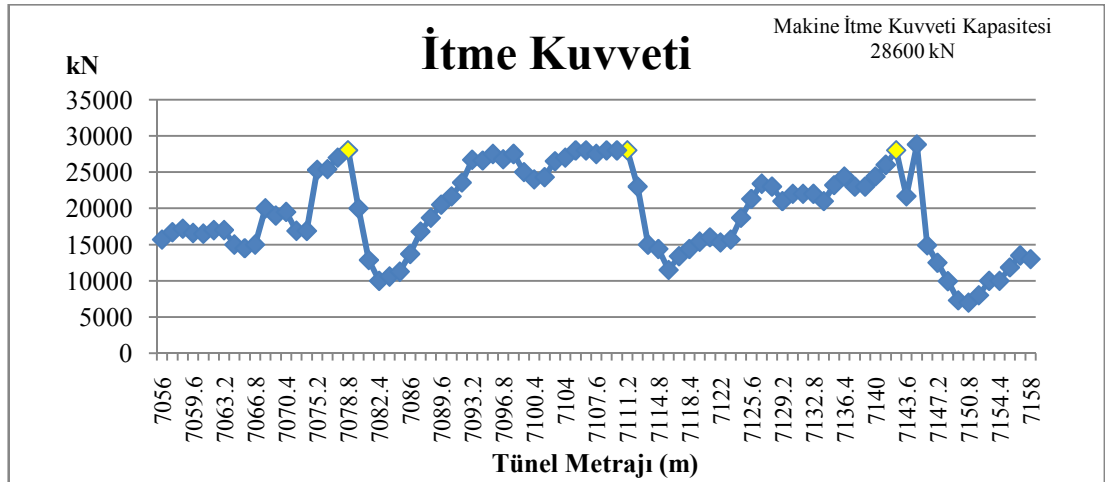
Çizelge 6.12: (devam) 7056m-7158m arasındaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	Tork/İtme Kuvveti
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	
5916	7099,2	11.11.2008	300	25000	50	3,14	0,0120
5917	7100,4	11.11.2008	200	24000	50	2,09	0,0083
5918	7101,6	11.11.2008	300	24300	50	3,14	0,0123
5919	7102,8	11.11.2008	300	26500	50	3,14	0,0113
5920	7104	11.11.2008	300	27000	50	3,14	0,0111
5921	7105,2	11.11.2008	300	28000	50	3,14	0,0107
5922	7106,4	11.11.2008	100	28000	50	0,70	0,0036
5923	7107,6	11.11.2008	100	27500	10	3,49	0,0036
5924	7108,8	11.11.2008	100	28000	10	2,61	0,0036
5925	7110	19.11.2008	400	28000	10	24,40	0,0143
5926	7111,2	19.11.2008	600	28000	35	8,96	0,0214
5927	7112,4	19.11.2008	700	23000	45	4,07	0,0304
5928	7113,6	19.11.2008	100	15000	45	0,97	0,0067
5929	7114,8	19.11.2008	300	14400	45	2,90	0,0208
5930	7116	19.11.2008	200	11500	40	2,61	0,0174
5931	7117,2	19.11.2008	300	13400	45	3,49	0,0224
5932	7118,4	19.11.2008	200	14400	40	2,61	0,0139
5933	7119,6	19.11.2008	200	15400	40	2,61	0,0130
5934	7120,8	19.11.2008	300	16000	40	4,57	0,0188
5935	7122	19.11.2008	400	15300	40	4,36	0,0261
5936	7123,2	19.11.2008	200	15700	40	2,61	0,0127
5937	7124,4	19.11.2008	500	18700	40	5,45	0,0267
5938	7125,6	19.11.2008	200	21300	40	2,61	0,0094
5939	7126,8	19.11.2008	200	23400	40	2,61	0,0085
5940	7128	20.11.2008	400	23000	55	3,80	0,0174
5941	7129,2	20.11.2008	400	21000	55	3,80	0,0190
5942	7130,4	20.11.2008	500	22000	55	4,75	0,0227
5943	7131,6	20.11.2008	500	22000	55	4,75	0,0227
5944	7132,8	20.11.2008	400	22000	55	3,80	0,0182
5945	7134	20.11.2008	600	21000	55	5,70	0,0286
5946	7135,2	20.11.2008	600	23200	55	5,70	0,0259
5947	7136,4	20.11.2008	300	24400	35	3,73	0,0123
5948	7137,6	20.11.2008	200	23000	35	2,49	0,0087
5949	7138,8	20.11.2008	200	23000	35	2,49	0,0087
5950	7140	20.11.2008	200	24400	40	2,18	0,0082
5951	7141,2	20.11.2008	300	26000	40	3,27	0,0115
5952	7142,4	20.11.2008	100	28000	5	3,49	0,0036
5953	7143,6	29.11.2008	300	21680	30	4,36	0,0138
5954	7144,8	29.11.2008	200	28800	45	2,32	0,0069

Çizelge 6.12: (devam) 7056m-7158m arasındaki makine değerleri

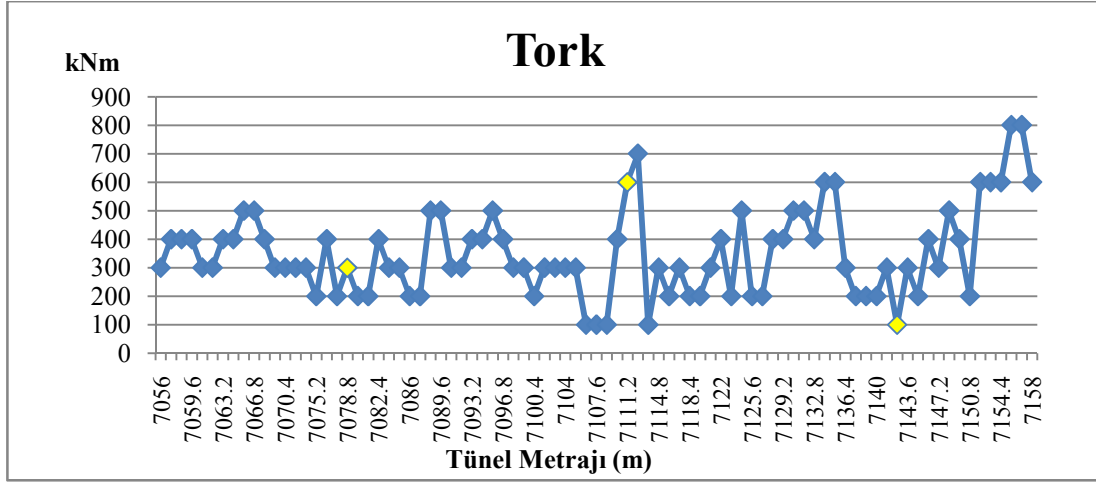
Ring No:	Tünel Km	Tarih	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği	SE	
			kNm	kN	mm/rev	kW/m ³	Tork/İtme Kuvveti
5957	7148,4	29.11.2008	500	9960	45	4,84	0,0502
5958	7149,6	29.11.2008	400	7300	40	4,36	0,0548
5959	7150,8	29.11.2008	200	7000	40	2,61	0,0286
5960	7152	29.11.2008	600	8000	50	6,27	0,0750
5961	7153,2	29.11.2008	600	10000	50	6,27	0,0600
5962	7154,4	29.11.2008	600	10000	55	5,70	0,0600
5963	7155,6	29.11.2008	800	11850	55	7,60	0,0675
5964	7156,8	29.11.2008	800	13500	45	9,29	0,0593
5965	7158	29.11.2008	600	13000	55	5,70	0,0462

Sıkışan zeminlerin varlığıyla birlikte itme kuvvetlerinin incelenmesiyle birlikte sıkışma 16 için itme kuvvetlerindeki artışın başlangıç noktası tünelin 7065,6 metresi olmaktadır ve makine 7077,6 m’de sıkışmaktadır. 12 metrelik ilerlemede itme kuvveti 12500kN artmıştır böylece bir metrelik ilerlemede itme kuvveti 1041,66kN/m artış göstermiştir. Aynı şekilde 17. Sıkışmada bu artış 681.818 kN/m ve 18. Sıkışmada 625kN/m olarak bulunmuştur. İtme kuvvetleri Şekil 6.54’de verilmiştir.



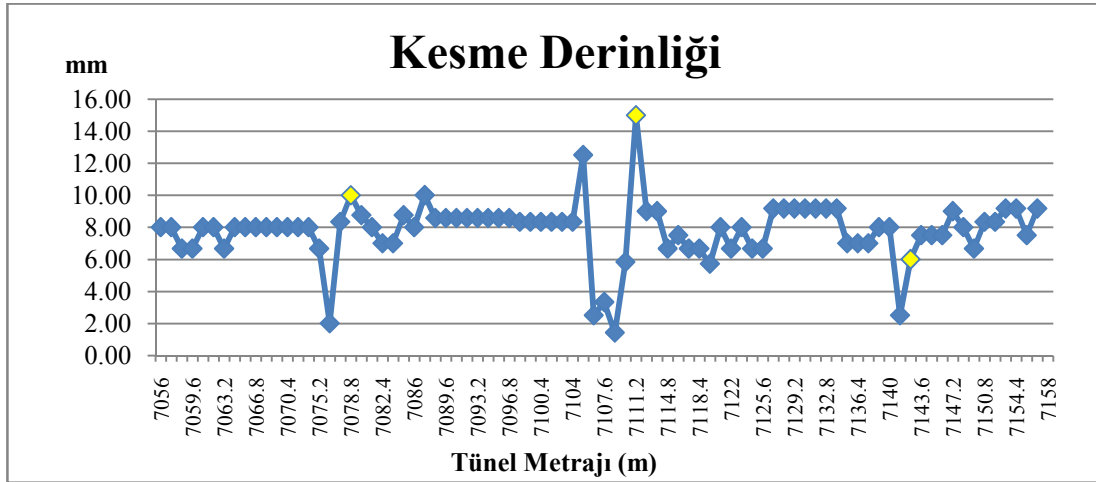
Şekil 6.54. 7056m-7158m arasındaki itme kuvvetleri değişimi

İncelenen verilerde tork değerlerinin sıkışan zeminlerde düşüş gösterdiği görülmektedir. Daha önce hesaplanan ortalama tork değeri 500 kNm olmasına karşın sıkışma 17 ve 18 in gerçekleştiği dönemdeki tork değerleri 300kN civarındadır. Şekil 6.55. 7056.m ile 7158.m arasında kaydedilen tork değerlerini göstermektedir.



