İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAKIRKÖY HAVZASININ BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeo. Müh. Seçil TUFAN
(505031318)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 2 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih: 11 Haziran 2007

Tez Danışmanı:	**Yrd.Doç.Dr. H. Tolga Yalçın**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof.Dr. Remzi Karagüzel (İTÜ)**
	Yrd.Doç.Dr. Erdem Ünal (İTÜ)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı tarafından verilen bu yüksek lisans çalışmasında Bakırköy havzasında bulunan Çukurçeşme akiferinin 3 Boyutlu (3B) hidrojeolojik modeli hazırlanmıştır. Bölgede daha önceki yıllarda gerçekleştirilmiş araştırmaların ve mevcut bilgilerin değerlendirilmesinden sonra, jeolojik ve hidrojeolojik veriler deneştirilmiş ve elde edilen tüm bilgiler göz önüne alınarak, sonuçları madde madde belirtilmiştir.

Yeryüzünde canlıların yaşaması için suyu kullanmak ve kontrol altına almak gerektiğinden insanlar tarihin başlangıcından beri su ile ilgilenmişler, suyun özelliklerini tanımaya, hareketini yöneten kanunları belirlemeye, oluşturabileceği tehlikeleri önlemeye ve sudan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır. İnsan kendisi için gerekli olan suyu akarsular ve haznelerden su alarak yüzeysel sistemden ve yerçekimi ya da pompajla yeraltı sisteminden elde edebilir. Bir havzada mevcut toplam su miktarı hidrolojik çalışmalarla belirlenir. Bu miktarı ihtiyaçla karşılaştırarak suyun en ekonomik şekilde kullanılmasını sağlamak ise su kaynaklarını geliştirme çalışmalarının konusudur. İnceleme alanında yer alan Çukurçeşme akiferinin hidrojeolojik modelinin hazırlanması bu çalışmanın esasını oluşturmaktadır.

Tez çalışmalarımın her safhasında bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan ve bunları etkin bir biçimde kullanmamı sağlayan, çalışmalarımın her aşamasında desteğini ve iyi niyetini benden hiç esirgemeyen Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi değerli hocam Yrd. Doç. Dr. H. Tolga YALÇIN'a en içten dileklerimle teşekkür ederim. Tezin hazırlanmasında ve verilerin düzenlenmesinde bana en büyük desteği veren ve benden hiçbir yardımı esirgemeyen çok sevgili arkadaşım Rifat KULAK'a, çalışmalarım sırasında her zaman bana destek olan sevgili aileme ve değerli arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Haziran 2007 Jeo. Müh. Seçil TUFAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **x**

1 GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Amacı ve İçeriği 3
1.2 Çalışma Yöntemleri ve Kullanılan Araçlar 4

2 İNCELEME ALANININ TANITILMASI **6**
2.1 Coğrafi Konum, Ulaşım ve Yerleşim 6
2.2 Morfoloji ve Bitki Örtüsü 7
2.3 İklim ve Meteoroloji 7

3 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **9**

4 GENEL JEOLOJİ **11**
4.1 İstanbul'un Jeolojisi 11
4.1.1 Paleozoik 12
4.1.2 Mesozoyik 15
4.1.3 Senozoyik 16
4.1.3.1 İslambeyli Formasyonu 17
4.1.3.2 Kırklareli Kireçtaşı 17
4.1.3.3 Karaburun Formasyonu 17
4.1.3.4 Gürpınar Formasyonu 19
4.1.3.5 Çukurçeşme Formasyonu 19
4.1.3.6 Güngören Formasyonu 19
4.1.3.7 Bakırköy Formasyonu 20
4.1.3.8 Belgrad Formasyonu 20
4.1.4 Kuvaterner 20
4.1.4.1 Kuşdili formasyonu 20
4.2 Çalışma Alanının Jeolojisi 21
4.2.1 Kırklareli Kireçtaşı 22
4.2.1.1 Tanım 22
4.2.1.2 Yayılım ve Tipik Yerleri 22
4.2.1.3 Litolojik Özellikleri 22
4.2.1.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık 23
4.2.1.5 Fosil Kapsamı ve Yaş 23
4.2.1.6 Ortam 23
4.2.1.7 Deneştirme 23

4.2.2 Çukurçeşme Formasyonu 23
4.2.2.1 Tanım 23
4.2.2.2 Yayılım ve Tipik Yerleri 24
4.2.2.3 Litolojik Özellikleri 24
4.2.2.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık 25
4.2.2.5 Fosil Kapsamı ve Yaş 25
4.2.2.6 Ortamı 25
4.2.2.7 Deneştirme 26
4.2.3 Güngören Formasyonu 26
4.2.3.1 Tanım 26
4.2.3.2 Yayılımı ve Tipik Yerleri 26
4.2.3.3 Litolojik Özellikleri 26
4.2.3.4 Dokanak İlişkisi 26
4.2.3.5 Fosil Kapsamı ve Yaş 27
4.2.3.6 Ortam 27
4.2.3.7 Deneştirme 27
4.2.4 Bakırköy Formasyonu 27
4.2.4.1 Tanım 27
4.2.4.2 Yayılım ve Tipik Yerleri 27
4.2.4.3 Litolojik Özellikleri 27
4.2.4.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık 28
4.2.4.5 Fosil Kapsamı ve Yaş 28
4.2.4.6 Ortamı 28
4.2.4.7 Deneştirme 28
4.2.5 Kuşdili Formasyonu (Kşf) 28
4.2.5.1 Tanım 28
4.2.5.2 Yayılım Ve Tipik Yerleri 28
4.2.5.3 Litolojik Özellikleri 29
4.2.5.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık 29
4.2.5.5 Fosil Kapsamı ve Yaş 29
4.2.5.6 Ortamı 29
4.2.5.7 Deneştirme 30
4.2.6 Alüvyon 30
4.3 Yapısal Jeoloji ve Tektonik 32

5 HİDROJEOLOJİ 34
5.1 Meteoroloji Verileri ve Penman Su Bilançosu 34
5.1.1 Yağış, Sıcaklık ve Buharlaşma 34
5.1.2 Potansiyel ve Gerçek Buharlaşma 34
5.1.3 Meteorolojik Su Bilançosu 35
5.2 Kuyular 36
5.3 Hidrojeolojik Ortamlar 38
5.3.1 Yerel Boşluklu (Karstik) Akifer (yba) 39
5.3.2 Yerel Taneli Akifer (yta) 39
5.3.3 Geçirimsiz Birim 39
5.4 Yeraltısuyu Beslenimi ve Boşalımı 39
5.5 Çukurçeşme Akiferinin Hidrojeolojik Özellikleri 40
5.5.1 Porozite 40
5.5.2 Tane Boyu Dağılımı 40
5.5.3 Geçirimlilik (Permeabilite) 42

6 YERALTISULARININ MODELLEMESİ **43**
6.1 Genel İlkeler 43
6.2 Groundwater Modeling System (GMS) Tanıtımı 44
6.2.1 Üçgensel Düzensiz Ağ Modülü (ÜDA) 45
6.2.2 Kuyu Modülü 46
6.2.3 Katı Modülü 48
6.2.4 2 Boyut Ağ Modülü 48
6.2.5 2 Boyut Grid Modülü 49
6.2.6 2 Boyut Yayılı Nokta Modülü 49
6.2.7 3 Boyut Ağ Modülü 49
6.2.8 3 Boyut Grid Modülü 50
6.2.9 3 Boyut Yayılı Nokta Modülü 50
6.2.10 Harita Modülü 50
6.3 GMS İle Yapılabilen Diğer İşlemler 50
6.3.1 Kuyu Yapımı 51
6.3.2 Kuyular İle ÜDA Yapımı 53
6.3.3 ÜDA İle Yüzey Yapımı 56
6.3.4 Kuyular İle Yayılı Nokta Yapımı 56
6.3.5 Yayılı Noktalar İle 2b Jeoistatistik Harita Yapımı 57
6.3.6 Kuyular İle Katı Model Yapımı 60
6.3.7 Katı Model İle Enine Kesit Yapımı 64
6.4 Çalışma Alanında Yapılan Modelleme 67
6.4.1 Modflow Arayüzü Hakkında Bilgiler 67
6.4.2 Bakırköy Havzasının Hidrojeolojik Modeli 69

7 SONUÇLAR **82**

KAYNAKLAR **84**

EKLER **85**

ÖZGEÇMİŞ **90**

TABLO LİSTESİ **Sayfa No**

Tablo 5.1 İnceleme alanındaki kuyularla ilgili veriler ….……..37
Tablo 6.1 Kavramsal modeldeki Hidrolik iletkenlik koverajına ait veriler…....74
Tablo 6.2 1960 yılındaki su seviyesine ulaşmak için kuyuların beslenme değerleri ……... 78
Tablo 6.3 Akiferin 1981'deki durumundan, bugünkü duruma gelebilmesi için yapılmış olan çekim miktarları …….....80
Tablo A1 Florya Meteoroloji İstasyonu Verileri (1937 – 1994) ……86
Tablo A2 Penman yöntemi ile hazırlanmış aylık ve yıllık potansiyel buharlaşma değerleri ……..... 87
Tablo A3 Penman yöntemi ile hazırlanmış meteorolojik su bilançosu ……. 88
Tablo A4 Bölgede bulunan kuyulara ait bilgiler ……... 89

