

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BEYKOZ-PAŞABAHÇE ATIKSU TÜNEL İNŞAATI SIRASINDA MEYDANA
GELEN YERYÜZÜ OTURMALARININ JEOİSTATİKSEL YÖNTEMLE
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahu ÜNSAL
(505081008)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU
(İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen ve bana yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Hakan Tunçdemir'e , kıymetli hocalarım . Prof. Dr. Nuh Bilgin ve Mak. Yük. Müh. Mustafa Akgül'e Arş. Gör. Murat Özkan'a, Proje Müdürü Zafer Güçlücan, Şantiye Şefi Sermet Meriç, Saha Mühendisi İdris Güney ve Harita Mühendisi Ömer Bolat'a meslektaşlarım Maden Yük. Müh. Burak Gürkan ve Maden Yük. Müh. Mahir Akyol'a teşekkür ederim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca bana destek olan sevgili anneme, kıymetli babama ve hep yanımda olan ablam Mak. Müh. Nihan Ünsal'a en derin saygı ve sevgilerimi sunarım.

Haziran 2011

Ahu ÜNSAL
Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Projenin Tanıtımı.....	1
1.2 Proje Alanı Jeolojisi.....	3
1.3 Yer Bulduru Haritası.....	4
2.TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ.....	5
2.1 Konvansiyonel Yöntemler.....	5
2.2 Tünel Açma Makineleri İle Tünel Açma.....	6
2.3 Projede Kullanılan Makine Ve Teknik Özellikleri.....	7
3. TÜNELLERDE BEKLENEN OTURMALAR.....	11
3.1 Tünele Etkiyen Kuvvetler.....	11
3.2 Oturma Tahmini.....	12
4.BEYKOZ-PAŞABAĞÇE ATIKSU TÜNELİNDE OLUŞAN OTURMALAR.....	15
4.1 Bölgeye Ait Ölçüm Noktaları Ve Oturma Değerleri.....	15
4.2 Ölçümlerde Kullanılan Alet Ve Teknikler.....	20
5. JEOİSTATİSTİK KAVRAMI.....	23
5.1 Tanımlayıcı İstatistik.....	24
5.2 Variogram.....	26
5.3 Variogram Model Seçimi.....	29
5.3.1 Silli modeller.....	29
5.3.1.1 Küresel model.....	29
5.3.1.2 Üssel model.....	30
5.3.1.3 Gauss modeli.....	31
5.3.2 Silsiz modeller.....	32
5.3.2.1 Doğrusal model.....	32
5.4 Kriging.....	34
5.5 Sonuçlar.....	42
6. TASMAN SONRASI ÖLÇÜLEN VERİLERİN JEOİSTATİSTİKSEL ANALİZİ MODELLENMESİ VE MEYDANA GELEN OTURMALARDAN HAREKETLE HACİM DEĞİŞİMLERİNİN HESAPLANMASI.....	43
6.1 Noktaların Seçimi Ve Ölçüm Verilerinin Kaydı.....	44
6.2 Gs+ Programı İle Verilerin Analizi.....	45
6.3 Micromine Programında Gs+'dan Elde Edilen Kriging Verileriyle Yüzey Modellemesi.....	46

6.4 Micromine’da Verilerin Analizi.....	47
6.5 Teorik Bir Örnek.....	51
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR.....	59
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

TBM	: Tünel Açma Makinesi (Tunnel Boring Machine)
EPB	: Arazi basıncını destekleyerek kazı yapan tunnel açma makinası (Earth Pressure Balance)
rpm	: Devir/dakika (Rotation Per Minute)
CCS	: Kör uçlu disk keski (Constant Cross Section Disk)
Gs+	: Doğa bilimleri için jeoistatikselsel yazılım (Geostatistics For The Environmental Sciences)
Micromine	: Madencilik Yazılımı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Projede yer alan yapılar ve boyutları.....	2
Çizelge 1.2 : Proje Alanının Stratigrafisi.....	3
Çizelge 2.1 : TBM'in teknik özellikleri.....	8
Çizelge 4.1 : S6 Şaftı B20-B28 Arası Oturma Değerleri.	16
Çizelge 4.2 : S6 Şaftı B2-B9 Arası Oturma Değerleri.....	17
Çizelge 4.3 : S8 Şaftı Oturma Değerleri.....	18
Çizelge 5.1 : Kalorifik Değerin Tanımlayıcı İstatistik Değerleri.....	26
Çizelge 5.2 : Mesafeye bağlı olarak variogram fonksiyonu değerlerinin değişimi.....	29
Çizelge 5.3 : Örneklenmiş noktalarla bilinmeyen nokta arasındaki variogram fonksiyonu eşitlikleri.....	36
Çizelge 5.4 : Demir madeni için oluşturulan denklem kümesi.....	36
Çizelge 5.5 : Mesafe matrisi.....	38
Çizelge 5.6 : Hesaplanan değerler matrisi.....	38
Çizelge 5.7 : Hesaplanmış küresel variogram değerlerinin denklemlerde gösterimi.....	38
Çizelge 5.8 : A matrisi.....	39
Çizelge 5.9 : B bilinmeyen ağırlık matrisi ve C matrisi.....	39
Çizelge 5.10 : A matrisinin tersi.....	39
Çizelge 5.11 : K matrisi.....	40
Çizelge 5.12 : MesafeninTersi yöntemiyle bulunan $z^*(x_0)$ değeri	40
Çizelge 6.1 : S8 Şaftına ait X. Y ve değişen Z değerleri.....	44
Çizelge 6.2 : S6 Şaftına ait X. Y ve değişen Z değerleri.....	44
Çizelge 6.3 : S8 şaftına ait hesaplanan küm. Hacimsel oturma miktarları.....	47
Çizelge 6.4 : S6 şaftına ait hesaplanan küm. Hacimsel oturma miktarları.....	47
Çizelge 6.5 : S6 şaftına ait hesaplanan küm. Hacimsel oturma miktarları.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kavacık-Paşabahçe Beykoz atık su tüneli ve bağlantıları inşaatı.....	1
Şekil 1.2 : Beykoz-Paşabahçe atıksu tüneli inşaatı yer bulduru haritası.....	4
Şekil 2.1 : Tipik Bir Tünel Açma Makinesi.....	7
Şekil 2.2 : TBM'in montajı yapılmadan önceki görüntüsü.....	8
Şekil 3.1 : Tünele etkiyen kuvvetler.....	11
Şekil 3.2 : P1 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen oturma.....	11
Şekil 3.3 : P2 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen oturma.....	12
Şekil 3.4 : Üst yüzey oturmalarının Gauss hata fonksiyon eğrisi ile belirlenmesi.....	13
Şekil 3.5 : Gauss oturma eğrisi.....	14
Şekil 4.1 : S8 şaftı ölçüm noktaları.....	15
Şekil 4.2 : S6 şaftı ölçüm noktaları.....	16
Şekil 4.3 : S6 şaftı B ₂ -B ₉ ölçüm nok. oturmaların zamana bağlı grafiği.....	19
Şekil 4.4 : S6 şaftı B ₂₀ -B ₂₉ ölçüm nok. oturmaların zamana bağlı grafiği.....	20
Şekil 4.5 : S8 şaftı B ₁ -B ₈ ölçüm noktalarındaki oturmaların zamana bağlı grafiği.....	20
Şekil 4.6 : Nivelman Aleti.....	21
Şekil 5.1 : Kullanılan yöntem akım şeması.....	23
Şekil 5.2 : Kömür verileri dağılımı.....	25
Şekil 5.3 : Kömür verileri sıklık grafiği.....	25
Şekil 5.4 : Bir demir madeni tenör dağılım haritası.....	27
Şekil 5.5 : Kuzeydoğu-güneybatı yönünde örneklenmiş veri çiftleri sayısı.....	28
Şekil 5.6 : Veri çiftlerinin Z değerleri arasındaki farkların karelerinin hesabı.....	28
Şekil 5.7 : Küresel model.....	30
Şekil 5.8 : Üssel model.....	31
Şekil 5.9 : Gauss modeli.....	31
Şekil 5.10 : Doğrusal model.....	32
Şekil 5.11 : Demir madeni dağılımı.....	33
Şekil 5.12 : Küresel modele uygun variogram fonksiyon grafiği.....	33
Şekil 5.13 : Variogram fonksiyonu parametreleri.....	33
Şekil 5.14 : Kriging işleminde ele alınan noktalar ve hesaplanacak nokta.....	35
Şekil 5.15 : Demir madeni tenör değerlerinin 3 boyutlu dağılımı.....	41
Şekil 6.1 : Uygulanan metod.....	43
Şekil 6.2 : S6 şaftı bina ölçüm noktaları, tünel güzergahı.....	45
Şekil 6.3.: S8 şaftı bina ölçüm noktaları, tünel güzergahı.....	45
Şekil 6.4 : S8 şaftı için Micromine programında ilk ve son sünler arasında oluşturulan yüzey model.....	48
Şekil 6.5 : S8 şaftı için Gs+ programından elde edilen kriging verileriyle, Micromine'da ilk ve son günler arasında oluşturulan yüzey model.....	48
Şekil 6.6 : S8 şaftı için kriging verisi ve Micromine'da üçgenleme yöntemiyle elde edilen modellere ait kümülatif oturma miktarları ile kümülatif gün aralığı arasındaki ilişki.....	49

Şekil 6.7 : S6 shaftı için Micromine programında ilk ve son günler arasında oluşturulan yüzey model.....	49
Şekil 6.8 : S6 shaftı için Gs+ programından elde edilen kriging verileriyle, Micromine’da ilk ve son günler arasında oluşturulan yüzey model.....	50
Şekil 6.9 : S6 shaftı için kriging verisi ve Micromine’da üçgenleme yöntemiyle elde edilen modellere ait kümülatif oturma miktarları ile kümülatif gün aralığı arasındaki ilişki.....	50
Şekil 6.10 : İlk durum için kriging verileriyle Gs+’da yapılan çökme topoğrafyası.....	52
Şekil 6.11 : Son durum için kriging verileriyle Gs+’da yapılan çökme topoğrafyası.....	52
Şekil 6.12 : Çökme teknesinin Autocad’de görünümü.....	53
Şekil 6.13 : Çökme teknesinin üstten görünümü.....	54
Şekil 6.14 : İlk duruma ait Micromine’da oluşturulan yüzey model.....	55
Şekil 6.15 : Son duruma ait Micromine’da oluşturulan yüzey model.....	55
Şekil 6.16 : Micromine’da oluşturulan ilk ve son duruma ait kesit görünüm.....	55

SEMBOL LİSTESİ

S_{max}	: Çökme teknesinin merkezi ve tünel eksenini üzerindeki en büyük oturma değeri
S	: Tünel ekseninden x mesafesi kadar uzaklaşıldığında meydana gelen yüzey oturması
V_I	: Yer değiştiren zemin kütlelerinin hacmi
S	: x mesafesindeki yüzey oturması
V_s	: Hacim kaybı parametresi
D	: Tünel daire çapı
N	: Hesaplama ele alınan çift sayısı
C	: Sill (Eşik değeri)
C_0	: Külçe etkisi,
a	: Etki mesafesi
h_t	: İki örnek arası mesafe
ε	: Tahmin hatası
$KrgD$: Kriging verisinden hesaplanan hacimsel oturma miktarı
$CVKrgD$: $KrgD$ ' nin kümülatif değeri
$MicTr$: Micromine yardımıyla hesaplanan hacimsel oturma miktarı
$CVMicTr$: $MicTr$ 'nin kümülatif değeri
CDI	: Kümülatif gün aralığı
$\gamma(h)$: Variogram fonksiyonu

BEYKOZ-PAŞABAHÇE ATIKSU TÜNEL İNŞAATI SIRASINDA MEYDANA GELEN YERYÜZÜ OTURMALARININ JEOİSTATİKSEL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Tünel projeleri günlük hayatın içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu tünel projelerinden sorumlu mühendisler için tünel kazısı sırasında oluşan yüzey oturmaları her zaman önemli bir sorun teşkil etmektedir. Büyük kentlerde bu yer altı projeleri (tüneller, metrolar) kent içinde yoğunlukla yoğun yerleşim bölgelerinden geçmek zorunda kalmaktadır. Yoğun yerleşim yerlerinden geçerken yeraltı yapılarının inşaatı ve işletmesi sırasında civar yapılar üzerindeki etkilerinin önceden belirlenmesi olası bir felaketi önlemek açısından gerekli olup aletsel gözlemler yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Kentlerde tüneller ve derin kazıların inşası sırasında jeolojik ortamda ve komşu yapılarda oluşan hareketlerin aletsel gözlemler ile izlenmesi ve alınan ölçümlerin irdelenerek kazı yapılan ortamın ve civar yapıların davranışının belirlenmesi, inşaat sırasında ve sonrasında ortaya çıkabilecek zarar ve felaketlerin önceden kestirilmesi ve uygun önlemler alınması açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Modern jeostatistik yöntemler topoğrafyanın değerlendirilmesinde, zemindeki yapısal değişimi modellemekle birlikte, tahmin sonucunda hata miktarını da vermektedir, ayrıca hesaplama sonucunda hata oranını göstererek tahminin güvenilirliği hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada, jeostatistiksel yöntemler kullanılarak Beykoz-Paşabahçe atıksu tüneli inşaatı sırasında ölçülen oturma değerlerinin yardımıyla sahanın modellenmesi ve yüzey oturmaları sonucu meydana gelen hacim değişimlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçla Gs+ programı kullanılarak kriging yöntemi ile bölgelere ait üç boyutlu oturma topoğrafyaları oluşturulmuştur.

Ayrıca, oluşturulan üç boyutlu modeller yardımıyla muhtemel oturma miktarları hesaplanmış, bunların aletsel gözlem ile belirlenen oturma miktarlarıyla tutarlılık gösterdiği gözlemlenmiş ve yine buna bağlı olarak variogramları oluşturulan bölgeler için hacim değişim miktarları hesaplanmıştır.

Daha sonra, literatürdeki gauss çökme prensibinden yararlanılarak teorik bir model oluşturulmuştur ve hem Autocad hem de Micromine yazılımında haritalandırılmıştır. Teorik modelin ilk ve son durumda ki yüzey topoğrafyası Gs+'da kriging yapılarak oluşturuldu, bu topoğrafya ile Micromine'da yapılan yüzey model in hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada Gs+ ve Micromine'da çizilen oturma haritalarından hacim kayıpları hesaplanmış olup, kriging verisi oluşturabilen herhangi bir jeostatistik yazılımı ile de veri oluşturulabileceği unutulmamalıdır.

THE GEOSTATISTICAL EVALUATION OF SURFACE SETTLEMENTS FROM SURVEYING DATA IN BEYKOZ-PAŞABAHÇE SEWERAGE TUNNEL

SUMMARY

Tunnel constructions in urban areas play an important role in daily life. The surface settlements experienced during the tunnel excavation have always been an important issue for the responsible engineers in tunnel projects. In big cities, these underground projects i.e. tunnels, subways should usually be penetrated in high populated areas. It is necessary to be aware of the effects of these projects on neighboring constructions, which may appear during and/or after the excavation of the underground structure. Therefore these situations make the instrumental observations obligatory in order to avoid a big catastrophic incident. In cities the monitoring of geological conditions and neighboring structures in tunnels and deep excavations during the construction determining of movements in accordance with monitoring results, supply important assistance to predict any unforeseen failure during and after construction in according to take precaution.

Modern geostatistical methods model the structural variation at the surface and allow a determination of the reliability of the estimates, although provide a calculation of the measure of the error associated with estimates.

This study covers the modeling of the surface by geostatistical methods and estimation of the volume loss with the help of the settlement measures that are evaluated in Beykoz-Paşabahçe sewage tunnel project. With this aim, the three –dimensional settlement mass of the area have been drawn by using both Micromine and the Gs+ program with the kriging method.

Furthermore with the assistance of the three-dimensional modellings that have been formed from Gs+ by data values of kriging application and the triangulation method used in Micromine, the assible settlement measures are determined, and the amount of the volume loss evaluated.

Subsequently, with the help of the gauss settlement theory in literature, a theoretical model is formed and designed both in Autocad and Micromine software. The surface topography of the theoretical model for the first and the definitive case, has been created in Gs+ software by kriging data and consequently the similarity, between the surface topography and the model estimated from Micromine is analyzed.

Finally, this study shows that volume loss after visible settlement are experienced , may be evaluated bu using two settlement maps drawn by Gs+ and Micromine. It should be born in mind that any other geostatistical software producing kriging data may be used for data handling. Nevertheless, the more data of the recording point, the higher the accuracy of the results.

1. GİRİŞ

Bu tez tünel açma makinesi (TBM) ile açılan tünellerde meydana gelen yüzey deformasyonları hakkında bilgi vermek amacı ile hazırlanmış olup tezdeki veriler NTF inşaat LTD. ŞTİ. Firmasının Kavacık-Paşabahçe-Beykoz arasında açılan atıksu tüneli inşaatı projesinden alınmıştır.

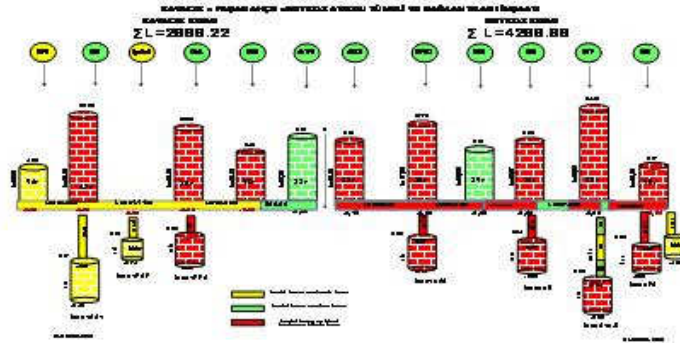
1.1 Projenin Tanımı

İSKİ Genel Müdürlüğü tarafından 13 Eylül 2005 tarihinde ihalesi yapılan Kavacık-Paşabahçe Beykoz arasında açılmakta olan atık su tüneli Küçüküsu Çevre Koruma Projesinin bir parçasıdır. Amaç; Ümraniye, Üsküdar, Beykoz, Çekmeköy ve Sarıgazi Bölgelerine ait atık suların Küçüküsu ve Göksu derelerine ve dolayısıyla İstanbul Boğazı'na karışmasını önlemek, kollektörlerle toplanan atık suları arıtma tesisinde çevreye zarar vermeyecek düzeyde arıttıktan sonra deşarj etmektir.

Bu amaçla aşağıda aşamaları içeren bir tünel açılması planlanmıştır [1].

İş bünyesinde;

1. 7189,52 m. / 2200 mm. kesitli ana tünel
2. 1800 m. / 1200 mm. kesitli 1146 m. Bağlantı tüneli
3. 7500 mm. kesitli 12 adet ana tünel shaftı
4. 5000mm. kesitli 8 adet branşman tüneli shaftı, yer almaktadır.



Şekil 1.1 : Kavacık-Paşabahçe-Beykoz atık su tüneli ve bağlantıları inşaatı.

Bu projeyde yüklenici firma ise NTF İnşaat Ticaret Ltd. Şirkettir. Zemin değışken olduğu için, tünel kazısında istenildiği zaman EPB’de (arazi basıncını dengeleyerek çalışan) çalışabilecek TBM tercih edilmiştir.

Projenin ilk kısmı 09 Ocak 2007 tarihinde, TBM’in AT2 şaftından indirilmesiyle başlanmış ve makinenin 26 Ocak 2009 tarihinde S6 şaftından çıkmasıyla tamamlanmıştır. Projenin ikinci kısmı olan Çubuklu Anadolu Hisarı tünelinin açılmasına 30 Nisan 2009 da TBM in AT1 şaftından girilerek başlanmıştır.

Dış çapı 3175 mm çapındaki makinenin kazı işi Ocak 2011’de tamamlanmıştır. Üç vardiya olarak sürdürülen çalışmalarda. makinenin operasyon kısmında, 1 mühendis ve 2 formen devamlı görev yapmaktadır. Her vardiya için bir operatör öngörülmüştür. Şu ana kadarki ilerleme için havalandırma AT2 şaftındaki emici vantilatör ve vantüp sistemiyle sağlanmaktadır. Ayrıca tahkimat görevi gören segmentler şantiye içinde C40 Betonu ile hazırlanmakta ve basınç dayanımı deneyleri yine şantiye içindeki laboratuarda yapılmaktadır [2].

Çizelge 1.1: Projede yer alan yapılar ve boyutları.

	Yapı	Km	Uzunluklar& Derinlikler (m)	Çap (mm)	Zemin Kotu (m)	Akar Kot (m)	Notlar
Kavacak Tüneli	S-1(Şaft)	7+077.1	10.05		4.45	-4.60	Şaft derinlikleri akar kotun 1m altında kabul edilmiştir
	Tünel		461.9	2200			Maks. 65m örtü
	S-2	6+615.2	22.8		17.00	-4.80	135m bağlantı tüneli
	Tünel		316	2200			Maks. 42m örtü
	S-3	6+299.2	18.01		12.00	-5.01	
	Tünel		397.7	2200			Maks. 52m örtü
	S-4	5+901.5	15.8		9.50	-5.28	
	Tünel		1108	2200			Maks. 39m örtü
	S-5	4+793.5	14		6.95	-6.01	
	Tünel		682.1	2200			Maks. 13m örtü
Beykoz Tüneli	AT	4+111.4	19.74		9.5	-9.24	
	Tünel		940.6	2200			Maks. 85m örtü
	S-11	3+170.8	17.1		7.50	-8.61	62m bağlantı tüneli
	Tünel		446.3	2200			Maks. 34m örtü
	S-10	2+724.5	35.8		26.5	-8.32	
	Tünel		543.1	2200			Maks. 30m örtü
	S-9	2+181.4	14.5		5.50	-7.95	
	Tünel		395	2200			Maks. 13m örtü
	S-8	1+186.4	17.7		9.00	-7.69	196m bağlantı tüneli
	Tünel		916.1	2200			Maks. 65m örtü
	S-7	0+870.9	15.2		7.10	-7.08	138m bağlantı tüneli
	Tünel		870.3	2200			Maks. 45m örtü
	S-6	0+000	12.9		5.40	-6.50	197m bağlantı tüneli

1.2 Proje Alanı Jeolojisi

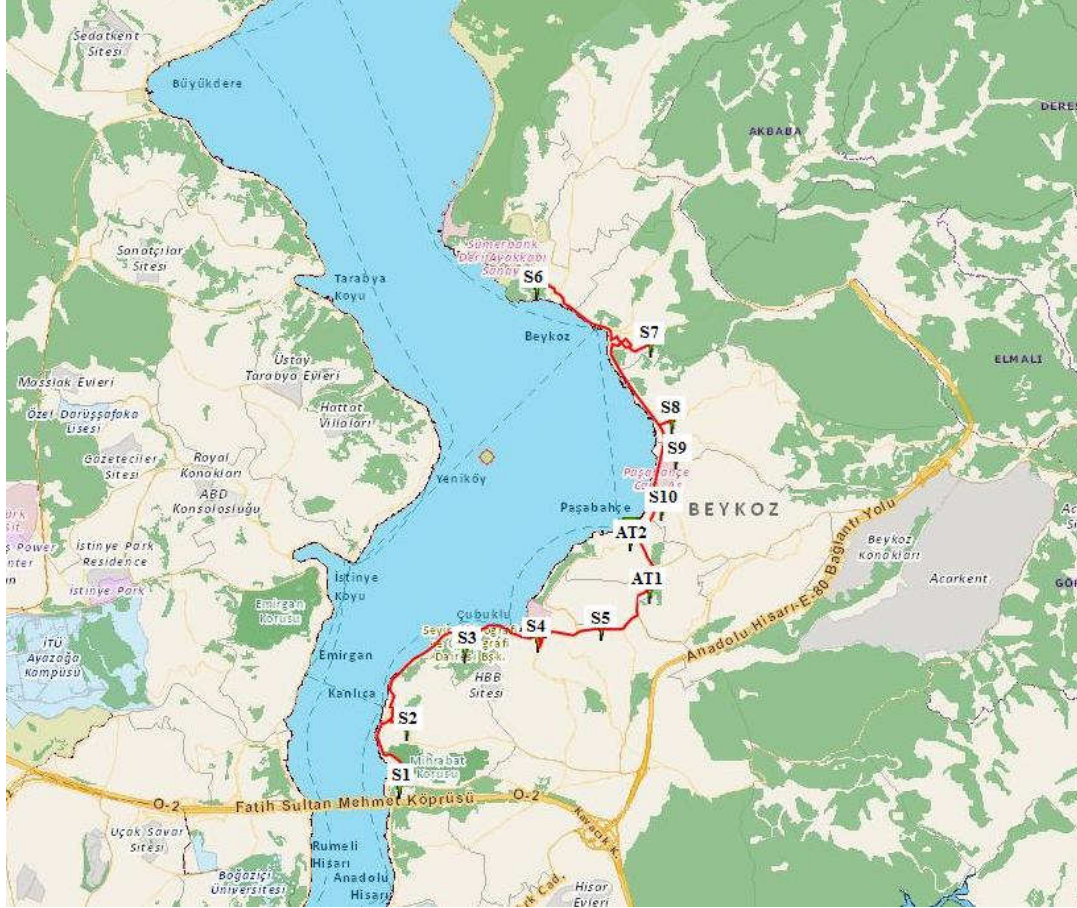
İstanbul Boğazı kuzeyinde Beykoz kıyılarında yer alan güzergahta Paleozoik yaşlı Gözdağ, Dolayoba ve Kartal Formasyonları ile genç örtü olarak Belgrad Formasyonu (mevcut rapor bu birimi Alüvyon yelpazesi olarak adlandırmaktadır) ve vadilerde Alüvyon/dolgu oluşumları yer almaktadır. Güzergah boyunca gözlenen stratigrafi ve litolojiler basitleştirilmiş olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Paleozoik yaşlı birimler çok fazlı tektonik etkiler ile karmaşık kırıklı ve kıvrımlı bir yapı gösterirler. Mevcut raporda Dolayoba formasyonunun yer yer karstik özellik gösterdiği de belirtilmektedir. [2] Proje Alanının Stratigrafisi Çizelge 1.2’ de gösterilmiştir ayrıca Ek 1.A’da Beykoz Tünel Güzergâhının ve Kavacık Tünel Güzergâhının jeolojisi ayrıntılı olarak verilmiştir [3].

Çizelge 1.2: Proje alanının stratigrafisi.

Yaş	Formasyon	Rumuz	Litoloji
KUVATERNER	Alüvyon/dolgu (Zemin)	Al	Genelde orta ila katı, kumlu, çakıllı yer yer kavkılı kil. Değişik kalınlıklarda dolgu altında yer alır
Açısal uyumsuzluk			
NEOJEN	Belgrad Fm (Zemin)	Nb	Sarımsı-kızıl renklerde kuvars çakıllı, kumlu katı-sert kil- siltli kil
Açısal Uyumsuzluk			
DEVONİYEN	Kartal Fm (Kaya)	d2-3	Fosilli, gri koyu gri kalkerli şeyl, çamurtaşı/silttaşı ve kumlu kireçtaşı ara tabakaları. Üst seviyelerde kireçtaşı egemendir.
SİLÜRYEN	Dolayoba Fm (Kaya)	Sd1	Gri-açık mavimsi gri yer yer fosilli kireçtaşı, Yerel karstik yapılar gözlenir
ORDOVİZİYEN	Gözdağ Fm (Kaya)	Os1	Gri- yeşil, alacalı şeyl yer yer feldispatik, mikalı, kumtaşı (Grovak), çamurtaşı araseviyeleri.

1.3 Yer Bulduru Haritası

Kavacık-Paşabahçe-Beykoz atıksu tüneli projesine ait yer bulduru haritası Şekil 1.2’ de verilmiştir. Söz konusu yeryüzü oturumları ölçümleri tasman meydana gelen S_6 ve S_8 şaftlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.2 : Beykoz-Paşabahçe atıksu tüneli inşaatı yer bulduru haritası.

2. TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Tünel açma yöntemlerini genel olarak ikiye ayırabiliriz, bunlar;

- Konvansiyonel (geleneksel) yöntemler
- Tünel açma makineleri ile tünel açma

2.1 Konvansiyonel Yöntemler

Kayaçların jeolojik yapılarını, fiziksel özelliklerini göz önünde bulundurarak açılan tünellerde; formasyon sağlam ve duyarlılığı yüksek ise tam kesit kazılabilir. Örneğin ayna dinamitle patlatılır. Ykleyicilerle pasa kamyonlara taşınır. Bu operasyondan sonra kavlak alma işlemi yapılır. İksa ve hasır elik ile açılan kısımlara tahkimat yapılır ve püskürtme beton atılmak koşulu ile beton kabuk oluşturulur. Sistemin emniyeti sağlanır. Bu işlem genellikle 1,5 - 2 metrelik ilerlemeler şeklinde olur. Jumbo (delik delme makinesi) ile delinen deliklerin adedi ve derinliği ayna kesitine bağlı olarak değişir.

Eğer formasyon değişik kayaç yapılarını içeriyorsa ve tam ayna gitmekte problemler oluşuyorsa alt yarı, üst yarı şeklinde ilerlemeler yapılır. Bu sisteme ise Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu denir. Bu yöntemde üst yarı öncelikle açılır, iksa sistemleri ile sağlamlaştırılır. Belli bir topuktan sonra alt yarı ilerlemesi yapılır. Üst yarı iksalarının devamı zemine oturtulur. Bu operasyonlarda kayan veya kayması muhtemel kayaçlara cıvatalama (rock bolting) yapılır. Jumbo (delik delme makinesi) birlikte kayaçlar delinir. Hazırlanmış elik çubuklar yerleştirilir. Tavandan gelen yükler neticesinde çökme ihtimali varsa şemsiye şeklinde kaya cıvatalama yapılır, zemin şartları daha kötü ise basıncılı imento enjeksiyonu yapılır. Özellikle açıklığı fazla olan tünellerde önceden pilot tünel açılır. Bu pilot tünel bir adet olabileceği gibi birden fazla da olabilir. Bu pilot tünel belli bir mesafe açılır, sonra tünel genişletilerek kesitine uygun ilerleme sağlanır. Bu pilot tünelin faydası, ndeki formasyon özellikleri tam olarak bilinir. Buna göre alınması gereken önlemler alınabilir. Bu nlemler tünel içinden veya zemin üstünden imento enjeksiyonu olabilir[4].