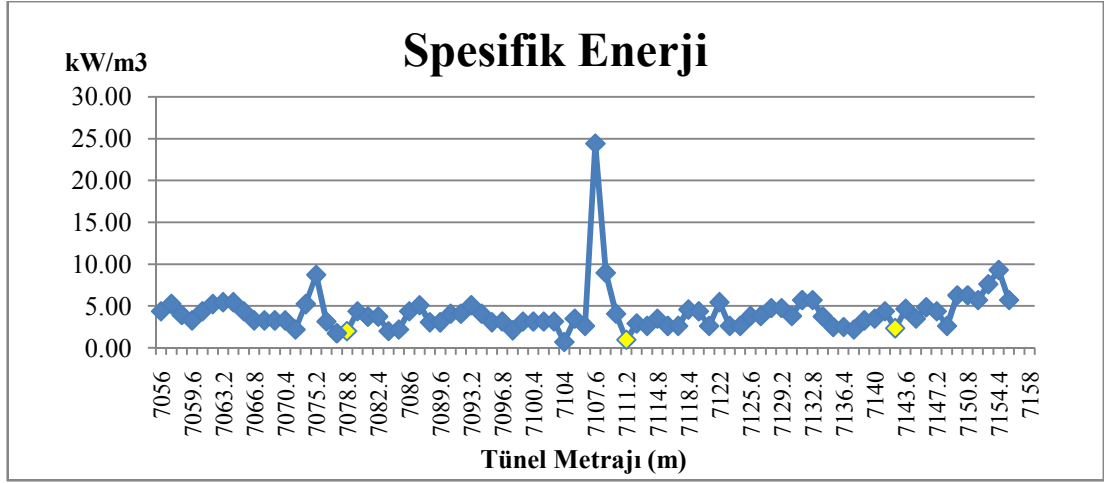
Şekil 6.55. 7056m- 7158m arasındaki tork değişimleri

Şekil 6.56’da verilen kesme derinliği verileri sıkışmalar dışında çok büyük farklılıklar göstermemekle birlikte genelde 8mm/dev. değerinde bulunmaktadır. Sıkışma öncesinde görülen kesme derinliğindeki düşüşler itme kuvvetinin sıkışan zeminin uyguladığı kuvvetlerden biri olan sürtünme kuvvetine karşı etkili olamadığını göstermektedir.

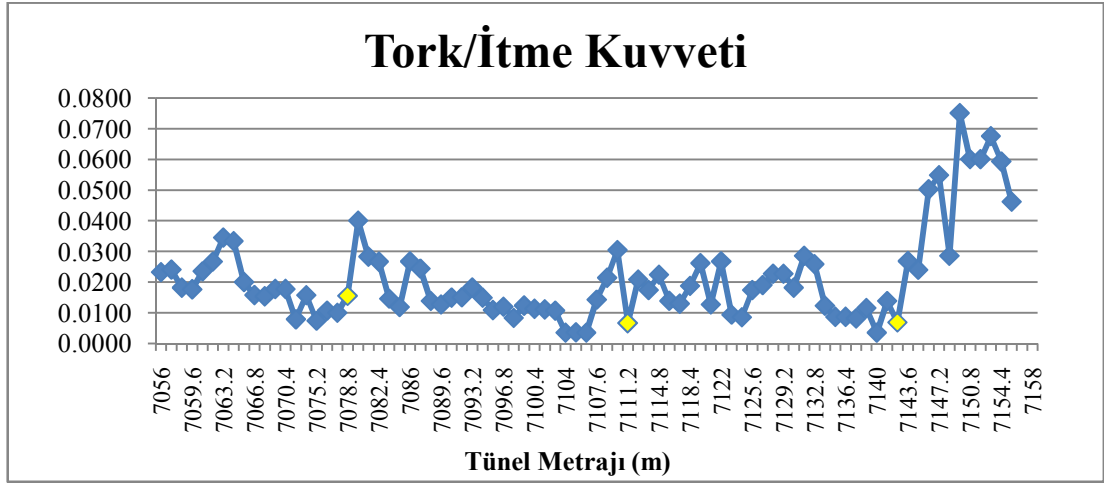


Şekil 6.56. 7056m-7158m arasındaki kesme derinliği değişimi

Spesifik enerji ve tork/itme kuvveti değerleri düzgün bir dağılım içerisinde bulunmaktadır. Şekil 6.57 ve Şekil 6.58 bu verileri göstermektedir.



Şekil 6.57. 7056m-7158m arasındaki spesifik enerji değişimi



Şekil 6.58. 7056m-7158m arasındaki tork/itme kuvveti değişimi

6.4. Tünel Açma Makinesi Sıkışmalarının Toplu Değerlendirilmesi

Uluabat kuvvet tüneli kazısı sırasında yaşanan sıkışma olayları yakından incelendiği zaman sıkışan zeminlerin ortalama olarak 14,3 metre önceden şilt üzerine kuvvet uyguladığı anlaşılmaktadır, bu kuvvetlerden ilerleme yönünün tersine etkiyen sürtünme kuvveti şilt sıkışmalarına sebep olmaktadır. Kazı sırasında yaşanan 18 adet sıkışmada elde edilen verilere göre itme kuvvetleri sıkışan zeminlerde 870,21 kN/m artarak makine itme kuvvetinin maksimuma ulaşmasıyla birlikte sıkışmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Tork/İtme kuvveti oranlarına bakıldığında ise sıkışma olayı olmadan önceki tork/itme kuvveti ortalaması 0,57 iken sıkışma anında bu oranın 0,31 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.13’de zeminin şildi sıkıştırmaya başladığı andaki itme kuvvetleri ve sıkışma anındaki itme kuvvetleri gösterilmektedir, itme kuvvetlerindeki artışın başladığı nokta ve sıkışmanın gerçekleştiği nokta arasındaki mesafe hesaplanarak sıkışan zeminlerde itme kuvvetinin metrede ne kadar arttığı bulunmuştur. Bunun yanı sıra daha önce yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi tork/itme kuvvetleri belirlenerek sıkışma olayı başlangıcındaki ortalama F_R/F_T oranlarıyla sıkışma anındaki ortalamalar verilmiştir.

Çizelge 6.13: Sıkışma başlangıcı ve sıkışma anındaki itme kuvveti değerleri, F_R/F_T oranları ve sıkışma mesafeleri

Galeri No:	Sıkışma Mesafesi	İtme Kuvveti Artışının Başlangıç Değeri	İtme Kuvveti Sıkışma Anındaki Değeri	Sıkışma süresince İtme Kuvvetindeki Artış Miktarı	İtme Kuvveti Artış Hızı	Sıkışmadan önceki ortalama F_R/F_T	Sıkıştıktan sonradaki F_R/F_T
	m	kN	kN	kN	kN/m		
1						0,05	0,03
2	24	8276,03	20472,29	12196,26	508,18	0,07	0,02
3	33,6	10000	26150	16150	480,65	0,04	0,01
4	16,8	9500	27000	17500	1041,67	0,03	0,02
5	7,2	15600	28600	13000	1805,56	0,03	0,01
6	2,4	20690	21670	980	408,33	0,018	0,008
7	6	18700	21234,5	2534,5	422,42	0,04	0,02
8	10,8	18070	28600	10530	975,00	0,05	0,04
9	13,2	11700	18900	7200	545,45	0,04	0,04
10	13,2	22765	28100	5335	404,17	0,03	0,005
11	13,2	14000	28000	14000	1060,61	0,04	0,02
12	7,2	14500	28500	14000	1944,44	0,02	0,02
13	28,8	5000	28000	23000	798,61	0,02	0,02
14	7,2	19950	28000	8050	1118,06	0,02	0,005
15	9,6	10700	28000	17300	1802,08	0,02	0,009
16	12	14500	27000	12500	1041,67	0,025	0,015
17	26,4	10000	28000	18000	681,82	0,015	0,008
18	26,4	11500	28000	16500	625,00	0,015	0,008
Ortalama	14,33	13080,61	24679,27	11598,65	870,21	0,03	0,02

6.5. Bentonit Uygulaması

Uluabat kuvvet tünellerinde 29.11.2008 tarihine kadar bentonit enjeksiyonu uygulanmamıştır. Bu uygulamanın yapılması düşünülmüş birkaç deneme yapılmış çeşitli nedenlerden dolayı vazgeçilmiştir; ancak ilerletilen çalışmalar ve enjeksiyonun en doğru biçimde yapılabilmesi için hazırlanan yöntemlerle birlikte devamlı bentonit enjeksiyonu ile kazı yapılmaya başlanmıştır. İşletmede bentonit enjeksiyonu boru itme uygulamalarında sıkça kullanılan ve tünelcilik sektöründeki bir çok kişi'nin çok iyi bildiği gibi şilt çevresine belirli aralıklarla delinen deliklerden yüksek basınçlı ve sabit debili bentonit enjeksiyonuyla ilerleme yapılmaya çalışılmıştır. Bentonit uygulamasıyla birlikte sıkışan zeminlerle karşılaşılmasına rağmen galeri açılmasına gerek duyulacak hiçbir sıkışma problemiyle karşı karşıya kalınmamıştır, itme kuvvetlerindeki artışlarla birlikte sıkıntılı zeminler rahatlıkla geçilmiştir. Ek1'de bu uygulamanın başlamasıyla birlikte makinenin otomatik olarak kaydettiği raporlardan elde edilen makine verileri gösterilmektedir.