ŞEKİL LİSTESİ **Sayfa No**

Şekil 1.1 Dünyadaki tatlı suların dağılımı ……..... 1
Şekil 1.2 Bakırköy – Zeytinburnu (İstanbul) bölgesinin hava fotoğrafı…..... 4
Şekil 2.1 Çalışma bölgesini gösteren yer bulduru haritası (Sony Route Planner Europe programı ile oluşturuldu) ……....……8
Sekil 4.1 İstanbul ve dolayının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti..... 13
Şekil 4.2 İstanbul ve dolayının genelleştirilmiş Senozoyik-Kuvaterner stratigrafi kesiti…….....……....17
Şekil 4.3 Haliç- Küçükçekmece Gölü arasının jeoloji haritası (Sayar, 1989'dan yararlanılarak hazırlanmıştır) ……18
Şekil 4.4 İnceleme alanının Senozoik-Kuvaterner stratigrafik kesiti 21
Şekil 4.5 İnceleme alanının jeoloji haritası [9] ……....…….30
Şekil 4.6 İnceleme alanındaki birimleri gösteren, GMS ile oluşturulmuş A-B kesiti ……....……....……31
Şekil 4.7 İnceleme alanındaki birimleri gösteren, GMS ile oluşturulmuş A'-B' kesiti ……....……....……31
Şekil 4.8 İnceleme alanındaki birimleri gösteren, GMS ile oluşturulmuş A"-B" kesiti ……....……....……32
Şekil 5.1 Bölgesel yıllık su bilançosu diyagramı.……...36
Şekil 5.2 Kuyuların arazide dağılımı ……...……37
Şekil 5.3 Çalışma alanına ait hidrojeoloji haritası……..38
Şekil 5.4 Çukurçeşme akiferinin tane boyu dağılımı ……40
Şekil 5.5 Elek Analizi ……...……41
Şekil 5.6 Sabit seviyeli permeametre ……...……42
Şekil 6.1 GMS arayüzü ve temel araçlarına ait açıklamaların görüntüsü. ……45
Şekil 6.2 ÜDA ile oluşturulmuş yüzeye ait görüntü, eğik bakış açısı. ……46
Şekil 6.3 GMS tablo arayüzü ile kuyu veri girişi. ……..47
Şekil 6.4 Kuyu modülü ile oluşturulmuş kuyuların görüntüsü eğik bakış açısı 47
Şekil 6.5 3B katı model, eğik bakış açısı. ……..……48
Şekil 6.6 Katı modelden alınmış enine kesitler, eğik bakış açısı……49
Şekil 6.7 Aktif edilmiş Kuyu Modülünün görüntüsü. ……51
Şekil 6.8 GMS'nin tablo hazırlama arayüzünün açılışı. ……52
Şekil 6.9 GMS'ye ait tablo hazırlama arayüzü. ……....52
Şekil 6.10 Materials Editor ve eklentileri. ……..……53
Şekil 6.11 Kuyu verilerinde otomatik dokanak seçimi……54
Şekil 6.12 Aktif dokanaklardan otomatik olarak ÜDA yapımı……54
Şekil 6.13 Oluşturulan ÜDA'ların sıklıklarının değiştirilmesi.……55
Şekil 6.14 Sıklıkları arttırılmış ÜDA'nın son hali.……...55
Şekil 6.15 ÜDA ile oluşturulmuş yüzeye ait konturların görüntüsü.……56
Şekil 6.16 Aktif dokanaklardan otomatik olarak yayılı noktalar yapımı. ……57
Şekil 6.17 2 Boyut grid oluşturmak için gerekli ayarların düzenlenmesi.……58
Şekil 6.18 Tüm ayarların düzenlenmesi ile oluşturulmuş grid.……58

Şekil 6.19 Aradeğerleme şemalarının seçilmesi…….....59
Şekil 6.20 Inverse distance weighted (IDW) ile oluşturulmuş 2 Boyut jeoistatistik harita……...…….……60
Şekil 6.21 Seçili dokanaklara ufuk değeri atanması……....61
Şekil 6.22 ÜDA yapımı için poligon oluşturma…….....62
Şekil 6.23 Katı model oluşturmak için ÜDA yapımı……..62
Şekil 6.24 Ufuk değerlerinden katı model oluşturmak için yapılması gereken ayarlar ……...……63
Şekil 6.25 Otomatik olarak oluşturulmuş katı model, eğik bakış açısı.……...64
Şekil 6.26 Katı modelden enine kesit oluşturma…….....65
Şekil 6.27 Enine kesitlerin doğrultu izleri……...……..…65
Şekil 6.28 Katı modelden alınmış enine kesitler, eğik bakış açısı……..:...66
Şekil 6.29 İstenmeyen kesitlerin gizlenmesi ile görüntülenen enine kesitler..…67
Şekil 6.30 Çalışma alanı ve civarının yüzey topografyası……...70
Şekil 6.31 Bölgeye ait K-G enine kesiti……...……71
Şekil.6.32 Arkaplan resminin GMS'ye kayıt işlemi……72
Şekil.6.33 1981 yılında, kuyularda faaliyet olmadığı zaman, akiferin durum.....77
Şekil 6.34 Akiferin G-K doğrultusunda bir kesiti……....78
Şekil 6.35 Akiferin 1981 yılındaki durumdan, kuyuların beslenmesi ile 1960 yılındaki durumuna getirilmesi…….……79
Şekil 6.36 Çukurçeşme akiferinin günümüzdeki görünümü…….…...80
Şekil 6.37 Akiferin 1981'deki durumundan 1960'daki durumuna getirilirken beslenme 0 kabul edilerek, sadece kuyulardan su basılmasıyla oluşan durum…….…….…….……81

BAKIRKÖY HAVZASININ BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLENMESİ

ÖZET

Bu çalışma İstanbul'un batısında Bakırköy ilçe sınırları içerisinde yer alan Bakırköy havzasının mevcut durumunu ve son 45 yıl içinde göstermiş olduğu değişimleri gösteren 3 Boyut (3B) modelinin hazırlanması için yapılmıştır.

Akifer alanı yaklaşık 15 km^2'dir. Bölgede görülen iklim tipik bir Akdeniz iklimidir. Yazları uzun ve kurak, kışları kısa ve yağmurludur. Yıllık ortalama sıcaklık 13,9ºC'dir. Yaz ortası sıcaklık 23,3ºC üzerinde seyretmektedir. En soğuk aylarda ise 5,3°C'dır. Kışın hava oldukça yumuşaktır ve yıllık ortalama 649,0 mm. yağmur düşmektedir.

Çalışmaya konu olan Üst Miyosen yaşlı Çukurçeşme Formasyonu gri, grimsi beyaz, kirli beyaz, omurgalı fosilli kum ve çakıllardan oluşmuştur. Altta Eosen yaşlı yerel boşluklu Kırklareli Kireçtaşı ve üstüne dereceli geçiş ile gelen Üst Miyosen yaşlı kil ve marndan oluşan Güngören Formasyonu ile sınırlı basınçlı bir akiferdir.

Akifer, GMS (Groundwater Modeling System) isimli program ile modellenmiştir. Çalışma alanının yeraltısuyu modeli 1981 yılı ölçümlerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Model oluşturulduktan sonra, akiferin eski haline getirilebilmesi için gerekli beslenme miktarı, 1981 yılından günümüze kadar olan süredeki değişimi için yapılmış olan çekim miktarı ve beslenmenin bu değişimler üzerindeki etkisi, oluşturulan farklı simülasyonlarla ortaya koyulmuştur.

MODELLING OF BAKIRKOY BASIN BY COMPUTER

SUMMARY

The aim of this study is to prepare the 3 Dimensional (3D) model of Bakırkoy basin which is settled at the west side of Istanbul and to show changes during in last 45 years.

The aquifer area is nearly 15 km^2. The climate of area is typical Mediterranean climate. Summer season is long and dry, winter season is rainy. Total average temperature is 13,9ºC. Summer season temperature is over 23,3ºC. In the coldest months temperature level is 5,3°C. The climate condition of winter season is mild and total raining average of year is 649,0 mm.

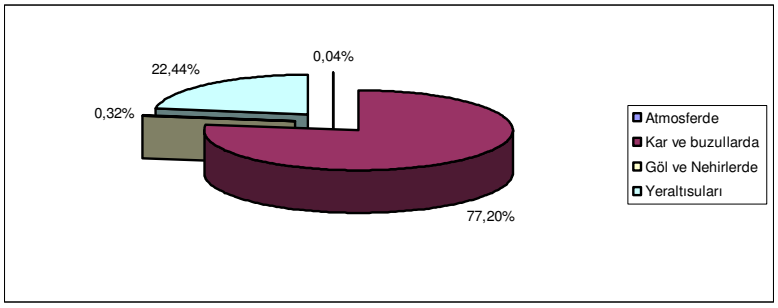
Cukurcesme Formation that is the title of this study includes sandstone and fossils. Miosen Cukurcesme Formation overlies Kırklareli Formation unfoncormably. This formation constitutes the aquifer. Over this bedding, Miosen Güngören Formation has transitional boundary with Cukurcesme Formation. Cukurcesme Formation is a confined aquifer.

Aquifer has been modelled by GMS (Groundwater Modeling System). The modelling data has been taken from the measurements of 1981. The model of working area was modelled like as in 1981. After the modelling, three simulations were made. The first one is to find necessary recharge quantity to make the aquifer like as the last situation in 1960. The second simulation is to find necessary pumping quantity to maket he aquifer like as today's situation. The last simulation is shown the effect of recharge quantity.

1 GİRİŞ

Yeryüzünde canlıların yaşaması için suyu kullanmak ve kontrol altına almak gerektiğinden insanlar tarihin başlangıcından beri su ile ilgilenmişler, suyun özelliklerini tanımaya, hareketini yöneten kanunları belirlemeye, oluşturabileceği tehlikeleri önlemeye ve sudan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır. İnsan kendisi için gerekli olan suyu akarsular ve haznelerden su alarak yüzeysel sistemden ve yerçekimi ya da pompajla yeraltı sisteminden elde edebilir. Bir havzada mevcut toplam su miktarı hidrolojik çalışmalarla belirlenir. Bu miktarı ihtiyaçla karşılaştırarak suyun en ekonomik şekilde kullanılmasını sağlamak ise su kaynaklarını geliştirme çalışmalarının konusudur.

Yer kürenin ¾ ü su ile kaplı olmasına rağmen tatlı suların miktarı ancak % 2,5 – 3,0 kadardır. Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi faydalanılabilecek tatlı suların yaklaşık % 77 sinden fazlasının buzullarda olduğu dikkate alındığında geriye kalan % 23 lük yüzey ve yeraltı sularının da ancak %1 inden faydalanma imkânı mevcuttur. Yeryüzünde son derece az olan tatlı suların ülkelere dağılımı ise çok dengesizdir. Ekvator kuşağı, Avrupa, Amerikanın belirli bölgeleri su kaynağı yönünden çok zengin, Büyük sahra, Orta Asya, Avustralya gibi geniş kurak alanlar ise su yönünden çok fakir olan bölgelerdir.



Şekil 1.1: Dünyadaki tatlı suların dağılımı

Özellikle küresel ısınma sonucu yeryüzünde büyük ve geniş çaplı bir kuraklık başlamış ve bu kuraklık her geçen gün artmaktadır. Küresel ısınma sonucu yeraltı

sularının beslenmesi azalmakta, bununla birlikte kontrolsüz, bilinçsiz kullanım ve müdahaleler ile var olan kaynaklar her geçen gün kirlenmekte ve azalmaktadır.

Tatlı sular, her ülkenin en önemli serveti olup, bu servetten kamu yararı anlayışıyla en iyi şekilde faydalanmak ve gelecek nesillere taşımak, bu serveti kullanan her kişi, kurum ve devletlerin borcudur.

Tüm bu sebepler göz önüne alındığında içinde bulunduğumuz yüzyılda suya olan talep hızlı bir artış göstermiştir. Yapılan tüm araştırmalar, iyileştirme yönünde herhangi bir çalışma yapılmaması durumunda 21.yüzyılda suyun petrol ve kömürün üzerine çıkacak bir öneme sahip olacağını ortaya koymaktadır. Bu nedenle de zengin ve kaliteli su kaynaklarına sahip olan ülkeler 21. yüzyılda tüm dünyanın ilgi odağı olacaklardır.