2.2 Tünel Açma Makineleri İle Tünel Açma

Tünel (galeri) açma makineleri de kendi aralarında özellikle de açılacak yerdeki formasyon özellikleri (kayaç özellikleri, kayaç sertliği veya yumuşaklığı), kazı performansları gibi bir çok değişik parametrelerin etkileri ile sınıflandırılmaktadırlar. Bu tünel açma makineleri de aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır;

Kollu Galeri Açma Makineleri (Roadheader)

Zırhlı Kollu Galeri Açma Makineleri (Roadheader Shield)

Zırhsız Kollu Galeri Açma Makineleri (Roadheader Open)

Tam Cephe Tünel Açma Makineleri (Full Face)

Tam Cephe Tek Zırhlı (Full Face Single Shield)

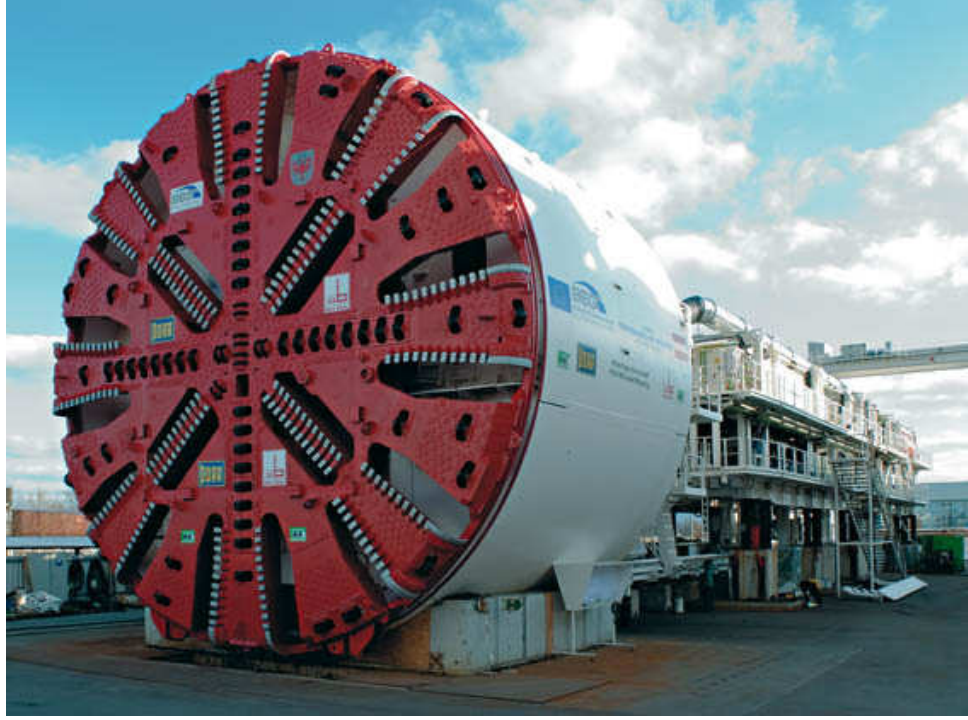
Tam Cephe Çift Zırhlı (Full Face Double Shield)

Sıvı İçerikle Çalışan Tünel Açma Makineleri (Slurry Shield)

Yeryüzü Basıncını Dengeleyerek Kazı Yapan Tünel Açma Makineleri (Earth Pressure Balance EPB)

Pipe Jacking (Boru İtme sistemi ile çalışan tünel açma makinesi)

Madencilik ve inşaat sektöründe yeraltı yapılarının önemi teknolojik gelişmelere paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle yerleşim merkezleri ve büyük şehirlerde elektrik, su, kanalizasyon, telefon, doğalgaz ve metro tünelleri gibi yapıların açılması sırasında, çevreye ve yer üstünde yapılara zarar vermemesi için kullanılacak kazı yönteminin seçimi son derece önemlidir. Her ne kadar ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) tasman gibi yeryüzünde çökmelere yol açan ve istenilmeyen yeraltı hareketlerini önleme kabiliyeti, daha sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması nedeniyle günümüzde tercih edilen kazı makineleri haline gelmiştir. Sert, orta sert, yumuşak ve akıcı formasyonlar için kullanılacak kafa dizaynları ve keski tipleri, makineyi dengeleme sistemleri, tahkimat sistemleri, çıkarılan paşayı taşıma sistemleri çeşitli yönlerden farklılıklar göstermektedir. Açılacak yeraltı boşluğu boyunca geçilecek formasyonların önceden tespiti, kullanılacak makinenin seçiminde en önemli faktörlerden biri olmaktadır [5]. Tipik bir tünel açma makinesi Şekil 2.1' de mevcuttur.



Şekil 2.1 : Tipik bir tünel açma makinesi.

2.3 Projede Kullanılan Makine Ve Teknik  zellikleri

Projede kullanılan TBM, Robbins firması tarafından üretilmiş olup, Mısır'daki bir projede 1400 m kazı yaptıktan sonra Beykoz - Kavacık Atık su Tünelinde kullanılmaya ba lanmı tır.

Tek kalkanlı olarak tasarımılandırılan makine, EPB (Earth Pressure Balance) yani arazi basıncını dengeleyerek kazı yapan tünel açma makinesi modunda da çalışmaya uygun tasarlanmıştır. Kesici kafada hem disk keskiler hem de üzerlerinde kama tipi keskiler olan sıyrıcılar bulunmaktadır. TBM'e ait bir görüntü Şekil 2.2'de verilmiştir.

Montajı, NTF elemanları ve Robbins Firmasında  alı an ekip tarafından yapılan makinenin aşağı indirilmesi ve i ba ı yapması yaklaşık 40 gün sürmüştür. İlk olarak kesici kafa ve kalkanlı kısmı aşağı indirilip montajı tamamlanmıştır. Makine ilk tünele girdiğinde kendi itme silindirleri aracılığıyla  ne doğru itilmi tir, ardından kuyruk (back-up) sistemlerin kafes yapıları aşağıya indirilmiştir. Makinenin  ne itilmesiyle arkada yer açılmış ve gerekli bağlantılar yapılmıştır. Bu aşamaların atlatılması ve makinenin montajının tamamlanmasının ardından, makine çalışmaya ba lamı tır [2]. TBM'e ait teknik özellikler  izelge 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.2 : TBM'in montajı yapılmadan önceki görüntüsü [2].

Çizelge 2.1 : TBM'in teknik özellikleri [2].

Kesici Kafa	
Kazı Çapı	3175 mm
Tip	CCS Disk Keski, Yumuşak Zemin Uyumlu
Disk Keskilerin Çapı	356 mm
Keski Sayısı	23
Nominal Keski Yüğü	15 ton
Kazı Adımı	
İtme Silindiri Stroku	1670 mm
Kafa İtme Sistemi	
Tip	Hidrolik
Hız	-
Toplam Güç	0-8.5 rpm
Tork	400 kW (2x200kW)
	Devamlı 8.5 rpm
	En Yüksek 4.3 rpm
Bant Konveyör	
Bant Genişliği	
Toplam Bant Uzunluğu	610 mm
Kalite Sınıfı	35 m
Bant Hızı	1. sınıf
	Yaklaşık 2.0 m/s
Beklenen İlerleme	
Saatlik İlerleme	2.1 m – 2.9 m
Vidalı Konveyör (EPB mod için)	

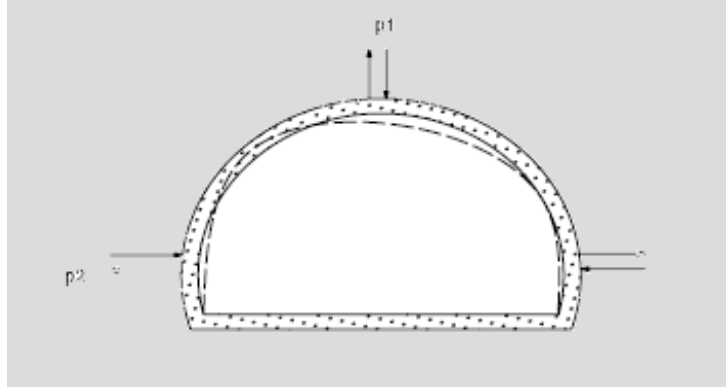
Çizelge 2.1 : TBM'in teknik özellikleri(devam) [2].

İç Çap	450 mm
Maksimum Hız	0-20 rpm
Güç	50 kW
Hareket Sistemi	Hidrolik
Enjeksiyon Noktaları	2 noktadan
Basınç Kontrol Sensörleri	2 adet
Kalkan Özellikleri	
Dış Kalkan Çapı	3115 mm
Kalkan ve Kesici Kafa Toplam Uzunluk	Yaklaşık 7 m
İtme Özellikleri	
Maksimum İtme Kuvveti	995 ton
İtme Silindiri Sayısı ve Çapı	12 – 5.5.inç
Silindir Özellikleri	83 ton/silindir
Strok	1670 mm
Maksimum Çalışma Basıncı	340 bar
Segment Erektör Tipi	Döner tip erektör
Kuyruk (Back-Up) Sistem Özellikleri	
Askı Sayısı	13
Pasa Nakliyatı	Vagon
Havalandırma	
Birincil Havalandırma	Şaftta emici vantilatör ve vantüp
Elektrik	
Toplam Elektrik Gücü	400 kW
Kesici Kafa Gücü	250 kW
Bant Konveyör/Vidalı Konveyör	50 kW
Destek Birimleri 20	50 kW
Pompa Gücü	15 kW
Kayıplar ve Diğerleri	75 kW
Birincil Voltaj	6000 V 50 Hz
Toplam Transformatör Gücü	700 kVA
Kablo uzunluğu	200 m
Normal Aydınlatma	70%
Acil Aydınlatma	30%
Makine Ağırlığı	
Kalkan Ağırlığı	95 ton
Destek Sistem Ağırlığı	50 ton

3. TÜNELLERDE BEKLENEN OTURMALAR

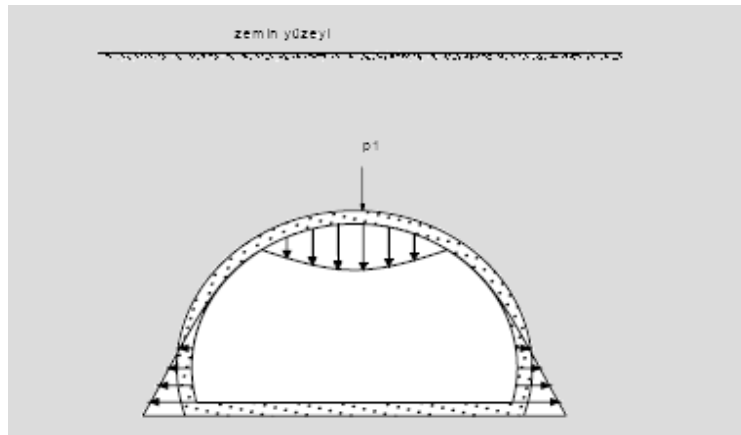
3.1 Tünele Etkiyen Kuvvetler

Tünel güzergahı boyunca kazı devam ederken oluşan boşluk nedeniyle tünel kesitine birtakım kuvvetler etkir. Bu kuvvetler arazinin yükü ve iç kaplamalar nedeniyle oluşan sistemin kendi ağırlığıdır. Yine tünel kesitinde jeolojik yapının değişmesinden dolayı nadiren de olsa tünel tabanında kabarma veya çökme de olabilir. Tünele etkiyen kuvvetler Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



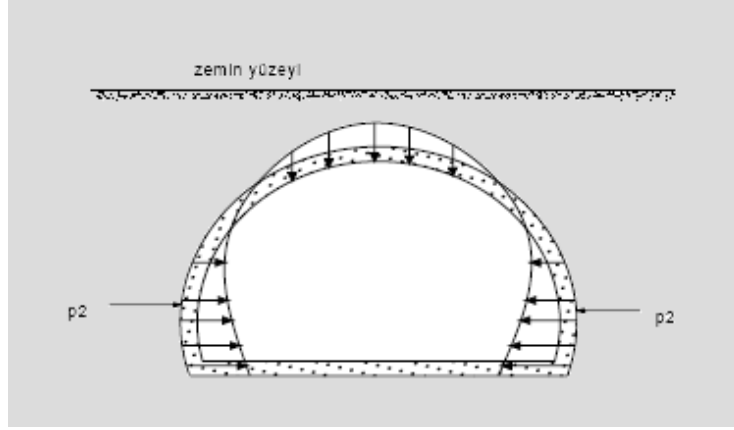
Şekil 3.1 : Tünele etkiyen kuvvetler [6].

P kuvvetinin etkisiyle tünel tavanında aşağı doğru bir eğilme gözlenir. Buna bağlı olarak da tünel duvarları yana doğru açılabilir. Şekil 3.2’de P_1 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen şekil değişikliği görülmektedir



Şekil 3.2 : P_1 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen oturma [6].

P2 kuvvetinin etkisiyle de tünel duvarları tünel içine doğru Şekil değiştirirler. Buna bağlı olarak da bu değişim tünel tavanının yukarı doğru itilmesine sebep olur. Şekil 3.3’de P2 kuvvetinin etkisinden dolayı meydana gelen Şekil değiştirmeler görülmektedir.



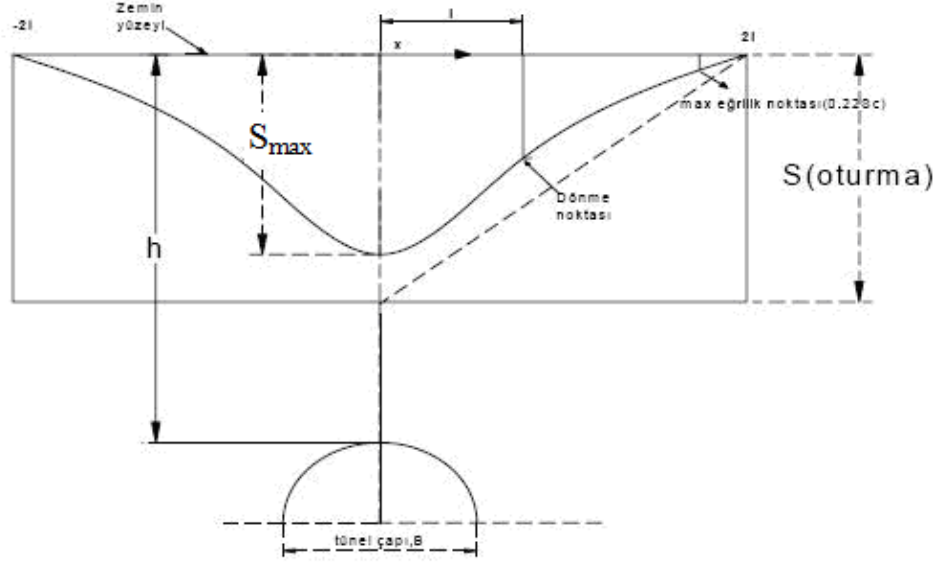
Şekil 3.3 : P2 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen oturma [6].

3.2 Oturma Tahmini

Yüzeye yakın tüneller civarındaki deformasyonlar, literatürde sık olarak basit oturma olarak ele alınmıştır. Değişik alışmalar arasındaki farklılık oturan bölümün geometrisinden ve yayılışım idealize edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Teoriler başlıca iki grupta toparlanabilir. İlk grupta, oturma teknesinin genişliği ve en büyük oturma miktarından oturma teknesinin Şeklini tayin etme, ikinci grupta ise zeminin mekanik özelliklerinden ve tünel civarındaki oturmalarla yola çıkarak zemin yüzeyindeki oturmaların bulunması yer alır.

Schmidth oturmayı istatistik bir problem olarak formüle etmiş ve yüzeydeki oturma eğrisini amprik olarak bir Gauss hata eğrisi olarak belirtmiştir [7]. Bu yaklaşımın kohezyonsuz gevşek zeminlerdeki, tünel açılıma nedeniyle meydana gelen, yüzey oturmalarını yeterli gerçeklikte ifade edeceğini göstermiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Üst yüzey oturmalarının Gauss hata fonksiyon eğrisi ile belirlenmesi [7].

Şekil 3.4'den anlaşıldığı üzere yer değiştiren zemin kütesinin hacmi

$$V_1 = 2,5.i.S_{\max} \quad (3.1)$$

ile ifade edilmiştir [7]. i üst yüz oturma eğrisinin dönme noktasının merkeze uzaklığı (m) ve S_{\max} tünel merkezindeki en büyük oturma değeri (m) dır.

Zemin yüzeyindeki oturmanın, bina ve altyapı tesisleri ile çevredeki yapılara olası etkileri nedeni ile en büyük yüzey eğriligi ve en küçük eğrilik yarıçapı değerlerinin en büyük oturmadan daha önemli olduğunu belirterek aşağıdaki eşitlikleri vermiştir [7].

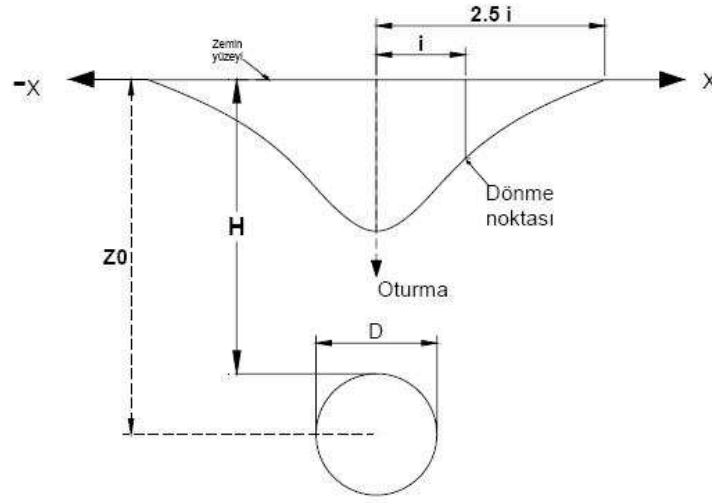
$$\text{En büyük eğim} = 0,6 \frac{S_{\max}}{i} \quad ; \quad x = \pm i \quad (3.2)$$

$$\text{En küçük eğrilik yarıçapı} = \frac{i^2}{S_{\max}} \quad ; \quad x = 0 \quad (3.3)$$

$$\text{En büyük eğrilik yarıçapı} = \frac{2i^2}{S_{\max}} \quad ; \quad x = 3.i \quad (3.4)$$

O'Reilly ve New bilgisayar destekli hesap yöntemi ile oturma teknesinin şekli ile zemindeki gerilme-deformasyon yayılımını arazi ölçüm sonuçlarına dayanarak incelemiş ve sonuçları model deneyleri ile karşılaştırmışlardır. Lineer regresyon hesabı ile oturma teknesi genişliği ve zemin üst yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösterilmiştir [8].

O'Reilly ve Fujita inşa edilen tünellerde ölçülen oturmaları analiz ederek bu oturma okumalarını bir Gauss oturma eğrisinde göstermişlerdir (Şekil 3.5) [9,10].



Şekil 3.5 : Gauss oturma eğrisi [8].

$$S = S_{\max} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \quad (3.5)$$

S , x mesafesindeki yüzey oturması, S_{\max} tünel merkezindeki maksimum oturma, i merkez çizgisi ile oturma bükülme noktasındaki yatay mesafe ve x merkez çizgisi ile yatay mesafedir [11]. “ i ” değeri Eşitlik 3.6 yardımıyla bulunabilir.

$$i = k \cdot z_0 \quad (3.6)$$

Burada, k genişlik parametresi olup tünellerde genelde 0.50~0.25 değerleri arası verilmektedir [12]. Hacim kaybı parametresi V_s ise Eşitlik 3.7 ile bulunabilir [13].

$$V_s = \sqrt{2\pi i S_{\max}} \quad (3.7)$$

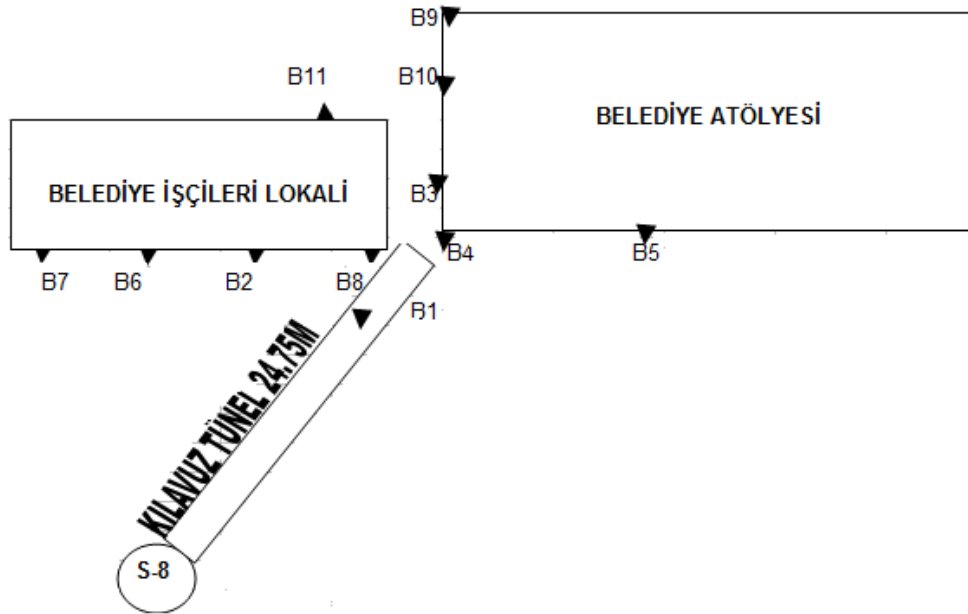
Genelde hacim kaybı (V_s) Eşitlik 3.8 ile elde edilebilir [10]. Burada, $\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right)$ tünel daire kesit alanıdır. “ D ” tünel daire çapını, V_l ise hacim oranını göstermektedir.

$$V_s = V_l \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.8)$$

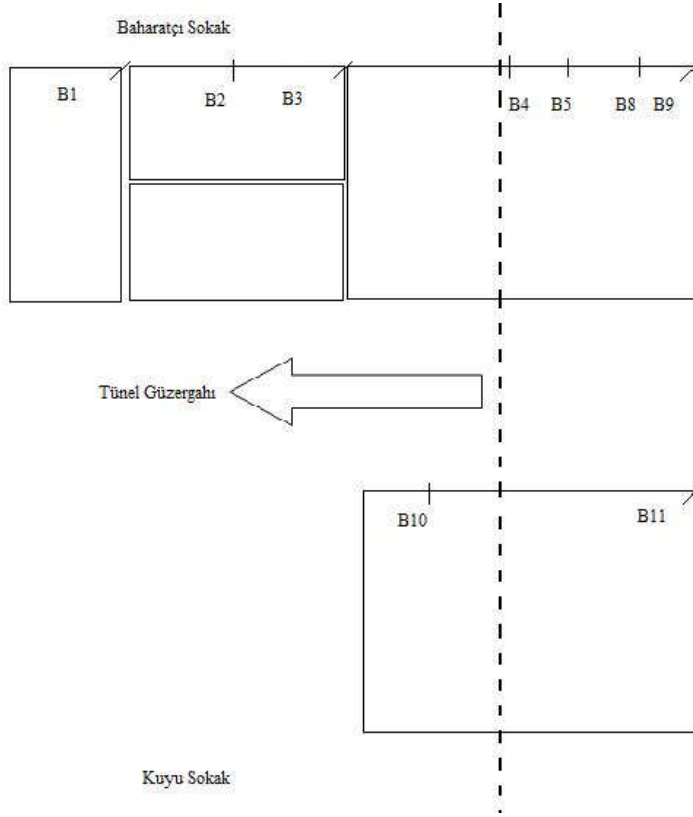
4. BEYKOZ-PAŞABAĞÇE ATIKSU TÜNELLERİNDE OLUŞAN OTURMALAR

4.1 Bölgeye Ait Ölçüm Noktaları ve Oturma Değerleri

Kazı işlemine başlamadan önce kazı faaliyetlerinden kaynaklanacak yeryüzü oturma hareketlerinin izlenebilmesi amacıyla tünel güzergâhı boyunca bina köşelerine oturma ölçüm noktaları tesis edilmiştir. S6 shaftında 20, S8 shaftında 8 olmak üzere toplam 28 adet ölçüm noktası oluşturulmuştur. S6 ve S8 shaftlarında zemin hareketlerinin izlenmesi amacıyla kritik noktalara blonlar çakılmış ve özel kimyasallar ile çakıldıkları yerlere sabitlenmişlerdir. Sabitleme sonrasında sıfır okumaları yapılarak zeminin oturma öncesi durumu gözlenmiştir. Daha sonra belli zaman aralıklarında nivo ve mira aleti ile oturmaların miktarı ölçülmüştür. Ölçüm noktalarının konumları Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : S8 shaftı ölçüm noktaları.



Şekil 4.2 : S6 shaftı ölçüm noktaları.

Kazı süresi boyunca toplam 1107 adet yüzey oturması ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerde kaydedilen maksimum oturma değerleri S6 shaftı için 46 mm, S8 shaftı için ise 305 mm olmuştur. S8 ve S6 shaftlarında ölçülen oturma değerleri Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1 : S6 shaftı B20-B28 arası oturma değerleri [14].

Ölçüm Noktası	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28
Tarih	Oturma Miktarı (mm)								
12/28/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/29/2008	0	0	0	0	-1	1	0	0	0
12/30/2008	0	0	0	0	-1	1	0	1	0
1/2/2009	0	0	0	0	-1	1	0	1	0
1/3/2009	-1	0	0	0	-2	0	0	1	0
1/4/2009	0	0	-1	-1	-2	-2	-2	0	-1
1/5/2009	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	0	0
1/6/2009	-1	-1	-3	-3	-3	-2	-2	-1	-1
1/7/2009	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-1	0	0
1/8/2009	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-1	0	0
1/9/2009	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	0	0
1/10/2009	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0	-1
1/14/2009	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1
1/17/2009	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-1	0	0

Çizelge 4.2 : S6 şaftı B2-B9 arası oturma değerleri [14].

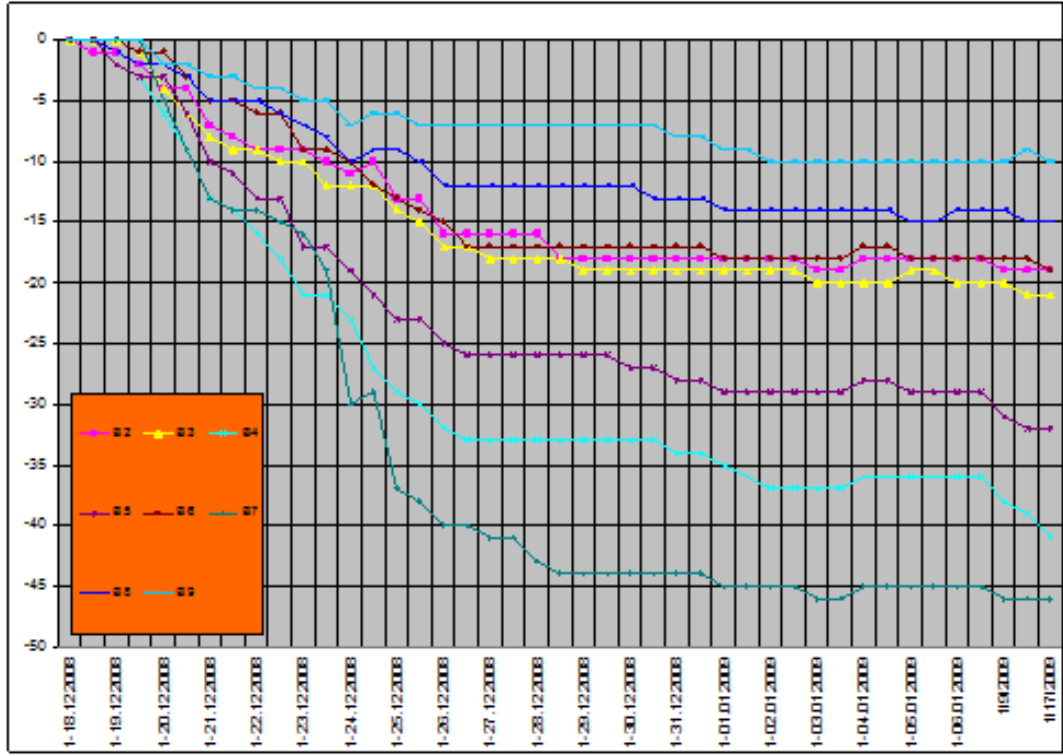
Ölçüm Noktası	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Tarih	Oturma Miktarı (mm)							
12/18/2008	0	0	0	0	0	0	0	0
12/18/2008	-1	0	0	0	0	0	0	0
12/19/2008	-1	0	-2	-2	0	0	-1	0
12/19/2008	-2	-1	-3	-3	-1	0	-2	0
12/20/2008	-4	-4	-6	-3	-1	-5	-2	-2
12/20/2008	-4	-6	-9	-6	-3	-9	-3	-2
12/21/2008	-7	-8	-13	-10	-5	-13	-5	-3
12/21/2008	-8	-9	-14	-11	-5	-14	-5	-3
12/22/2008	-9	-9	-16	-13	-6	-14	-5	-4
12/22/2008	-9	-10	-18	-13	-6	-15	-6	-4
12/23/2008	-9	-10	-21	-17	-9	-16	-7	-5
12/23/2008	-10	-12	-21	-17	-9	-19	-8	-5
12/24/2008	-11	-12	-23	-19	-10	-30	-10	-7
12/24/2008	-10	-12	-27	-21	-12	-29	-9	-6
12/25/2008	-13	-14	-29	-23	-13	-37	-9	-6
12/25/2008	-13	-15	-30	-23	-14	-38	-10	-7
12/26/2008	-16	-17	-32	-25	-15	-40	-12	-7
12/26/2008	-16	-17	-33	-26	-17	-40	-12	-7
12/27/2008	-16	-18	-33	-26	-17	-41	-12	-7
12/27/2008	-16	-18	-33	-26	-17	-41	-12	-7
12/28/2008	-16	-18	-33	-26	-17	-43	-12	-7
12/28/2008	-18	-18	-33	-26	-17	-44	-12	-7
12/29/2008	-18	-19	-33	-26	-17	-44	-12	-7
12/29/2008	-18	-19	-33	-26	-17	-44	-12	-7
12/30/2008	-18	-19	-33	-27	-17	-44	-12	-7
12/30/2008	-18	-19	-33	-27	-17	-44	-13	-7
12/31/2008	-18	-19	-34	-28	-17	-44	-13	-8
12/31/2008	-18	-19	-34	-28	-17	-44	-13	-8
1/1/2009	-18	-19	-35	-29	-18	-45	-14	-9
1/1/2009	-18	-19	-36	-29	-18	-45	-14	-9
1/2/2009	-18	-19	-37	-29	-18	-45	-14	-10
1/2/2009	-18	-19	-37	-29	-18	-45	-14	-10
1/3/2009	-19	-20	-37	-29	-18	-46	-14	-10
1/3/2009	-19	-20	-37	-29	-18	-46	-14	-10
1/4/2009	-18	-20	-36	-28	-17	-45	-14	-10
1/4/2009	-18	-20	-36	-28	-17	-45	-14	-10
1/5/2009	-18	-19	-36	-29	-18	-45	-15	-10
1/5/2009	-18	-19	-36	-29	-18	-45	-15	-10
1/6/2009	-18	-20	-36	-29	-18	-45	-14	-10
1/6/2009	-18	-20	-36	-29	-18	-45	-14	-10
1/9/2009	-19	-20	-38	-31	-18	-46	-14	-10
1/14/2009	-19	-21	-39	-32	-18	-46	-15	-9
1/17/2009	-19	-21	-41	-32	-19	-46	-15	-10

Çizelge 4.3 : S8 şaftı oturma değerleri [14].