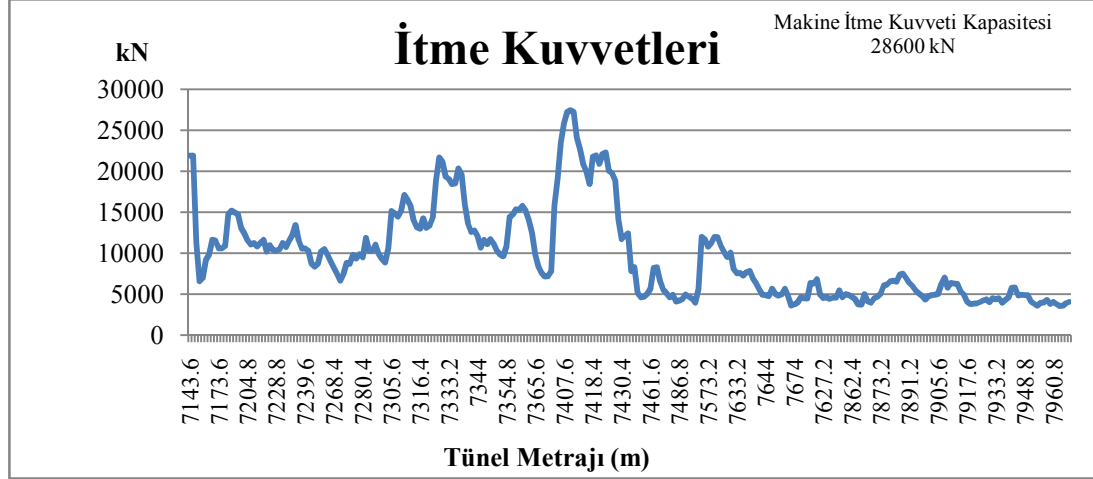
Bentonit uygulamasının başlamasından sonra 275 ring kazısı sırasında kaydedilen raporlardan elde edilen ortalamalar Çizelge 6.14'de verilmiştir.

Çizelge 6.14. Bentonit uygulamasıyla gerçekleşen kazı değerleri ortalamaları

rev/dk.	Tork	İtme Kuvveti	İlerleme Hızı	Tork / İtme Kuvveti	Spesifik Enerji	Kesme Derinliği
Rpm (dev/dk.)	kNm	kN	mm/dk.		kW/m ³	mm/rev
6,23	579,89	9671,16	40,13	0,08	9,20	6,45

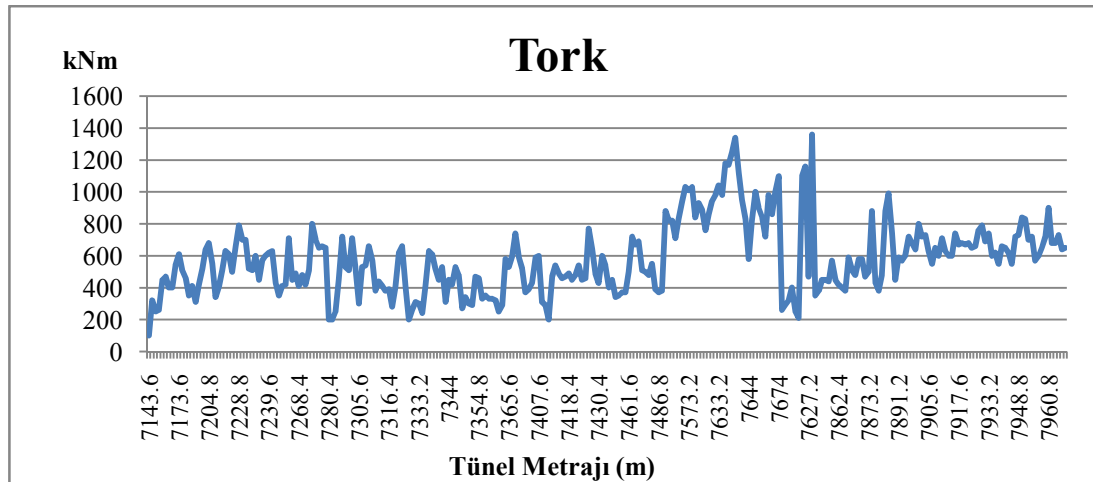
Bentonit uygulamasıyla gerçekleştirilen kazı değerleri ortalamalarına bakıldığında zaman itme kuvvetleri ortalamaları daha önce bentonit olmaksızın gerçekleşen kazılardaki itme kuvveti ortalamasından daha düşük olmaktadır. Bentonit enjeksiyonu ile kazı 18. sıkışmanın gerçekleşmesi ve galeri kazısından sonra ilerlemenin sağlandığı ilk kazıyla birlikte başlamıştır. Bentonit enjeksiyonu ile birlikte yapılan kazılarda zemin şartlarının çok benzer olmasına karşın sıkışma gerçekleşmemiştir. Şekil 6.59'da gösterilen itme kuvvetleri incelendiğinde itme kuvvetlerinin 20000 kN

üzerine çıktığı dönemlerde sıkışan zeminin makine şildine etkilediği kuvvetler karşısında makinenin sıkışacağı beklenirken, bentonit enjeksiyonu sayesinde makine itme kuvvetleri sürtünme kuvvetlerini yenerek ilerlemeye devam edebilmiştir. Zemin şartlarının düzelmesiyle birlikte itme kuvvetlerindeki düşüş Şekil 6.59’da rahatlıkla görülmektedir.

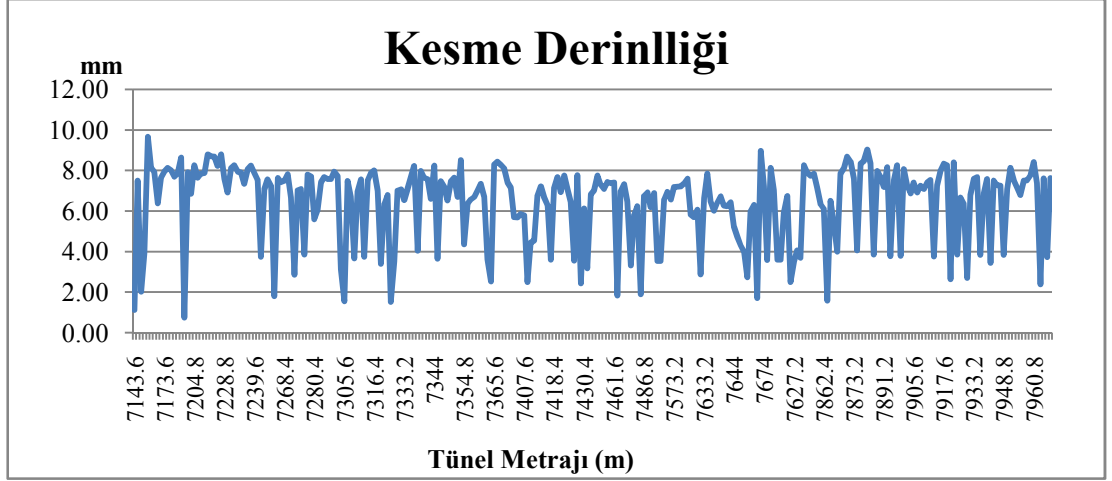


Şekil 6.59. Bentonit enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki itme kuvveti değişimi

Zemine bentonit enjeksiyonu uygulamasının başlamasıyla birlikte tork değerlerinde artış gözlenmektedir. Zeminin şilt üzerine uyguladığı kuvvetlerin bentonit enjeksiyonu sayesinde şiltin ilerleme yönündekini negatif yönde etkileyen özelliği azaltıldığından dolayı itme kuvvetleri verimli bir kazı yapabilmek için kullanılabilir. Bu durumdan dolayı Şekil 6.61’de gösterilen kesme derinlikleri hemen hemen sabit düzeylerde seyretmekte ve Şekil 6.60’da görüldüğü gibi makine torkunda artış göstermektedir.