Su kaynaklarını etkileyen en önemli unsurlar ise meteorolojik ve iklimsel koşullardır. İstanbul ve civarı ortak bir bölgesel iklim tipinin hakimiyeti altında olmamakla beraber gerçekte topografya, yükselti, nispi konum, bakı ve bitki örtüsü gibi faktörlerin karakterindeki değişikliklerden dolayı bazı önemli farklarla birbirinden ayrılan belirgin iklim tipleri arz eder. İstanbul Boğazı ve çevresi genel olarak Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Bu iklim kıyı bölgelerde iç kesimlerde biraz ayrılık gösterir. Bilindiği gibi Akdeniz ikliminde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. İstanbul iklimi; bir yandan Karadeniz'in, bir yandan Balkanlar ve Anadolu kara ikliminin etkisiyle meydana gelen özel bir durum gösterir. Yazın yağış sonbaharın yarısı kadardır. Genel olarak yazlar sıcak, kışlar yağışlı ve ılık geçer.

İnceleme alanını içine alan, İstanbul'un Batısı ile ilgili en detaylı jeolojik çalışma 1955 yılında Cazibe Arıç tarafından yapılmış olup, sonrasında yapılan tüm çalışmalara kaynak niteliğini taşımaktadır. Bölgeye ait hidrojeolojik çalışmalar ise yine Cazibe Sayar tarafından 1960 yılında yapılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında İstanbul Bakırköy'de özellikle son 50 yılda yaşanan ve son yıllarda önemli boyutlara ulaşan su sorunu ile ilgili bilimsel çalışmalara temel olabilecek bir çalışma gerçekleştirilmek düşüncesi ile Bakırköy Havzasının bilgisayar ortamında 3 Boyutlu modellenmesi ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu bölgedeki su probleminin büyüklüğü kuyu verilerinden ve daha önce yapılan çalışmalardan oldukça iyi anlaşılmaktadır.

Çalışma; başlangıçta önceden hazırlanmış tüm jeolojik ve meteorolojik verilerin elde edilmesi, eksiklerin tamamlanması ve bunlardan model için gerekli olanların ayırt edilip modele uygun hale getirilmesi şeklinde gelişmiştir. Daha sonra, bu veriler ışığında çalışma alanının genel stratigrafisi ve hidrojeolojik bilgileri hazırlanmıştır. En son aşamada ise, tüm bu veriler Groundwater Modeling System (GMS) paket programına aktarılarak bölgenin hidrojeolojik 3B modeli hazırlanmış ve akiferin durumu irdelenmiştir.

Hidrojeolojik model çalışması, akifer ile ilgili simülasyonların hazırlanmasına yardımcı olur. Böylece akiferin günümüzde ve belirli gelecekteki durumu hakkında önemli bilgiler edinmemizi sağlar. Örneğin; akifer için zararlı kuyuların tespiti, yeni kuyu yerlerinin tespiti, akiferden ne kadar çekim yapılması gerektiği hidrojeolojik model ile belirlenebilir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bakırköy ve çevresinin hidrojeolojisi, bölgenin giderek artan içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyacından ötürü çok önem kazanmıştır. 1955'den bu yana bölgede hidrojeoloji amaçlı çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Halen günümüzde su ihtiyacını karşılama amaçlı sondaj kuyularından faydalanılmaktadır. Ancak kontrolsüz ve bilinçsizce açılan kuyular, olması gerekenden fazla su çekimi, bölgede hızla artan yapılaşma ve akiferin beslenme alanının daralması, akiferdeki su seviyesinin hızla düşmesine neden olmaktadır. 1955 yılında yapılan çalışmalar o zamanlarda açılan kuyuların artezyen özelliği gösterdiğini belirtirken, 1981 yılında yapılan bir başka çalışmada su seviyesinin 50–60 m'lere kadar düşmüş olduğu tespit edilmiştir. Günümüzde ise bu durum çok daha kötü bir hal almış ve su seviyesi 120 m'ye kadar düşmüştür.

Bu çalışmada Çukurçeşme Formasyonunun oluşturduğu akiferin 1955 yılından günümüze kadar göstermiş olduğu değişimler ve tekrar eski haline gelebilmesi için gerekli olan beslenim miktarları tespit edilmeye çalışılacaktır. Bu çalışmanın amacı önceki çalışmalardan alınan değerlerle bölgede bulunan Çukurçeşme akiferinin 3B modelinin hazırlanmasıdır. Model ile mevcut durum belirlendikten sonra belirli koşullarda akiferin durumu değerlendirilecektir. Eldeki veriler ile akiferin şu andaki durumunu, yapılacak su çekim ve basımlarıyla akiferin ve kuyuların durumunu gösteren simülasyonlar hazırlanmıştır. Bu simülasyonlar bölgenin 3B katı modeli ve

3B yeraltı suyu akımlarını gösteren hidrojeolojik modellerdir. Yürütülen çalışmalar ile akifer hakkında genel ve kapsamlı bir fikre sahip olunması amaçlanmıştır. Bu kapsamda 1960, 1981 ve 2005 yıllarında araştırma bölgesinde açılan kuyularda yapılan yeraltı suyu seviyesi ölçümleri göz önüne alınarak mevcut durum değerlendirilmiş, bu değişimlere neden olan kullanım olasılıkları yine GMS programı ile tespit edilmiştir.

1.2 Çalışma Yöntemleri ve Kullanılan Araçlar

Hidrojeolojik modelin hazırlanmasında 1960 yılında Dr. Cazibe Sayar tarafından hazırlanan 1:50000 ölçekli jeoloji haritasından, M. Sani Karaca tarafından 1981 yılında hazırlanan 1:5000 ölçekli hidrojeoloji haritasından, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden sağlanan Bursa G21-b–03-a, Bursa G21-b–03-b ve Bursa G21-b–04-a pafta nolu hava fotoğraflarından yararlanılmıştır.



Şekil 1.2: Bakırköy – Zeytinburnu (İstanbul) bölgesinin hava fotoğrafı

Akiferden alınan kum numunesinin tane boyu dağılımının tespiti için elek analizi, geçirimlilik (permeabilite) değerinin tespiti için permeametre deneyi ve boşluk hacmi değerinin tespiti için porozite testi İTÜ Maden Fakültesi, Hidrojeoloji ve İndex Laboratuarlarında yapılmıştır. Tüm meteorolojik veriler çalışma alanına en yakın olan Florya Devlet Meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır. Eldeki veriler ışığında belirli kabuller alınarak kavramsal bir model oluşturulmuş ve Groundwater Modeling

System (GMS) v4.0 paket programı kullanılarak hidrojeolojik 3B model hazırlanmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Savunma Bakanlığına ait Groundwater Modeling System (GMS) adlı program, yeraltı sularının simülasyonlarının yapılması için oluşturulmuş kapsamlı bir grafiksel kullanıcı programıdır. Bütün GMS sistemi grafiksel kullanıcı arayüzü (GMS) ve belirli analiz kodlarından (MODFLOW, MT3D, MODPATH, FEMWATER, T-PROGS, SEAM3D, SEEP2D, UTCHEM, FACT, RT3D, ART3D) oluşur. Bu analiz kodları özel yeraltı suyu modelleme paketleridir ve bunların hepsi GMS arayüzü ile bir arada kullanılmaktadır. GMS arayüzü ABD Askeri birimi (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station) ortaklığı ile Brigham Young Üniversitesi (Engineering Computer Graphics Laboratory of Brigham Young University) laboratuarında geliştirilmiştir. GMS kapsamlı bir modelleme programı olarak tasarlanmıştır. Çeşitli model tipleri desteklenerek farklı modeller ve veri tipleri arasında bilgi paylaşımına olanak sağlar. Araçlar bölge tanımlaması, model kavramları, ağ ve grid üretimi, jeoistatistik ve süreçlendirme sonrası için hazırlanmıştır [1].

2 İNCELEME ALANININ TANITILMASI

Bu bölümde inceleme alanının coğrafi konumu, ulaşım olanakları, yerleşimi, morfoloji ve bitki örtüsü ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. Ayrıca inceleme alanının iklim ve meteorolojisi ile ilgili genel bilgilere de değinilmiştir.

2.1 Coğrafi Konum, Ulaşım ve Yerleşim

İstanbul'un batı yakasında, Marmara Denizi kıyı şeridinde yer alan Bakırköy İlçesi, baş döndürücü kentleşme hızına karşın, doğal güzellikleri açısından yinede İstanbul'un anılmaya değer önemli ilçelerindendir. İstanbul ili Bakırköy ilçesi sınırları içine giren inceleme alanının Doğusunda Zeytinburnu, Batısında Küçükçekmece, Kuzeyinde Güngören ve Bahçelievler İlçeleri, Güneyinde Marmara denizi bulunmaktadır [2]. İnceleme alanı içerisinden Sirkeci – Halkalı banliyö tren yolu ve E–5 karayolu geçer [3] (Şekil 2.1).

1955 yılından itibaren Bakırköy hızlı bir kentleşme yaşamış ve dolayısıyla hızlı nüfus artışları sonucunda büyük alt yapı ve kentleşme sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Ancak 1989 ve 1992 yerel seçimleri ile Bakırköy ilçesi önce Küçükçekmece daha sonra Bahçelievler, Bağcılar ve Güngören ilçelerinin ayrılması ile hem nüfus, hem de alan olarak küçülmüştür. Bakırköy şu andaki mevcut sınırları içinde İstanbul' un en seçkin ilçelerinden birisine dönüşmüştür [2].

İlçe nüfusu, 2000 yılında yapılan genel nüfus sayımında kesin nüfusu 208.000 kişi olarak tespit edilmiştir [2].

Bakırköy ilçesine E-5 ile kolayca ulaşılabileceği gibi Sirkeci – Halkalı banliyö tren yolu, Sirkeci – Bakırköy sahil yolu ve deniz otobüsleri seferleriyle kolayca ulaşılabilmektedir.

İlçe sınırları içerisinde yer alan inceleme alanı yaklaşık 15 km^2 kadardır. Genel görünüş olarak fazla engebeli değildir. Marmara Denizi'nden başlayıp Kuzeye doğru ortalama 1.5^0'lik bir eğimle Haznedar'da 70 m kadar yüksekliğe ulaşmaktadır [3].