Ölçüm Noktası	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Tarih	Oturma Miktarı (mm)										
12/14/2007	0	0	0	0	0	0	0	0			
12/15/2007	-5	-2	-1	-3	-1	0	0	0			
12/16/2007	-7	-5	-3	-5	-2	-3	-2	-2			
12/17/2007	-8	-6	-4	-7	-3	-4	-3	-3			
12/18/2007	-9	-8	-5	-8	-4	-5	-5	-5			
12/19/2007	-10	-9	-6	-10	-5	-6	-6	-6			
12/20/2007	-12	-11	-8	-11	-6	-8	-7	-8			
12/21/2007	-13	-12	-9	-13	-6	-9	-8	-9			
12/22/2007	-14	-13	-10	-14	-7	-10	-10	-10			
12/23/2007	-15	-15	-11	-16	-8	-11	-11	-12			
12/24/2007	-16	-16	-12	-17	-9	-12	-12	-13			
12/25/2007	-16	-17	-13	-18	-9	-13	-12	-14			
12/26/2007	-17	-18	-15	-19	-9	-15	-12	-16			
12/27/2007	-17	-19	-16	-20	-9	-16	-12	-17			
12/28/2007	-18	-20	-16	-20	-9	-16	-13	-17			
12/29/2007	-18	-20	-17	-21	-10	-16	-14	-17			
12/30/2007	-19	-21	-17	-21	-10	-16	-14	-17			
12/31/2007	-19	-21	-17	-21	-10	-16	-15	-17			
1/1/2008	-19	-21	-17	-21	-10	-16	-15	-17			
1/2/2008	-19	-21	-17	-21	-10	-16	-16	-17			
1/3/2008	-19	-21	-17	-21	-10	-16	-16	-17			
1/4/2008	-20	-21	-17	-22	-10	-16	-17	-17			
1/5/2008	-20	-21	-17	-22	-10	-16	-17	-17			
1/6/2008	-20	-21	-17	-22	-10	-16	-17	-17			
1/7/2008	-20	-21	-17	-22	-10	-16	-18	-17			
1/8/2008	-20	-21	-17	-22	-10	-16	-18	-17			
3/13/2008	-22	-109	-21	-25	-9	-61	-30	-145	0	0	0
3/14/2008	-24	-111	-23	-27	-11	-63	-32	-147	-2	-2	-2
3/15/2008	-26	-113	-25	-29	-13	-65	-34	-149	-4	-4	-4
3/16/2008	-28	-115	-27	-31	-15	-67	-36	-151	-6	-6	-6
3/17/2008	-30	-117	-29	-33	-17	-69	-38	-153	-8	-8	-8
3/18/2008	-32	-119	-31	-35	-19	-71	-40	-155	-10	-10	-10
3/19/2008	-34	-121	-33	-37	-21	-73	-42	-157	-12	-12	-12
3/20/2008	-36	-123	-35	-39	-23	-75	-44	-159	-14	-14	-14
3/21/2008	-37	-194	-94	-53	-17	-110	-51	-268	-154	-140	-126
3/22/2008	-35	-195	-132	-56	-19	-108	-49	-269	-172	-171	-128
3/23/2008	-37	-197	-136	-58	-20	-111	-51	-272	-187	-175	-130
3/24/2008	-38	-199	-136	-59	-20	-113	-52	-276	-191	-179	-132
3/25/2008	-38	-199	-136	-59	-21	-113	-54	-276	-196	-181	-135
3/26/2008	-38	-199	-138	-60	-22	-114	-54	-278	-198	-183	-136
3/27/2008	-38	-230	-140	-60	-23	-114	-54	-279	-199	-184	-137
3/28/2008	-38	-231	-142	-61	-24	-115	-54	-280	-199	-186	-138
3/29/2008	-38	-232	-144	-61	-25	-115	-54	-281	-200	-188	-138
3/30/2008	-38	-232	-145	-62	-26	-116	-54	-283	-200	-189	-140
3/31/2008	-38	-233	-146	-62	-27	-116	-55	-285	-201	-190	-142
4/1/2008	-40	-233	-148	-63	-28	-116	-55	-287	-201	-191	-143
4/2/2008	-40	-233	-149	-64	-29	-117	-56	-287	-202	-192	-143
4/3/2008	-40	-233	-150	-64	-29	-118	-56	-287	-202	-192	-144
4/4/2008	-40	-233	-151	-65	-29	-119	-57	-287	-203	-193	-144
4/5/2008	-40	-233	-151	-67	-30	-121	-59	-287	-203	-194	-145
4/6/2008	-40	-233	-151	-67	-30	-121	-59	-287	-204	-194	-145
4/7/2008	-40	-233	-151	-67	-30	-121	-59	-287	-204	-194	-145
4/24/2008			-154	-76	-38				-210	-305	

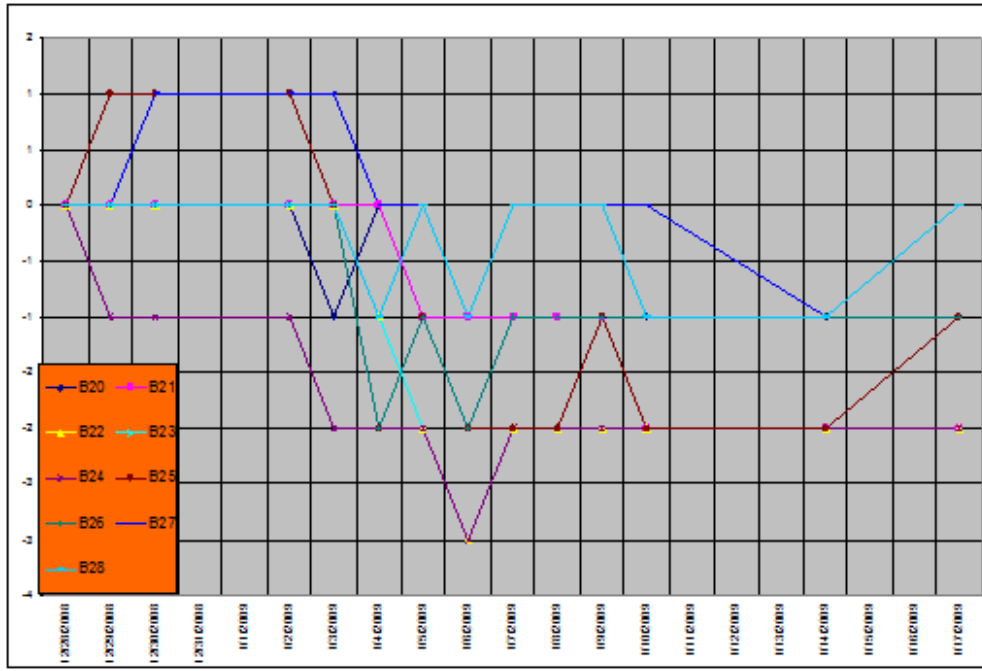
Daha önce de bahsedildiği üzere arazideki bir tabaka üzerine etkiyen düşey gerilme artışlarının yol açacağı toplam sıkışma miktarı zemin üzerinde oturmalarla yol açmaktadır.

Oturmalar meydana geldikten belli bir süre sonunda nihai konsolidasyon oturması meydana gelir, bu oturma boşluk suyu basıncının düşmesi ile azalmaya başlar ve su basıncı tamamen sönmüldüğünde yüzey oturması sona erer.

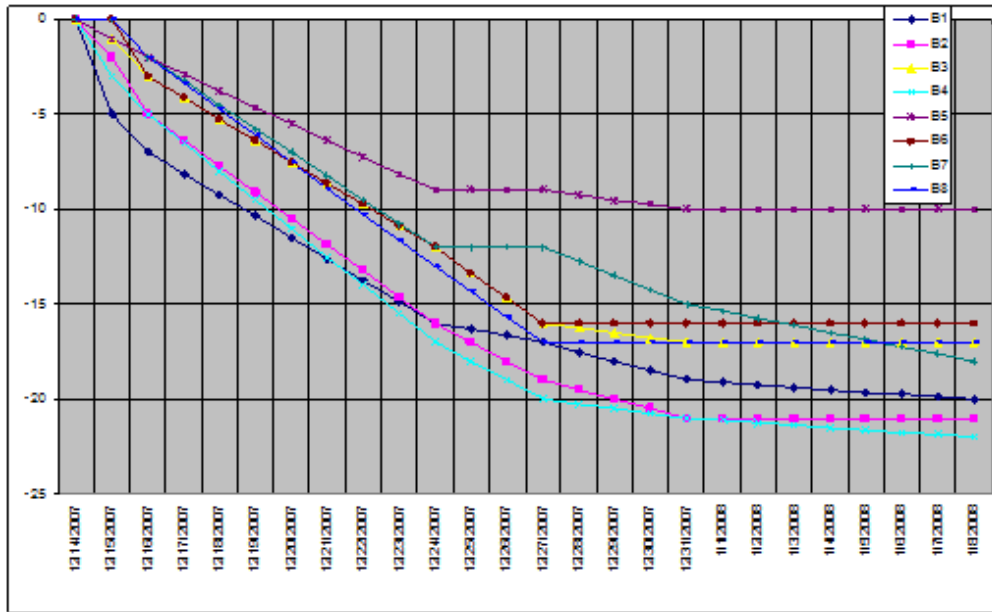


Şekil 4.3 : S6 şaftı B2-B9 ölçüm noktalarındaki oturmaların zamana bağlı grafiği.

Şekil 4.3 ve 4.4’de S6 şaftında oluşturulan bina gözlem noktalarında kazı süresi boyunca kaydedilen oturma değerlerinin zamana bağlı değişimini, şekil 4.5’de ise S8 şaftında oluşturulan bina gözlem noktalarında kazı süresi boyunca kaydedilen oturma değerlerinin zamana bağlı değişimini gösteren grafikler verilmiştir.



Şekil 4.4 : S6 şaftı B20-B28 ölçüm noktalarındaki oturmaların zamana bağlı grafiği.



Şekil 4.5 : S8 şaftı B1-B8 ölçüm noktalarındaki oturmaların zamana bağlı grafiği.

4.2 Ölçümlerde Kullanılan Alet ve Teknikler

Tünel hattının geçirildiği zeminin yapısından dolayı katı halinde kaymalar da olabilir. Örneğin bir heyelan veya yer sarsıntısı zemin kütlelerinin bir bölümünü blok halinde kaydırabilir, bu da tünel içinin şeklini değiştirmeden tünel hattının yerinin

değişmesine neden olur. Tünel kazısı nedeniyle, tünel içinde mevcut yapıyı bozan konum ve şekil değişikliklerini belirlemek, etkiyen kuvvetlerin büyüklüklerini, yönlerini ve kaynaklarını tespit etmek amacıyla yapılan ölçümlere “geoteknik ölçümler” veya “aletsel geoteknik gözlem” denir.

Tünel inşaatı sırasında tünelin yer aldığı jeolojik ortamda deformasyonlar ile gerilme değişikliklerini gözlemek, tünelde ve çevre yapılarda meydana gelebilecek göçme ve oturmaları tespit edilerek, gerekli önlemleri zamanında almak, ekonomik ve can güvenliği yönünden önemli bir kazançtır. Tünel hattı boyunca yapılan araştırma sondajlarının sonuçlarına ve çevrede yer alan yapıların durum ve konumuna göre geoteknik ölçü noktalarının yerleri belirlenir. Bir tünel projesinde kullanılacak izleme aletleri, izlemenin amacını oluşturan unsura bağlı olarak üç ana bölüme ayrılmıştır, bunlar: Tünel kaplaması, Alt yapı tesisleri ve Binalar.

Zemin seviyesindeki hareketler, yüksek hassasiyetli topografik aletlerle kontrol edilmelidir. Yatay hareketlerin elde edilmesi amacıyla otomatik teodolit ile okunan prizmalar, yüzey hareketi izleme noktalarını oluşturmaktadır. Düşey hareket ise aynı noktaya uygulanan yüksek hassasiyetli nivo kullanılarak kontrol edilmektedir [14]. Standart bir nivo’ ya ait görüntü Şekil 4.6’da verilmiştir (nivelman).



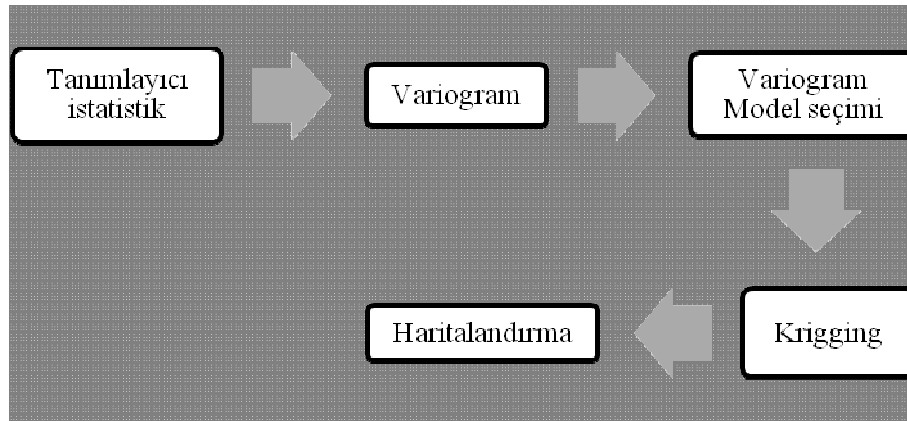
Şekil 4.6 : Nivelman aleti.

5. JEOİSTATİSTİK KAVRAMI

Jeoistatistik, örnekler arasındaki uzaysal korelasyonu istatistiksel ve analitik olarak kullanan, rezerv hesaplama işlemini yapanlara oldukça yararlı bilgiler sunan öğelerden oluşan enterpolasyon ve ekstrapolasyon tekniği” olarak tanımlanmış ve jeoistatistiğin temel unsurlarının variogram, blok varyansı, tahmin varyansı ve Krigging olarak belirlenmiştir [15].

Kısaca jeoistatistik, bir sahadaki bilinen değerler yardımıyla bilinmeyen noktalardaki değerleri hesaplamak ve sahanın ele alınan parametre için dağılım haritasının ortaya çıkarılmasıdır.

Kullanılan yöntem sırasıyla Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Kısaca, takip edilen adımlar, tanımlayıcı istatistik değerlerinin belirlenmesi, verinin 2 eksenli koordinat sisteminde yayılımının gösterilmesi, variogram fonksiyonunun belirlenmesi, variogram fonksiyonuna uygun bir modelin seçilmesi, Krigging, çapraz doğrulama ve 3 eksenli değişim haritasının çizilmesi olarak belirlenebilir. Bu işlemler, örnek veriler üzerinde uygulamalı olarak gösterilecektir.



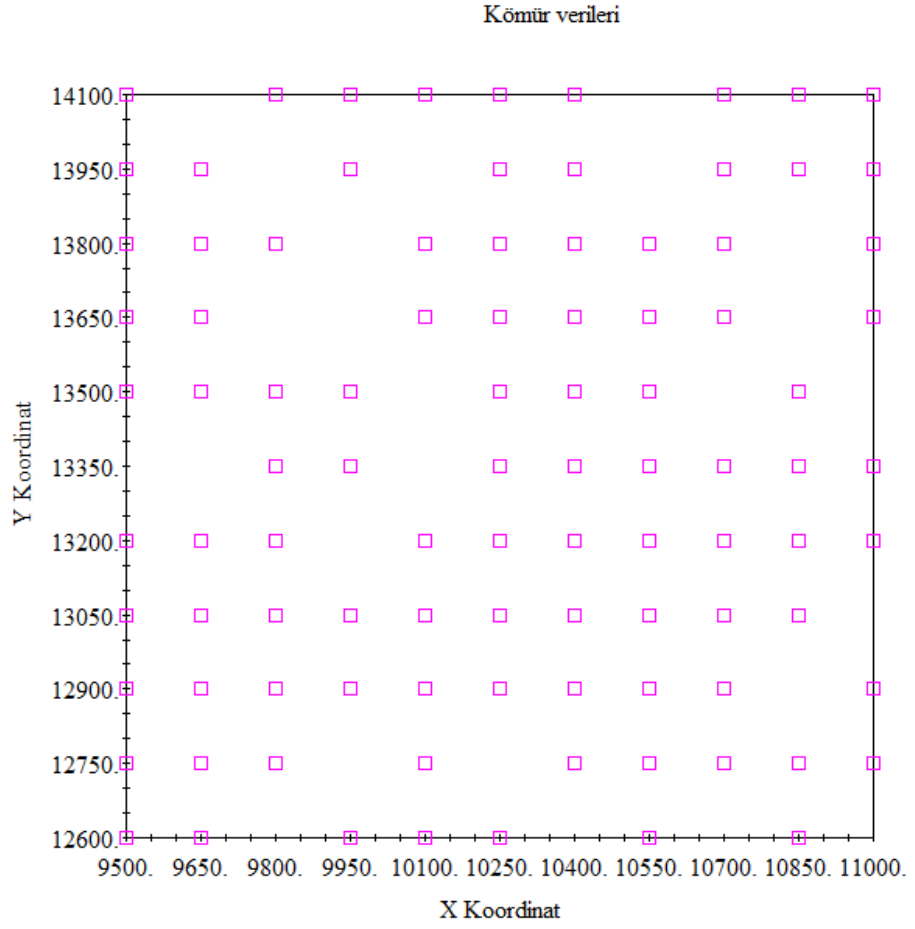
Şekil 5.1 : Kullanılan yöntem akım şeması.

Yukarıda bahsedilen akım şemasını takip eden bir lisanslı yazılım (GS+) kullanılarak bir örnek ele alınacaktır, saha verilerinin jeoistatistiksel analizi de bu yazılım ile yapılmıştır. Ancak öncelikle hesaplama basamakları hakkında ayrıntılı bilgi konuya daha derinlemesine hakim olmak için önemlidir.

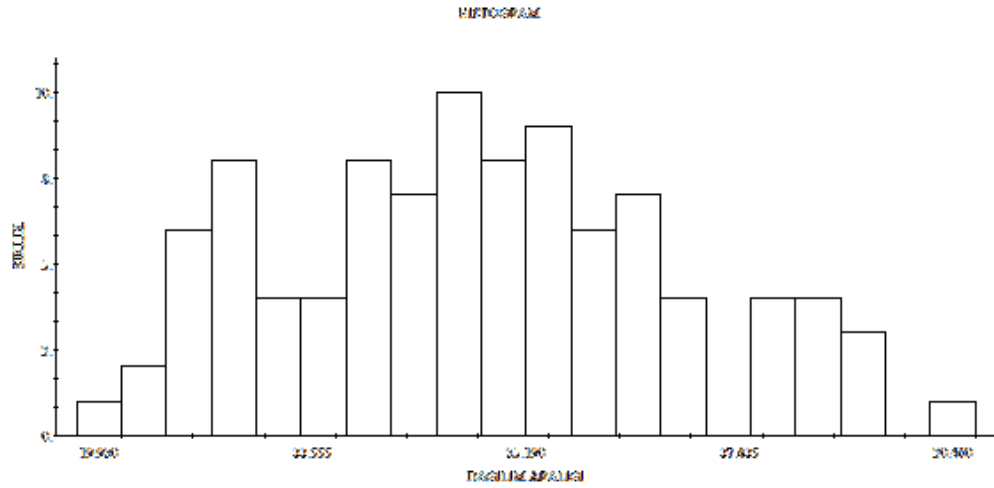
5.1 Tanımlayıcı İstatistik

Jeoistatistik, Matheron tarafından önerilen bölgeselleştirilmiş değişkenler teorisini baz aldığından jeostatistiksel hesaplamalar için küresel ölçekte 3 eksenli veriye ihtiyaç vardır; örneğin bir sondaj işleminin yapıldığı noktanın küresel koordinat sistemdeki x ve y koordinat değerleri hesaplama için gerekli olan x ve y değerlerini verir. Bu değerler noktanın bölgesel bir değişken olduğunu gösterir. Z değerleri ise - küresel koordinat sistemdeki z koordinat değerleri değil- yukarıda bahsedilen ve sahaya ait değişkenlik derecesinin hesaplanması istenen rezerv parametrelerinden birisi olabilir [16].

Tanımlayıcı istatistik işlemler belirlenirken verinin saha içerisinde dağılımı bir x-y koordinat sisteminde gösterilir. Bu türden ve GS+ yazılımı ile çizilen, 96 ayrı noktada yapılmış bir kömür madeni sondajlarından elde edilen verinin noktasal dağılımı Şekil 5.2’de görülmektedir. Şekilden de anlaşılabileceği üzere, en büyük ve en küçük x ve y değerlerine göre sahanın sınırları belirlenmiş ve tüm noktalar bu sınırlar içerisinde kalacak şekilde oluşturulmuştur. Sahada yapılan sondajlar arası x ve y eksenini yönündeki dik mesafeler 150 m’dir. Çeşitli noktalarda sondaj yapılamadığı görülmektedir (Örn: (X ; Y) = (9650 ; 14100), (X ; Y) = (9800 ; 13950)). Kömürün sondajla kesildiği yükselti değeri, kalınlığı, kalorifik değeri, kül oranı ve kükürt içeriği sahada toplanan veriler yani Z verisi olarak alınabilecek (sahadaki yayılımının nasıl değiştiği bulunması gereken) değerlerdir. Örneğin Z verisi olarak kalorifik değer atanırsa, bu değerler ileriki hesaplamalarda kullanılacak tanımlayıcı istatistik parametrelerini belirlemek gerekir. Bunlardan biri, dağılımın sıklık grafiğinin (histogram) çizilmesidir (Şekil 5.3). Buradan verinin normal dağılıma benzer bir veri grubu olup olmadığı söylenebilir. Daha sonra kalorifik veri değerlerinin aritmetik ortalaması, standart sapması, varyansı, en büyük ve en küçük değerleri, çarpıklık ve basıklık gibi tanımlayıcı istatistik değerleri belirlenebilir , bu değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.2 : Kömür verileri dağılımı.



Şekil 5.3 : Komür verileri sıklık grafiği.

Çizelge 5.1 : Kalorifik değerin tanımlayıcı istatistik değerleri .

Ortalama	24.62385	Çarpıklık	0.231603
Standart Hata	0.250895	Aralık	10.54
Ortanca	24.565	En Büyük	19.92
Kip	21.36	En Küçük	30.46
Standart Sapma	2.458261	Toplam	2363.89
Örnek Varyans	6.043047	Say	96
Basıklık	-0.5622		

5.2 Variogram

Variogram, kısaca uzaklığa bağlı ilişki fonksiyonu olarak tanımlanır. Rastlantı değişkenlerinin tanımlandığı noktalar ((X1;Y1) ile (X2;Y2)) arası uzaklık ile bu noktalardaki değerleri (Z1, Z2) arasında bir ilişki vardır. Normal olarak uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi (yaklaşması), arttıkça benzerliğin azalması beklenir. Başka bir deyişle bölgesel değişkenlerin arasındaki fark, bu değerler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Variogram iki örnek arasındaki mesafe ve yön ile değişmektedir. Variogram analizi de veri dağılımının mesafe ve yöne göre değişiminin (uzaysal durumunun) belirlenmesidir. Daha berrak bir tanım “daha önceden belirlenmiş bir yönde örneklenmiş numune çiftleri arasındaki değerlerin farklarını tanımlayan fonksiyon” olabilir. Bu, (5.1) eşitliği ile ifade edilebilir [17].

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (5.1)$$

Burada $\gamma(h)$ = h mesafeli değişkene bağlı variogram fonksiyonunu

N= hesaplamada ele alınan çift sayısını

$Z(x+h)$ = x noktasından h kadar uzaklıkta bulunan noktanın(x+h noktasının) Z değerini

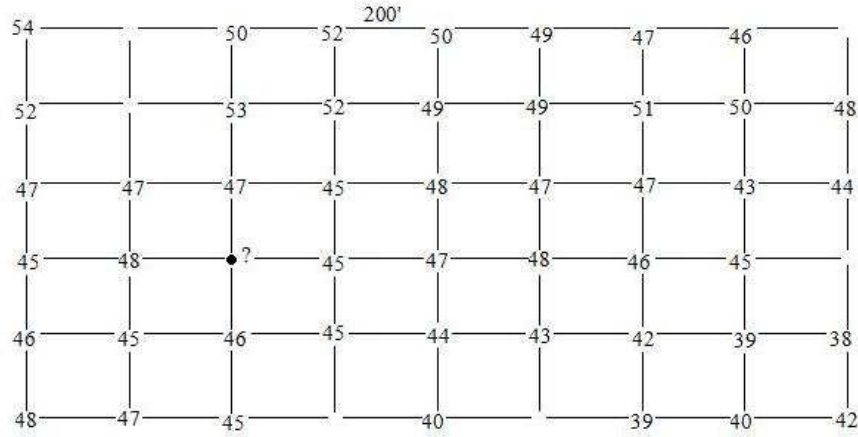
$Z(x)$ = x noktasındaki Z değerini verir.

Bu eşitliğin ifade edilmesi ise şu şekilde yapılabilir: Variogram fonksiyonu; belli bir uzaysal alan ve yönde bulunan bir noktadan h kadar uzaklıktaki başka bir noktanın

değerleri arasındaki farkın karelerinin toplamının, ele alınan çift sayısının iki katına bölünmesi ile elde edilir.

Bu tanımları pratik bir hale getirebilmek için bir demir madeni verilerinin variogram fonksiyonunun hesaplanması bir örnekle açıklanacak olursa;

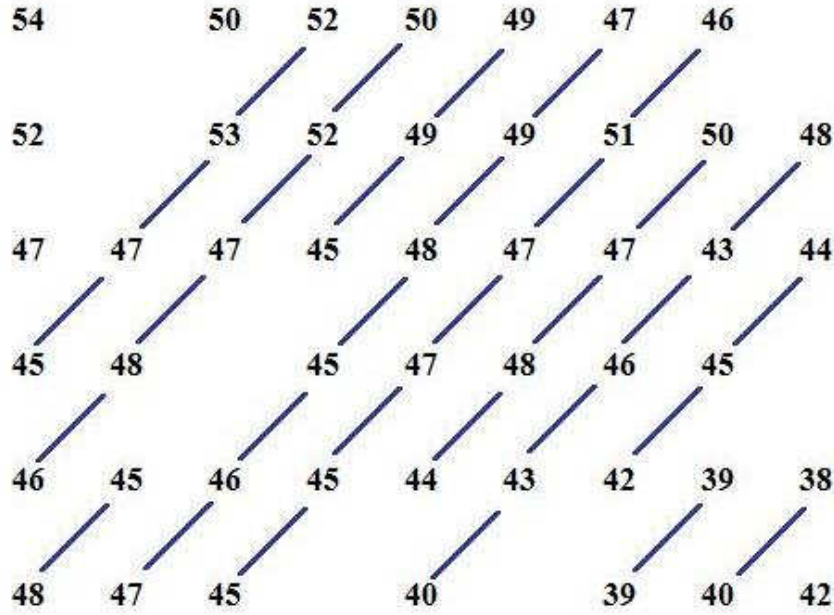
Öncelikle sahanın Şekil 5.4'deki gibi haritası çizilir. Görüldüğü gibi bu saha x ve y yönünde 200 birimlik aralıklarla bölünmüştür. Her noktadaki tenör değeri (Z değerleri) üzerinde yazılıdır. Her noktanın X ve Y koordinatı bellidir. Bazı noktalarda ölçüm yapılamamıştır. Bu değerlerin hesaplanması variogram fonksiyonunun hesaplanması ile mümkündür. Variogram fonksiyonu bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık sayısal olarak belirlenebilir.



Şekil 5.4 : Bir demir madeni tenör dağılım haritası.