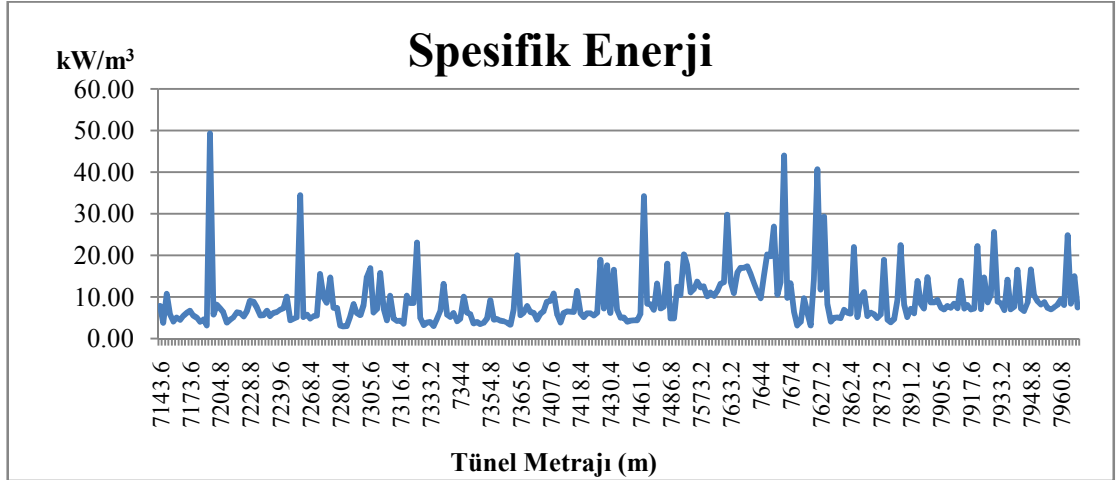


Şekil 6.60. Bentonit uygulamasıyla birlikte makine tork değerleri



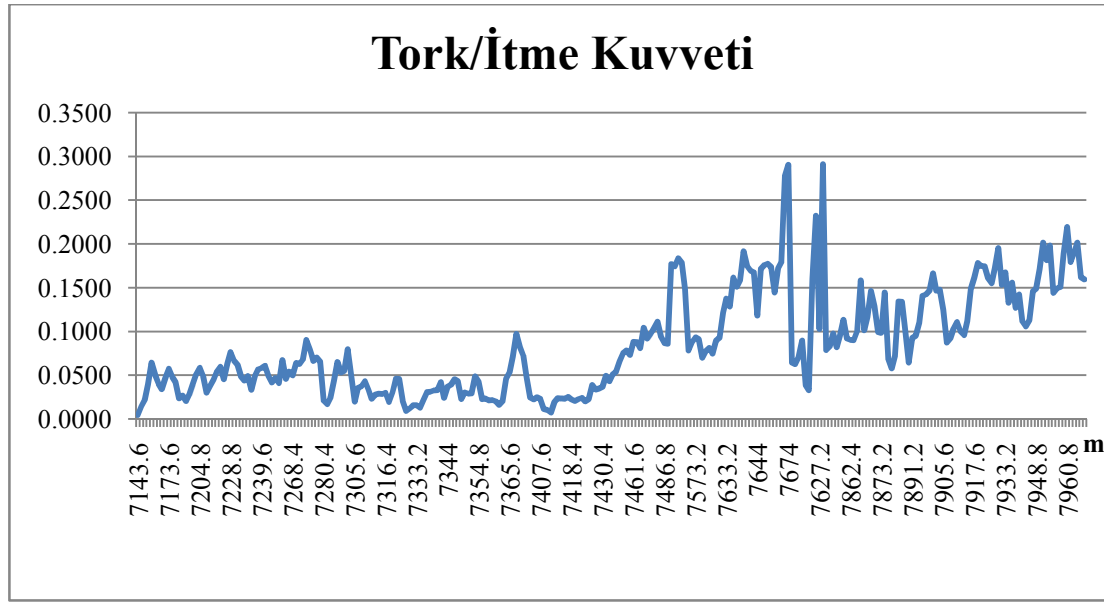
Şekil 6.61. Bentonit uygulamasıyla birlikte makine kesme derinliği değerleri

Bentonit uygulamasıyla birlikte makine sıkışma problemi yaşamamıştır, bunun yanı sıra kesme derinliğindeki devamlılık ve tork değerlerindeki artış ile birlikte spesifik enerji değerleri genel olarak 10kW/m^3 değerine yakın bir değerde görülmektedir. Şekil 6.62’de görüldüğü gibi spesifik enerji değerleri bazı noktalarda yükselmiş olsada genelde hep aynı seviyeler bulunmaktadır.



Şekil 6.62. Bentonit uygulamasıyla birlikte spesifik enerji değerleri

18.sıkışmanın ardından bentonit enjeksiyonu yapılmasıyla birlikte sıkışan zeminlerde itme kuvvetleri yarı yarıya düşmüş tork değerleri ise yükseliş göstermiştir. Torkun itme kuvvetine olan oranı incelendiği zaman sıkışan zeminlerde bu değer 0,05 civarında olmasına karşın zeminin daha stabil olduğu yerlerde tork değerlerindeki artış ve itme kuvvetlerindeki düşüşle birlikte 0,15 civarında olduğu gözlenmiştir.Şekil 6.63’de bu değerler gösterilmektedir.



Şekil 6.63. Bentonit uygulamasıyla birlikte tork/itme kuvveti değerleri

6.6. Bekleme Zamanının İtme kuvvetlerine Etkisi

Sıkışan zeminlerde özellikle çalışma devamlılığı çok önemlidir. Çalışma devamlılığını sağlayabilmek için yedek parça, ekip ve ekipmanın daima hazır halde olması ve yaşanabilecek her türlü aksaklığa karşı alınabilecek önlemlerin hazır bulundurulması gerekmektedir. Bu bölümde inceleyeceğimiz veriler her kazı sonrasındaki beklemler incelenerek kazı başlangıcındaki itme kuvvetleri ile kazı bitişindeki itme kuvvetleri bekleme zamanına göre değerlendirilecektir. Çizelge 6.15’de 6775,2 metre (5646.kazı) ile 6826,8 metre (5689.kazı) arasındaki kazılardan elde edilen itme kuvvetleri başlangıcı ve bitiş değerleri ve her kazı öncesindeki bekleme zamanları verilmiştir.

Çizelge 6.15: Ring numarasına göre itme kuvveti başlangıç ve bitiş değerleri ve kazı öncesindeki bekleme zamanları

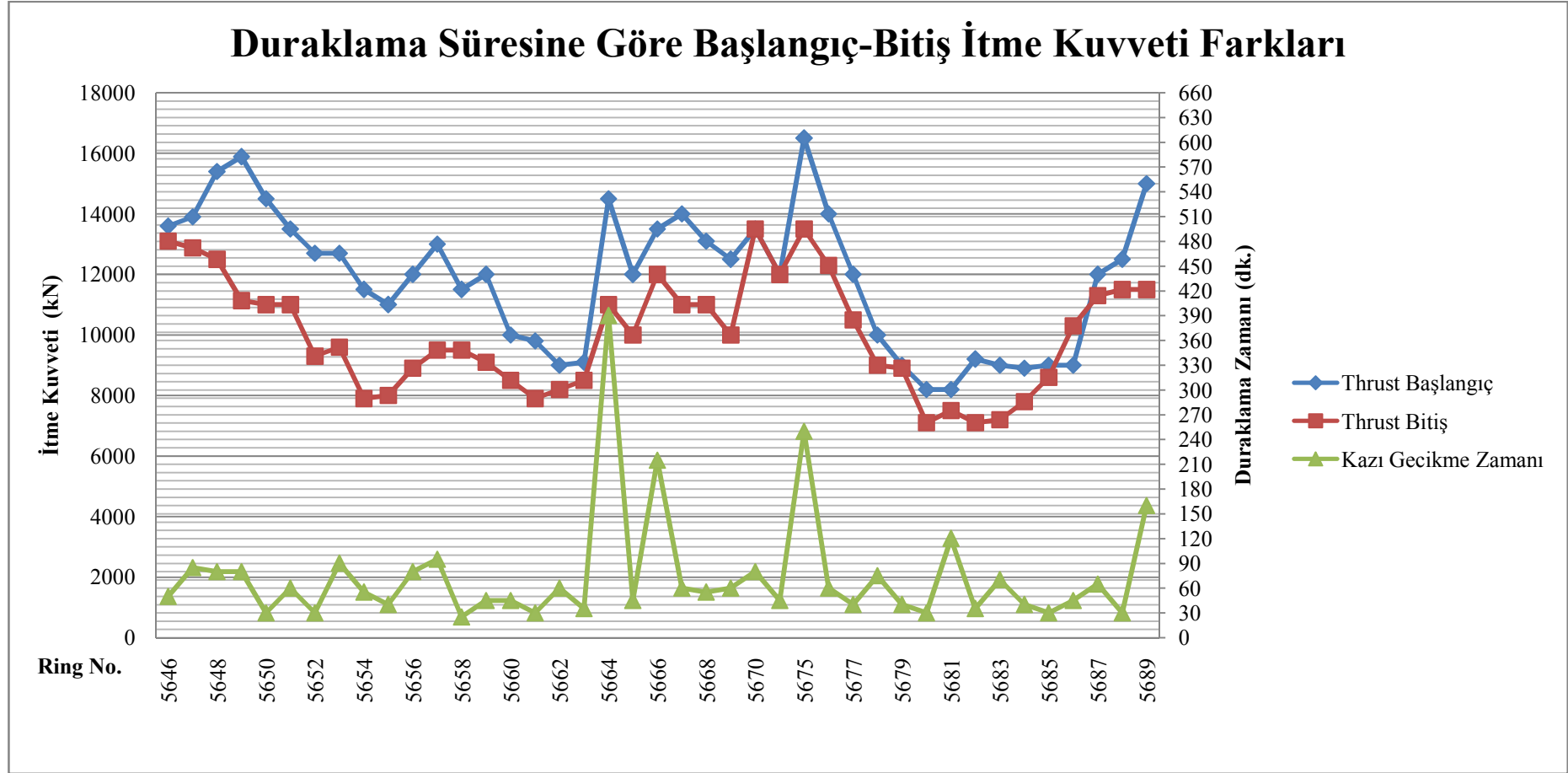
Ring No:	Tarih	İtme KuvvetiBaşlangıç kN	İtme Kuvveti Bitiş kN	İtme Kuvveti Farkı (kN)	Bekleme dakika
5646	16.09.2008	13600	13100	500	50
5647	16.09.2008	13900	12880	1020	85
5648	16.09.2008	15400	12500	2900	80
5649	16.09.2008	15887	11136	4751	80
5650	16.09.2008	14500	11000	3500	30
5651	16.09.2008	13500	11000	2500	60
5652	16.09.2008	12700	9300	3400	30