2.2 Morfoloji ve Bitki Örtüsü

Bakırköy'ün yayıldığı plato, düz ve hafif dalgalı bir yüzey oluşturup, aşınımla önemli ölçüde taşınmıştır. Plato, aşınma oluklarıyla birkaç bölüme ayrılmış olmasına rağmen, vadi oluşumları son derece önemsizdir. Bakırköy ilçe alanı, doğudan batıya doğru gidildikçe dalgalı bir görünüm gösterir. Buna rağmen Bakırköy'de önemli yükseltiler görülmez. Sırtlar genel olarak kuzey-güney doğrultusunda uzanır ve Güney Marmara Denizi'ne doğru eğilimleri yitirerek yüzleşirler. Bakırköy merkezde, yükselti 20–30 metredir. İlçenin Marmara Denizi'ne olan kıyıları, fazla engebeli değildir. Genel görünüm, geniş koylar ve burunlar şeklindedir. Çırpıcı, Çavuşpaşa ve Uzundere'nin aktığı kıyı alanları, alüvyonlara dolmuştur [2].

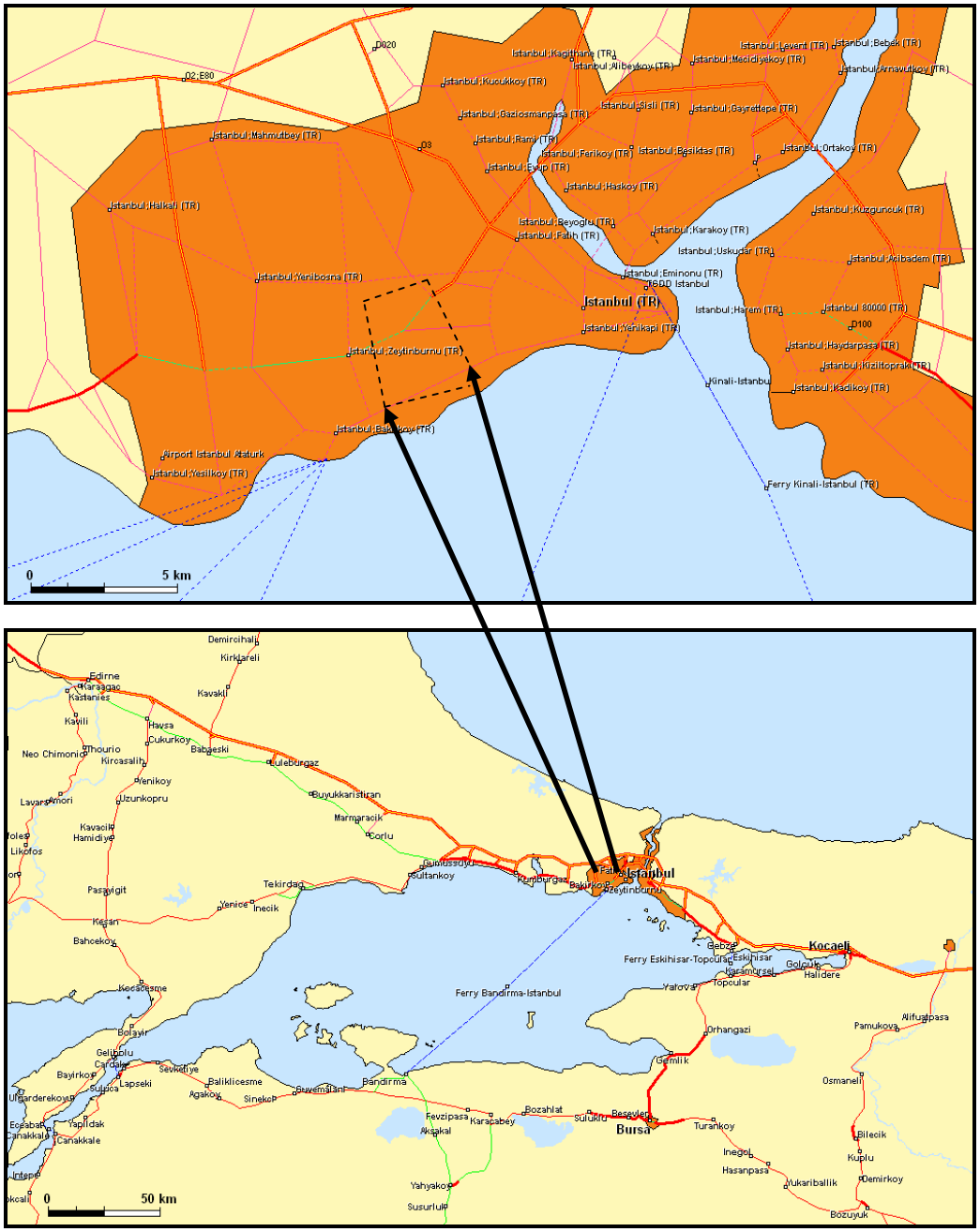
Sakızağacı ve Bakırköy burnunda ise dalgaların etkisiyle aşınan falezler ve bunların önünde aşınma düzlükleri görülür. Bakırköy'ün Marmara Denizi''ne olan kıyıları, Florya kıyıları dışında, geniş bir yerleşme alanının kıyısı durumuna dönüşmüştür [2].

30–35 yıl öncesine kadar uçsuz bucaksız çayırlarının uzandığı birbirinden uzak yerleşmeleri ile kırsal kesimin tüm özelliklerini gösteren Bakırköy günümüzde tam bir kent görünümündedir. Bakırköy Belediyesi'nce 1984 yılından beri sürdürülen Park ve Bahçe yapımı çalışmaları yeşil alanları çoğaltmaktadır. Ağaçlandırılan sahil yolu yaz aylarında gezinti yolu olarak kullanılmaktadır [2].

2.3 İklim ve Meteoroloji

İnceleme alanı Marmara iklim kuşağına girer. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Yağışlar genellikle yağmur şeklindedir. En fazla yağış Kasım, Aralık ve Ocak aylarında, en az yağış ise Temmuz ve Ağustos aylarında düşmektedir. Karla örtülü gün sayısı Florya gözlem istasyonlarından alınan değerlere göre yıllık ortalama 7.4 ile 7.8 gün arasında değişmektedir. Tüm meteorolojik veriler çalışma alanına en yakın olan Florya Devlet Meteoroloji istasyonlarından alınmıştır (Tablo A1).

İstanbul'un iklimi ile Bakırköy iklimi de belirgin iklim kalıpları içinde değerlendirmek mümkün değildir. İklimin gösterdiği çeşitliliğe bağlı olarak kimi yılların Ocak ve Şubat aylarında ılık havalara rastlanır.



Şekil 2.1: Çalışma bölgesini gösteren yer bulduru haritası (Sony Route Planner Europe programı ile oluşturuldu)

3 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bölgede yapılan başlıca çalışmalar, Sayar, C. (1960) tarafından yapılan "İstanbul'un Batısındaki Arazide Yeraltısuları ve Artezyen İmkanları", Tuzcu, G. (1965) tarafından bitirme ödevi olarak yapılan "Bakırköy – Güngören Deresi Beslenme Alanı Hidrojeolojisi", Altunkaynak, M. – Günay, G. (1975) tarafından yapılan "İstanbul içme suyu Projesi K.Çekmece Gölü ve Dolayının Hidrojeoloji İncelemesi" isimli çalışmalarıdır. Bölgede fabrikaların yaptırdığı bazı hidrojeolojik çalışmalar olmakla birlikte bunlar fabrika alanlarının dışına çıkmayan çok yerel ve yüzeysel çalışmalardır.

İnceleme alanını içine alan Haliç ve Küçükçekmece Gölü arasında kalan İstanbul'un Batısının jeolojisi ile ilgili çalışmalar 1960 yılında Dr. Cazibe Sayar tarafından hazırlanan "İstanbul'un Batısındaki Arazide Yer altı Suları ve Artezyen İmkanları" isimli çalışmada belirttiği üzere 1847 tarihinden itibaren Viquesnel, A(1851); Tchihatcheff, P. De(1850–1869); Hochstaetter, V. F. (1869); Fitzner, R. (1902); Cvijik, C. (1908); Arabu, N. (1917–1919); Penck, W. (1919); Sayar, M. – Pamir, H. N. (1932–1933); Chaput, E. (1953); Arıç Sayar(1950–1955) tarafından incelenmiştir.

Prof. Dr. Okan Tüysüz'ün 2003 yılında yayınlanan "İstanbul İçin Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı" isimli makalesinde, İstanbul'u etkilemesi muhtemel fayların kırılması durumunda nerelerde ne şiddette bir yer sarsıntısı yaratacağının belirlenmesi konu alınmıştır. Aynı çalışmada, 1960 yılında Dr. Cazibe Sayar tarından hazırlanan Küçükçekmece – Haliç arası bölgenin jeoloji haritası sadeleştirilmiş ve yeniden çizilmiştir. Bölgede bulunan formasyonlar ayrıntılı biçimde anlatılmıştır.

M. Sani Karaca tarafından 1981 yılında hazırlanan "Güngören Deresi ve Dolayının Hidrojeolojisi" isimli çalışmada ise Bakırköy-Haznedar arası, İstanbul'un sanayileşmiş ve nüfusu fazla olan bu bölgenin içme, kullanma ve endüstri suyu gereksinimlerinin nasıl arttığı ve artan su ihtiyacı ile birlikte bölgede gerçekleşen

aşırı kullanımdan bahsedilmiştir. Bu aşırı kullanım sonucu akiferde denize yakın kısımlardaki tuzlanmaya dikkat çekilmiş ve tuzlanma miktarı ile ilgili bir çalışma yapılmıştır.

4 GENEL JEOLOJİ

İnceleme alanını içine alan Haliç ve Küçükçekmece Gölü arasında kalan İstanbul'un Batısının jeolojisi ile ilgili çalışmalar 1960 yılında Dr. Cazibe Sayar tarafından hazırlanan "İstanbul'un Batısındaki Arazide Yeraltı Suları ve Artezyen İmkanları" isimli çalışmada belirttiği üzere 1847 tarihinden itibaren Viquesnel, A 1851); Tchihatcheff, P. De (1850–1869); Hochstaetter, V. F. (1869); Fitzner, R. (1902); Cvijik, C. (1908); Arabu, N. (1917–1919); Penck, W. (1919); Sayar, M. – Pamir, H. N. (1932–1933); Chaput, E. (1953); Arıç Sayar C. (1950–1955) tarafından incelenmiştir.

Bölgenin yerleşim bölgesi olması, formasyonların arazide izlenme olanağı vermemiştir. Ancak daha önceki çalışmalar, sondaj logları ve oluşturulan jeoloji haritaları kullanılmış ve formasyonların arazide tespitleri yapılmaya çalışılmıştır. Fakat yoğun yapılaşma çevre düzenlemeleri buna yeterince imkan vermemektedir.