Şekil 5.4'te soru işareti ile gösterilen noktanın hesaplanması için sahanın deneysel variogram değerlerinin hesaplanması gerekir. Öncelikle belirli bir yön alınır. Örneğin kuzeydoğu-güneybatı yönü alınsın. Bu yönde örneklenmiş (Z değeri bilinen) noktalar arası en küçük mesafe $200\sqrt{2} = 282,843$ birimdir. Bu sahada 282,843 birim mesafeye sahip ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde örneklenmiş veri çiftleri sayısı belirlenir (N) (Şekil 5.5) (veriler arasındaki her bir çizgi bir veri çiftine karşılık gelir) ve bu veri çiftlerinin Z değerleri arasındaki farkların kareleri alınarak toplanır (Şekil 5.6) ve veri çifti sayısının iki katına bölünür. Buradan $\gamma(h)$ variogram fonksiyonun $h=282,843$ birim uzunluktaki ve Kuzeydoğu-Güneybatı yönünde alınan 31 veri çiftinden elde edilen sayısal değeri 3,89 olarak hesaplanır. Hesaplamalar tez cdsinde verilmiştir. Variogram fonksiyon modelini hesaplamak için diğer yönlerde ve birim mesafenin katları kadar olan mesafelerde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen

değerler Çizelge 5.2’de gösterilmektedir. Bu hesaplamalar da iron.xls dosyası içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.5 : Kuzeydoğu-güneybatı yönünde örneklenmiş veri çiftleri sayısı.

$$\gamma(282.843)_{KD-GB} = \frac{1}{31} \left[\begin{aligned} &(47-45)^2 + (53-47)^2 + (53-52)^2 + (48-46)^2 + (48-47)^2 \\ &+ (52-47)^2 + (52-50)^2 + (48-45)^2 + (49-45)^2 + (49-49)^2 \\ &+ (47-46)^2 + (46-45)^2 + (48-45)^2 + (49-48)^2 + (49-47)^2 \\ &+ (45-45)^2 + (47-45)^2 + (47-47)^2 + (51-47)^2 + (51-46)^2 \\ &+ (48-44)^2 + (48-47)^2 + (50-47)^2 + (43-40)^2 + (46-43)^2 \\ &+ (46-43)^2 + (48-43)^2 + (45-42)^2 + (45-44)^2 + (39-39)^2 \\ &+ (40-38)^2 \end{aligned} \right]$$

$$\gamma(282.843)_{KD-GB} = \frac{1}{31} \left[\begin{aligned} &2^2 + 6^2 + 1^2 + 2^2 + 1^2 + 5^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 0^2 + 1^2 + 1^2 + 3^2 + 0^2 \\ &+ 1^2 + 2^2 + 0^2 + 2^2 + 0^2 + 4^2 + 5^2 + 4^2 + 1^2 + 6^2 + 3^2 + 3^2 + 3^2 \\ &+ 5^2 + 3^2 + 1^2 + 0^2 + 2^2 \end{aligned} \right]$$

Şekil 5.6 : Veri çiftlerinin Z değerleri arasındaki farkların karelerinin hesabı.

Çizelge 5.2 yakından incelenecek olursa mesafe arttıkça hesaplamaya dahil edilen veri çifti sayısının azaldığı dikkat çekmektedir. Buna karşılık sahaya ait variogram fonksiyonunun ilgili uzaklıktaki değerleri ise gittikçe artmaktadır. Ancak bu değerler bazen doğrusal bir artış eğiliminde değildir. Belirli bir uzaklık değerinden sonra

variogram fonksiyonunun aldığı değerler sabitleşmeye başlar. Bunun değişimi Variogram fonksiyonunu tanımlayacak bir modelin oluşturulması ile mümkündür. Model oluşturulması demek elde edilen değerleri en yüksek korelasyonla yansıtan bir eğri uyarlama işlemidir.

Çizelge 5.2 : Mesafeye bağlı olarak variogram fonksiyonu değerlerinin değişimi.

Kuzey/güney			Doğu/batı		
h	$\gamma(h)$	N_h	h	$\gamma(h)$	N_h
200	5.53	36	200	1.35	36
400	9.76	25	400	3.16	28
600	18.47	17	600	4.26	21
800	30	10	800	5.34	16
1000	29.5	4	1000	7.77	11
Kuzeydoğu/güneybatı			Kuzeybatı/güneydoğu		
h	$\gamma(h)$	N_h	h	$\gamma(h)$	N_h
282.84	3.96	31	282.84	7.72	30
565.68	5.67	21	565.68	14.61	18
848.52	8.46	14	848.52	28.55	10

5.3 Variogram Model Seçimi

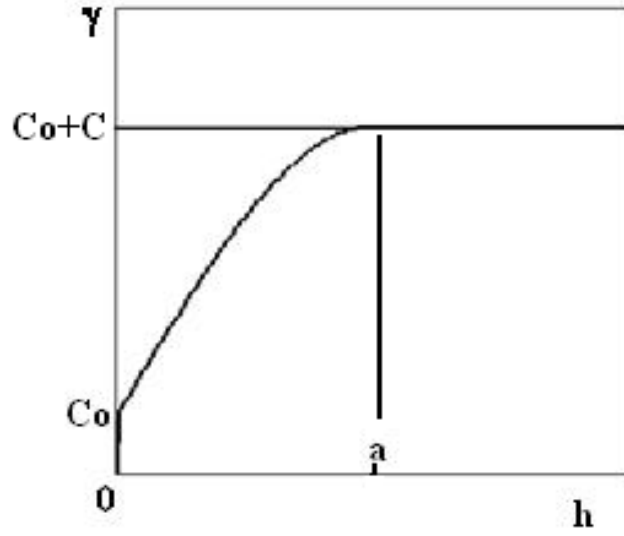
Yukarıda açıklanan deneysel variogram değerleri belli uzaklıklar için hesaplanır ve bunun dışındaki uzaklıklarda variogram değerleri bilinmez. Bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle örneklenmemiş noktalardaki değerlerinin kestiriminde, variogramı bütün uzaklıklarda bilmek gerekir. Bu ise variogram modellemeyi yani deneysel variogram değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirir. Bu fonksiyon doğrusal ya da eğrisel olabilir. Variogram modelleri sill (eşik) değerleri olup olmamasına göre ikiye ayrılır.

5.3.1 Silli Modeller

5.3.1.1 Küresel Model

En yaygın kullanılan variogram modelidir (Şekil 5.7). Zengin ve yoksul oluşumların bulunduğu bir sahayı tanımlarken en doğru sonuç veren modeldir. Küresel

variogram, artan h değerleri ile artar, yapısal uzaklığa (a) ulaşıldığında artışını durdurur. Bu uzaklıkta variogramın değeri (C_0+C)'ye eşittir [18].



Şekil 5.7 : Küresel Model [18].

C = Sill (Eşik değeri), a = etki mesafesi,

C_0 =külçe etkisi, h = iki örnek arası mesafe

$$\gamma(0) = 0, h = 0 \text{ ise}$$

$0 < h < a$ ise,

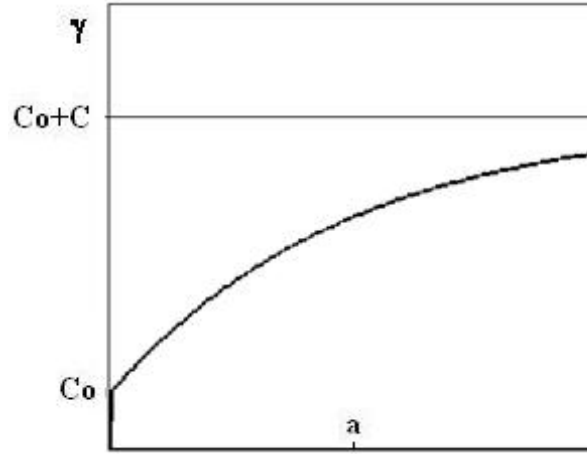
$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1h^3}{2a^3} \right] \quad (5.2)$$

$h > a$ ise,

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad (5.3)$$

5.3.1.2 Üssel Model

Üssel modelde mesafe değeri arttıkça, variogram fonksiyonunun değeri daha yavaş artarken küresel modele kıyasla a değeri daha yüksek bir değer alır (Şekil 5.8) [18].



Şekil 5.8 : Üssel Model [18].

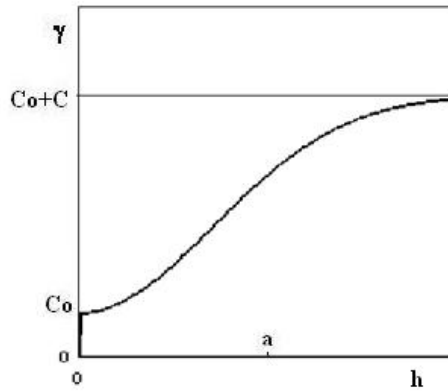
$\gamma(0) = 0$, $h=0$ ise

$h > 0$ ise,

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\frac{h}{a}} \right], \quad (5.4)$$

5.3.1.3 Gauss Modeli

Orijinde parabolik davranış gösteren tek variogram modelidir. Külçe etkisi olmadığı durumlarda sayısal değişkenlikler gösterdiği tecrübe edilmiştir (Şekil 5.9) [18].



Şekil 5.9 : Gauss Modeli [18].

$\gamma(0) = 0$, $h=0$ ise

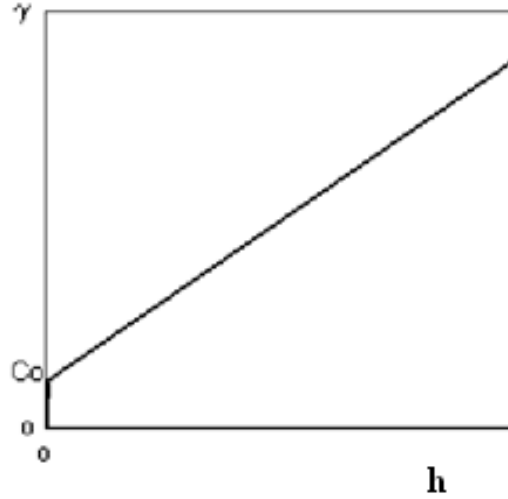
$h > 0$ ise,

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}} \right], \quad (5.5)$$

5.3.1 Silsiz Modeller

5.3.2.1 Doğrusal Model

Bu model variogramın en basit modelidir. Mesafe değeri artıkça, bu mesafeye denk gelen variogram fonksiyonu değeri de doğrusal olarak artar (Şekil 5.10) [18].



Şekil 5.10 : Doğrusal Model [18].

$\gamma(0) = 0$, $h=0$ ise

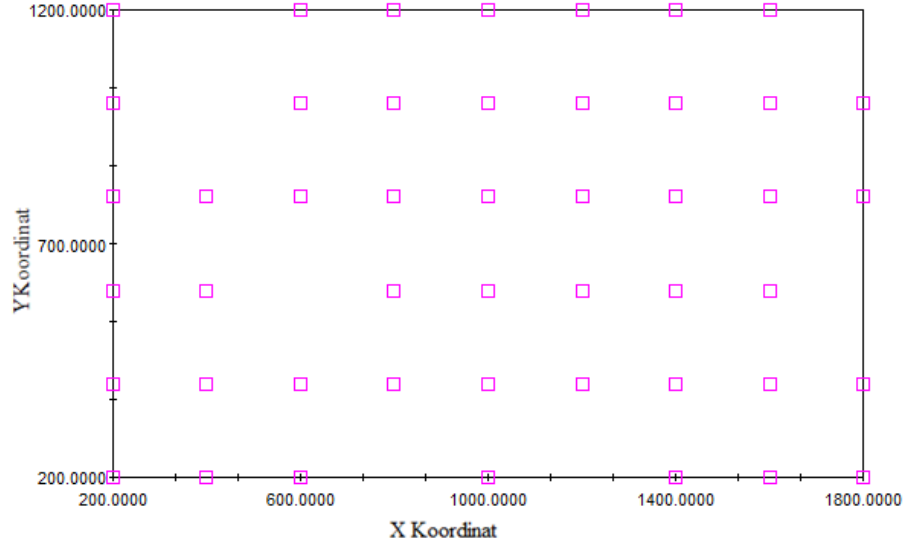
$h > 0$,

$$\gamma(h) = C_0 + ph \quad (5.6)$$

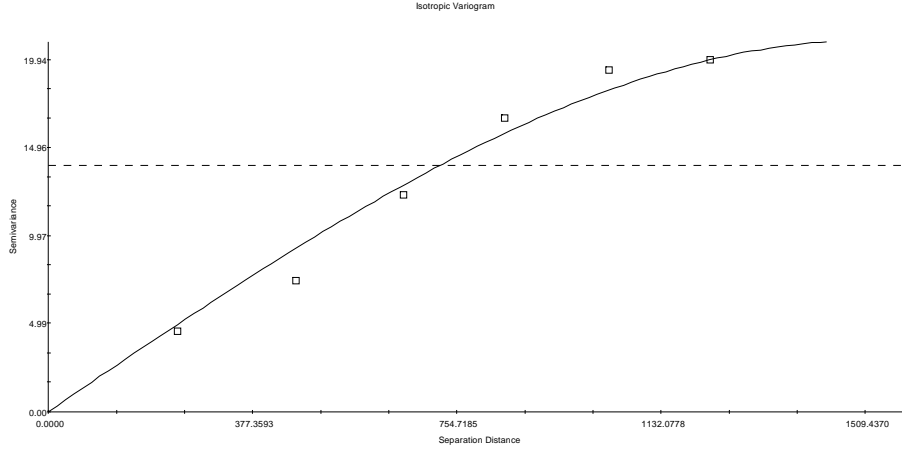
p = eğrinin eğimi

Genelleştirilmiş doğrusal model, yuvalı yapılar, paddington modeli gibi farklı modellerde mevcuttur.

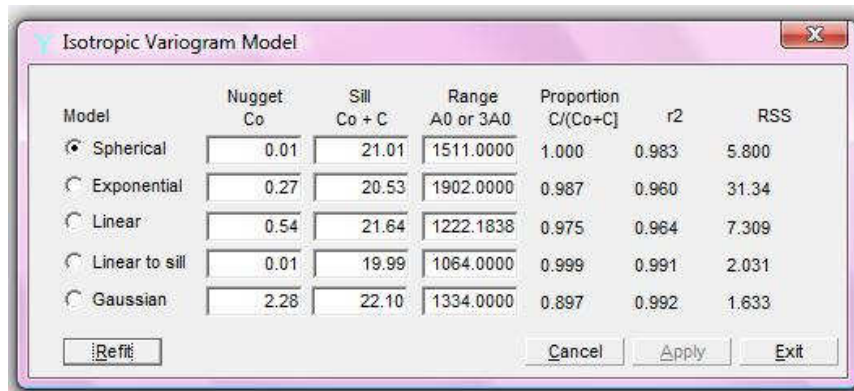
Şekil 5.11’de dağılım haritası çizilen demir madeni verileri GS+ paket programında variogram analizine tabi tutulursa variogram fonksiyonunun küresel modele (Şekil 5.12) uygun olduğu görülebilir ve elde edilen fonksiyonun parametreleri de Şekil 5.13’te görülmektedir.



Şekil 5.11 : Demir madeni dağılımı.



Şekil 5.12 : Küresel modele uygun variogram fonksiyon grafiği.



Şekil 5.13 : Variogram fonksiyonu parametreleri [19].

Şekil 5.13'teki parametrelerden anlaşılacağı üzere C_0 değeri sıfıra oldukça yakındır. Bu verilerin düzgün bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir.

Burada bulunan bu C_0 , C_0+C ve A_0 parametreleri daha sonra kriging hesabında kullanılacaktır. Bunun için öncelikle kriging işlemi ile ilgili bilgilerin kazanılması önemlidir.

5.4 Kriging

Variogram fonksiyonu bölgesel değişkenin çeşitli özelliklerinin sayısal olarak belirlenmesi yanında örneklenmemiş noktalarındaki bilinmeyen değerlerin kestirimi amacıyla kullanılabilir. Genel olarak kestirim işlemi bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması olarak alınır. Matematiksel olarak bu işlem

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (5.7)$$

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) = \lambda_1 z(x_1) + \lambda_2 z(x_2) + \dots + \lambda_i z(x_i) \quad (5.8)$$

formunda ifade edilir [18].

$z^*(x_0) = x_0$ noktasındaki bilinmeyen ancak kestirilen değeri,

$z^*(x_1) = x_1$ noktasının kestiriminde kullanılacak verileri ve

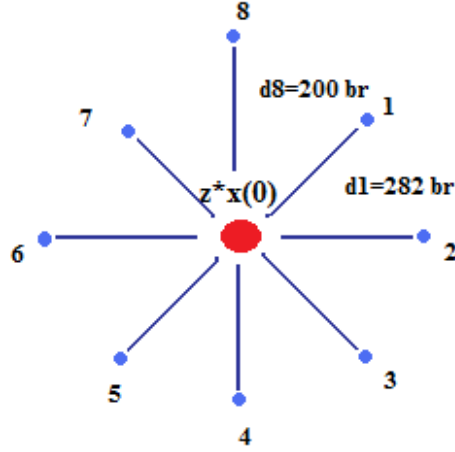
λ_i =bu verilere atanacak ağırlıkları ifade etmektedir. Bu ağırlıkların toplamı

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \text{ olmalıdır.}$$

Normal olarak x_i noktalarındaki değişkenlerin değerleri bellidir. Ancak bunlara verilecek ağırlıkları hesaplamak gerekir. Jeostatistikte bu ağırlıklar kestirim hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı en küçük olacak şekilde belirlenir. Ağırlıkların bu koşullar altında belirlenmesi işlemine kriging denir [18].

Kriging işlemini daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse; bir bloğun değerini (tenör, kalınlık, kalorifik değer gibi), bloğun yakınındaki örnek değerlerinin doğrusal kombinasyonu olarak hesaplayan jeostatistiğin temel unsurudur.

Şekil 5.4'te soru işareti ile gösterilen ve Şekil 5.14'te daha açık ifade edilen bir demir madenine ait noktanın tenör değerinin ($z^*(x_0)$ değeri) tahmin işlemi kriging işlemi ile yapılırsa aşağıdaki gibi bir sırayı izlemek uygun olacaktır.



Şekil 5.14 : Kriging işleminde ele alınan noktalar ve hesaplanacak nokta..

Şekil 5.14'den de görüleceği üzere ortada kalan $z^*x(0)$ noktası, $z(x_1)$, $z(x_2)$,..... $z(x_7)$ noktalarının tenör değerleri ve bu değerlere atanan $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_7$, değerlerini kullanarak hesaplanacaktır. λ_i değerleri ise Şekil 5.12'de grafiği Şekil 5.13'te parametreleri gösterilen ve bu saha için oluşturulan küresel variogram modeli değerlerinden hesaplanacaktır ve bu 7 ağırlık değerinin toplamının 1 olması gerektiği unutulmamalıdır [19].

Eşitlik (5.7) bu örnek için yeniden yazılırsa;

$$z^*(x_0) = \lambda_1 z(x_1) + \lambda_2 z(x_2) + \dots + \lambda_7 z(x_7) \quad (5.9)$$

olur. Şekil 6.4 ya da 6.5'ten $z(x_1)$ $z(x_7)$ değerleri yerine koyulursa

$$z^*(x_0) = \lambda_1 35 + \lambda_2 35 + \lambda_3 35 + \lambda_4 36 + \lambda_5 35 + \lambda_6 38 + \lambda_7 37 + \lambda_{87} 37 \quad (5.10)$$

eşitliği elde edilir [18].

Sıradan bir (Ordinary) kriging işleminde hesap edilmesi gereken Eşitlik (5.10)'da bilinmeyen λ_i değerlerinin bulunmasıdır.

Bunların bulunması içinse Çizelge 5.3'teki genelleştirilmiş eşitliklerin oluşturulması gerekir. Bu eşitlikler şu manaya gelmektedir: tenör değeri bilinmeyen nokta ($T=z^*x(0)$) ile tenör değeri bilinen 1. nokta (g_1) arasındaki mesafe değerinden elde edilen ve Şekil 5.12'de grafiği, Şekil 5.13'te de parametreleri gösterilen küresel variogram fonksiyonu değeri, her bir nokta ile diğer noktalar arasında kalan mesafe

değerlerinin oluşturduğu variogram fonksiyonu değerlerinin ağırlıkları ile çarpılarak hepsinin toplanması ve buna yapılan tahmin hatasının (ε) eklenmesi ile bulunur [19].

Çizelge 5.3 : Örneklenmiş noktalarla bilinmeyen nokta arasındaki variogram fonksiyonu eşitlikleri.

$\lambda_1 \gamma(g1, g1) + \lambda_2 \gamma(g1, g2) + \dots + \lambda_m \gamma(g1, gm) + \varepsilon = \gamma(g1, T)$
$\lambda_1 \gamma(g2, g1) + \lambda_2 \gamma(g2, g2) + \dots + \lambda_m \gamma(g2, gm) + \varepsilon = \gamma(g2, T)$
$\lambda_1 \gamma(g3, g1) + \lambda_2 \gamma(g3, g2) + \dots + \lambda_m \gamma(g3, gm) + \varepsilon = \gamma(g3, T)$
.....
.....
.....
$\lambda_1 \gamma(gm, g1) + \lambda_2 \gamma(gm, g2) + \dots + \lambda_m \gamma(gm, gm) + \varepsilon = \gamma(gm, T)$
$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m = 1$

Her bir nokta ile bilinmeyen nokta arasındaki mesafeye bağlı olarak oluşturulan variogram fonksiyonu değeri benzer şekilde hesaplanır. Buradan Şekil 5.14'te gösterilen demir madeni sistemi için 8 ayrı denklem oluşturulabilir (Çizelge 5.4). Buna ek olarak ağırlıkların toplamının 1 yaptığı bilgisi de 9. denklemi oluşturacaktır. 8 bilinmeyen ağırlık değeri ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8$) ve hata değeri (ε) vardır. 9 denklem oluşturulmuştur. Bu denklem sistemi ile bilinmeyen değerler ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8$ ve ε) çözülebilir [19].

Çizelge 5.4 : Demir madeni için oluşturulan denklem kümesi [19].

$\lambda_1 \gamma(g1, g1) + \lambda_2 \gamma(g1, g2) + \dots + \lambda_7 \gamma(g1, g7) + \varepsilon = \gamma(g1, T)$
$\lambda_1 \gamma(g2, g1) + \lambda_2 \gamma(g2, g2) + \dots + \lambda_7 \gamma(g2, g7) + \varepsilon = \gamma(g2, T)$
$\lambda_1 \gamma(g3, g1) + \lambda_2 \gamma(g3, g2) + \dots + \lambda_7 \gamma(g3, g7) + \varepsilon = \gamma(g3, T)$
$\lambda_1 \gamma(g4, g1) + \lambda_2 \gamma(g4, g2) + \dots + \lambda_7 \gamma(g4, g7) + \varepsilon = \gamma(g4, T)$
$\lambda_1 \gamma(g5, g1) + \lambda_2 \gamma(g5, g2) + \dots + \lambda_7 \gamma(g5, g7) + \varepsilon = \gamma(g5, T)$
$\lambda_1 \gamma(g6, g1) + \lambda_2 \gamma(g6, g2) + \dots + \lambda_7 \gamma(g6, g7) + \varepsilon = \gamma(g6, T)$
$\lambda_1 \gamma(g7, g1) + \lambda_2 \gamma(g7, g2) + \dots + \lambda_7 \gamma(g7, g7) + \varepsilon = \gamma(g7, T)$
$\lambda_1 \gamma(g8, g1) + \lambda_2 \gamma(g7, g2) + \dots + \lambda_8 \gamma(g8, g8) + \varepsilon = \gamma(g8, T)$
$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_8 = 1$

Bunun için Çizelge 5.4'te verilen eşitliklerin her bir variogram fonksiyonu değeri Şekil 5.13'te parametreleri verilen küresel variogram fonksiyonu ile hesaplanması

gerekir. Örneğin $\gamma(g1, g1)$ demek g1 ile g1 noktası arasındaki mesafenin oluşturduğu variogram değeridir. Bu da $\gamma(0)$ anlamına gelir yani iki nokta arasındaki mesafe (h) 0'dır. Şekil 5.7'deki teorik bilgilere başvurulursa h=0 iken $\gamma(0) = 0$ olduğu sonucu ortaya çıkacaktır.

Benzer hesaplama $\gamma(g1, g2)$ için yapılacak olursa; g1 ile g2 noktası arasındaki mesafenin Şekil 5.4 ya da 5.11'e göre 200 birim olduğu görülür. 200 değeri etki mesafesi (a=A0=1511) değeri ile 0 arasında bir değerdir dolayısı ile,

$0 < h < a$ ise

$\gamma(h) = C_0 + C \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{1h^3}{2a^3} \right\}, 0 < h < a$ ise (5.11) eşitliği ile variogram

fonksiyonunun hesaplanması gereklidir[18]. Buradan

$$\gamma(200) = 0,01 + 21,01 \left[\frac{3 * 200}{2 * 1511} - \frac{1 * 200^3}{2 * 1511^3} \right], 0 < h < a \text{ olduğundan}$$

$\gamma(200) = 4.157$ bulunur.

Benzer şekilde $\gamma(g1, g3)$ bulunacak olursa g1-g3 arasındaki mesafe 400 birim'dir buna göre

$$\gamma(400) = 0,01 + 21,7 \left[\frac{3 * 400}{2 * 1511} - \frac{1 * 400^3}{2 * 1511^3} \right], 0 < h < a \text{ olduğundan}$$

$\gamma(400) = 5.377$

Benzer şekilde $\gamma(g1, g4)$ bulunacak olursa g1-g4 arasındaki mesafe 447 birim'dir, buna göre

$$\gamma(447) = 0,01 + 21,7 \left[\frac{3 * 447}{2 * 1511} - \frac{1 * 447^3}{2 * 1511^3} \right], 0 < h < a \text{ olduğundan}$$

$\gamma(447) = 9.061$ olarak bulunur [19]. Çizelge 5.5'te mesafeleri verilen değerlere göre küresel variogram fonksiyonunda (eşitlik (5.11)) yerine konularak bulunan hesaplanmış değerler matrisi Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Mesafe matrisi.

	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g8	T
g1	0	200	400	447	564	447	400	200	282
g2	200	0	200	282	447	400	447	282	200
g3	400	200	0	200	400	447	564	447	282
g4	447	282	200	0	200	282	447	400	200
g5	564	447	400	200	0	200	400	447	282
g6	447	400	447	282	200	0	200	282	200
g7	400	447	564	447	400	200	0	200	282
g8	200	282	447	400	447	282	200	0	200

Çizelge 5.6 : Hesaplanan değerler matrisi.

$\gamma(g_i, g_i)$	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g8	T
g1	0	4.157	5.377	9.061	11.23	9.061	5.377	4.157	5.82
g2	4.157	0	4.157	5.82	9.061	5.377	9.061	5.82	4.157
g3	5.377	4.157	0	4.157	5.377	9.061	11.23	9.061	5.82
g4	9.061	5.82	4.157	0	4.157	5.82	9.061	5.377	4.157
g5	11.23	9.061	5.377	4.157	0	4.157	5.377	9.061	5.82
g6	9.061	5.377	9.061	5.82	4.157	0	4.157	5.82	4.157
g7	5.377	9.061	11.23	9.061	5.377	4.157	0	4.157	5.82
g8	4.157	5.82	9.061	5.377	9.061	5.82	4.157	0	4.157

Çizelge 5.6'daki hesaplanan değerlerden yararlanarak Çizelge 5.4 yeniden düzenlenirse aşağıdaki Çizelge 5.7 oluşacaktır.

Çizelge 5.7 : Hesaplanmış küresel variogram değerlerinin denklemlerde gösterimi.

$\lambda_1.0 + \lambda_2.4.157 + \lambda_3.5.377 + \lambda_4.9.061 + \lambda_5.11.23 + \lambda_6.9.061 + \lambda_7.5.377 + \lambda_8.4.157 + \varepsilon = 5.82$
$\lambda_1.4.157 + \lambda_2.0 + \lambda_3.4.157 + \lambda_4.5.82 + \lambda_5.9.061 + \lambda_6.5.377 + \lambda_7.9.061 + \lambda_8.5.82 + \varepsilon = 4.157$
$\lambda_1.5.377 + \lambda_2.4.157 + \lambda_3.0 + \lambda_4.4.157 + \lambda_5.5.377 + \lambda_6.9.061 + \lambda_7.11.23 + \lambda_8.9.061 + \varepsilon = 5.82$
$\lambda_1.9.061 + \lambda_2.5.82 + \lambda_3.4.157 + \lambda_4.0 + \lambda_5.4.157 + \lambda_6.5.82 + \lambda_7.9.061 + \lambda_8.5.377 + \varepsilon = 4.157$
$\lambda_1.11.23 + \lambda_2.9.061 + \lambda_3.5.377 + \lambda_4.4.157 + \lambda_5.0 + \lambda_6.4.157 + \lambda_7.5.377 + \lambda_8.9.061 + \varepsilon = 5.82$
$\lambda_1.9.061 + \lambda_2.5.377 + \lambda_3.9.061 + \lambda_4.5.82 + \lambda_5.4.157 + \lambda_6.0 + \lambda_7.4.157 + \lambda_8.5.82 + \varepsilon = 4.157$
$\lambda_1.5.377 + \lambda_2.9.061 + \lambda_3.11.23 + \lambda_4.9.061 + \lambda_5.5.377 + \lambda_6.4.157 + \lambda_7.0 + \lambda_8.4.157 + \varepsilon = 5.82$
$\lambda_1.4.157 + \lambda_2.5.82 + \lambda_3.9.061 + \lambda_4.5.377 + \lambda_5.9.061 + \lambda_6.5.82 + \lambda_7.9.061 + \lambda_8.0 + \varepsilon = 4.157$
$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_8 = 1$

Sayısal analiz yöntemlerini kullanarak Çizelge 5.7’de verilen değerlerin katsayılar matrisini (A) ve sonuç matrisini (C) oluşturarak, bilinmeyen (B) ağırlık matrisi hesaplanabilir. Burada yapılması gereken A matrisinin tersini alıp C matrisi ile çarpmaktır. Sonuçta çıkan K matrisi B bilinmeyen ağırlık matrisinin değerleridir. Çizelge 5.8’de A matrisi, Çizelge 5.9’da ise B ve C matrisleri verilmiştir [19].

Çizelge 5.8 : A matrisi.

A=	0	4.157	5.377	9.061	11.23	9.061	5.377	4.157	1
	4.157	0	4.157	5.82	9.061	5.377	9.061	5.82	1
	5.377	4.157	0	4.157	5.377	9.061	11.23	9.061	1
	9.061	5.82	4.157	0	4.157	5.82	9.061	5.377	1
	11.23	9.061	5.377	4.157	0	4.157	5.377	9.061	1
	9.061	5.377	9.061	5.82	4.157	0	4.157	5.82	1
	5.377	9.061	11.23	9.061	5.377	4.157	0	4.157	1
	4.157	5.82	9.061	5.377	9.061	5.82	4.157	0	1

Çizelge 5.9 : B bilinmeyen ağırlık matrisi ve C matrisi.

B=	λ_1	C=	5.82
	λ_2		4.157
	λ_3		5.82
	λ_4		4.157
	λ_5		5.82
	λ_6		4.157
	λ_7		5.82
	λ_8		4.157

$$K=B \cdot A^{-1}$$

Buradan A’nın tersi olan A⁻¹ matrisi Çizelge 5.10’da ki gibi bulunur.