Çizelge 6.15: (devam) Ring numarasına göre itme kuvveti başlangıç ve bitiş değerleri ve kazı öncesindeki bekleme zamanları

Ring No:	Tarih	İtme KuvvetiBaşlangıç kN	İtme Kuvveti Bitiş kN	İtme Kuvveti Farkı (kN)	Bekleme dakika
5655	16.09.2008	11000	8000	3000	40
5656	16.09.2008	12000	8900	3100	80
5657	16.09.2008	13000	9500	3500	95
5658	16.09.2008	11500	9500	2000	25
5659	16.09.2008	12000	9100	2900	45
5660	16.09.2008	10000	8500	1500	45
5661	16.09.2008	9800	7900	1900	30
5662	17.09.2008	9000	8200	800	60
5663	17.09.2008	9100	8500	600	35
5664	17.09.2008	14500	11000	3500	390
5665	17.09.2008	12000	10000	2000	45
5666	17.09.2008	13500	12000	1500	215
5667	17.09.2008	14000	11000	3000	60
5668	17.09.2008	13100	11000	2100	55
5669	17.09.2008	12500	10000	2500	60
5670	17.09.2008	13500	13500	0	80
5671	17.09.2008	12000	12000	0	45
5675	21.09.2008	16500	13500	3000	250
5676	21.09.2008	14000	12300	1700	60
5677	21.09.2008	12000	10500	1500	40
5678	21.09.2008	10000	9000	1000	75
5679	21.09.2008	9000	8900	100	40
5680	21.09.2008	8200	7100	1100	30
5681	21.09.2008	8200	7500	700	120
5682	21.09.2008	9200	7100	2100	35
5683	21.09.2008	9000	7200	1800	70
5684	21.09.2008	8900	7800	1100	40
5685	21.09.2008	9000	8600	400	30
5686	21.09.2008	9000	10300	-1300	45
5687	21.09.2008	12000	11300	700	65
5688	21.09.2008	12500	11500	1000	30
5689	21.09.2008	15000	11500	3500	160

Şekil 6.64’de görüldüğü üzere kazı sonrasında bekleme süreleri 60 dakikanın altında olduğu sürece itme kuvvetleri başlangıç ve bitişleri arasında ortalama 1600kN’lık bir fark oluşuyor. 60 dakika üzerindeki bekleme sürelerinde ise bu fark ortalama 2305.07kN olarak hesaplanıyor.

Buradanda rahatlıkla görüleceği üzere bekleme zamanıyla itme kuvveti ihtiyacı arasında bir ilişki söz konusudur. Bekleme süreleri uzadıkça ilk ilerlemeyi gerçekleştirmek için gerekli itme kuvveti artmaktadır, eğer ki bu değer makine kapasitesi üzerinde yer alırsa sıkışma durumunun ortaya çıkması kaçınılmaz bir sonuçtur.



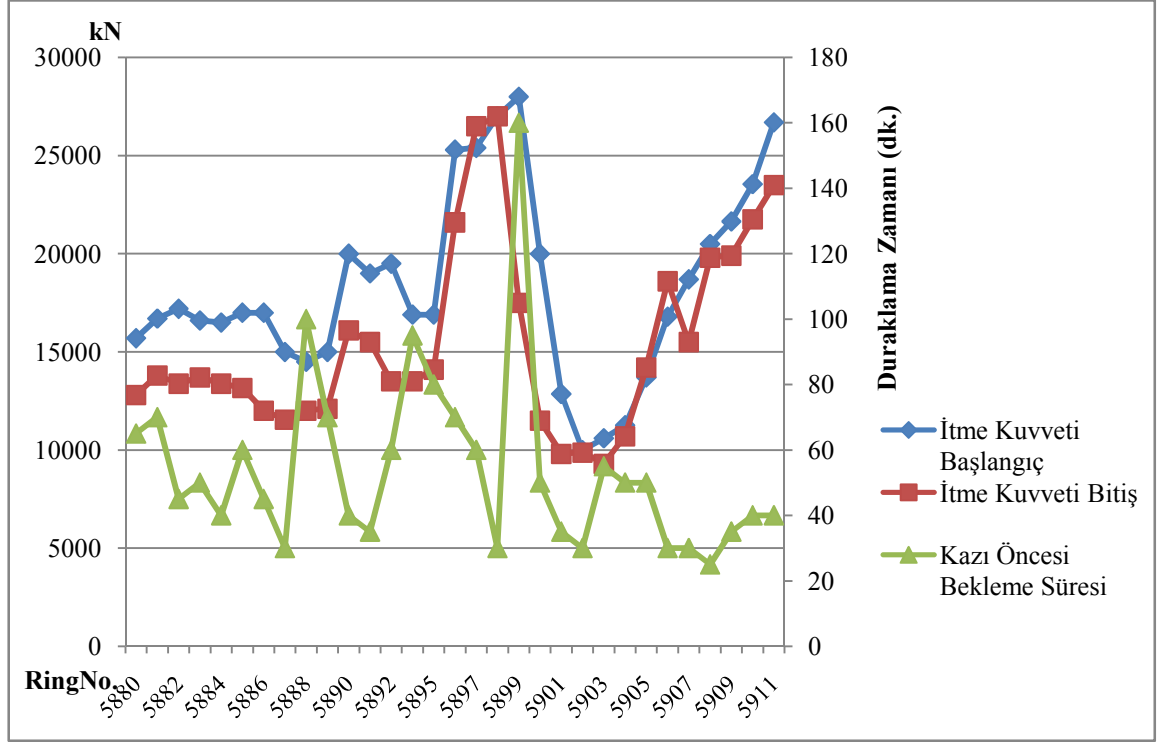
Şekil 6.64. Duraklama Süresine göre başlangıç-bitiş itme kuvveti değerleri

Bir diğ er inceleme ise 7056.m (5880.ring) ve 7093,2 (5911.ring) arasında yapılmıştır. Bu incelemede tün el kazısı sırasında gerç ekleş en 16.sıkış ma olayını da iç ine almaktadır. Ç izelge 6.16’da bu kazılar sırasındaki itme kuvveti değ iş imleri ve bekleme zamanları verilmektedir.

Ç izelge 6.16: Ring numarasına göre itme kuvveti baş langıç ve bitiş değ erleri ve kazı ö ncesindeki bekleme zamanları

Ring No:	Tarih	İtme KuvvetiBaş langıç	İtme Kuvveti Bitiş	İtme Kuvveti	Bekleme
		kN	kN	Farkı (kN)	dakika
5880	29.10.2008	15700	12800	2900	65
5881	29.10.2008	16700	13800	2900	70
5882	29.10.2008	17200	13379	3821	45
5883	29.10.2008	16600	13700	2900	50
5884	29.10.2008	16500	13380	3120	40
5885	29.10.2008	17000	13160	3840	60
5886	29.10.2008	17000	12000	5000	45
5887	29.10.2008	15000	11550	3450	30
5888	29.10.2008	14500	12000	2500	100
5889	29.10.2008	15000	12100	2900	70
5890	29.10.2008	20000	16100	3900	40
5891	29.10.2008	19000	15500	3500	35
5892	29.10.2008	19500	13500	6000	60
5894	29.10.2008	16900	13500	3400	95
5895	29.10.2008	16900	14100	2800	80
5896	30.10.2008	25300	21600	3700	70
5897	30.10.2008	25400	26500	-1100	60
5898	30.10.2008	27000	27000	0	30
5899	10.11.2008	28000	17500	10500	160
5900	10.11.2008	20000	11500	8500	50
5901	10.11.2008	12860	9800	3060	35
5902	10.11.2008	10000	9865	135	30
5903	10.11.2008	10600	9300	1300	55
5904	10.11.2008	11260	10700	560	50
5905	10.11.2008	13700	14200	-500	50
5906	10.11.2008	16800	18600	-1800	30
5907	11.11.2008	18700	15500	3200	30
5908	11.11.2008	20500	19800	700	25
5909	11.11.2008	21650	19900	1750	35
5910	11.11.2008	23550	21750	1800	40
5911	11.11.2008	26700	23500	3200	40

Şekil 6.65'e bakıldığı zaman inceleme verilerinin başlangıcında itme kuvveti başlangıç değerleri ile itme kuvveti kazı bitiş değerleri arasında 3000kNluk bir fark gözükmemektedir ancak hem zeminin sıkışma özelliğinden hem de bekleme sürelerinin artmasından dolayı itme kuvveti ihtiyacı artmaktadır. Bu ve benzeri sıkışan zeminlerde bekleme sürelerinin minimum seviyede tutulması makine sıkışmalarını önleyebileceği görülmektedir.



Şekil 6.65. Duraklama Süresine göre başlangıç-bitiş itme kuvveti değerleri

7. SONUÇLAR

Bursa Uluabat Kuvvet tüneli kazısı 12 Haziran 2006 tarihinde başlamış, 24 Mart 2010 tarihinde 1381 günde tamamlanmıştır. Tünel kazısı sırasında tünel güzergahının jeolojik özelliklerinden dolayı, zeminin şilt üzerine uyguladığı kuvvetler zaman zaman artış göstermiştir. Zeminin şilt üzerine uyguladığı kuvvetlerden biri olan sürtünme kuvveti makinenin ilerleme yönüne ters olarak etki ederek itme kuvvetlerine karşı etki etmektedir. Sürtünme kuvvetinin makine itme kuvvetlerini yenmesi durumunda makine zemin içerisinde sıkışarak ilerleme yapamama durumuna gelmiştir.