Bu bölümde inceleme alanını içine alan bölgenin ve inceleme alanının stratigrafisi ve yapısal jeolojisi İstanbul Büyükşehir Belediyesinden alınan verilerden ve Prof. Dr. Okan Tüysüz'ün 2003 yılında yayınlanan "İstanbul İçin Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı" isimli çalışmasından yaralanılarak anlatılacaktır.

4.1 İstanbul'un Jeolojisi

İstanbul, Türkiye'nin ana tektonik birliklerinden İstanbul zonu üzerinde yer alır. Bu zon batıda Büyükçekmece civarından başlayarak doğuda Kastamonu'ya kadar uzanır. İstanbul zonunun karakteristik özelligi temelinde bulunan ve Türkiye'nin başka birliklerindeki yaşıt istiflerden farklı özellikler sunan Paleozoyik yaşlı çökel bir istife sahip olmasıdır. Bu Paleozoyik istifin üzerinde ise Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayalar yer almaktadır (Şekil 4.1). Bunlar aşağıda, yaşlıdan gence doğru bir sıra içinde kısaca özetlenmiştir.

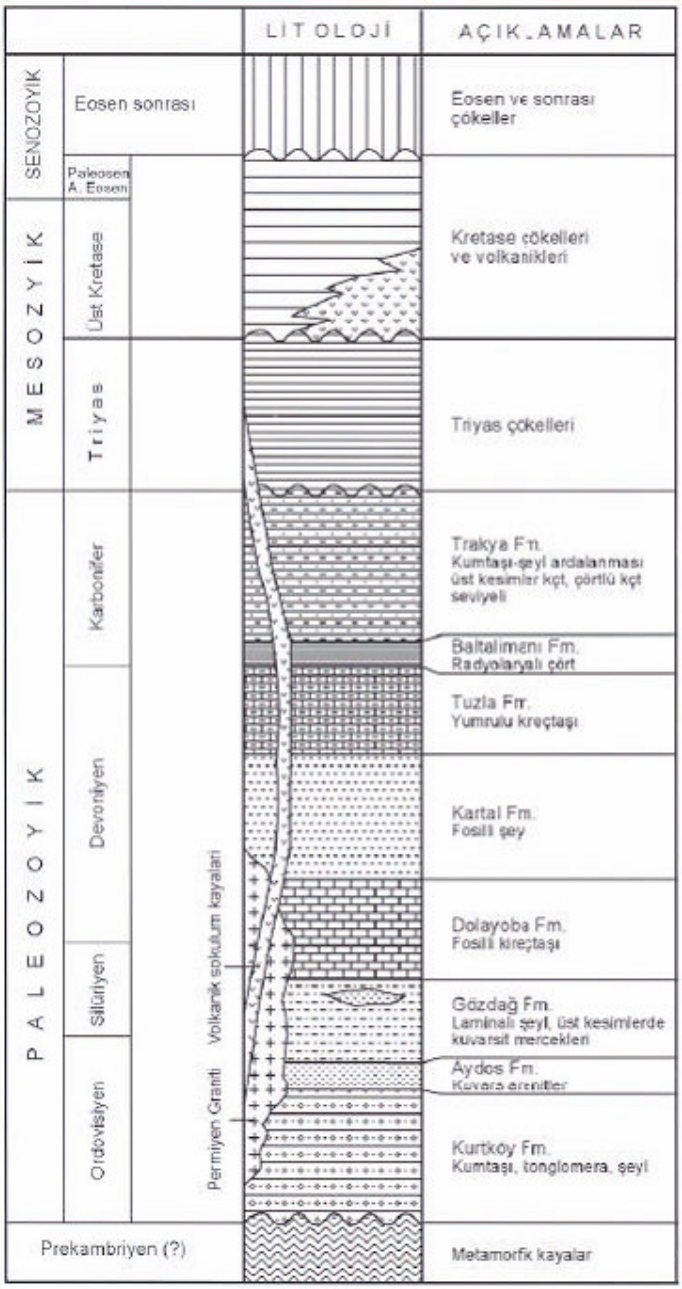
4.1.1 Paleozoik

İstanbul'un büyük bir kesimi jeoloji literatüründe "İstanbul Paleozoyik İstifi'' Paleozoyik yaşlı kayalar üzerine oturmaktadır. Bu topluluk Ordovisiyen'den Karbonifer'e kadar uzanan birkaç bin metre kalınlığındaki bir çökel istiften oluşmaktadır. İstanbul Paleozoik istifinin genelleştirilmiş bir stratigrafi kesiti Şekil 4.1'de verilmiştir.

Paleozoik istifinin görünen tabanında çoğun morumsu-pembe renkli kırıntılı bir istif bulunur [4] (Şekil 4.1). Kurtköy formasyonu adı ile bilinen bu kırıntılı istif baslıca konglomera, arkoz, feldspatik litarenit, çamurtaşı ve subarkozdan oluşmaktadır. Tabanı gözlenemeyen birimin kalınlığı 1000m.'den fazladır. Ordovisiyen yaşlı olan birim alüvyon yelpazesi ve örgülü akarsu ortamı ürünüdür [5]. Kurtköy formasyonu üste doğru beyazımsı ve pembemsi, şeyl arakatkılı kuvarsarenitlerle temsil edilen Aydos formasyonuna geçer. 150-300 m arasında kalınlığa sahip olan Aydos formasyonu gel git akıntılarının egemen olduğu plaj ve çok sığ sahil ortamında oluşmuştur. Aydos formasyonu üste doğru çoğunlukla şeyl, silttaşı ve vaketaşları ile temsil edilen Gözdağ formasyonuna geçer. Bu formasyonun üst kesimlerinde bazı bol fosilli kireçtaşı bant ve mercekleri de bulunur. Birim Yalçınlar (1956), Arıç-Sayar (1962 ve 1979), Haas (1968) ve Önalan (1982)'a göre Landoveriyen yaşındadır [6]. 250 m kadar kalın olan Gözdağ formasyonu lagüner bir ortam ürünüdür [5].

İstanbul Paleozoyik istifinin daha üstünde beyaz renkli, çapraz tabakalı subarkozlardan oluşan Aydınlı formasyonu vardır. İçerisinde bazen 2 m. kalınlığında çakıllı seviyeler de içeren birim çok değişik kalınlıkta tabakalanma gösterir. Eski bir kum barı niteliğindeki birim fosil bulgularına göre Aydınlı formasyonunun yaşı Üst Landoveriyen'dir [6].

Bu kırıntılı birimlerden sonra istifte kalın bir karbonat dizisi yer alır. Bu karbonat dizisi, Gözdağ ve Aydınlı formasyonlarıyla geçişli gri, mavimsi gri, bazen pembemsi renkli, bol fosilli, kuvars kumlu, killi, bazen da yumrulu-bantlı bir kireçtaşı ile temsil edilir. Venlokiyen-Ludloviyen yaşlı birim, resif çekirdeği ve resif önü ortamlarını temsil etmekte olup kalınlığı 400 m dolayındadır. Dolayoba formasyonu olarak adlandırılmış olan bu birimin üzerinde ise önce ince tabakalı, laminalı bir kireçtaşı ve daha sonra koyu mavi, koyu gri renkli, yer yer çok ince şeyl seviyeli kireçtaşları ve nihayet yumrulu kireçtaşları bulunur. Alt Devoniyen yasli bu üst karbonat kesimin alt düzeyleri sığ self, üst düzeyleri ise bu şelfin dalga tabanı altı ortamlarında çökelmişlerdir [6].



Şekil 4.1: İstanbul ve dolayının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti

Yumrulu kireçtaşlarının üzerine önce karbonatlı bir kumtaşı-şeyl ardalanması, sonra kireçtaşı bantlı şeyl ve son olarak da bir kireçtaşı istifi gelir. Orta Devoniyen yaslı bu kesim başlıca açık self-derin deniz ortamını temsil etmektedir [5]. Üst Devoniyen'de mavimsi renkli, ince yumrulu ve bazen de budinajlı, ince katmanlı kireçtaşları gelişmiştir (Tuzla formasyonu). Bu kireçtaşları ara seviyeler halinde laminalı şeyller içerirler. İçerisinde yer yer çört yumruları da görülen birim giderek çört, radyolaryalı çört ve silisli şeyl ardalanmasına geçer. Bu kesimler istifin Karbonifer'e geçiş düzeylerini

oluşturmaktadır. Açık bir self ortamının derin kısımları ve bu şelfin olasılıkla güneyindeki bir havzaya bakan yamaçlarında oluşan birim üste doğru dereceli olarak Karbonifer istifine geçer [6].

Karbonifer mostraları İstanbul'un daha çok Trakya yakasında, daha az olarak da Anadolu yakasında Üsküdar, Anadolu Kavağı ve Gebze civarında görülür. Karbonifer istifinin alt kesimleri başlıca gri-siyah renkli, ince laminalı ve fosfat nodüllü radyolarit ve radyolaryalı çörtlerden oluşur. Bunlar arasında yer yer sarımsı gri renkli silisli şeyl düzeyleri yeralır. Karbonifer istifinin tabanının görüldüğü Baltalımanı Büyükçayır deresi ve Acıbadem'de birim yumrulu kireçtaşlarının üzerinde dereceli geçişlidir. Yumrulu kireçtaşından radyolaritlere geçişte kireçtaşı içinde önce killi, silisli bant ve bazı çört nodülleri görülür. Giderek erimiş kalker nodülü boşlukları içeren silisli şist tabakaları artar ve nihayet radyolaritlere geçilir [6].

Radyolaritler çoğun gri-siyah renkli, ince katmanlı, laminalıdır. Kalınlığı 50 m'den daha az olan bu birim literatürde Baltalimanı formasyonu olarak bilinir. Vizeen yasli birim derin bir denizde karbonat kompensasyon derinliği altında bir çökelmeyi işaret etmektedir [6].

Derin denizel radyolarit - radyolaryalı çört istifi üste doğru giderek başlıca kırıntılı kayalardan oluşan kalın bir istife geçer. Trakya formasyonu olarak bilinen bu kesimin alt düzeyleri killi şeyl ve az oranda da kumtaşından oluşur. Heybeliada ve Kartal dolaylarında bu düzeylerde yer yer kireçtaşı bant ve merceklerine de rastlanır. Birimde egemen litoloji orta-kalın katmanlı kumtaşı ve şeyl ardalanmasıdır. Ancak bazı alanlarda kumtaşları ve diğer bazı kesimlerde ise şeylin egemen olduğu görülür [6].

Trakya formasyonunun üst kesimlerine doğru kırıntılılar içerisinde kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı arakatkıları görülmeye baslar. Bunun yanı sıra istif içinde yer yer görülen kaba kırıntılı kesimler de alttan üste doğru kalınlık ve miktar olarak artarlar. Bunlar kumtaşı ve şeyller içinde yanal devamı pek fazla olmayan mercekler seklindedir [6].