Çizelge 5.10 : A matrisinin tersi.

0.29327	0.219939	-0.53831	-0.17924	0.73095	-0.17924	-0.53831	0.219939	0.022774
0.219939	-0.51389	0.219939	0.022994	-0.17924	0.400211	-0.17924	0.022994	0.400911
-0.53831	0.219939	0.293271	0.219939	-0.53831	-0.17924	0.73095	-0.17924	-0.17924
-0.17924	0.02299	0.21993	-0.51389	0.21993	0.02299	-0.17924	0.40021	0.73095
0.73095	-0.17924	-0.53831	0.219939	0.293271	0.219939	-0.53831	-0.17924	-0.51339
-0.17924	0.400211	-0.17924	0.022994	0.219939	-0.51389	0.21993	0.02299	-0.53831
-0.53831	-0.17924	0.73095	-0.17924	-0.53831	0.21993	0.29327	0.21993	0.01196
0.21993	0.02299	-0.17924	0.40021	-0.17924	0.02299	0.21993	-0.51389	0.30071
0.02277	0.40091	-0.17924	0.73095	-0.51339	-0.53831	0.01196	0.30071	-4.2313

Bulunan A`matrisi, C sonuç matrisi ile çarpılırsa her bir ağırlık değerini gösteren K matrisi Çizelge 5.11'daki gibi oluşur.

Çizelge 5.11 : K matrisi.

K=B=
$\lambda_1 = 0.0334 \lambda_2 = 0.1923 \lambda_3 = 0.1765 \lambda_4 = 0.2246 \lambda_5 = 0.11846 \lambda_6 = 0.1861 \lambda_7 = 0.0171 \lambda_8 = 0.1121$

Buradan bulunan $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8$ değerleri Eşitlik (5.10)'da yerine koyulursa

$$z(x_0) = 0.0334 * 35 + 0.1923 * 35 + 0.1765 * 35 + 0.2246 * 36 + 0.1184 * 35 + 0.1861 * 38 + 0.0171 * 37 + 0.1121 * 37$$

$z^*(x_0)$ bilinmeyen değeri $z^*(x_0) = 38.16$ olarak bulunur. Bu sadece Şekil 5.4'te soru işareti ile gösterilen noktanın tenör değeridir.

Bu işlem mesafenin tersi yöntemi ile yapılsaydı aşağıda Çizelge 5.12'deki sonuçlar elde edilecekti.

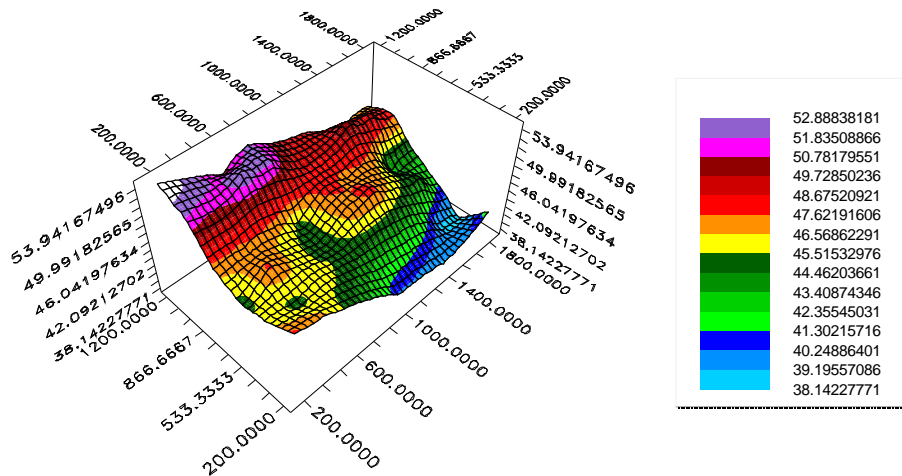
Çizelge 5.12 : Mesafenin Ters yöntemiyle bulunan $z^*(x_0)$ değeri.

Örnek No	mesafe	mesafenin tersi	ağırlık	örnek değer	ağırlık*örnek değer
1	282	0.004122	0.14879	35	5.20765
2	200	0.009831	0.09894	35	3.4629
3	282	0.004122	0.14879	35	5.20765
4	200	0.009831	0.09894	36	3.56184
5	282	0.004122	0.14879	35	5.20765
6	200	0.009831	0.09894	38	3.75972
7	282	0.004122	0.14879	37	5.50523
8	200	0.009831	0.09894	37	3.66078
Toplam		0.055812	1		35.57 %Fe

Mesafenin tersi yöntemi ile $z^*(x_0)$ noktasında bulunan değer daha düşük çıkmıştır.

Bu saha x ve y yönünde 100 birim aralıklarla 54 nokta belirlenerek sondajlar yapılmak istenmiştir ancak sadece 48 noktada sondaj yapılabilmektedir. Bu sahada örneğin X ve Y yönünde 10 ar birim arayla noktalar belirlenirse. Bunlardan sadece 48 i bilinen değerlerdir. Geriye kalan 3952 bilinmeyen noktanın ($z^*(x_0)$) küresel variogram fonksiyonu ve belirli bir mesafedeki bilinen noktalardan faydalanarak belirlenmesi gerekir. Böylece bu sahanın 3 boyutlu tenör grafiğinin çizilebilmesi mümkün olacaktır. Buna bağlı olarak da bu noktalar X,Y,Z koordinat sisteminde birleştirilirse 3 boyutlu bir harita çizmek mümkün olabilecektir. Daha sonra da yorumlama yapılabilir [19].

Ancak bu işlemlerin elle yapılması yukarıdaki işlem aşamalarının 3952 defa tekrarlanması anlamına geldiğinden bu işlemleri yapan paket programlar kullanarak belirlemek zaman ekonomisi sağlamak açısından önemlidir. Piyasada bu tür işlemleri yapan GSlib, Eccosse, GS+ gibi yazılımlar mevcuttur. İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nün lisanslı kullanıcı olduğu GS+ programı kullanılarak yapılan bu türden ve ele alınan demir madeni için yapılan bir çalışma sonucunda elde edilen sonuçları gösteren 3 boyutlu dağılım grafiği aşağıdaki Şekil 5.15'teki gibidir. Bu çalışma için çizilen variogram fonksiyon grafiği Şekil 5.12'de ve variogram fonksiyonu parametreleri de Şekil 5.13'te gösterilmektedir. Şekil 5.15'in çizilmesinde kullanılan ve program tarafından her bir nokta için yukarıda anlatılan aşamaların kullanıldığı 3525 nokta ve bunların $Z^*x(0)$ bilinmeyen değerleri ile tahmini standart sapma değerleri ekte verilen (iron.krg) dosyasında görülebilir. Buradaki X, Y, Z değerleri herhangi bir 3 boyutlu çizim yapabilen programa (vulcan, micromine) aktarılıp ikincil bir işleme tabi tutulabilir. İlerleyen kısımlarda Gs+ yazılımında jeostatistiksel analizi yapılan verileri Micromine programına aktarıp sözkonusu bölgelerin 3 boyutlu görünimleri elde edilecek ve meydana gelen yeryüzü oturması sonucu kaybedilen hacim değeri hesaplanacaktır.



Şekil 5.15 : Demir madeni teönr değerlerinin 3 boyutlu dağılımı [19].

Şekil 6.15 dikkatle incelenirse sahanın (X, Y) = (200,1000) (200, 600), (500,1200) ve (800,1200) noktaları arasında kalan bölgede en yüksek tenöre sahip bir cevherleşme söz konusudur. Bunun tam çapraz simetriğinde bulunan bölge ise yoksul bölgeler olarak adlandırılabilir. Cevherleşme sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru azalmaktadır. Madene ulaşmak için açılacak kuyu yeri seçimi ekonomik faktörlere göre belirlenecekse daha yüksek tenördeki bölgeye yakın bir kuyunun açılması daha akla yatkın olacaktır.

5.5 Sonuçlar

Jeostatistiksel yöntemler yani kriging kullanılarak yapılan kestirim işleminde diğer yöntemlere göre yapılan hataların varyansı daha küçük olduğundan daha yaklaşık sonuçlar verecektir. Poligon, basit ortalama, uzaklığın tersi ve kriging yöntemleri bir damarın kalınlığının hesaplanmasında karşılaştırılmış ve kestirim hatası varyansları ortaya konmuştur. En küçük hata varyansı değerinin kriging yöntemine ait olduğu görülmektedir. Buradan en yaklaşık sonucun krigingle elde edileceği aşıkardır [18].

Demir madeni hata varyansı Çizelge 5.5 ve 5.6 ile K matrisine başvurulur, eşitlik (5.12) ile hesaplanacak olursa;

$$\sigma_k^2(x_0) = \lambda_1 \gamma(g_1, T) + \lambda_2 \gamma(g_2, T) + \lambda_3 \gamma(g_3, T) + \lambda_4 \gamma(g_4, T) + \lambda_5 \gamma(g_5, T) + \lambda_6 \gamma(g_6, T) + \lambda_7 \gamma(g_7, T) + \varepsilon - \gamma(T, T)$$

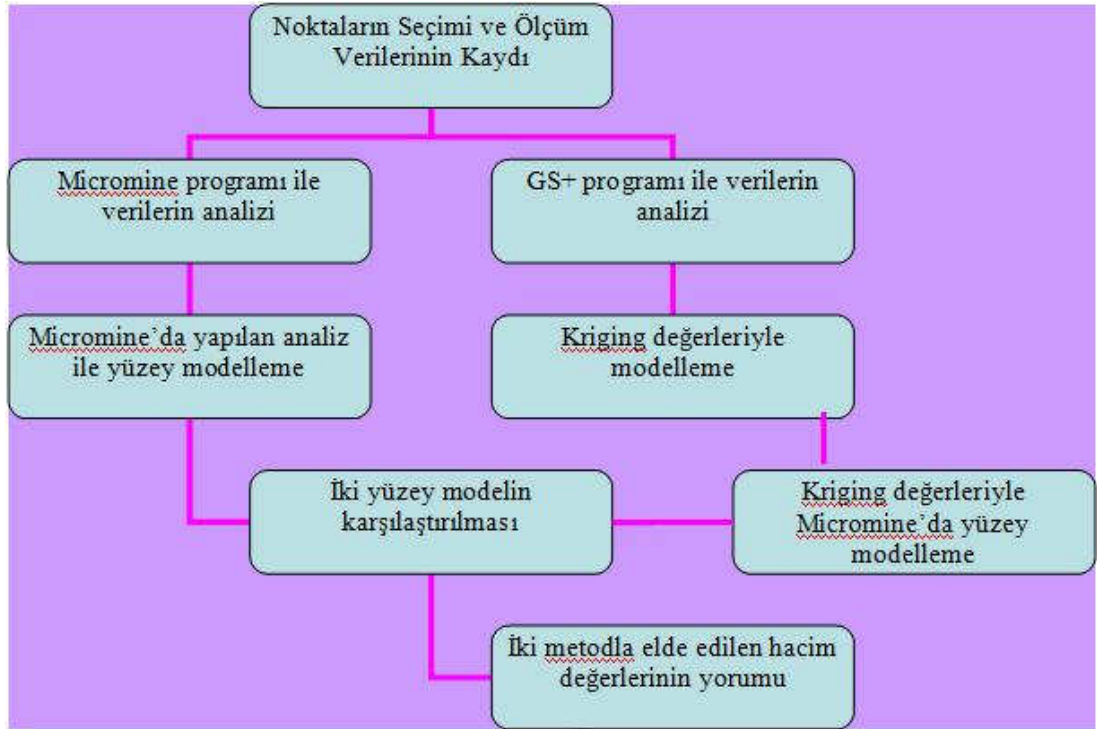
(5.12)

$$\begin{aligned} \sigma_k^2(x_0) &= 0.0334 * 5,82 + 0.1923 * 4.157 + 0.1765 * 5,82 + 0.2246 * 4.157 + 0.1184 * 5,82 \\ &+ 0.1861 * 4.157 + 0.0171 * 5,82 + 0.1121 * 4.157 + (-0.8421) - 0 \\ \sigma_k^2(x_0) &= 4.14 \text{ olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Kriging işlemi bu çalışmada bahsedilen ve elle yapılması oldukça uzun süren bir işlem silsilesinin bir çok kez tekrarlanması esasına dayandığından bunları paket programlar aracılığıyla yapmak zaman ekonomisi sağlamak açısından önemlidir. Bununla beraber ele alınan sahalarda bulunan çeşitli jeolojik oluşumlar (fay, kırık, çatlak, sokulumlar (dayk, sil) ve süreksizlik zonlarının hesaplamaları etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.

6. KAZI SIRASINDA KAYDEDİLEN VERİLERİN JEOİSTATİSTİKSEL ANALİZİ , MODELLENMESİ VE MEYDANA GELEN OTURMALARDAN HAREKETLE HACİM DEĞİŞİMLERİNİN HESAPLANMASI

Bu çalışma kapsamında Kavacık-Paşabahçe-Beykoz atıksu tüneli inşaatı sırasında meydana gelen yeryüzü oturma miktarının hesaplanabilmesi için bir jeostatistik programı olan Gs+ programında kriging yöntemi ile yarı değişken değerleri kullanılarak S8 ve S6 şaftlarında oturma olan bölgenin modellenmesi için hem Gs+'da yapılan kriging ve yarıvariogramlarla hem de Micromine programında oluşturulan değerler yardımıyla Micromine programında modelleme yapılarak bölgenin oturma toğografyası çıkarılmıştır. Çalışmada uygulanan metodun kısımları Şekil 6.1 de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Uygulanan metod.

6.1 Noktaların Seçimi Ve Ölçüm Verilerinin Kaydı

Koordinatları belli ölçüm noktalarına karşılık yükseklik değerleri okunmuş ve her bölge için günlük yarıvariogram analizleri yapılarak sahanın üç boyutlu modelleri çizdirilmiştir. Yeryüzü oturması başlarbaşlamaz saha görevlileri tünel güzergahının yeryüzündeki izdüşümü üzerinde, daha önceden belirlenen noktalarda ölçümler yapmaya başlar. Bu çalışmada, ölçüm noktaları B₁, B₂..B₁₁ olarak isimlendirilmiş olup S8 shaftı için 11, S6 shaftı için ise 17 tanedir. Ölçüm noktalarına ait X, Y ve Z koordinatları saha görevlileri tarafından genel koordinat sisteminde kaydedilmiştir. Bu noktalara ait Z koordinatları deniz seviyesinde, düşey yerdeğiştirme değerlerini belirtir. Bütün X, Y koordinatları ve kayıt gününe göre değişen Z koordinat değerleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilmiştir. Kayıt tarihleri 14 Aralık 2007 ile 7 Nisan 2008 arasında değişmektedir.

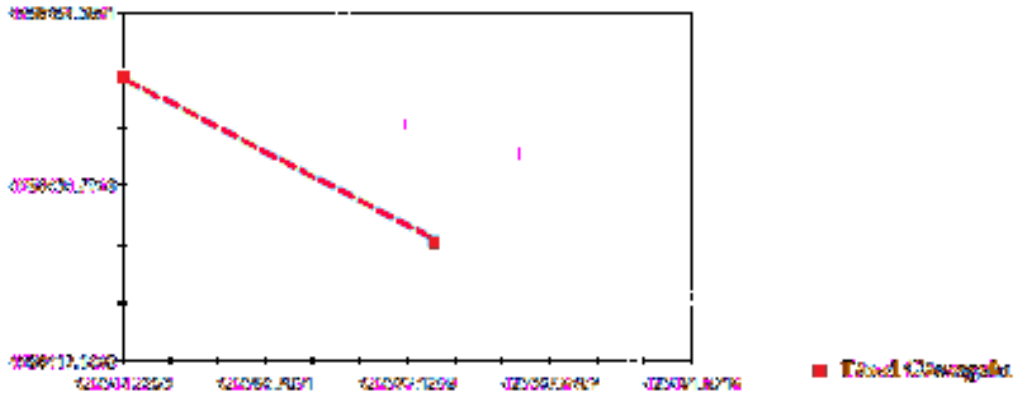
Çizelge 6.1 : S8 Shaftına ait X, Y ve değişen Z değerleri.

S8 Shaftı Noktalar	Koordinatlar		14 Aralık	18 Aralık	22 Aralık	27 Aralık	31 Aralık	5 Ocak	13 Mart	7 Nisan
	X	Y	Z							
B1	424424.9825	4555243.4154	7520	7510.75	7506.25	7503	7501	7500.38	7498	7480
B2	424423.6836	4555219.1838	9132	9124.25	9118.75	9113	9111	9111	9023	8899
B3	424431.1143	4555222.0756	10197	10191.75	10187.25	10181	10180	10180	10176	10046
B4	424434.8338	4555218.3989	9208	9200	9194	9188	9187	9186.38	9183	9141
B5	424445.8522	4555224.1740	9451	9447.25	9443.75	9442	9441	9441	9442	9421
B6	424422.5542	4555218.5493	9301	9295.75	9291.25	9285	9285	9285	9240	9180
B7	424421.0014	4555217.6671	9203	9198.5	9193.5	9191	9188	9186.13	9173	9144
B8	424427.0909	4555221.0630	10036	10031.25	10025.75	10019	10019	10019	9891	9749
B9	424418.4910	4555245.8229	9417	9417	9417	9417	9417	9417	9417	9213
B10	424424.9463	4555235.7846	9548	9548	9548	9548	9548	9548	9548	9354
B11	424422.4263	4555228.1998	9226	9226	9226	9226	9226	9226	9226	9081

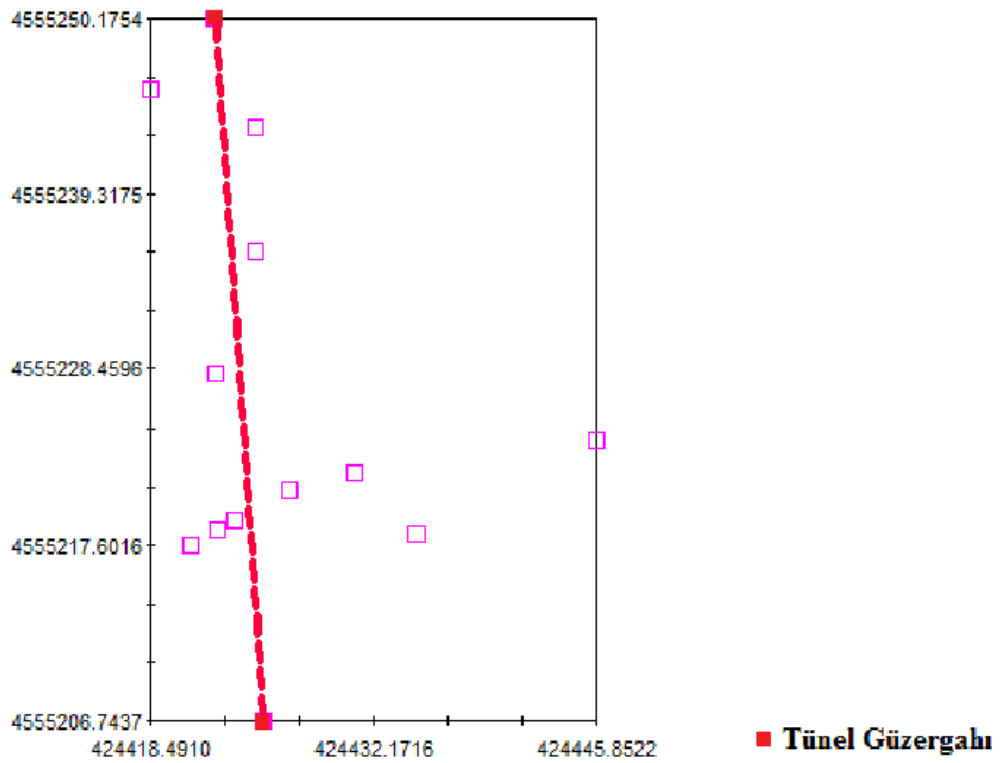
Çizelge 6.2 : S6 Shaftına ait X, Y ve değişen Z değerleri.

S6 shaftı noktalar	Koordinatlar		18 Aralık	20 Aralık	23 Aralık	25 Aralık	31 Aralık	3 Ocak	17 Ocak
	X	Y	Z						
B2	423369.0147	4556424.8667	11,767	11,763	11,757	11,754	11,749	11748	11,748
B3	423371.0030	4556426.8700	12,123	12,117	12,111	12,108	12104	12103	12,102
B4	423375.9909	4556433.7423	13,378	13,369	13,357	13,348	13,344	13,341	13,337
B5	423377.6301	4556436.4837	13,677	13,671	13,660	13,654	13,649	13648	13,645
B6	423373.6023	4556440.9438	14,311	14,308	14,302	14,297	14,294	14293	14,292
B7	423364.7655	4556430.1405	12,000	11,991	11,981	11,962	11,956	11954	11,954
B8	423383.7381	4556437.9871	14,692	14,689	14,684	14,682	14,679	14678	14,677
B9	423389.7077	4556443.6303	15,860	15,858	15,855	15,853	15,852	15850	15,850

S6 ve S8 shaftlarına ait bina ölçüm noktaları ile tünel güzergahlarının yerleri şekil 6.2 ve 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.2 : S6 şaftı bina ölçüm noktaları, tünel güzergahı.



Şekil 6.3 : S8 şaftı bina ölçüm noktaları, tünel güzergahı

6.2 GS+ Programı İle Verilerin Analizi

Bu adım da, gün ve gün kaydedilen her x, y ve z değeri, tanımlayıcı istatistik yöntemi ve yarıvariogram analizi yapmak üzere GS+ programına aktarılır. Etki alanı, külçe etkisi gibi yarıvariogram parametreleri hesaplandıktan sonra gerçek değerler ile tahmini değerlerin karşılaştırılmasıyla yarıvariogram için uygun bir model seçilir. (Gauss, kübik, üstsel vb..). Yarıvariogram parametreleri kullanılarak kriging yapılır, kriging, o bölgede bilinen z değerlerine göre bilinmeyen değerlerin tahmin

edilmesini sağlar ve bununla birlikte bir 3 boyutlu harita çizdirilerek verilerin varyasyonu gözlemlenebilir.

Tanımlayıcı istatistik yönteminde ortalama, standart sapma, örnek varyansı, çarpıklık, basıklık, en büyük ve en küçük değerleri hesaplarız. Yarıvarigramın teknik uygulamasının amacı, tespit edilmiş bölgesel değişkenlerle mesafeye bağlı değişiklikleri ortaya koyan bir variogram fonksiyonu bulmaktır. Bu variogram fonksiyonu, bilinmeyen noktalarla bilinenler arasındaki mesafenin hesaplanabilmesi için kullanılır. Bu fonksiyon sadece gözönünde bulundurulan bölgenin alanını simüle eder. Bir mesafe fonksiyonu hesapladıktan sonra, bilinen ve bilinmeyen değerler ile mesafenin varyansı hesaplarına bağlı olarak bir model oluşturulur. Bu çalışmada, hem oturma kavramına hem de hesaplanmış ve bilinen değerlere bağlı olarak “Küresel ve Gauss ” türü modelleme seçilmiştir.

Etki alanı, külçe etkisi gibi parametreler kullanılarak 2*2 blok boyutunda blok kriging uygulaması gerçekleştirilir ve daha sonra bilinen z değerlerinden bilinmeyen noktalara ait tahmini z değerleri hesaplanmış olur. B1, B2..B11 noktalarına, z değerleri ile bilinen ve bilinmeyen değerlere göre yeni z değerleri, variogram fonksiyonu ve modeline dayanarak hesaplanır. Bütün x, y ve hesaplanmış z değerleri “Kriging Verisi” ni oluşturur. Bu veri kullanılarak sözkonusu güne ait çökme miktarını görsel olarak ifade edebilmek için bir 3 boyutlu harita çizdirilebilir . Söz konusu sahaya ait Gs+ programında kriging ile oluşturulan yüzey modelleri EK 2 ve EK 3’de verilmiştir.

6.3 Micromine Programında, Gs+ ‘dan Elde Edilen Kriging Verileriyle Yüzey Modellemesi

Bir katı modeli oluşturmak için, İlk güne ait kriging verisinin hesaplanmasından sonra ikinci güne ait kriging verisi de bölüm 6.1’de anlatıldığı üzere hesaplanmıştır. Daha sonra Micromine programında yeralan nirengi araçlarının yardımıyla bu iki güne ait haritaların birleştirilmesiyle bir yüzey model oluşturulmuştur. Micromine’da modellenen yüzeye ait hesaplanan tahmini hacim miktarı, ilk gün ve ikinci güne ait ölçümlerin arasında ki hacimsel çökme miktarını belirtir. Aynı işlem ikinci ve üçüncü, üçüncü ve dördüncü günler..son gün için tekrarlanarak ardışık günler

ve/veya bütün günler için hacimsel çökme miktarı hesaplanmıştır. Çökmeye ait sayısal veriler Çizelge 6.3 ve 6.4 ‘ de verilmiştir.

Çizelge 6.3 : S8 shaftına ait hesaplanan kümülatif hacimsel oturma miktarları [20].

Zaman Aralığı		$KrgD (m^3)$	$MicTr (m^3)$	$CVKrgD (m^3)$	$CVMicTr (m^3)$	$CDI (gün)$
14 Aralık	18 Aralık	2.1	1.5	2.1	1.5	4
18 Aralık	22 Aralık	1.2	1.2	3.3	2.7	8
22 Aralık	27 Aralık	1	1.1	4.3	3.8	13
27 Aralık	31 Aralık	0.8	0.3	5.1	4.1	17
31 Aralık	5 Ocak	0.1	0.1	5.2	4.2	23
5 Ocak	13 Mart	6.9	4.3	12.1	8.5	68
13 Mart	7 Nisan	52.8	47.7	64.9	56.2	94

*KrgD= kriging verisinden hesaplanan hacimsel oturma miktarı, CVKrgD= KrgD' nin kümülatif değeri
MicTr=Micromine yardımıyla hesaplanan hacimsel oturma miktarı, CVMicTr= MicTr 'nin kümülatif değeri., CDI=Kümülatif gün aralığı*

Çizelge 6.4 : S6 shaftına ait hesaplanan kümülatif hacimsel oturma miktarları.

Zaman Aralığı		$KrgD (m^3)$	$MicTr (m^3)$	$CVKrgD (m^3)$	$CVMicTr (m^3)$	$CDI (gün)$
18 Aralık	20 aralık	0.8	1	0.8	1	2
20 aralık	23 aralık	1.8	1.3	2.6	2.3	5
23 aralık	25 aralık	1.2	1.2	3.8	3.5	7
25 aralık	31 Aralık	0.7	0.7	4.5	4.2	13
31 Aralık	3 Ocak	0.3	0.3	4.8	4.5	16
3 Ocak	17 ocak	0.3	0.3	5.1	4.8	30

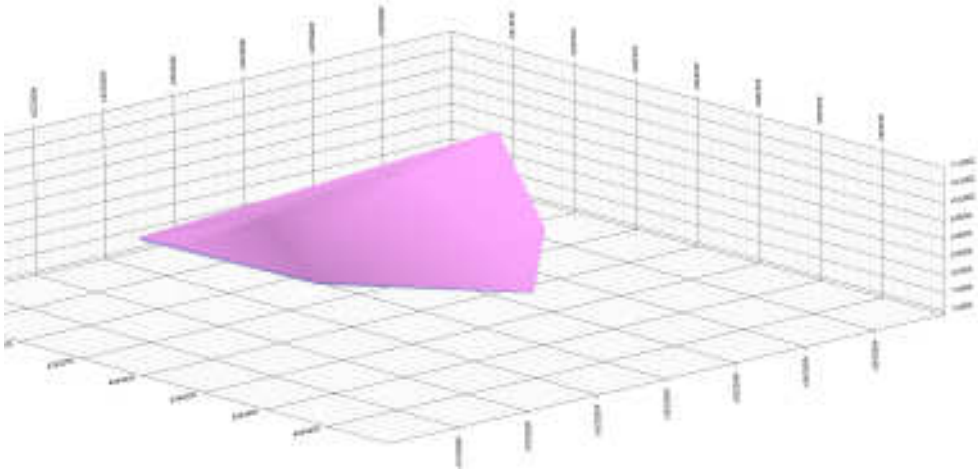
*KrgD= kriging verisinden hesaplanan hacimsel oturma miktarı, CVKrgD= KrgD' nin kümülatif değeri
MicTr=Micromine yardımıyla hesaplanan hacimsel oturma miktarı, CVMicTr= MicTr 'nin kümülatif değeri., CDI=Kümülatif gün aralığı*

6.4 Micromine’da Verilerin Analizi

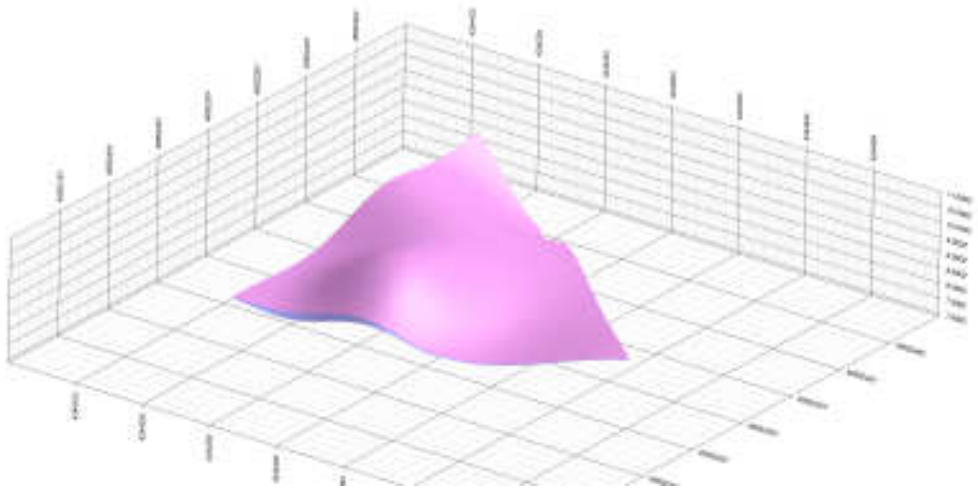
Belirtilen günlere ait X, Y ve Z değerleri herhangi bir kriging uygulaması olmaksızın Micromine programına işlenir, burada Çizelge 6.1 ve 6.2‘ de verilen ham verilerin Micromine ‘da üçgenleme yöntemiyle, eş günlere ait yüzey modeller oluşturulur. Bu modeller kullanılarak, eş günler gözönünde bulundurularak bir diğer hacimsel oturma miktarı da Micromine programının kendisiyle hesaplanmış olur. Micromine programıyla hesaplanan sayısal değerler de Çizelge 6.3 ve 6.4 ‘ te gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 ve 6.4 ‘ de görüldüğü üzere Micromine ‘dan hesaplanan hacimsel oturma miktarı ile kriging verisinden hesaplanan miktarlar arasında çok fazla bir fark yoktur ama Micromine’den hesaplanan değerler kriginge göre daha düşüktür, çünkü Şekil 6.2 ‘ de de görüldüğü gibi Micromine üçgenleme metodu ile, yani sayısal değerleri Z

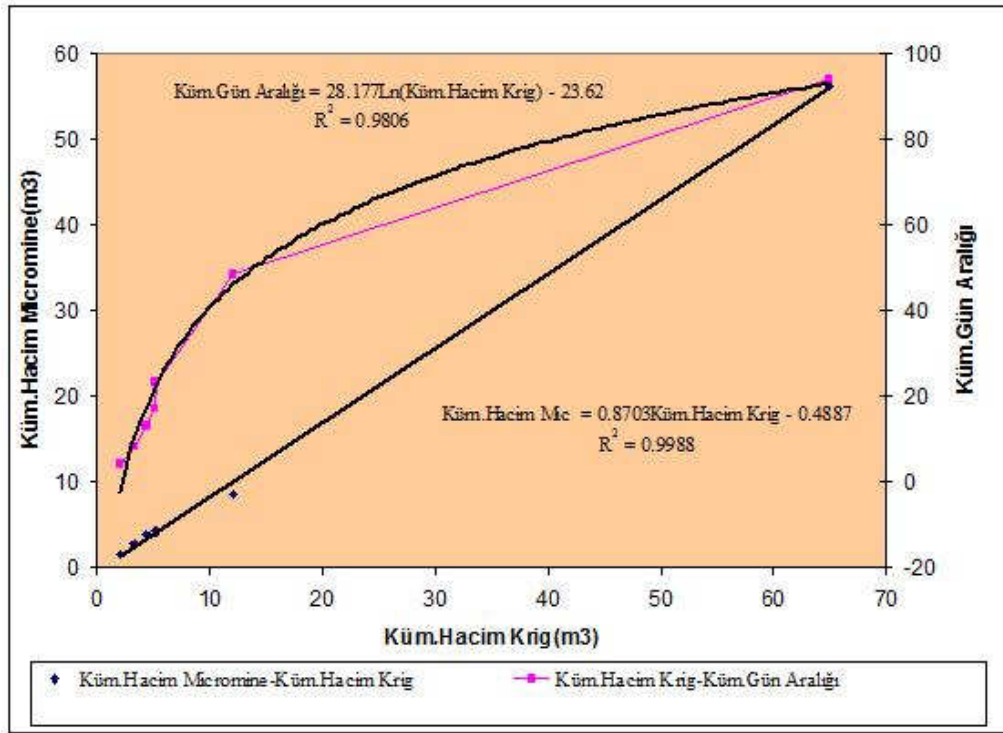
'nin ham değerlerinden düz ve dik fakat kıvrımlı olmayan hatlarda hesaplar, Micromine ayrıca, Gs+ ' dan elde edilen Z 'nin kriging verileriyle hacimsel oturma değerlerini kıvrımlı eğriler şeklinde hesaplar, buna ait grafik, şekil 6.3 'te gösterilmiştir.