Makine şildinin zemin tarafından sıkıştırılması durumunda itme kuvvetleri arttırılmaya çalışıldıysa da bir etki gösterememiş ve makine sıkışmıştır. Sıkışma durumunda makine şildi arkasından elle kazı yapılarak zemin ile şilt arasında bir boşluk yaratılarak ilerleme yapılması sağlanmıştır. Tünel güzergahı boyunca zeminin şildi sıkıştırması durumundan dolayı 18 adet galeri açılmak zorunda kalınmış ve bu galeri kazıları toplam 192 gün sürmüştür. Özellikle mekanize kazı yöntemlerinin en büyük avantajlarından biri olan yüksek ilerleme hızı bu gibi olumsuz olaylardan dolayı sekteye uğrayabilmektedir. Böylesi durumlarda beklèmeler proje bitiş tarihini ileriye atarken aynı zamanda iş gücü ve maliyet yönünden yüklenici firmayı zor duruma sokabilmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen 18 adet sıkışmada zemin şartlarından dolayı makine itme kuvvetlerinin yetersiz kaldığı gözlemlenmiş ve bu durum karşısında şilt sıkışması olaylarının yaşandığı belirlenmiştir. Her sıkışma bölgesinden önceki ve sonraki değerler incelendiğinde makine itme kuvvetlerinin zemin şartlarına göre belirli bir hızla arttığı ortaya konulmuştur. Zeminin makine şildine uyguladığı kuvvetler karşısında itme kuvvetlerinin arttırılmaya başladığı noktadan sıkışma olduğu noktaya kadar incelenen itme kuvvetlerinde ortalama olarak 870,21 kN/metre artış olduğu bulunmuştur. Sıkışmanın gerçekleştiği itme kuvveti değerlerinin ortalaması alındığı zaman 25253,07 kN’da sıkışmanın gerçekleştiği görülmektedir.

Makine itme kuvvetlerinin arttırılmaya başladığı noktadan ortalama olarak 14,2 metre içerisinde makine şildinin tamamen sıkışarak ilerleme yapılamaz duruma geldiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra tork/itme kuvveti oranları incelendiğinde ise sıkışmadan önce ortalama tork/itme kuvvetlerinin sıkışma anındaki tork/itme kuvvetlerinden yüksek olduğu sıkışma anındaki tork/itme kuvvetinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada 18 sıkışmanın gerçekleşmesinden sonra tünel kazısı sırasında şilt ile zemin arasına sabit debi ve basınçta bentonit enjeksiyonu yapıldığı gözlemlenmiştir, bu uygulamayla birlikte itme kuvvetlerinin büyük ölçüde düşüş gösterdiği, kesme derinliği, tork gibi makine verilerinin ortalama değerler içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Bentonit enjeksiyonu ile yapılan kazılar sırasında sıkışan zeminlerle karşı karşıya kalınmasına rağmen her hangi bir sıkışma durumuyla karşı karşıya kalınmadığı belirlenmiştir.

Bentonit enjeksiyonuyla yapılan kazılar sırasındaki verilerden elde edilen itme kuvvetlerine bakıldığı zaman sıkışan zeminlerde 733,33 kN/m itme kuvveti artışı gözlenmesine rağmen makine itme kuvvetlerinin 28600 kN'da yeterli olarak ilerlemenin sağlandığı gözlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda sürekli olarak yapılan bentonit uygulamasının sıkışan zeminlerde makine sıkışma olasılığını azalttığı belirlenmiştir.

Yapılan bir diğer çalışma ise kazı öncesindeki bekleme zamanlarının incelenmesidir. Bu çalışmada bir kazının bitişi ardından segman montajı, boru ve ray montajı, tren bekleme vb. işlerin yapılması karşısında bir sonraki kazıya kadar kaybedilen zaman sonrasında makine kazı başlangıç ve kazı sonu itme kuvvetlerindeki değişim gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda kazı başlangıç ve kazı sonundaki itme kuvvetleri farkları bekleme süresi 60 dakikanın altında olması durumunda büyük farklılıklar gözlenmemiş ancak 60 dakika üzerindeki bekleme süreleriyle kazı başlangıç ve kazı sonundaki itme kuvvetlerinin arasındaki farkların 5000 kN'a kadar çıkabildiği gözlemlenmiştir. Özellikle sıkışan zeminlerdeki incelemelerde 60 dakikayı aşan her hangi bir bekleme durumunda itme kuvvetlerinin artması sonucunda makine sıkışma olasılığının arttığı ve itme kuvveti ihtiyaçlarının yükseldiği ortaya çıkmıştır.

Bu veriler doğrultusunda sıkışan zeminlerde tam cepheli tünel açma makinesiyle yapılan tünel kazılarından itme kuvvetlerindeki değişimlerin ve tork/itme kuvveti oranlarının yakından takip edilerek, bu verilerin ışığında sıkışma öncesinde tedbir alınabileceği belirlenmiştir. Tünel kazısı sırasında itme kuvvetlerindeki artış hızı belirlenirse muhtemel sıkışma dönemlerinde zemin ile şilt arasına bentonit enjeksiyonu uygulanabilir, uygulanıyorsa zemin stabilitesini negatif yönde etkilemeyecek kadar arttırılabilir, bunun yanı sıra çalışanlar uyarılarak iş akışında her hangi bir aksaklığın olmaması için ek tedbirler alınabilir.

Özellikle sıkışan zeminlerle karşı karşıya kalınan bölgelerde iş akışının hayati önemi ortaya çıkmaktadır. Kazı sonrasında zeminin şilt üzerine uyguladığı kuvvetler zamanın bir fonksiyonu olarak artmaktadır, sıkışan zeminlerde bekleme sürelerinin düşürülerek ilerleme hızının arttırılması sıkışma olasılığını azaltacak bir faktördür, bunun dışında itme kuvvetlerinin düzenli takibi ve diğer makine verilerindeki değişimlerin takibiyle birlikte sıkışma dönemlerinin iyi belirlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması hem zaman kayıplarını azaltacak, hem de ortaya çıkacak ek maliyetleri düşürecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **ALGAN, M.** ,2005, Uluabat Kuvvet Tüneli Denge Bacası, Cebri Boru Hattı ve Hes Yeri, Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Değerlendirme Raporu, Değerlendirme Raporu
- [2] **Bilgin, N.,Çopur,H.**,2002. *Mechanization in Mines and Tunnel Excavation* (MAD 412E), İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Lisans Ders Notları.
- [3] **Bilgin, N.** , 1989. *İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [4] **Bilgin,N., Balcı, C.**,2008. *Large Section Lecture Notes*
- [5] **Eintein,H.H., Bobet,A.**,1997, *Mechanized Tunneling in Squeezing Rock-From Basic Thoughts to Continuous Tunneling*
- [6] **Hamidi,J.K., Bejari,H., Shahriar,K.,Rezai,B.**, Assessment of Ground Squeezing and Ground Pressure Imposed on TBM Shield, *International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, 1-6 October,2008 Goa,India.
- [7] **Hekimoğlu,O.Z., Fowell,R.J.**, 1988. Bomlu Kazı Makinalarının Temel Özellikleri ve Seçimleri, *Kömür Kongresi*, Zonguldak, s.29-52.
- [8] **Pakes.,G.**, 1991. Selection of Methods, *World Tunnelling*, 4 no:9,November.
- [9] **Herrenknecht Group**, Schwanau Almanya, Ürün Özellikleri, Alıntı Tarihi: 26.04.2010, İnternet Adresi : www.herrenknecht.com/products/tunnel-boring-machines/traffic-tunnelling/epb-shield.html
- [10] **Robbins Company**, Solon, Ohio Amerika Birleşik Devletleri, Ürün Özellikleri, Alıntı tarihi: 26.04.2010,İnternet Adresi: www.therobbinscompany.com/products/
- [11] **Aker Solutions Company**, Erkelenz, Almanya, Slurry Shield Tunnel Boring Machines, Alıntı Tarihi: 26.04.2010,İnternet Adresi: www.wirth-erkelenz.de/index.php?id=227

Ekler

Ek A.1 Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği		
		kNm	kN	mm/rev	SE	Tork/İtme Kuvveti
5940	7143,6	100,00	21920,00	1,12	7,80	0,0046
5953	7159,2	320,00	21922,00	7,49	3,72	0,0146
5954	7160,4	250,00	11343,00	2,02	10,76	0,0220
5955	7161,6	260,00	6572,00	3,90	5,81	0,0396
5956	7162,8	450,00	6982,00	9,66	4,06	0,0645
5957	7164	470,00	9203,00	8,13	5,04	0,0511
5958	7165,2	400,00	9857,00	7,92	4,40	0,0406
5959	7166,4	400,00	11643,00	6,38	5,47	0,0344
5960	7167,6	540,00	11538,00	7,64	6,16	0,0468
5965	7173,6	610,00	10605,00	7,95	6,68	0,0575
5966	7174,8	510,00	10582,00	8,12	5,47	0,0482
5967	7176	460,00	10870,00	8,02	5,00	0,0423
5968	7177,2	350,00	14773,00	7,68	3,97	0,0237
5986	7198,8	410,00	15225,00	7,85	4,55	0,0269
5987	7200	310,00	14979,00	8,63	3,13	0,0207
5988	7201,2	420,00	14761,00	0,74	49,26	0,0285
5989	7202,4	520,00	13099,00	7,91	5,73	0,0397
5990	7203,6	640,00	12421,00	6,84	8,15	0,0515
5991	7204,8	680,00	11585,00	8,25	7,18	0,0587
6003	7219,2	550,00	11085,00	7,64	6,27	0,0496
6004	7220,4	340,00	11271,00	7,84	3,78	0,0302
6005	7221,6	410,00	10828,00	7,88	4,53	0,0379
6006	7222,8	510,00	11280,00	8,79	5,06	0,0452
6007	7224	630,00	11635,00	8,70	6,31	0,0541
6008	7225,2	610,00	10203,00	8,68	6,12	0,0598
6009	7226,4	500,00	10986,00	8,22	5,30	0,0455
6010	7227,6	660,00	10392,00	8,79	6,54	0,0635
6011	7228,8	790,00	10315,00	7,58	9,08	0,0766
6012	7230	700,00	10464,00	6,91	8,82	0,0669
6013	7231,2	700,00	11283,00	8,11	7,52	0,0620
6014	7232,4	520,00	10738,00	8,26	5,49	0,0484
6015	7233,6	510,00	11548,00	7,94	5,59	0,0442
6016	7234,8	600,00	12207,00	7,89	6,63	0,0492
6017	7236	450,00	13468,00	7,33	5,35	0,0334
6018	7237,2	570,00	11589,00	8,07	6,16	0,0492
6019	7238,4	600,00	10565,00	8,23	6,35	0,0568
6020	7239,6	620,00	10606,00	7,86	6,87	0,0585
6021	7240,8	630,00	10343,00	7,53	7,29	0,0609
6022	7242	430,00	8721,00	3,74	10,02	0,0493