İstifin daha üstüne doğru içerisinde bitki kırıntıları bulunan konglomera arakatkıları da görülür. İstifin en üst düzeylerinde ise kalınlığı yer yer 100 m.yi aşan kireçtaşları yer alır. Cebeciköy kireçtaşı olarak bilinen bu karbonatlar intrasparudit ve biyosparudit nitelikli olup bazı kesimlerde killi ve dolomitiktir. Bu kireçtaşları Orta-Üst Vizeen yaşlıdır [6].

İstanbul Paleozoyik istifi, metamorfik bir temel üzerinde Kambriyen sonu Ordovisiyen'de akarsu çökelleri ile başlamakta, Siluriyen'de kenar deniz fasiyeslerine, Devoniyen'de ise platform karbonatlarına geçmektedir. İstanbul civarında bu transgresif

istif giderek derinleşen bir ortamda Orta ve Üst Devoniyen derin denizel çörtlü kireçtaşları ve Karbonifer türbiditik kırıntılılarının çökelmesi ile gelişimini sürdürmüş, Karbonifer başında karbonat kompensasyon derinliği altına kadar çöken bölge bunu takiben nedeni çok iyi bilinmeyen ancak önemli bir tektonik etkiye maruz kalmış ve giderek sığlaşmıştır [6].

İstanbul Paleozoyik istifi içerisine sokulmuş çeşitli plütonik kayalar vardır. Bunlardan başlıcaları Polonezköy yakınlarındaki Çavusbaşı granodiyoriti, Gebze kuzeyindeki Sancaktepe graniti ve Pendik doğusundaki Tavşantepe kuvarsdiyoritidir [6].

Paleozoyik ve daha yaşlı birimleri kesen bu magmatitlerin radyometrik yas tayinleri bunların Geç Permiyen başında sokulmuş Hersiniyen plütonları olduğunu göstermektedir [6].

4.1.2 Mesozoyik

İstanbul ve dolaylarında iki farklı Mesozoyik istifi bulunur. Bunlar Triyas ve Üst Kretase yaşlı kayalardır (Şekil 4.1). Triyas genellikle Kocaeli yarımadasında Gebze ve Hereke dolayları ile İstanbul boğazının kuzeybatı kesimlerinde yüzeylenir. Üst Kretase yaşlı kayalar ise boğazın kuzey kesimlerinde ve Kocaeli yarımadasının bazı kesimlerinde yaygındır[6].

Gebze ve daha doğusunda izlenen Triyas yaşlı kayalar İstanbul Paleozoyik istifini açısal uyumsuzlukla örter. Kocaeli Triyas istifi yer yer 1000 metre kalınlığa kadar ulasan ve yer yer lav mercekleri içeren karasal-kırıntılılar (Ballıkaya formasyonu, Baykal, 1943) ile başlayıp üste doğru karbonat çimentolu lagüner ya da çok sığ denizel kumtaşı, kireçtaşı ve dolomitlere geçer. Üst Skitiyen yaşlı bu kırıntılı ve karbonat ardalanmasının üstünde Üst Skitiyen-Alt Aniziyen yaşlı dolomitler ve ince marn arakatkılı yumrulu kireçtaşları vardır. 350-600 m. arasında kalınlığı olan bu birimin de üstünde yer alan 35 m. kadar kalın ammonitli kırmızı kireçtaşları ammonitlerden edinilen yaş bulgularına göre Karniyen yasındadır. Ammonitli kırmızı kireçtaşları üzerinde 10- 140 m. kalınlığında Halobiali, gri-yeşil şeyller vardır. Mikritik kireçtaşı ve kalkarenit arakatkıları da içeren bu şeyller üste doğru sarı renkli, yaklaşık 90 m. kalınlığında ve bitki kalıntıları içeren bir kumtaşına geçer [6].

İstanbul ve dolaylarındaki Paleozoyik ve Triyas yaslı kayaları uyumsuzlukla örten iki farklı tür Üst Kretase istifi vardır. Bunlardan ilki, boğazın kuzey-kuzeybatı kesimlerinde mostra verir ve genel olarak volkanik arakatkılı denizel bir istif niteliğindedir. Yaygın mostraları Karadeniz kıyısında Kilyos ve Şile-Ağva dolaylarında yer alan birim, tabanda

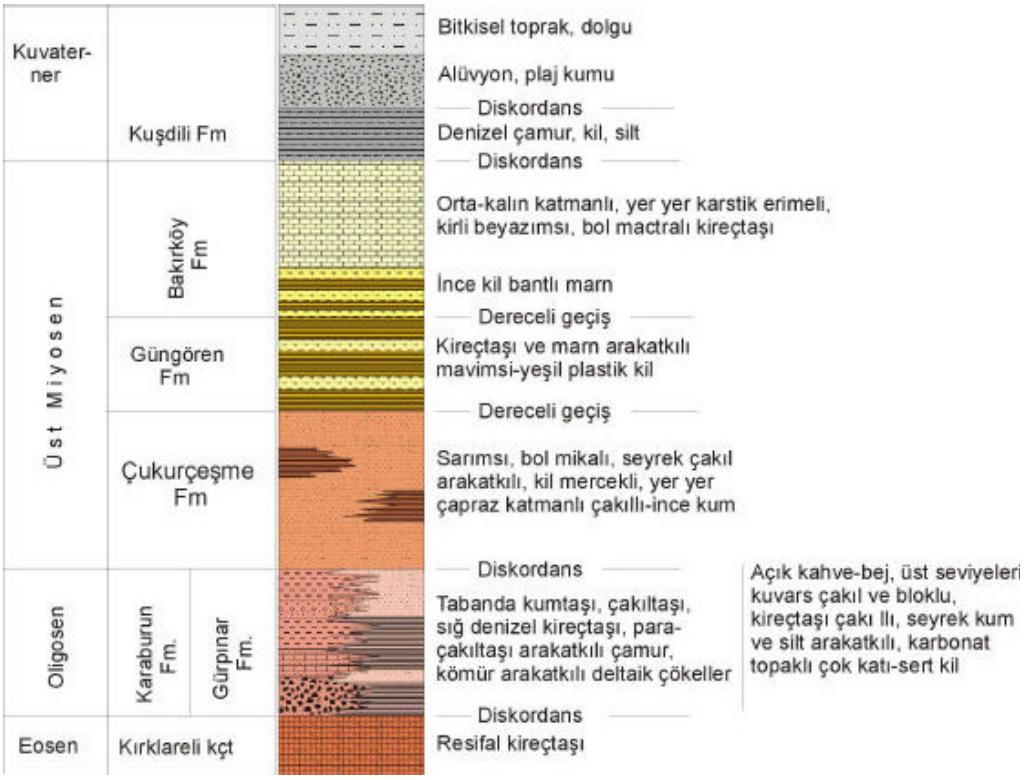
çakıltaşı-kumtaşı ile başlayarak silttaşı, marn, kiltaşı ve kireçtaşlarına geçmekte ve andezit, dasit, riyolitik lav ve bunların piroklastik eşdeğerleriyle ardalanmaktadır. İstanbul boğazının kuzey kesimlerinde, Mahmutşevketpaşa-Riva ve Sarıyer dolaylarında Paleozoyik istif Üst Kretase yaşlı kayaların üzerine itilmiştir. İstanbul Paleozoyik istifi içerisine sık sık sokulmuş olan andezitik daykların da bu volkanitlerle ilişkili olduğu tahmin edilmektedir. Bu daykların önemli bir kısmı Paleozoyik istif içerisindeki süreksizlik düzlemlerini izlemektedir [6].

Kocaeli yarımadası Üst Kretase istifi Triyas yaşlı kayalar üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Birim tabanda Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı kalın bir çakıltaşı ve bunlarla yanal geçişli resifal kireçtaşlarıyla baslar ve tedricen marn-şeyl arakatkılı resifal kireçtaşlarına ve nihayet ince katmanlı, beyazımsı-gri mikritik kireçtaşı, marnkiltaşı ardalanmasına geçer. Bol fosilli olan birim altta sığ ancak üste doğru derinleşen bir ortamda çökelmiştir [6].

4.1.3 Senozoyik

İstanbul ve çevresindeki Senozoyik kayaları, altta yer alan Üst Kretase ve daha yaşlı birimleri diskordan olarak örter. Senozoyik üstten alta doğru başlıca su litostratigrafi birimlerinden oluşur [6] (Şekil 4.2; Şekil 4.3).

- Belgrad formasyonu
- Bakırköy formasyonu
- Güngören formasyonu
- Çukurçeşme formasyonu
- Gürpınar formasyonu
- Karaburun formasyonu
- Kırklareli kireçtaşı
- İslambeyli formasyonu



Şekil 4.2: İstanbul ve dolayının genelleştirilmiş Senozoyik-Kuvaterner stratigrafi kesiti