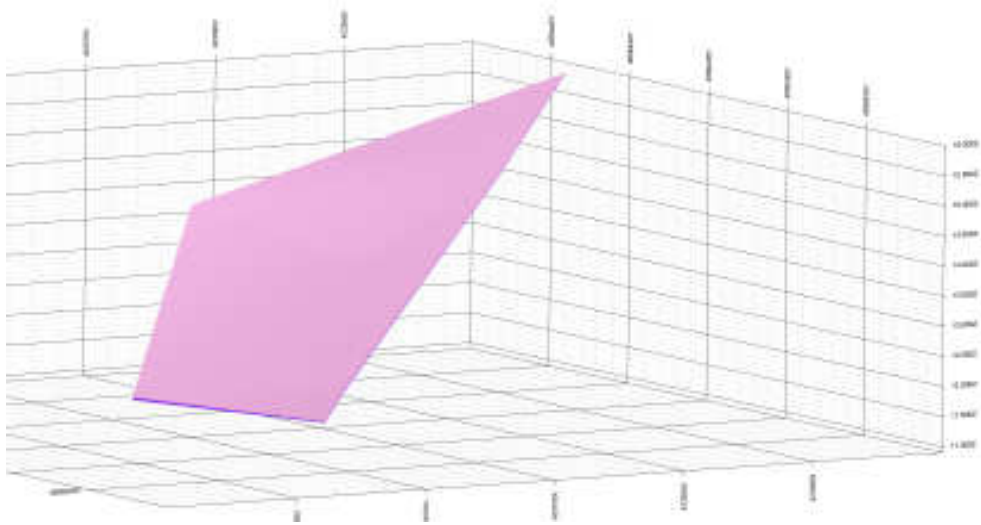
şekil 6.4 : S8 şaftı için Micromine programında ilk ve son günler arasında oluşturulan yüzey model [20].



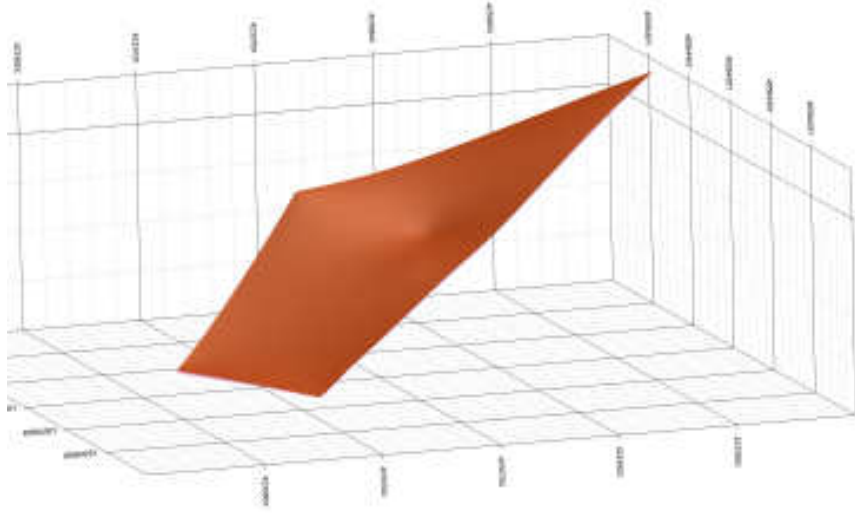
şekil 6.5 : S8 şaftı için Gs+ programından elde edilen kriging verileriyle , Micromine 'da ilk ve son günler arasında oluşturulan yüzey model [20].



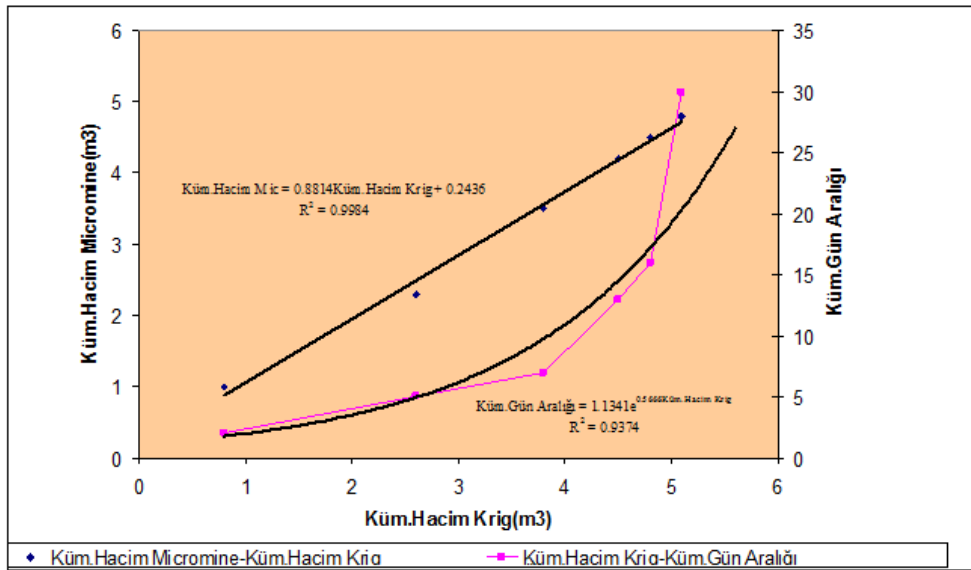
Şekil 6.6 : S8 şaftı için kriging verisi ve Micromine’da üçgenleme yöntemiyle elde edilen modellere ait küm. oturma miktarları ile küm. gün aralığı arasındaki ilişki [20].



Şekil 6.7 : S6 şaftı için Micromine programında ilk ve son günler arasında oluşturulan yüzey model.



Şekil 6.8 : S6 şaftı için iç in Gs+ programından elde edilen kriging verileriyle, Micromine 'da ilk ve son günler arasında oluşturulan yüzey model.



Şekil 6.9 : S6 şaftı için Kriging verisi ve Micromine'da üçgenleme yöntemiyle elde edilen modellere ait küm. oturma miktarları ile küm. Gün aralığı arasındaki ilişki.

Burada Şekil 6.4 ve 6.7'den anlaşılabacağı üzere Gs+ yazılımında kriging ile hesaplanan noktaların oluşturduğu yüzey model ile Micromine yazılımında oluşturulan yüzey modellere ait hacim değişimleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır ve şekiller üzerinde de belirtildiği gibi bu değerler arasında yapılan regresyon analizleri sonucu her iki bölge içinde hacim değişiminin hesaplanmasına olanak sağlayan formüller bulunmuştur. Bu formüller kullanılarak iki yöntemden herhangi birinden hesaplanan hacim değerinden bir diğer yöntemle hesaplanan değer bulunabilir. Ayrıca Krigingden hesaplanan hacim miktarlarının kümülatif değeriyle

kümülatif gün aralığı değerleri arasında oluşturulan grafiklerden S6 için, çökmenin zamana bağlı olarak azaldığı ve bir süre sonra durduğu, S8 için ise çökmenin ölçüm alınan son günden sonrada devam ettiği söylenebilir.

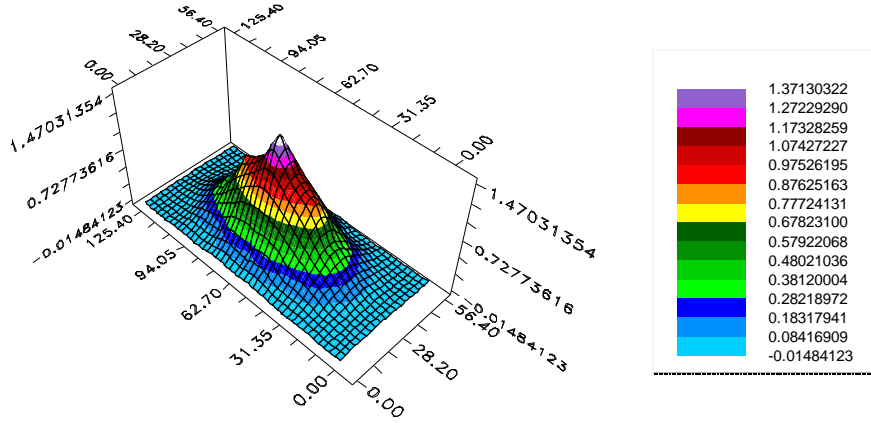
6.5 Teorik Bir Örnek

O'Reilly ve Fujita'nın çökme prensibinde bahsedilen formül (3.5)'e göre S, yani x mesafesindeki yüzey oturması değerleri hesaplanarak bazı kabullerle oluşturulan bir sahada çökme olduğu varsayılmıştır. Teoriye göre $S=S_{\max} \exp(-x^2/2i^2)$ formülünde x yönünde x=i, x=2i, x=3i ve y yönünde y=4i, y=8i, y=12i değerleri verilerek, sahanın ilk durumda $S_{\max}=1.5$ m, son durumda $S_{\max}=2.5$ m çöktüğü, H=16.5m ve r=3.6m olduğu kabul edilmiştir. Buna göre formülden hesaplanan çökme değerleri Çizelge 6.5'de verilmiştir.

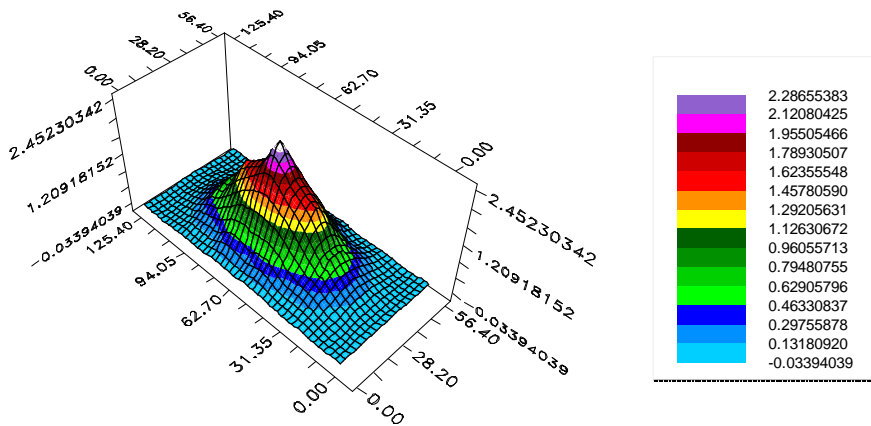
Çizelge 6.5 : İlk ve son durumdaki çökme değerleri.

Koordinatlar		Atanan Sayılar		İlk durum (m)		Son durum (m)	
X	Y	x	i	S_{\max}	S	S_{\max}	S
7	4	5.4	1.8	1.5	0.0166635	2.5	0.0277725
6	4	3.6	1.8	1.5	0.2030029	2.5	0.3383382
5	4	1.8	1.8	1.5	0.909796	2.5	1.5163266
4	4	0	0	1.5	1.5	2.5	2.5
3	4	1.8	1.8	1.5	0.909796	2.5	1.5163266
2	4	3.6	1.8	1.5	0.2030029	2.5	0.3383382
1	4	5.4	1.8	1.5	0.0166635	2.5	0.0277725
7	3	5.4	1.8	0.909796	0.0101069	1.5163266	0.0168449
6	3	3.6	1.8	0.909796	0.1231275	1.5163266	0.2052125
5	3	1.8	1.8	0.909796	0.5518192	1.5163266	0.9196986
4	3	0	0	0.909796	0.909796	1.5163266	1.5163266
3	3	1.8	1.8	0.909796	0.5518192	1.5163266	0.9196986
2	3	3.6	1.8	0.909796	0.1231275	1.5163266	0.2052125
1	3	5.4	1.8	0.909796	0.0101069	1.5163266	0.0168449
7	2	5.4	1.8	0.2030029	0.0022552	0.3383382	0.0037586
6	2	3.6	1.8	0.2030029	0.0274735	0.3383382	0.0457891
5	2	1.8	1.8	0.2030029	0.1231275	0.3383382	0.2052125
4	2	0	0	0.2030029	0.2030029	0.3383382	0.3383382
3	2	1.8	1.8	0.2030029	0.1231275	0.3383382	0.2052125
2	2	3.6	1.8	0.2030029	0.0274735	0.3383382	0.0457891
1	2	5.4	1.8	0.2030029	0.0022552	0.3383382	0.0037586
7	1	5.4	1.8	0.0166635	0.0001851	0.0277725	0.0003085
6	1	3.6	1.8	0.0166635	0.0022552	0.0277725	0.0037586
5	1	1.8	1.8	0.0166635	0.0101069	0.0277725	0.0168449
4	1	0	0	0.0166635	0.0166635	0.0277725	0.0277725
3	1	1.8	1.8	0.0166635	0.0101069	0.0277725	0.0168449
2	1	3.6	1.8	0.0166635	0.0022552	0.0277725	0.0037586
1	1	5.4	1.8	0.0166635	0.0001851	0.0277725	0.0003085

Çizelge 6.5’de gösterilen hesaplanmış veriler Gs+ yazılımında kriging yapılarak ilk durum için Şekil 6.8 ve son durum için ise Şekil 6.9’daki gibi modellenmiştir.

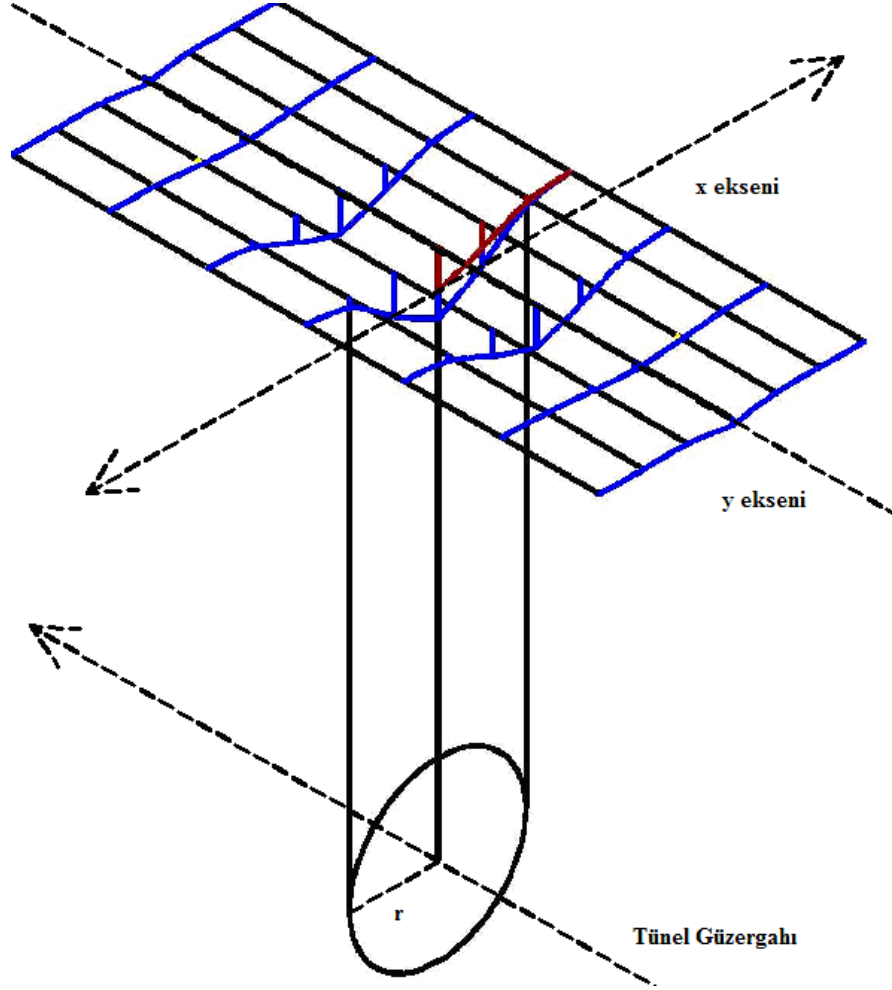


Şekil 6.10 : İlk durum için kriging verileriyle Gs+’da yapılan çökme topoğrafyası.

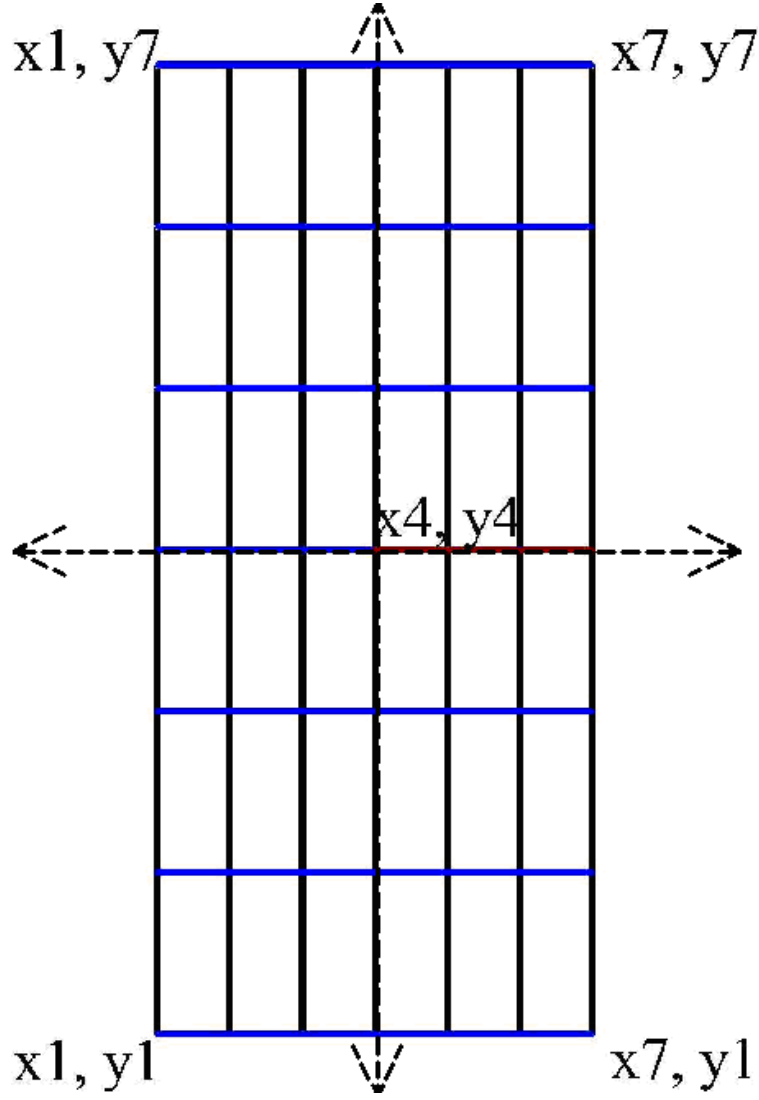


Şekil 6.11 : Son durum için kriging verileriyle Gs+’da yapılan çökme topoğrafyası.

Çizelge 6.5’de verilen hesaplanmış S değerleri Autocad programında çizdirilerek Şekil 6.10 elde edilmiştir, Şekil 6.10’da ilk durum için 1.5m oturmanın ve son durum için ise 2.5m çökmenin olduğu, oturma tamamlandıktan sonra deformasyonların kaydedilmediği varsayılan durumlar görülmektedir, ayrıca şeklin kuşbakışı görünümü de Şekil 6.11’deki gibi olup buradan X ve Y koordinatlarının yeri açıkça görülmektedir.



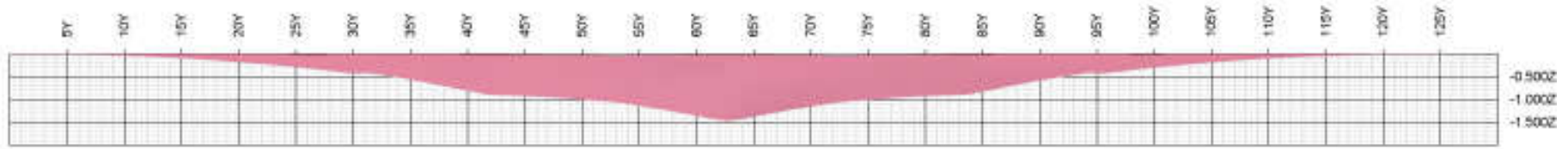
Şekil 6.12 : Çökme teknesinin Autocad’de görünümü.



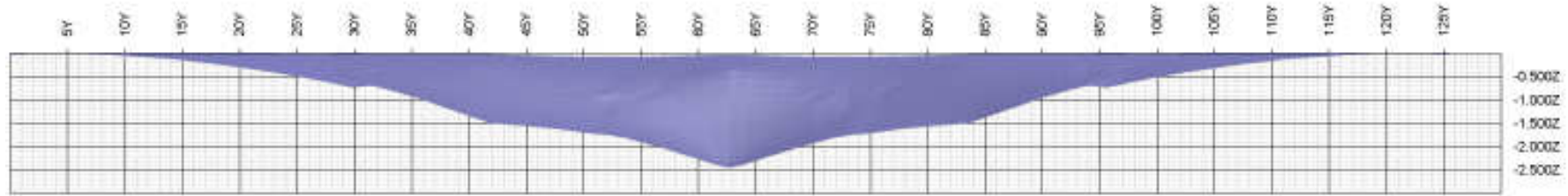
Şekil 6.13 : Çökme teknesinin kuşbakışı görünümü.

S_{max} formülünden hesaplanan Z değerleriyle koordinatları Gs+ yazılımında kriging yapılarak sahaya ait bilinmeyen noktalar hesaplanmış, daha sonra ise krigingden elde edilen verilerle Micromine’da sözkonusu sahaya ait yüzey modelleri oluşturulmuştur, bunlar ilk durum için Şekil 6.12, son durum için Şekil 6.13’deki gibidir, ayrıca ilk ve son durumlara ait kesit görünümü Şekil 6.14’de gösterilmiştir.

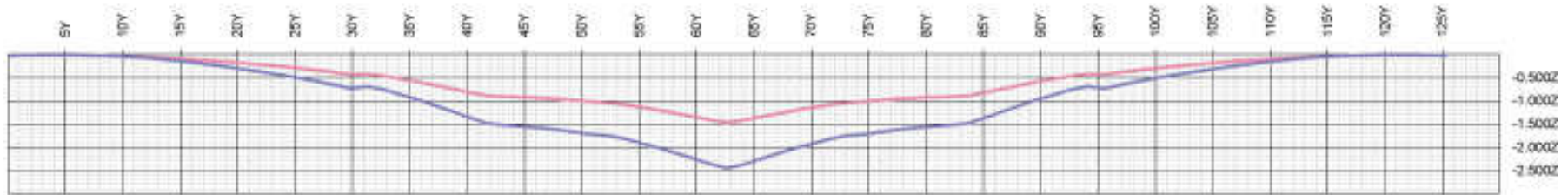
Burada homojen oturma prensibine göre bir sahada oturma olduğu varsayılarak, sahaya ait hesaplanan oturma değerleriyle kriging yapılmış olup, Micromine yazılımında sahaya ait yüzey modelleri oluşturulmuştur. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’den de anlaşılacağı üzere teoride çökme O’Reilly ve Fujita’nın tanımladığı gauss çökme eğrisine göre gerçekleşmiştir.



Şekil 6.14 : İlk duruma ait Micromine’da oluşturulan yüzey modeli.



Şekil 6.15 : Son duruma ait Micromine’da oluşturulan yüzey modeli.



Şekil 6.16 : Micromine’da oluşturulan ilk ve son duruma ait kesit görünüm.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İstanbul ili Beykoz-Paşabahçe bölgesinde gerçekleştirilen atıksu tüneli inşaatı sırasında zemin yapısı bakımından kritik olduğu belirlenen S6 ve S8 şaftlarına yakın bölgelerde meydana gelen çökmelerin aletsel yüzey okumaları sayesinde yapılan ölçümlerinden yola çıkılarak jeostatistik programı Gs+ ve Micromine yazılımının yardımı ile ölçüm yapılan bölgelere ait çökme topoğrafyaları oluşturulmuştur.

Bu topoğrafyalar ölçüm alınmamış noktalardaki muhtemel çökme miktarlarının tayinine ve yüzey oturması sonucu meydana gelen hacim değişiminin belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda kriging verileriyle Micromine’da oluşturulan yüzeye ait modellerin çökme hacimleri sırasıyla S6 için 4.1 m^3 , S8 için 58.9 m^3 ve Micromine’da direkt olarak sahada ölçülmüş verilerin girilmesiyle oluşturulan yüzey modellerin çökme hacimleri ise S6 için 4.7 m^3 , S8 için 56.2 m^3 ’dür. Burada kriging ve Micromine’da hesaplanan hacim miktarlarıyla gün aralığı arasında grafikler oluşturularak, Micromine’da üçgenleme ve Gs’da kriging yöntemlerinden hesaplanan değerler arasında regresyon analizleri yapılmış olup bu iki yöntemle hesaplanan veriler arasındaki ilişkinin yüksek olduğu saptanmıştır, ve yine bu grafiklere bağlı olarak iki yöntem arasında ki ilişkiyi bir formül üzerinde göstererek bu iki yöntem içinde birbirine geçiş amaçlanmıştır.

Daha sonra ise bazı kabuller yapılarak teorik bir model oluşturulmuş, bu model hem Autocad, hem de Micromine programında haritalandırılmıştır. Bu modelin ilk oturma olduğu andaki değerleriyle son çökme durumundaki değerleri kriging yapılarak yüzey topoğrafyası Gs+’da oluşturuldu, bu topoğrafya ile Micromine’da yapılan yüzey modelin hemen hemen aynı olduğu gözlemlendi, bu da diğer uygulama için yapılan çökme haritalarının bu teorik örneğe paralel olarak doğru bir şekilde oluşturulduğu yargısını desteklemektedir. Burada amaç teorik bir model oluşturarak krigingden hesaplanan verilerle çizdirilen haritaların, teorik modele yani gauss çökme prensibine uygun olup olmadığının tayinidir.

Yukarıda da daha önce bahsedildiği gibi Beykoz-Paşabahçe atıksu tünel inşaatına ait S₆ ve S₈ şaftlarında meydana gelen çökme miktarlarına bağlı olarak oluşturulan kümülatif gün aralığı ve hacim miktarlarına ait grafiklerden, S₆ şaftında çökmenin belirli bir zaman sonra durduğu yani konsolidasyonun gerçekleştiği, fakat S₈ şaftında ölçüm alınan son günden sonrada çökmenin devam ettiği belirlenmiş olup, sözkonusu iki bölgeye ait çökme eğrilerinin gauss eğrisine tam olarak uygun olmadığı, özellikle S₆ şaftında formasyona bağlı olarak yönlü bir çökme olduğu gözlemlenmiştir. Eğer tünel içerisinde ki formasyon her yerde aynı olsaydı çökme eğrisi teorik örnekteki gibi gerçekleşir, gauss çökme prensibine uygun olarak Şekil 6.10'daki gibi bir çökme teknesi oluşurdu.