Ek A.1 (devam) Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği		
		kNm	kN	mm/rev	SE	Tork/İtme Kuvveti
6026	7246,8	420,00	10254,00	7,23	5,06	0,0410
6027	7248	710,00	10525,00	1,80	34,44	0,0675
6042	7266	450,00	9824,00	7,62	5,15	0,0458
6043	7267,2	490,00	9018,00	7,41	5,76	0,0543
6044	7268,4	410,00	8221,00	7,48	4,77	0,0499
6045	7269,6	480,00	7470,00	7,81	5,35	0,0643
6047	7272	420,00	6646,00	6,66	5,50	0,0632
6048	7273,2	510,00	7479,00	2,86	15,53	0,0682
6049	7274,4	800,00	8829,00	7,03	9,92	0,0906
6050	7275,6	700,00	8743,00	7,08	8,62	0,0801
6051	7276,8	650,00	9801,00	3,86	14,68	0,0663
6052	7278	660,00	9361,00	7,79	7,38	0,0705
6053	7279,2	650,00	9882,00	7,71	7,35	0,0658
6054	7280,4	200,00	9498,00	5,59	3,12	0,0211
6055	7281,6	200,00	11869,00	6,02	2,89	0,0169
6058	7285,2	250,00	10304,00	7,41	2,94	0,0243
6059	7286,4	450,00	10278,00	7,67	5,11	0,0438
6060	7287,6	720,00	11054,00	7,58	8,28	0,0651
6061	7288,8	530,00	9952,00	7,57	6,10	0,0533
6062	7290	510,00	9296,00	7,94	5,60	0,0549
6063	7291,2	710,00	8877,00	7,72	8,01	0,0800
6064	7292,4	530,00	10633,00	3,12	14,82	0,0498
6075	7305,6	300,00	15177,00	1,55	16,86	0,0198
6076	7306,8	530,00	14887,00	7,48	6,17	0,0356
6077	7308	540,00	14457,00	6,69	7,04	0,0374
6078	7309,2	660,00	15213,00	3,66	15,73	0,0434
6079	7310,4	570,00	17103,00	6,94	7,15	0,0333
6080	7311,6	380,00	16491,00	7,57	4,38	0,0230
6081	7312,8	440,00	15818,00	3,73	10,27	0,0278
6082	7314	410,00	14033,00	7,51	4,76	0,0292
6083	7315,2	380,00	13167,00	7,88	4,20	0,0289
6084	7316,4	390,00	12967,00	8,00	4,25	0,0301
6089	7322,4	280,00	14265,00	7,01	3,48	0,0196
6090	7323,6	400,00	13098,00	3,39	10,28	0,0305
6092	7326	620,00	13361,00	6,37	8,48	0,0464
6093	7327,2	660,00	14388,00	6,79	8,47	0,0459
6094	7328,4	400,00	18930,00	1,51	23,04	0,0211
6095	7329,6	200,00	21678,00	3,52	4,96	0,0092
6096	7330,8	260,00	21186,00	7,00	3,24	0,0123

Ek A.1 (devam) Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği		
		kNm	kN	mm/rev	SE	Tork/İtme Kuvveti
6099	7334,4	240,00	18443,00	7,07	2,96	0,0130
6100	7335,6	410,00	18535,00	7,67	4,66	0,0221
6101	7336,8	630,00	20369,00	8,23	6,67	0,0309
6102	7338	610,00	19611,00	4,05	13,14	0,0311
6103	7339,2	520,00	15947,00	7,97	5,69	0,0326
6104	7340,4	450,00	13613,00	7,65	5,13	0,0331
6105	7341,6	530,00	12575,00	7,58	6,09	0,0421
6106	7342,8	310,00	12787,00	6,60	4,10	0,0242
6107	7344	450,00	12072,00	8,24	4,76	0,0373
6108	7345,2	420,00	10682,00	3,64	10,05	0,0393
6109	7346,4	530,00	11668,00	7,47	6,19	0,0454
6110	7347,6	480,00	11117,00	7,17	5,83	0,0432
6111	7348,8	270,00	11724,00	6,52	3,61	0,0230
6112	7350	340,00	11189,00	7,47	3,97	0,0304
6113	7351,2	300,00	10334,00	7,64	3,42	0,0290
6114	7352,4	290,00	9875,00	6,70	3,77	0,0294
6115	7353,6	470,00	9632,00	8,50	4,82	0,0488
6116	7354,8	460,00	10839,00	4,35	9,21	0,0424
6117	7356	330,00	14429,00	6,36	4,52	0,0229
6118	7357,2	350,00	14734,00	6,56	4,65	0,0238
6119	7358,4	330,00	15355,00	6,70	4,29	0,0215
6120	7359,6	330,00	15278,00	7,01	4,10	0,0216
6121	7360,8	320,00	15801,00	7,34	3,80	0,0203
6122	7362	250,00	15236,00	6,69	3,26	0,0164
6123	7363,2	290,00	14099,00	3,61	7,01	0,0206
6124	7364,4	580,00	12493,00	2,53	19,99	0,0464
6125	7365,6	530,00	9873,00	8,28	5,58	0,0537
6126	7366,8	600,00	8382,00	8,43	6,20	0,0716
6127	7368	740,00	7596,00	8,27	7,80	0,0974
6128	7369,2	590,00	7147,00	8,12	6,33	0,0826
6129	7370,4	520,00	7204,00	7,40	6,12	0,0722
6153	7399,2	370,00	7773,00	7,16	4,51	0,0476
6157	7404	390,00	15818,00	5,69	5,97	0,0247
6158	7405,2	430,00	19107,00	5,69	6,59	0,0225
6159	7406,4	590,00	23511,00	5,86	8,78	0,0251
6160	7407,6	600,00	25879,00	5,79	9,03	0,0232
6161	7408,8	310,00	27231,00	2,50	10,82	0,0114
6162	7410	290,00	27463,00	4,44	5,70	0,0106
6163	7411,2	200,00	27210,00	4,54	3,84	0,0074

Ek A.1 (devam) Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği		
		kNm	kN	mm/rev	SE	Tork/İtme Kuvveti
6166	7414,8	490,00	20875,00	6,68	6,40	0,0235
6167	7416	460,00	19968,00	6,28	6,39	0,0230
6168	7417,2	470,00	18427,00	3,59	11,40	0,0255
6169	7418,4	490,00	21801,00	7,10	6,01	0,0225
6170	7419,6	450,00	21973,00	7,67	5,11	0,0205
6172	7422	480,00	20916,00	6,94	6,03	0,0229
6173	7423,2	540,00	22107,00	7,75	6,07	0,0244
6174	7424,4	450,00	22322,00	7,09	5,53	0,0202
6175	7425,6	460,00	20034,00	6,46	6,20	0,0230
6176	7426,8	770,00	19780,00	3,55	18,90	0,0389
6177	7428	640,00	18860,00	7,76	7,19	0,0339
6178	7429,2	490,00	14075,00	2,43	17,56	0,0348
6179	7430,4	430,00	11731,00	6,12	6,12	0,0367
6180	7431,6	600,00	12121,00	3,17	16,47	0,0495
6181	7432,8	540,00	12442,00	6,81	6,90	0,0434
6188	7441,2	400,00	7847,00	7,00	4,98	0,0510
6200	7455,6	450,00	8278,00	7,75	5,06	0,0544
6201	7456,8	340,00	5144,00	7,29	4,07	0,0661
6202	7458	350,00	4629,00	7,08	4,31	0,0756
6203	7459,2	370,00	4716,00	7,43	4,34	0,0785
6204	7460,4	370,00	5058,00	7,37	4,38	0,0732
6205	7461,6	500,00	5671,00	7,40	5,89	0,0882
6206	7462,8	720,00	8203,00	1,83	34,19	0,0878
6219	7478,4	670,00	8282,00	6,96	8,39	0,0809
6220	7479,6	690,00	6610,00	7,32	8,21	0,1044
6221	7480,8	510,00	5550,00	6,47	6,87	0,0919
6222	7482	500,00	5120,00	3,31	13,17	0,0977
6223	7483,2	480,00	4627,00	5,80	7,21	0,1037
6224	7484,4	550,00	4939,00	6,23	7,69	0,1114
6225	7485,6	390,00	4138,00	1,89	17,95	0,0942
6226	7486,8	370,00	4256,00	6,74	4,78	0,0869
6227	7488	380,00	4410,00	6,91	4,79	0,0862
6234	7496,4	880,00	4967,00	6,19	12,40	0,1772
6235	7497,6	820,00	4700,00	6,88	10,39	0,1745
6236	7498,8	820,00	4458,00	3,54	20,19	0,1839
6289	7562,4	710,00	3978,00	3,54	17,47	0,1785
6290	7563,6	830,00	5590,00	6,56	11,03	0,1485
6291	7564,8	940,00	12006,00	6,94	11,80	0,0783
6297	7572	1030,00	11695,00	6,56	13,68	0,0881