4.1.3.1 İslambeyli Formasyonu

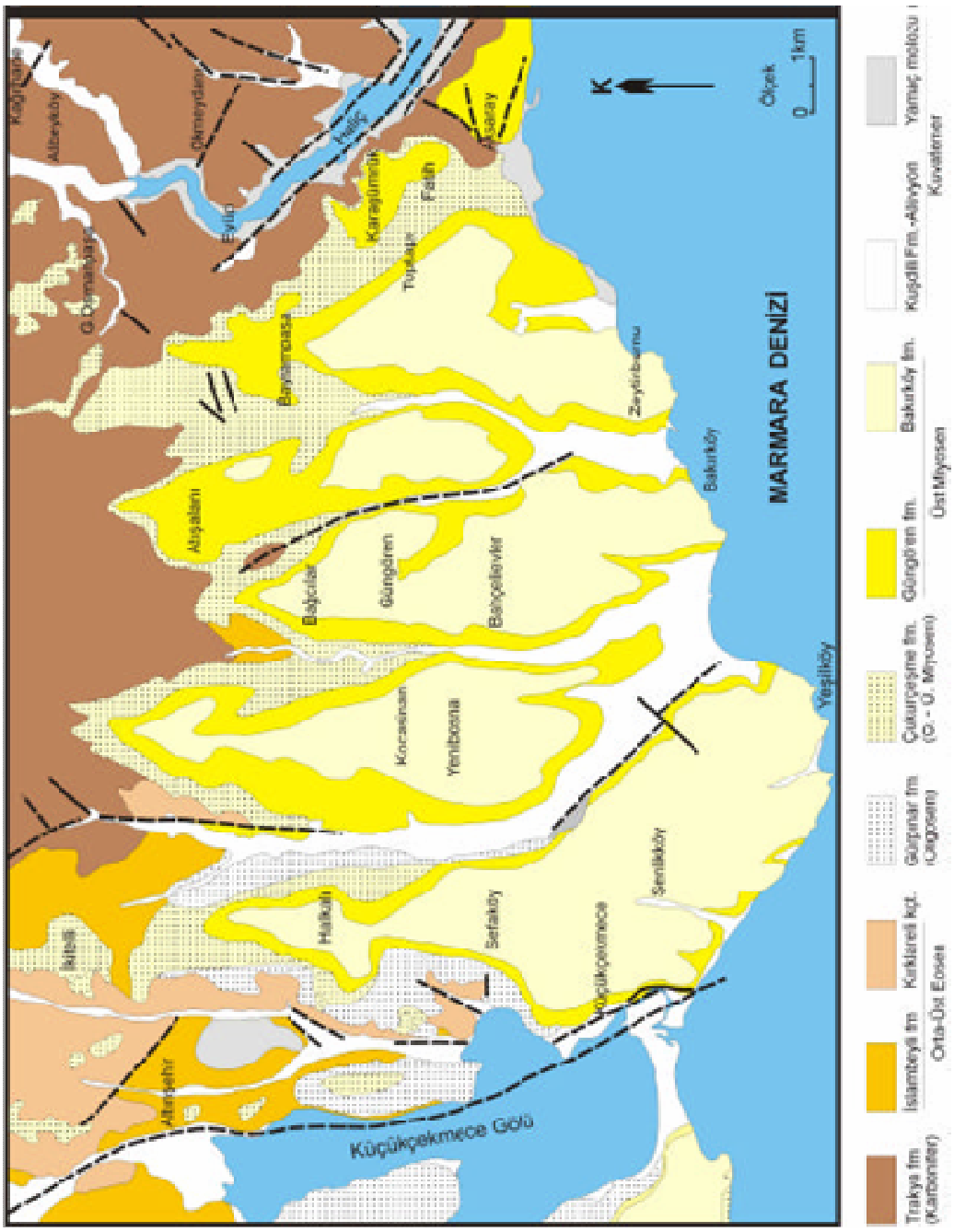
İslambeyli formasyonu ve Kırklareli kireçtaşı Orta-Üst Eosen (Alt Oligosen) yaşlı olup birbirleriyle geçişli çökel birimlerdir. İslambeyli formasyonu resif arkası, lagün ortamında oluşmuş kireçtaşı, marn ve silttaşı gibi kırıntılı çökel kayalarından oluşur [6].

4.1.3.2 Kırklareli Kireçtaşı

Soğucak kireçtaşı adı ile de bilinen Kırklareli formasyonu ise açık gri-bej renkli, killi kumlu, bol mercan ve alg fosilli, farklı dokularda, sert, genellikle masif bazen kalın katmanlı, resif ve resif önü ortamında oluşmuş karbonat egemen bir birimdir [6].

4.1.3.3 Karaburun Formasyonu

Karaburun formasyonu, İstanbul'un kuzeybatısında tabanda plaj çökelleri ile başlayan, giderek delta çökellerine geçen bir istiftir. Birim altta çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı gibi kırıntılı kayaları kapsar. Üst kesimlerinde ise koyu gri kiltaşı, çamurtaşı, olistostromal çakıltaşı arakatkıları ve marnlardan oluşur. İstifin üst kesimlerini oluşturan kiltaşı-çamurtaşları kömürleşmiş bitki kalıntıları ve ince kömür bantları içerir. Karaburun formasyonunun yaşı Oligosen'dir [6].



Şekil 4.3: Haliç- Küçükçekmece Gölü arasının jeoloji haritası (Sayar, 1989'dan yararlanılarak hazırlanmıştır)

4.1.3.4 Gürpınar Formasyonu

Gürpınar formasyonu İstanbul'un Avrupa yakasında görülen diğer bir Oligosen istifidir. Birim tabanda çapraz katmanlı kumtaşı, sarımsı bej renkli kuvars, kalsedon ve opal çakıllarından oluşan çakıltaşları ile başlayarak gri, açık yeşil renkli fosilli mikritik kireçtaşları, karbonat topaklı, çatlaklı, yer yer kayma yüzeyli, orta-kalın tabakalı, ince kum ve silt ara seviyeli, plastik- yarı plastik, aşırı konsolide çok kati- sert kiltaşları ve yer yer tüfit ardalanmasına geçer [6].

Daha üst kesimlerde kahve -pas rengi kiltaşları, çakıltaşı, kumtaşı ve çakıllı-bloklu kiltaşları ile devam edip, yeşil, gri-boz renkli çamurtaşları ile son bulur. İstif karasal ve gölsel (acısu) ortamda depolanmıştır, 200 m'den kalındır. Gürpınar formasyonu Karaburun formasyonunun güneydeki karasal eşdeğeri olarak kabul edilmektedir [6].

4.1.3.5 Çukurçeşme Formasyonu

Çukurçeşme formasyonu sarımsı kahve ve pas renkli gevsek kil çimentolu veya çimentosuz kil, silt ve çakıl arakatkılı, tutturulmamış ya da kötü tutturulmuş, yer yer omurgalı kemik ve diş kalıntıları içeren bol mikalı kum ve kumtaşlarından oluşur. İstifin alt kesimlerinde çakıllı, üst kesimlerinde de silt ve killi kum/kumtaşları egemendir. Bazı seviyelerinde ince seviyeler halinde unio ve mactra fosilleri içeren marn ve killerle ince kömür arakatkıları da kapsar. Formasyon içerisinde kumlarla diğer tutturulmamış çökeller arasında yanal ve düşey geçislere sıkça rastlanır. Kalınlığı 20 m. civarındadır. Çukurçeşme formasyonu Gürpınar formasyonunu uyumsuz olarak örter ve Üst Miyosen (Panoniyen) yaşlıdır. Birim tabanda örgülü akarsu ortamında depolanmıştır. Unio ve Mactra kapsayan düzeyleri acısu ortamını yansıtır [6].

4.1.3.6 Güngören Formasyonu

Güngören formasyonu Çukurçeşme formasyonunun üzerinde tedrici geçişle yer almaktadır. Formasyon gri-yeşilimsi gri renkli ve paralel laminalı killerle başlar. Göl fasiyesinde gelişmiş olan formasyon içinde yer yer çok iyi boylanmış gri renkli ince kum mercekleri ile yeşil renkli marn ve kireçtaşı ara tabakalı killer bulunur. Formasyonun Bakırköy formasyonu ile sınırında 10–15 m'lik bir geçiş zonu izlenir. Bu zonun alt kesiminde istif içinde önce lamina düzeyinde ve seyrek, sonra da giderek sayı ve kalınlıkta kireçtaşı aratabakaları ortaya çıkar ve böylece tedricen üstteki Bakırköy formasyonuna geçilir. Birim yaklaşık 120 m. kalınlığındadır [6].

Genel olarak merceksi bir geometriye sahip olan birim memeli, bivalv ve balık fosilleri kapsar. Bu fosillere göre Orta–Üst Miyosen (Sarmasiyen–Panoniyen) olarak yaşlandırılmıştır. Güngören formasyonu Güngören çevresinde Çukurçeşme formasyonu üzerinde tedrici geçişle yer almaktadır [6].

4.1.3.7 Bakırköy Formasyonu

Bakırköy formasyonu, egemen olarak kil ve marn arakatkılı bir kireçtaşından oluşur. Kireçtaşları beyaz ve sarımsı renkli, bolca mactra fosilli, gözenekli, kof, yer yer tebeşirimsidir. İstifin tabanında yer alan kalın katmanlı ve bol fosilli kesimler ince katmanlı olanlara göre daha sert ve sıkıdır. Yer yer mikritik özellikte olabilen bu seviyelerde karstik erimeler gözlenir. Üst kesimlerdeki daha ince katmanlı kesimler plaketli özelliktedir. Formasyon alttaki Güngören formasyonu ile geçişli olup Sarmasiyen yaşlıdır. Formasyonun kalınlığı 20 m. civarındadır. Kireçtaşlarının içerdiği fosillere göre acı su ortamında gelişmiş olduğu ortaya konmuştur. Ancak, melanopsis ve unio gibi fosilleri de kapsaması, çökelim evrimi içinde zaman zaman tatlısu ortamının varlığına da işaret etmektedir. Bakırköy formasyonu Üst Miyosen (Panoniyen-Ponsiyen) yaşlıdır [6].

4.1.3.8 Belgrad Formasyonu

Belgrad formasyonu Avrupa yakasının kuzey kesimlerinde ve Asya yakasının tümünde mosra veren karasal kırıntılılardan oluşmaktadır. Birim tutturulmamış ya da zayıf tutturulmuş çakıltaşı, kum ve silt ile killerden oluşmaktadır. İçerisinde linyit oluşumları da bulunan bu birimin Piyosen yaşlı olduğu tahmin edilmektedir [6].

4.1.4 Kuvaterner

İstanbul çevresinde Kuvaterner yaşlı denizel bir çökel istif olan Kuşdili formasyonu ile üzerinde yer alan alüvyonlardan oluşmaktadır. Tüm bunlar üzerinde ise tarihi bir şehir olan İstanbul'da yoğun yerleşim ve yasam işlevlerinin sonucu olan olgular yer almaktadır [6].