Bu uygulamadan çıkarılması gereken en önemli sonuç, söz konusu tünel inşaatı sırasında kazı işi yapılırken ilerlemenin olmadığı durumda, tünel aynası üzerinde kalan zonun akıcı olması sebebiyle TBM pistonları ilerlemek için ileriye doğru itildiğinde tünel eksenini boyunca bir ilerleme değil de tünel aynası üzerinde bulunan formasyonun tünel içerisine doğru akması ve bu akma miktarının da yeryüzüne ulaşması sonucu çökmelerin meydana gelmiş olmasıdır. Buradan uygulama için çıkarılacak sonuç şudur ki: eğer makine kazıya devam edip malzeme alıyor ve ilerleme kaydedemiyorsa, yeryüzünde bir çökme meydana gelme olasılığı yüksektir. Böyle bir durumda makine durdurulup, zemin sağlamlaştırılmalı ve sağlamlaştırılma işi yapılmadan kazıya devam edilmemelidir.

Sonuç olarak muhtemel çökme miktarlarının ve hacim değişimlerinin belirlenmesi tünel inşaatı sırasında çevredeki yapıların sakinlerinden gelebilecek şikayetlerin doğruluğunun tesbitinde kullanılabilir olup, saha görevlilerinin, kazı işi yapılırken çökme sonucu oluşabilecek hacim kaybına ilişkin öngörü sahibi olmalarına olanak sağlar, böyleki kazı sırasında çökme sonucu oluşabilecek hacim kaybının tespitiyle sahayı iyileştirme amacıyla gerekli olan malzeme miktarına ilişkin sayısal bir değer belirlemek mümkündür, bu değer projeden sorumlu mühendisler hakedişlerin ödenmesi sırasında kolaylık sağlaması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] NTF firmasına Ait Proje Tanıtım Kitapçığı, Beykoz- Paşabahçe TünelYapımı
- [2] **Güçlücan Z., Meriç S., Palakçı Y., Bilgin N., Balcı C., Tumaç D., Algan M., Namlı M., Bilgin A. R.** 2008 “The use of a TBM in difficult ground conditions in Istanbul (Beykoz–Kavacık) Sewerage Tunnel.” Proc. 34th ITA-AITES World Tunnel Congress
- [3] Kavacık-Paşabahçe Beykoz Atık Su Tünel Güzergahı Mühendislik Jeolojisi ve Güzergah Koşulları Değerlendirme Raporu
- [4] **Murat, H.**, 2004: Yeni Avusturya Tünel Açma Metodunun Selatin ve Karşıyaka Tünellerine Uygulanması Kanyılmaz Yayınevi İzmir.
- [5] **Feridunoğlu, C.**, 2001: Tarabya Atıksu Tünelinde Kullanılan Tam Cepheli Tünel Açma Makinesinin S13-S10 Şaftları Arasındaki Performansının İncelenmesi.
- [6] **Hajebi, D.**, 2007: TBM İle Açılan İkiz Tüneller Çevresinde Gözlenen Oturma Ve Deformasyonlar, Yıldız Teknik Üniv., Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [7] **Schmidt, B.** 1969: ‘Settlements and Ground Movements Associated with Tunneling in Soil’, Ph.D Thesis, Univer.III, Urbana USA.
- [8] **O’Reilly, M.P. & B.M. New** 1982: ‘Settlements above tunnels in the United Kingdom their magnitude and prediction’. Proc. of Tunnelling’82 Symposium, London: 173-181.
- [9] **O’Reilly, M.P. & B.M. New** 1991: ‘Tunnelling Induced Ground Movements; Predicting their Magnitude and Effects’. 4th Int. Conf. On Ground Movements & Structures: 671-697.
- [10] **Fujita, K.** 1989: ‘Special lecture B: Underground construction, tunnel, underground transportation,’ Proc. 12th Int. Conf. On SMFE, Rio de Janeiro, Vol. 4, pp. 2159-2176
- [11] **Ata, A. A.** 1996: ‘Ground settlements induces by slurry shield tunnelling in stratified soils,’ Proc. North American Tunnelling’96, Ozdemir, I. L. (ed), Vol. 1, pp. 43-50.
- [12] **Attewell, P. B. And Woodman, J. P.** 1982: ‘Predicting the Dynamics of ground settlement and its derivatives caused by tunnelling in soil,’ Ground Engineering, Vol. 15, No, 8, pp. 13-22
- [13] **Clough, G. W. And Schmidt, B.** 1981: ‘Design and performance of excavations and tunnels in soft clay,’ In Soft Clay Engineering, Elsevier, Amsterdam, pp. 569-634
- [14] Saha Mühendisi İdris Güney ve Harita Mühendisi Ömer Bolat ile yüzyüze görüşme Mart-2010

- [15] **A. Ersoy ve T.Y. Yünsel** 2008: Maden Rezerv Hesapları: Klasik ve Jeostatistik Yöntemler. Nobel Kitapevi Yayınları, Adana.
- [16] **A.E. Tercan, C. Saraç,** 1998: Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 137 sayfa
- [17] **A.G. Journel and Ch.J. Huijbregts,** 2003, Mining Geostatistics
- [18] **I.Clark ve W.V.Harper,** 2001, Practical Geostatistics 2000, Geostokos (Ecosse)
- [19] **Tuncdemir H.** 2010 İTÜ Maden Fakültesi Meslek İçi Eğitim Semineri ‘Madencilikte Jeostatistik Yöntemler‘ İstanbul,107-127
- [20] **Tuncdemir H. , Ünsal A. , Özkan M. , Bayram O. , Güçlücan Z. , Akgül M.** 2011: ‘Geostatistical evaluation of volumetric surface settlements from surveying data in a weak rock tunnel,’ World Tunnel Congress, Helsinki.

EKLER

Ek 1 : S8 için Gs+ 'dan elde edilen gün bazında oturma topoğrafyaları

Ek 1.1 : 14 Aralık 2007

Ek 1.2 : 18 Aralık 2007

Ek 1.3 : 22 Aralık 2007

Ek 1.4 : 27 Aralık 2007

Ek 1.5 : 31 Aralık 2007

Ek 1.6 : 5 Ocak 2008

Ek 1.7 : 13 Mart 2008

Ek 1.8 : 7 Nisan 2008

Ek 2 : S6 için Gs+ 'dan elde edilen gün bazında oturma topoğrafyaları

Ek 2.1 : 18 Aralık 2008

Ek 2.2 : 20 Aralık 2008

Ek 2.3 : 23 Aralık 2008

Ek 2.4 : 25 Aralık 2008

Ek 2.5 : 31 Aralık 2008

Ek 2.6 : 3 Ocak 2009

Ek 2.7 : 17 Ocak 2009

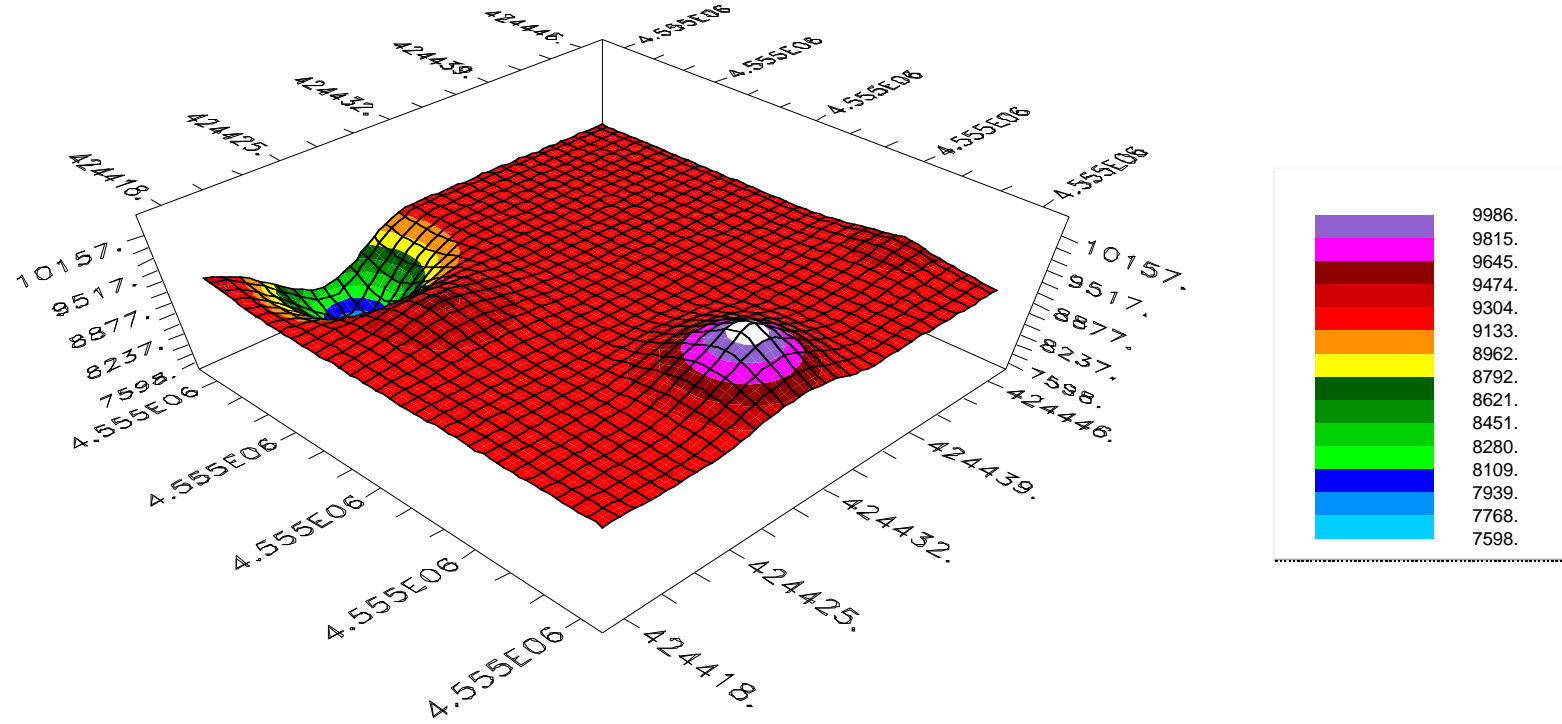
Ek 3 : Jeolojik kesitler

Ek 3.1 : Beykoz Tünel Güzergahı Şematik Jeoloji Kesiti

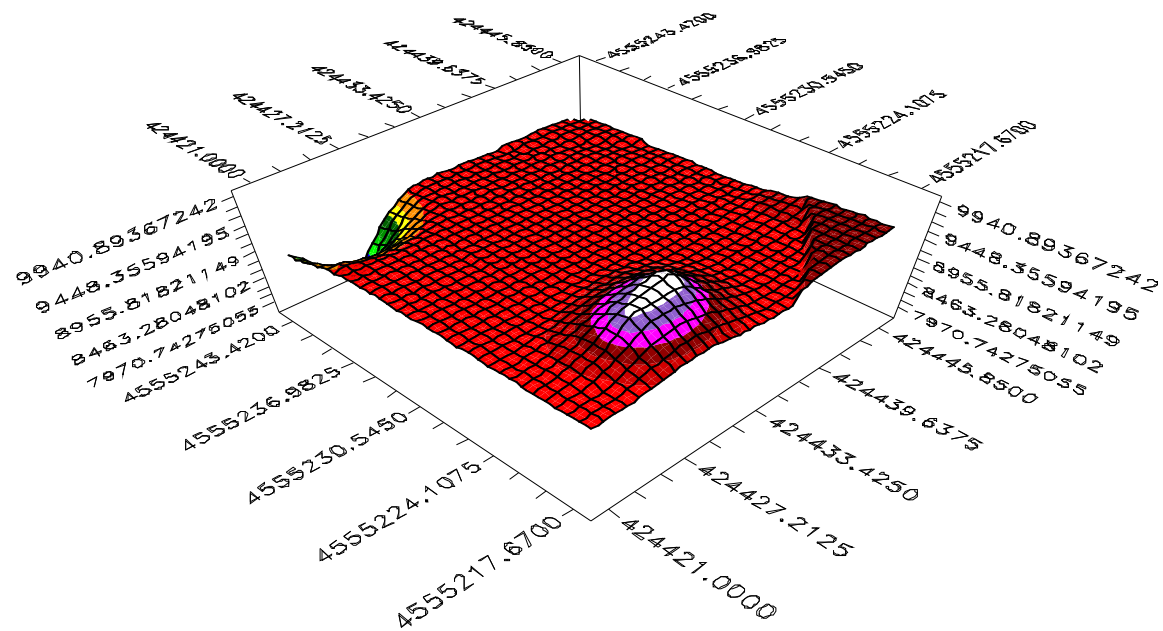
Ek 3.2 : Kavacık Tünel Güzergahı Şematik Jeoloji Kesiti

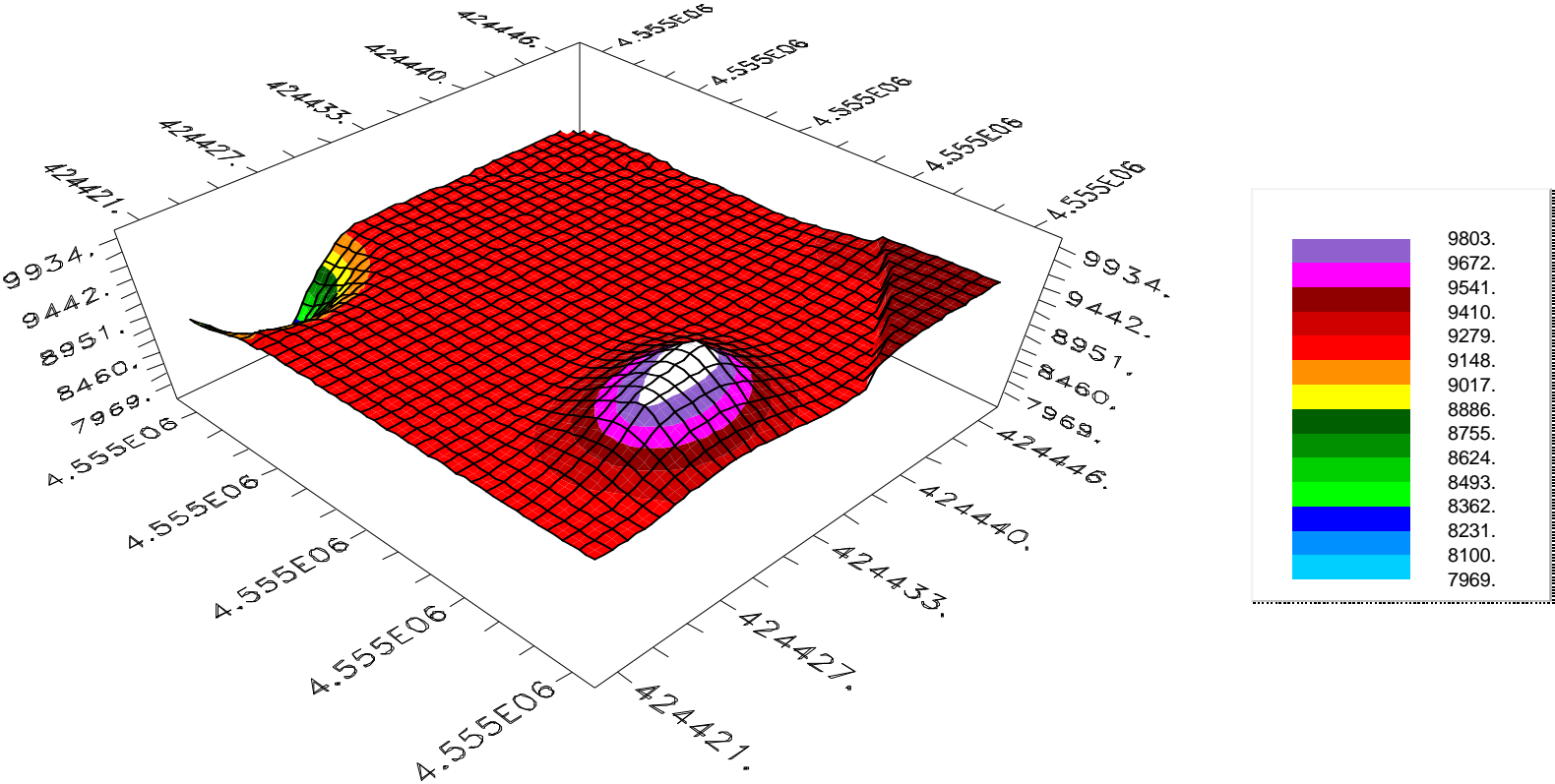
EK 1: S8 için Gs+'dan kriging ile elde edilen gün bazında oturma topoğrafyaları