Ek A.1 (devam) Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği		
		kNm	kN	mm/rev	SE	Tork/İtme Kuvveti
6300	7575,6	840,00	12017,00	7,21	10,16	0,0699
6301	7576,8	930,00	11968,00	7,36	11,01	0,0777
6302	7578	890,00	10919,00	7,59	10,22	0,0815
6303	7579,2	760,00	10178,00	5,82	11,37	0,0747
6304	7580,4	860,00	9564,00	5,70	13,14	0,0899
6305	7581,6	940,00	10081,00	6,06	13,52	0,0932
6306	7582,8	980,00	8067,00	2,87	29,75	0,1215
6348	7633,2	1040,00	7559,00	6,64	13,64	0,1376
6349	7634,4	980,00	7614,00	7,84	10,89	0,1287
6350	7635,6	1180,00	7298,00	6,50	15,82	0,1617
6351	7636,8	1170,00	7730,00	6,01	16,96	0,1514
6352	7638	1250,00	7878,00	6,41	17,00	0,1587
6353	7639,2	1340,00	6986,00	6,72	17,36	0,1918
6354	7640,4	1120,00	6398,00	6,26	15,59	0,1751
6355	7641,6	950,00	5606,00	6,24	13,27	0,1695
6356	7642,8	830,00	4949,00	6,42	11,27	0,1677
6357	7644	580,00	4899,00	5,24	9,64	0,1184
6358	7645,2	820,00	4781,00	4,72	15,15	0,1715
6359	7646,4	1000,00	5681,00	4,32	20,19	0,1760
6360	7647,6	900,00	5064,00	3,98	19,72	0,1777
6361	7648,8	840,00	4832,00	2,72	26,87	0,1738
6363	7651,2	720,00	4979,00	5,98	10,48	0,1446
6364	7652,4	980,00	5682,00	6,30	13,54	0,1725
6380	7671,6	860,00	4796,00	0,85	87,98	0,1793
6381	7672,8	1600,00	3606,00	8,97	15,55	0,4437
6382	7674	2340,00	3784,00	7,21	28,26	0,6184
6383	7675,2	260,00	4018,00	3,58	6,32	0,0647
6384	7676,4	290,00	4621,00	8,13	3,11	0,0628
6385	7677,6	320,00	4500,00	7,02	3,97	0,0711
6436	7738,8	400,00	4464,00	3,60	9,68	0,0896
6437	7740	250,00	6402,00	3,60	6,05	0,0391
6340	7623,6	210,00	6317,00	5,91	3,10	0,0332
6341	7624,8	2120,00	6837,00	6,75	27,39	0,3101
6342	7626	1160,00	4994,00	2,49	40,63	0,2323
6343	7627,2	470,00	4569,00	3,50	11,70	0,1029
6344	7628,4	1360,00	4669,00	4,05	29,23	0,2913
6532	7854	350,00	4434,00	3,69	8,26	0,0789
6533	7855,2	380,00	4590,00	8,26	4,01	0,0828
6534	7856,4	450,00	4608,00	7,89	4,97	0,0977

Ek A.1 (devam) Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği		
		kNm	kN	mm/rev	SE	Tork/İtme Kuvveti
6537	7860	570,00	5024,00	7,17	6,93	0,1135
6538	7861,2	450,00	4896,00	6,33	6,19	0,0919
6539	7862,4	420,00	4650,00	6,11	5,99	0,0903
6540	7863,6	400,00	4445,00	1,58	22,00	0,0900
6541	7864,8	380,00	3777,00	6,51	5,09	0,1006
6542	7866	590,00	3718,00	5,29	9,72	0,1587
6543	7867,2	510,00	5026,00	3,99	11,15	0,1015
6544	7868,4	480,00	4105,00	7,85	5,33	0,1169
6545	7869,6	580,00	3965,00	8,12	6,23	0,1463
6546	7870,8	580,00	4503,00	8,67	5,83	0,1288
6547	7872	470,00	4710,00	8,43	4,86	0,0998
6548	7873,2	500,00	5069,00	7,61	5,72	0,0986
6549	7874,4	880,00	6079,00	4,06	18,90	0,1448
6550	7875,6	430,00	6198,00	8,33	4,50	0,0694
6551	7876,8	380,00	6569,00	8,47	3,91	0,0578
6552	7878	480,00	6660,00	9,02	4,63	0,0721
6553	7879,2	880,00	6549,00	8,33	9,20	0,1344
6559	7886,4	990,00	7387,00	3,85	22,39	0,1340
6560	7887,6	740,00	7512,00	7,97	8,09	0,0985
6561	7888,8	450,00	6960,00	7,69	5,10	0,0647
6563	7891,2	590,00	6375,00	7,18	7,16	0,0925
6564	7892,4	570,00	5979,00	8,17	6,08	0,0953
6565	7893,6	600,00	5447,00	3,78	13,84	0,1102
6566	7894,8	720,00	5112,00	7,51	8,36	0,1408
6567	7896	680,00	4779,00	8,25	7,18	0,1423
6568	7897,2	640,00	4359,00	3,79	14,73	0,1468
6569	7898,4	800,00	4798,00	8,07	8,64	0,1667
6570	7899,6	720,00	4901,00	7,27	8,63	0,1469
6571	7900,8	730,00	4933,00	6,87	9,26	0,1480
6575	7905,6	630,00	5047,00	7,40	7,42	0,1248
6576	7906,8	550,00	6283,00	6,91	6,93	0,0875
6578	7909,2	650,00	7050,00	7,25	7,82	0,0922
6579	7910,4	600,00	5812,00	7,09	7,38	0,1032
6580	7911,6	710,00	6398,00	7,40	8,36	0,1110
6581	7912,8	630,00	6296,00	7,53	7,30	0,1001
6582	7914	600,00	6256,00	3,76	13,91	0,0959
6583	7915,2	600,00	5359,00	7,26	7,21	0,1120
6584	7916,4	740,00	4973,00	8,00	8,06	0,1488
6585	7917,6	670,00	4140,00	8,33	7,01	0,1618

Ek A.1 (devam) Bentonit Enjeksiyonu ile yapılan kazılardaki makine değerleri

Ring No:	Tünel Km	Tork	İtme Kuvveti	Kesme Derinliği		
		kNm	kN	mm/rev	SE	Tork/İtme Kuvveti
6588	7921,2	680,00	3897,00	8,39	7,06	0,1745
6589	7922,4	650,00	4041,00	3,86	14,68	0,1609
6594	7928,4	660,00	4249,00	6,67	8,63	0,1553
6595	7929,6	760,00	4406,00	6,36	10,41	0,1725
6596	7930,8	790,00	4042,00	2,69	25,56	0,1954
6597	7932	690,00	4493,00	6,79	8,85	0,1536
6598	7933,2	740,00	4412,00	7,59	8,50	0,1677
6599	7934,4	600,00	4512,00	7,67	6,82	0,1330
6600	7935,6	620,00	3972,00	3,83	14,09	0,1561
6601	7936,8	550,00	4334,00	6,87	6,98	0,1269
6602	7938	660,00	4629,00	7,58	7,58	0,1426
6603	7939,2	650,00	5812,00	3,44	16,48	0,1118
6607	7944	620,00	5855,00	7,50	7,20	0,1059
6608	7945,2	550,00	4870,00	7,28	6,58	0,1129
6609	7946,4	720,00	4928,00	7,25	8,66	0,1461
6611	7948,8	730,00	4899,00	3,83	16,60	0,1490
6613	7951,2	840,00	4901,00	7,07	10,36	0,1714
6614	7952,4	830,00	4113,00	8,13	8,90	0,2018
6615	7953,6	700,00	3854,00	7,50	8,13	0,1816
6616	7954,8	720,00	3630,00	7,16	8,77	0,1983
6617	7956	570,00	3956,00	6,78	7,33	0,1441
6618	7957,2	600,00	4013,00	7,50	6,97	0,1495
6619	7958,4	650,00	4314,00	7,51	7,54	0,1507
6620	7959,6	720,00	3804,00	7,77	8,08	0,1893
6621	7960,8	900,00	4099,00	8,41	9,33	0,2196
6622	7962	680,00	3792,00	7,37	8,04	0,1793
6623	7963,2	680,00	3574,00	2,39	24,80	0,1903
6624	7964,4	730,00	3618,00	7,61	8,35	0,2018
6625	7965,6	640,00	3943,00	3,73	14,95	0,1623
6628	7969,2	650,00	4072,00	7,62	7,43	0,1596

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: EREN CANER

Doğum Yeri ve Tarihi: ANKARA, 11.TEMMUZ.1985

Adres: SEDAT SİMAVİ SOK. 62/13 ÇANKAYA/ANKARA

Lisans Üniversitesi: İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Yayın Listesi:

- “ Bursa Uluabat Kuvvet Tünelinde Çalışmakta Olan Tam Cepheli Tünel Açma Makinesinin Performans Analizi”,2008 Haziran, Lisans Bitirme Tezi.