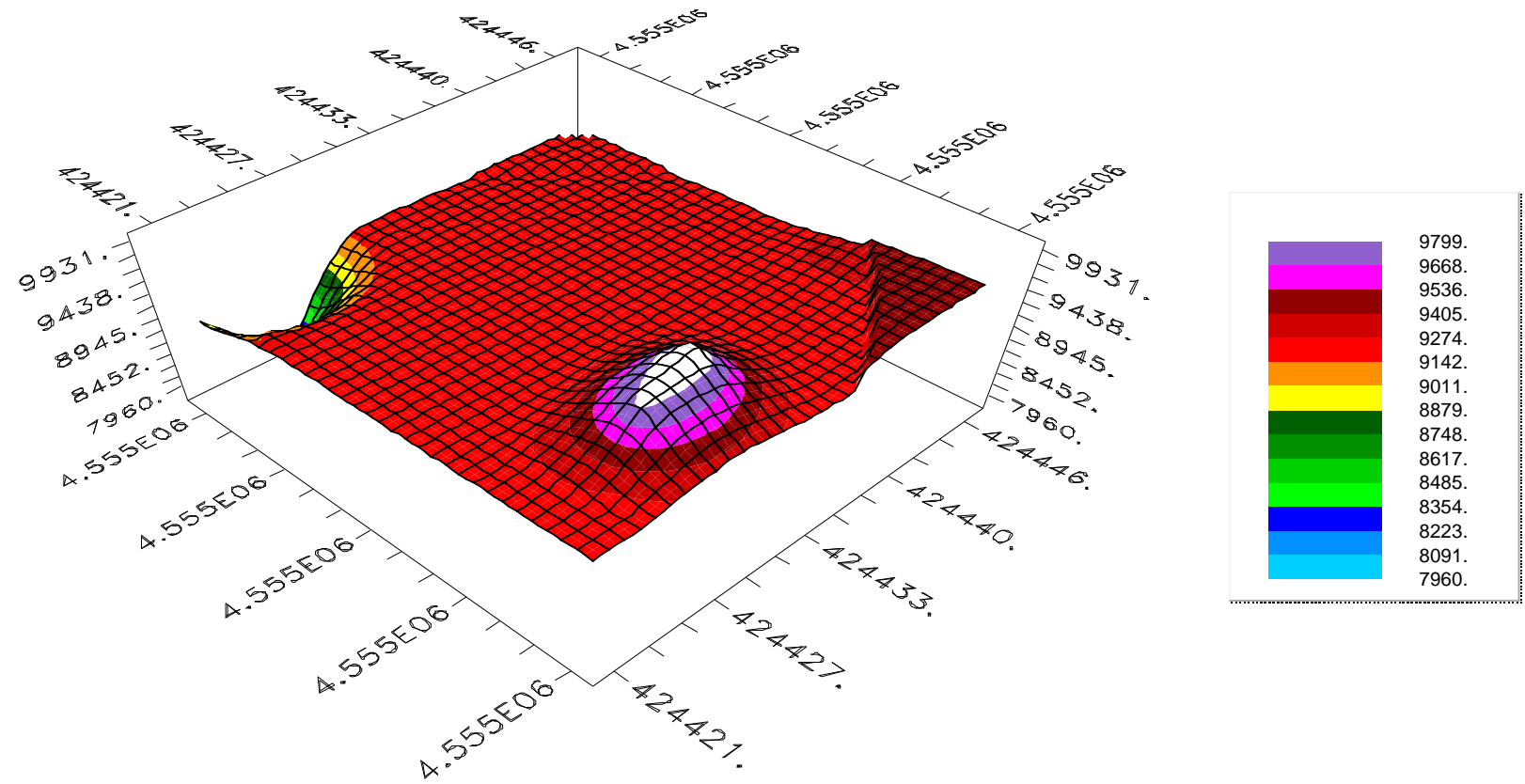
EK 1.1: 14 Aralık 2007

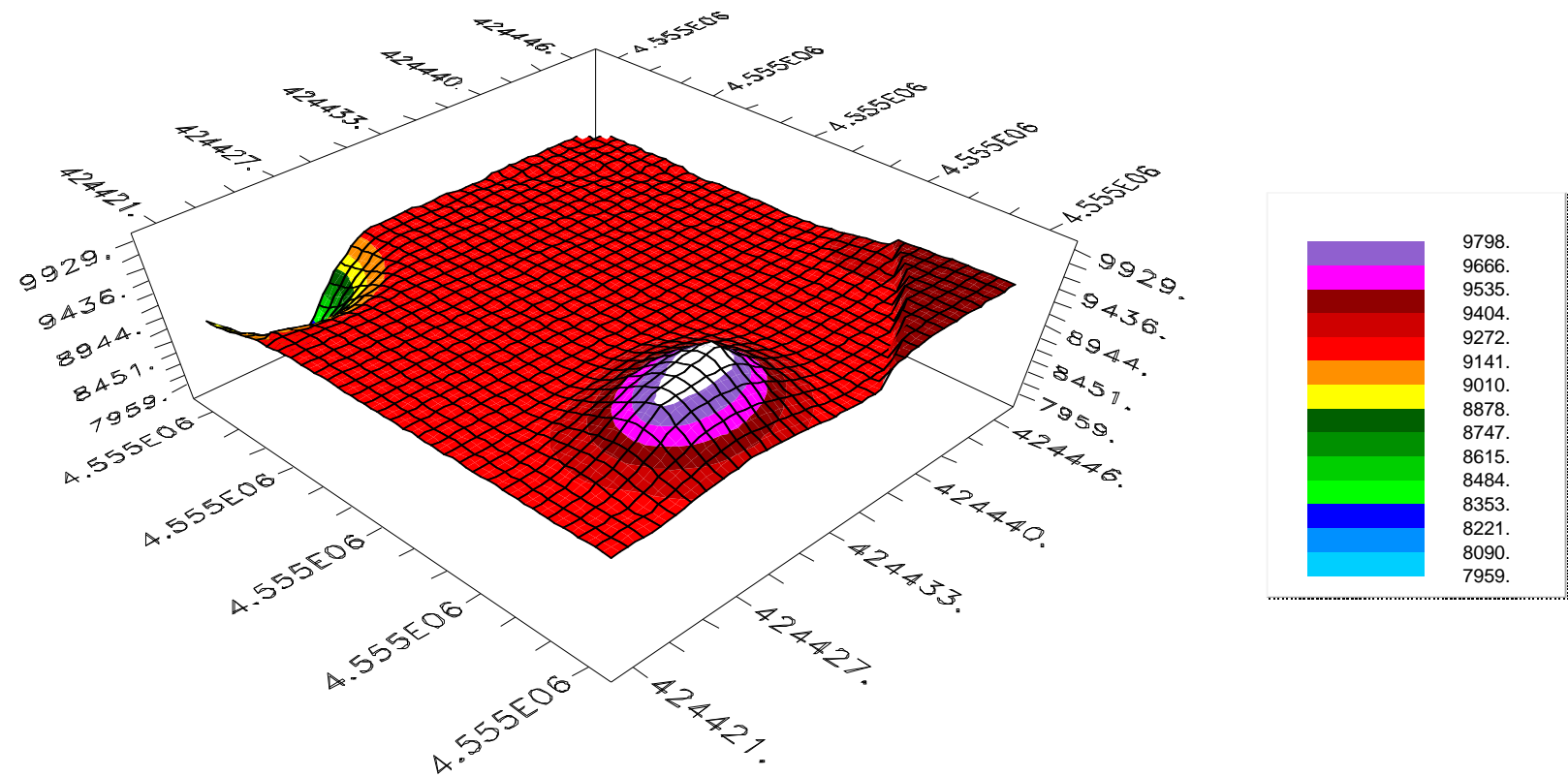


EK 1.2: 18 Aralık 2007

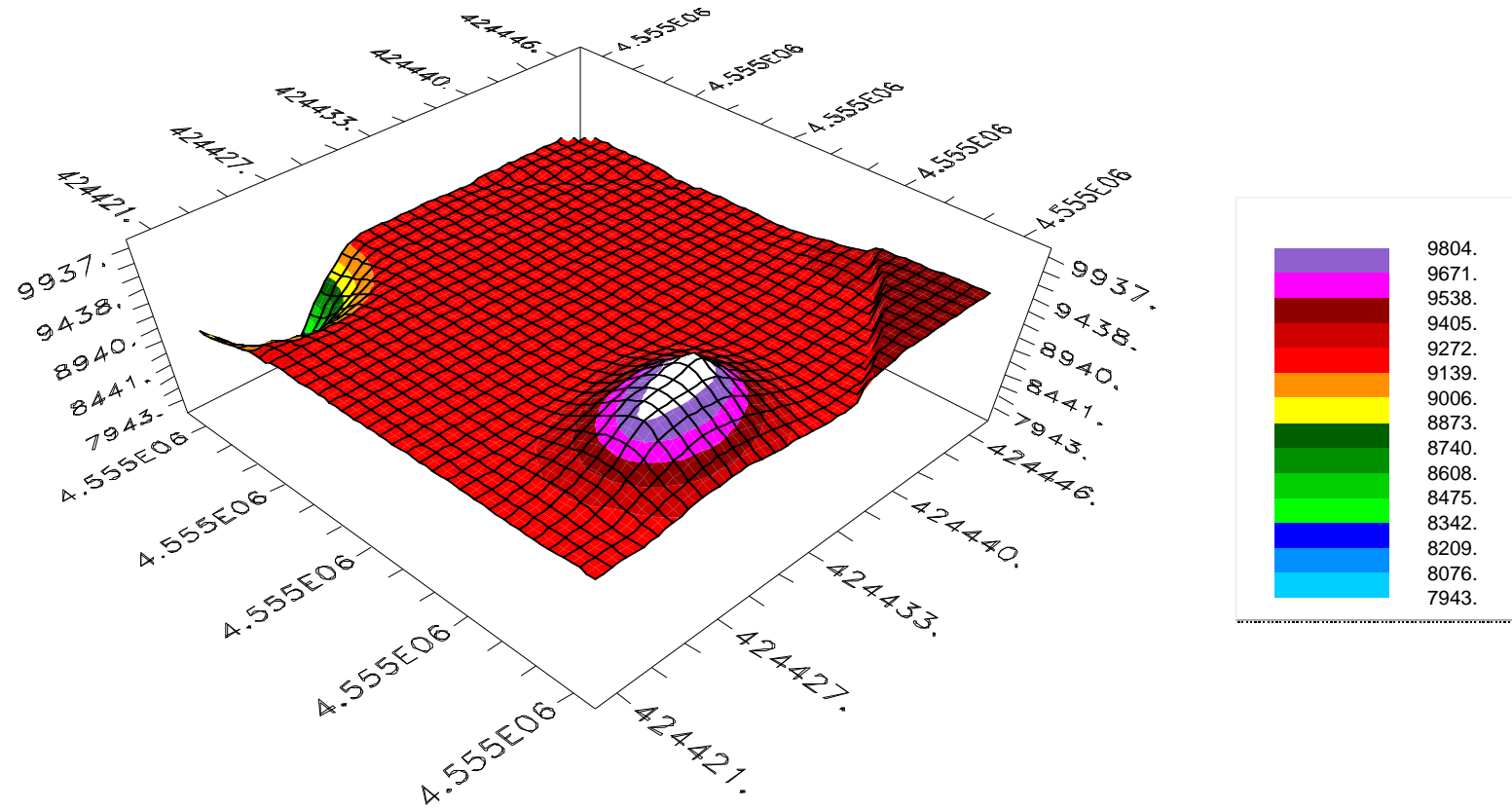




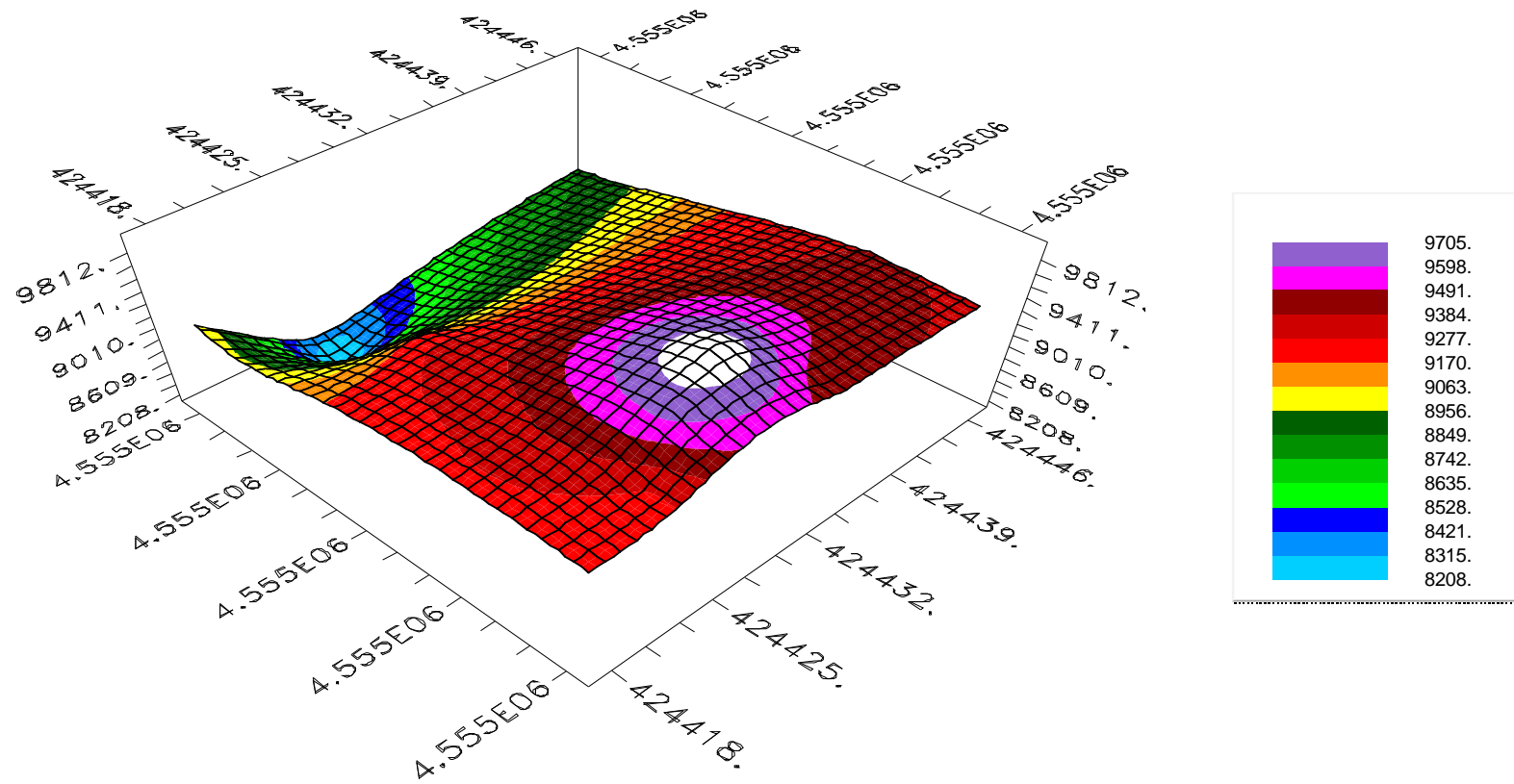


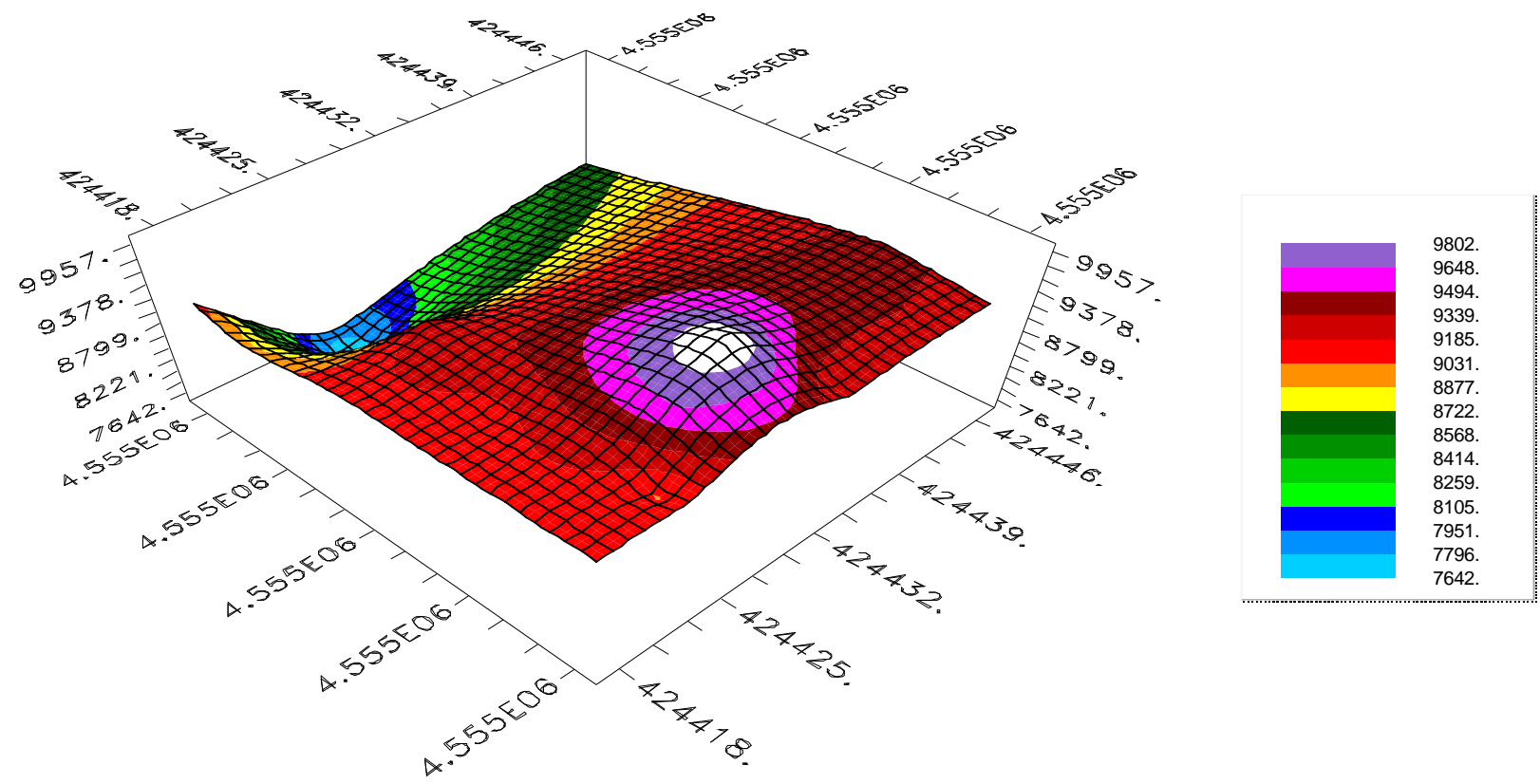


EK 1.6: 5 Ocak 2008



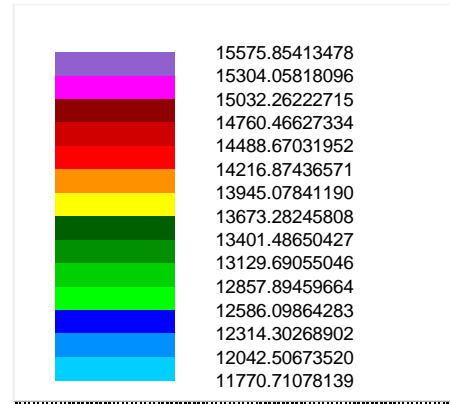
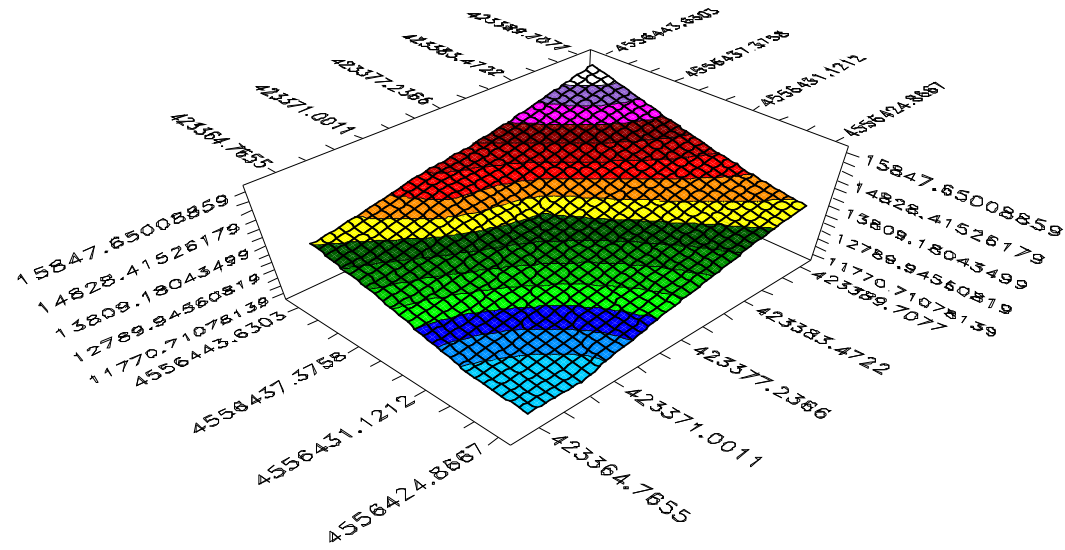
EK 1.7: 13 Mart 2008



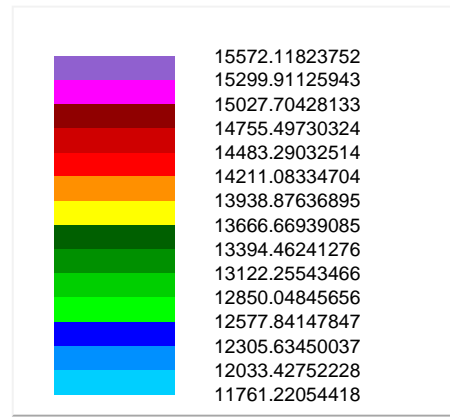
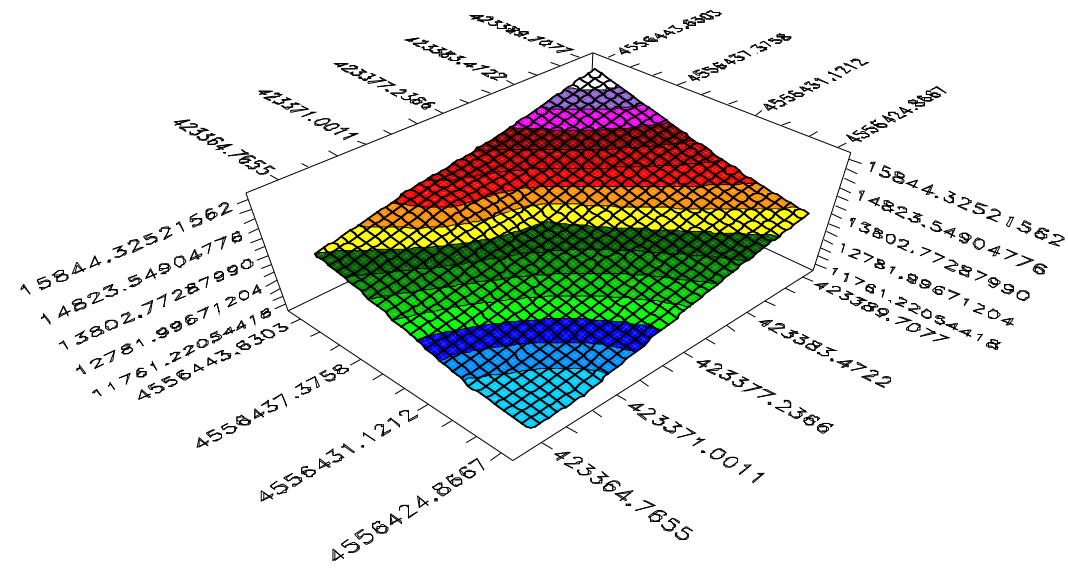


EK 2 : S6 için Gs+ 'dan elde edilen gün bazında oturma topoğrafyaları

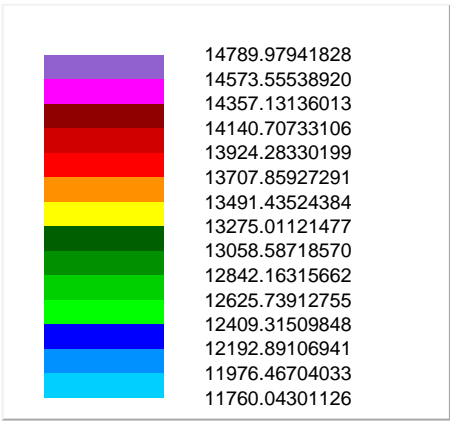
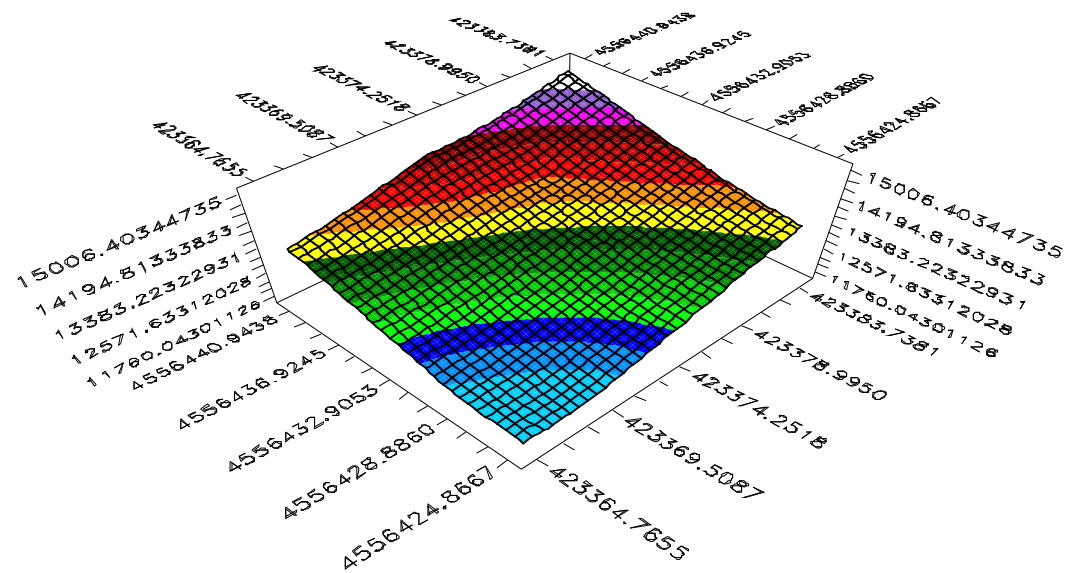
EK 2.1 : 18 Aralık 2008

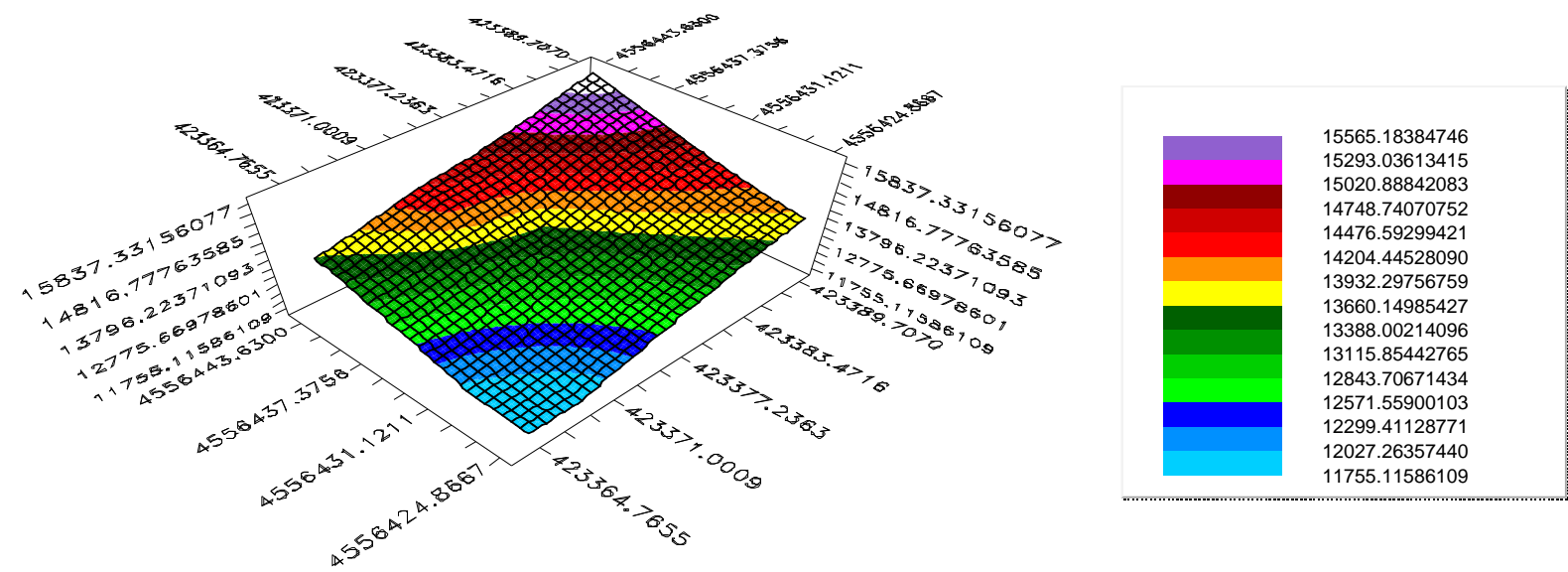


EK 2.2 : 20 Aralık 2008

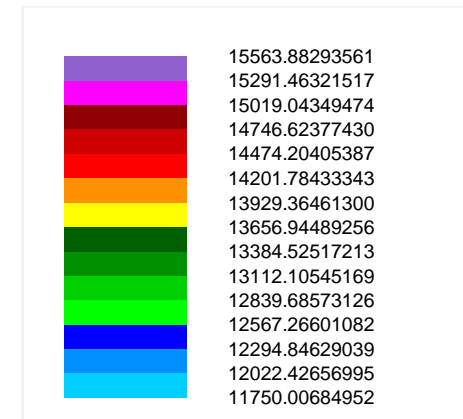
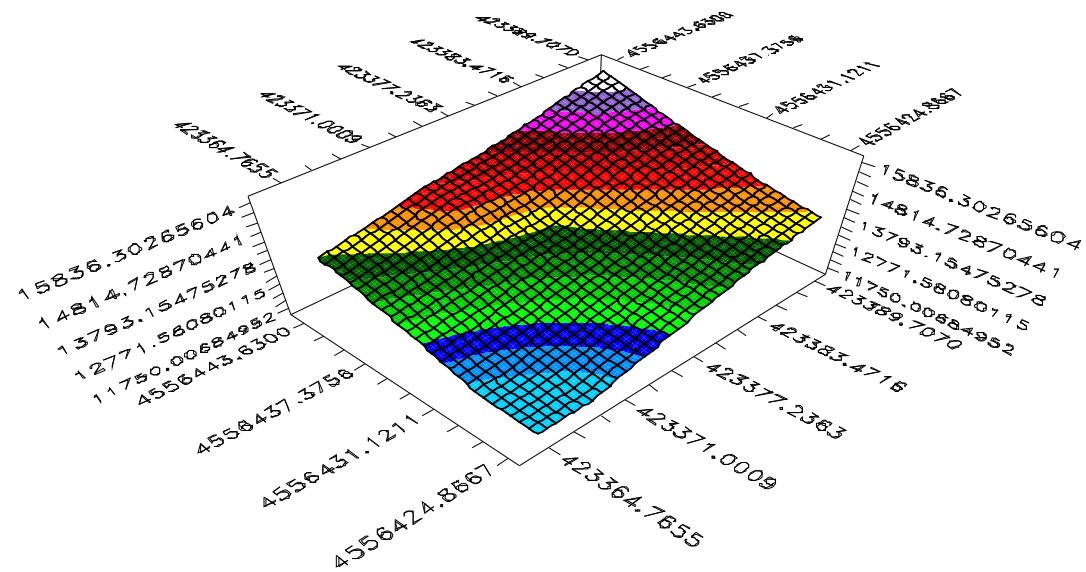


EK 2.3 : 23 Aralık 2008

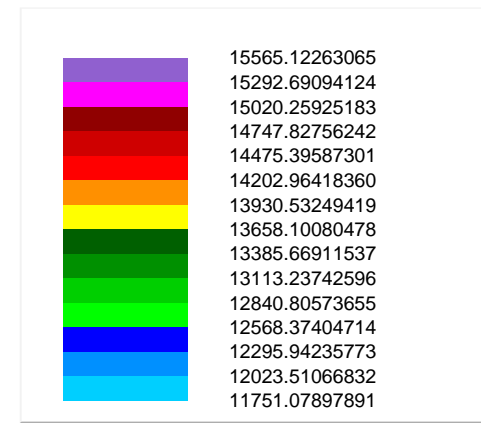
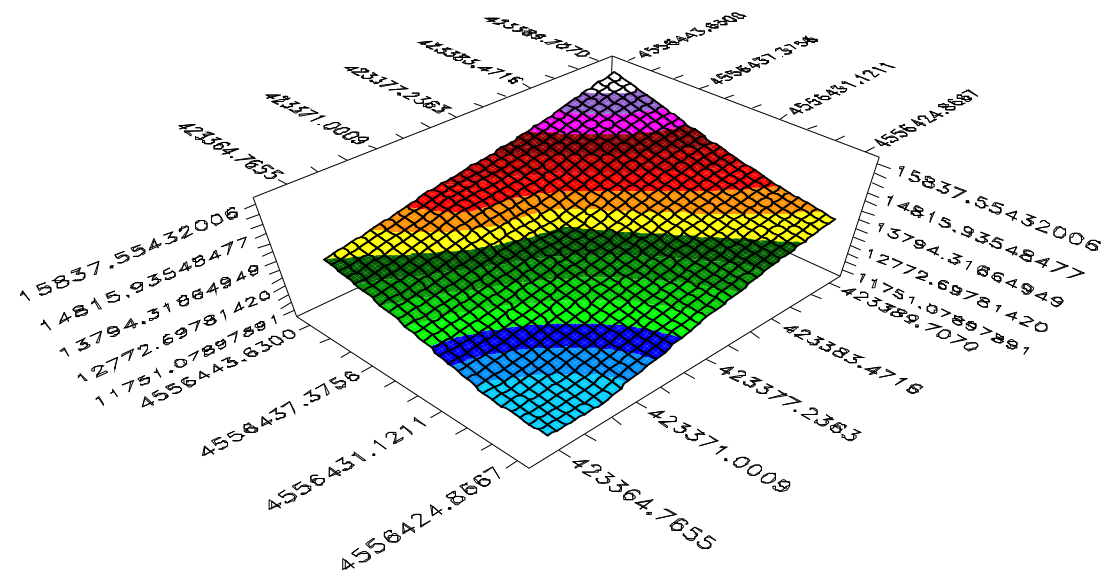




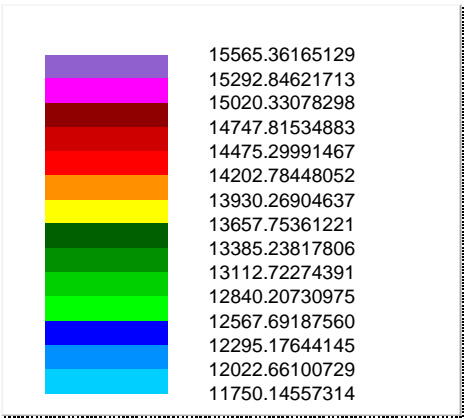
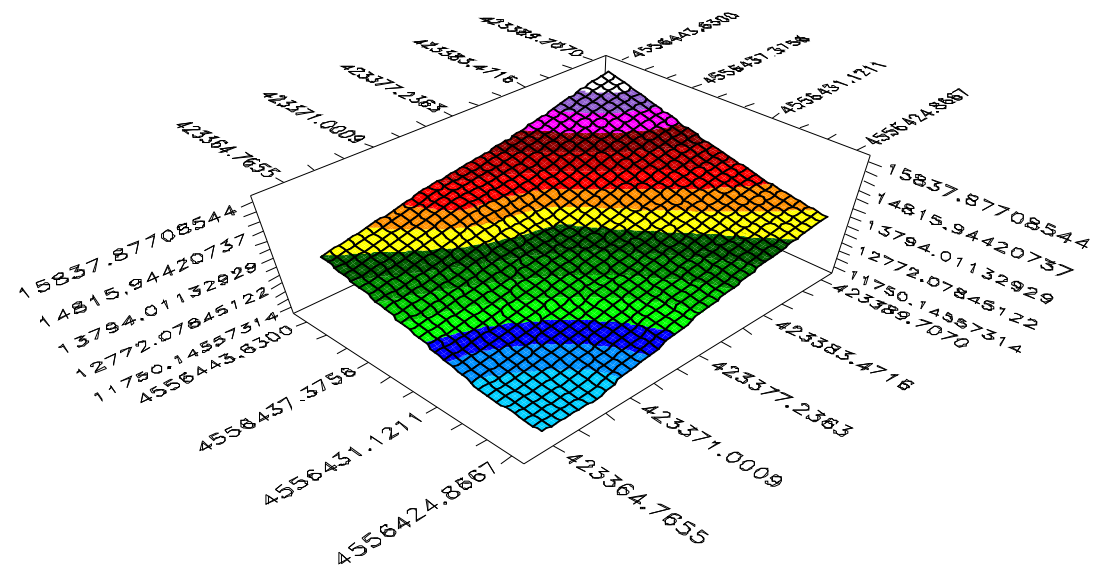
EK 2.5 : 31 Aralık 2008



EK 2.6 : 3 Ocak 2009

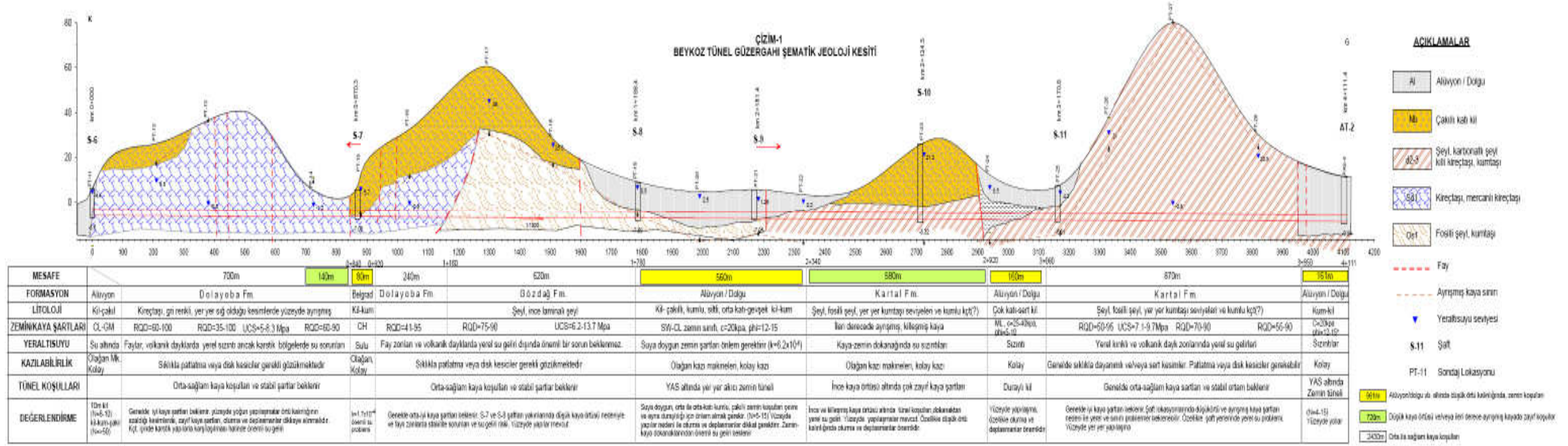


EK 2.7 : 17 Ocak 2009

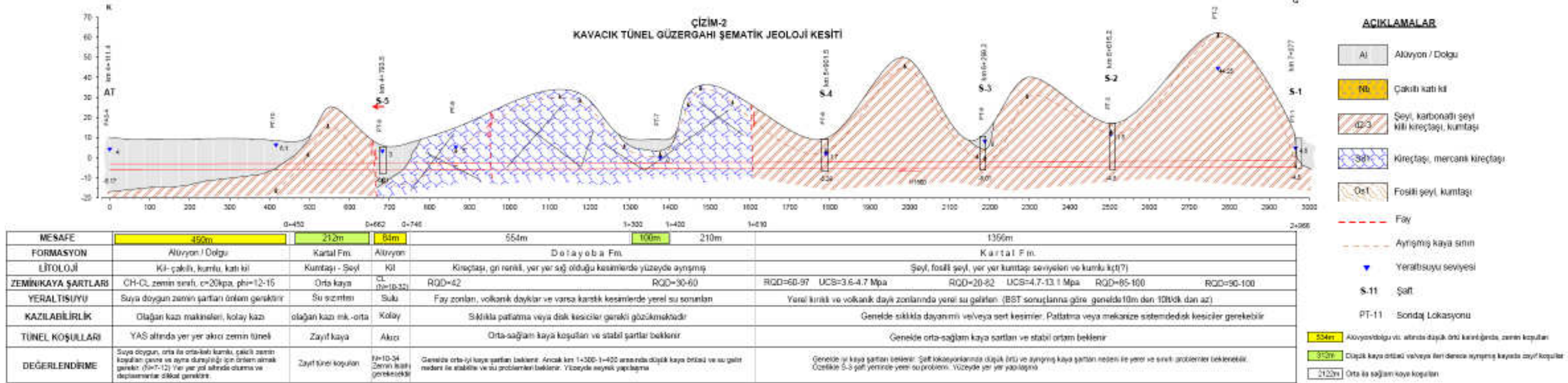


EK 3 :Jeolojik kesitler

EK 3.1 :Beykoz Tünel Güzergahı Şematik Jeoloji Kesiti



EK 3.2 : Kavacık Tünel Güzergahı Şematik Jeoloji Kesiti



ÖZGEÇMİŞ

Ahu ÜNSAL

Ataköy 2. Kısım K/35 Daire:38 Bakırköy/İstanbul

Gsm: (533) 612 56 24

E-mail: ahu_unsal@hotmail.com



KİŞİSEL BİLGİLER

Uyruğu: T.C

Doğum Yeri: İstanbul

Doğum Tarihi: 24/10/1984

Medeni Durum: Bekar

EĞİTİM DURUMU

2009-...: İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği (Yüksek Lisans)

2002-2008: İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği

1999-2002: Özel Kültür Fen Lisesi

1995-1999: Özel Uğur Koleji

PROJE VE STAJLAR

08/2005-09/2005: İstanbul Üniversitesi Cevher hazırlama laboratuvar stajı

TEZLER

Lisans Tezi/2008: Kadıköy-Kartal raylı toplu taşıma sisteminin inşaatında yapılan patlatmalı kazıların çevreye olan etkilerinin araştırılması

ULUSLARARASI YAYINLAR

Tuncdemir H., Ünsal A., Özkan M., Bayram O., Güçlücan Z., Akgül M.

2011: 'Geostatistical evaluation of volumetric surface settlements from surveying data in a weak rock tunnel,' World Tunnel Congress, Helsinki

YABANCI DİL

İngilizce: İleri seviyede

İtalyanca: Başlangıç seviyesinde

BİLGİSAYAR

MS Ofis: Excel, Word, PowerPoint, Internet ,Gs+

SERTİFİKA BİLGİLERİ

Torbay Language Center : 07/1997

Banbury Language Center : 07/1996

İtalyan Kültür Merkezi : 2005- 2006

İLGİ ALANLARI

Seyahat, tasarım