4.1.4.1 Kuşdili formasyonu

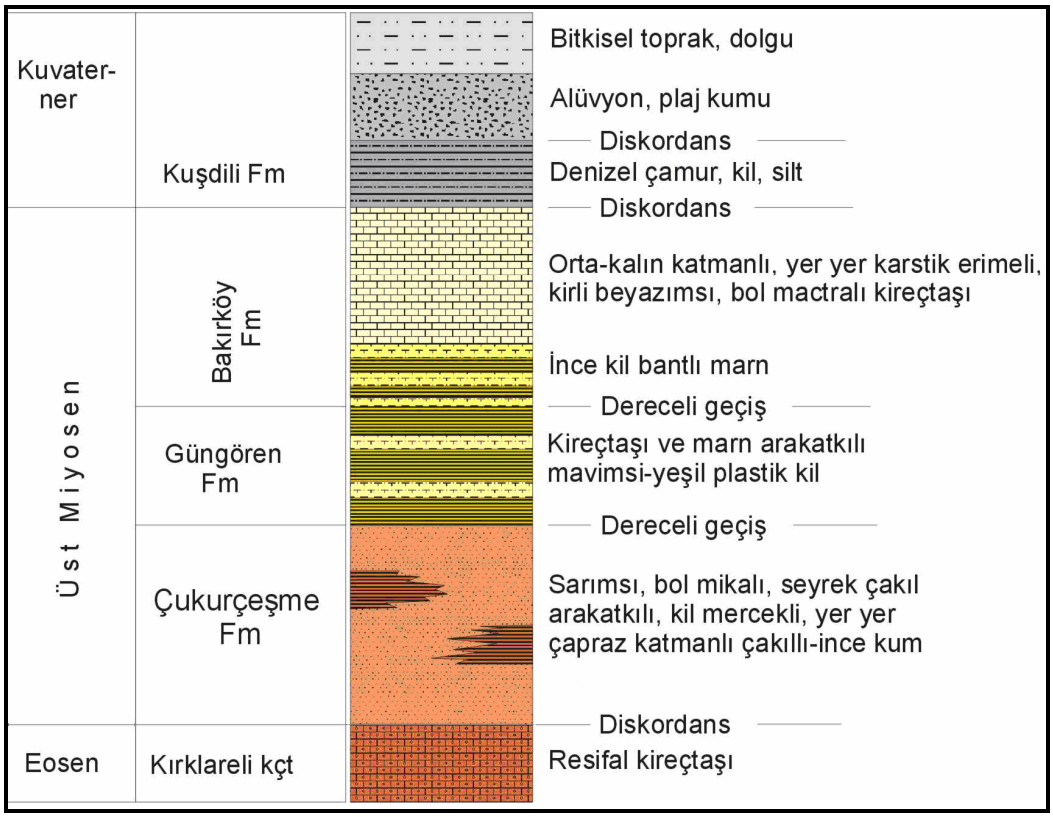
Kuşdili formasyonu Asya yakasında Kadıköy Kuşdili çayırında, Avrupa yakasında ise Ataköy Ayamama deresi içerisinde sondajlarda kesilmiştir. Üzeri genellikle alüvyon ve güncel dolgularla örtülüdür. Çakıl ve kum mercekleri içeren gri-siyah renkli kil ve çamurlardan oluşan bu birim lagün-bataklık ve kısıtlı olarak sığ denizel bir ortamda gelişmiştir [6].

4.2 Çalışma Alanının Jeolojisi

İnceleme alanı, Zeytinburnu – Bakırköy ilçelerini içine alan, doğuda İstanbul surları, batıda ise Çırpıcı Çayırı/Hipodrom'u kapsayıp Ataköy 1. Kısım' a kadar olan yaklaşık 15 km^2'lik bir araziyi kapsamaktadır. İnceleme alanı içindeki litostratigrafik birimler şu şekilde sıralanabilir (Şekil 4.4; Şekil 4.5):

- Kuşdili formasyonu
- Bakırköy formasyonu
- Güngören formasyonu
- Çukurçeşme formasyonu
- Kırklareli kireçtaşı

İnceleme alanına ait kesitler Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilmiştir [9].



Şekil 4.4: İnceleme alanının Senozoik-Kuvaterner stratigrafik kesiti

4.2.1 Kırklareli Kireçtaşı

4.2.1.1 Tanım

Soğucak formasyonu olarak da bilinen Kırklareli Kireçtaşı, beyaz, krem renkli olup, sıkı tutturulmuş oldukça sert ve dayanımlı, genellikle orta ve kalın katmanlı masif görünüşlü, yeniden kristallenmiş bol fosilli kireçtaşıdır [7].

4.2.1.2 Yayılım ve Tipik Yerleri

K.Çekmece ilçesi Şamlar köyü kuzeyi, Şamlar ile Kayabaşı köyleri çevresinde geniş yayılım gösterir. Altınşehir Sazlıdere yamaçlarında tipik yüzlekleri yer alır [7].

4.2.1.3 Litolojik Özellikleri

Kırklareli Kireçtaşı, kendi içinde üç farklı fasiyes özelliği gösterir. Bu fasiyesler; 1- Resif arkası (biyomikrit), 2- Resif, 3- Resif önü (kırıntılı kireçtaşı) dür.

Birbiriyle yanal ve düşey geçişli olan bu fasiyeslerden resif arkası fasiyesi, kalınlıkları alt kesimde 0.3 – 0.6 m üst kesimde ise 1–1.5 m kalınlığında biyomikritlerle kalınlığı 1–5 cm arasında değişen, karbonatça zengin çamurtaşı ara tabakalarından meydana gelir. Tabakaların orta ve alt yüzeyleri çamurtaşlarıyla dereceli geçişlidir. İçlerinde bol miktarda Nummulites sp, tek mercan ve mollusk fosilleri mevcuttur. Ayrıca istifin üst kesimlerinde yoğun biyotürbülasyon mevcuttur. Biyolitit ya da resif fasiyesi yaygın olarak Küçükçekmece gölü kuzeyinde ve kuzey-güney yönünde uzanır. Ayrıca gerek resif arkası ve gerekse resif önü fasiyesleri içinde küçük kamalar halinde izlenir. Genelde krem-bej–beyaz renkli, sert, tabakalanmasız ve yaygın karsitik kireçtaşı özelliğindedir. Bu tür kayaçların içinde bol miktarda mercan, alg kolonileri bulunmaktadır. Aradaki bentik foraminifer, mollusk kavkısı, ekinid diken ve plak parçaları içeren mikritle doldurulmuştur [7].

Resif önü fasiyes kırıntılı kireçtaşlarından yapılmış olup resif molozunun havza içine doğru depolanmasıyla gelişmiştir. Bu fasiyes alt kesimde sarımsı, bej renkli yanal olarak merceksel ve çok kalın tabakalı kırıntılı kireçtaşlarından yapılmıştır. Tabaka alt yüzeyleri genellikle aşınmalı ve kanallıdır. Tabakalar içinde normal derecelenme yaygın sedimenter yapı olmasına karşın tabaka üst kesimlerinde ince bir zon halinde paralel laminasyon izlenir. Fasiyesin alt kesimlerinde çökelme üniteleri tabakalar çok kalın olmalarına karşın üste doğru incelirler. Tane boyları küçülür. Resif

fasiyesinden taşınmış parçalardan yapılmıştır. Ayrıca İçlerinde iri Nummulites parçaları da bulunur. Bu fasiyes yanal geçişli olan Ceylan formasyonuna doğru kırıntılı kireçtaşı tabaka kalınlıkları azalır. Fasiyeste ince-orta tabakalı kireçtaşı–sarımsı yeşilimsi kahverenkli karbonatça zengin çamur ardışımı haline dönüşür. Fasiyes içerisinde yerel olarak genişlikleri 10–200 m kalınlıkları ise 1–5 m arasında değişen moloz akım çökelleri ile dolu derin kanal dolguları mevcuttur [7].

4.2.1.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık

Kuzeyde Trakya formasyonu üzerine açısal uyumsuzlukla gelir. Ceylan formasyonuna yanal geçişlidir. Kırıntılı kireçtaşının ve resif fasiyesinin sahada gözlenebilen kalınlığı 80 m. dir. Trakya formasyonu üzerinde Kırklareli kireçtaşının kalınlığı 62 m.dir [7].

4.2.1.5 Fosil Kapsamı ve Yaş

Birim içerisinde aşağıdaki fosiller bulunur.

Nummulites cf. Millecaput, Actinocyelina radians, A.cf. praeradians Discocyeline

Asterigerina sp. Kırklareli Kireçtaşının yaşı Orta-Üst Eosen'dir [7].

4.2.1.6 Ortam

Soğucak kireçtaşı sığ ve dalgalı denizel bir ortamda, sıcak iklimde oluşmuş bir biyostermdir [7].

4.2.1.7 Deneştirme

Bu formasyonu Druit (1961), Pınarhisar formasyonu; Kemper (1961) Kırklareli Kireçtaşı; Keskin (1966) Kırklareli formasyonu; Oktay-Eren (1990) Soğucak formasyonu; MTA (2000) İhsaniye Formasyonu adı altında çalışmışlardır [7].

4.2.2 Çukurçeşme Formasyonu

4.2.2.1 Tanım

Gri, grimsi beyaz, kirli beyaz, omurgalı fosilli kum ve çakıllardan oluşur. Kum içinde yeşil, kahverengi renkli kili mercek seviyeleriyle marn seviyeleri olağandır [7].

4.2.2.2 Yayılım ve Tipik Yerleri

Çukurçeşme formasyonu, Edirnekapı civarındaki mezarlıklar, Paşaçeşme, Çukurçeşme, Küçükköy, Atışalanı, Sağmalcılar, Güngören'in kuzeyindeki Üçüzlü çeşme, Bağcılar batısı, Değirmentepe'nin kuzeyi, Mahmutbey civarları, Küçükçekmece, Halkalı'nın doğu ve batı tarafları ile Halkalı-İkitelli arasındaki sırtlarda, Ambarlı, Esenyurt, Firüzköy yamaçlarında; Yakuplar-Kavaklı-Gürpınar-Kıraç-Çakmaklı köylerinin bulunduğu yamaçlarda, Hoşdere ile çakmaklı kuzeyindeki sırtlarda yüzeylenir [5].

Ayrıca Kemerburgaz-Kilyos arasında da yaygın yüzlekleri bulunur. En yaygın ve sürekli izlendiği alan ise Silivri kuzeyinde Çerkezköy- Danamandra-İhsaniye-Fener-Sinekli- Yolçatı köyleri çevresidir [7].

4.2.2.3 Litolojik Özellikleri

Birim blok, çakıl ve kumdan oluşur. Bu litolojiler birbiriyle aşınmalı yüzeylerle ilişkili mercekler şeklinde ve büyük ölçekli düzlemsel ya da tekne tipi çapraz tabakalıdır. Bazı merceklerin en üst kesimlerinde ince kil tabakaları bulunmaktadır. Karasal örgülü akarsu ortamında çökelmiş, bu kesimde maksimum tane boyu 35 cm'yi bulan çakıltaşları yer alır. Bu örgülü akarsu fasiyesinin kalınlığı ortalama 35–40 m. civarındadır. Fakat yersel olarak büyük faklılıklar gözlenir [7].

Bu fasiyesin üstünde devresel gelişmiş bir diğer akarsu fasiyesi daha mevcuttur. Devreler menderesli akarsularda izlendiği gibi alt yüzleri aşınmalı ve kanallı yaygın olarak büyük ölçekli düzlemsel çapraz tabakalı kum matriksli çakıl ve bloklarla başlar. Çapraz tabakalanmanın yukarı doğru ölçeği küçülür. Litolojide çakıllı kum halini alır. En üst kesimde mikro çapraz laminalı ince kumlar izlenir. Tane boyunun giderek incelmesi ile kızılımsı kahverenkli çamurlara geçilir. Bu şekilde birçok devre birbiri üzerinde görülür. Formasyonun en üst kesiminde mikro çapraz ve paralel laminalı silt ve killer egemendir. Kumlar genellikle mercekseldir. Daha yukarı doğru killerin egemen olmasıyla Güngören formasyonuna geçilir [7].

Genelde sarı, yer yer ince taneli olup gri, beyaz, kirli beyaz renkli, alt seviyelere doğru tane irileşmesi gösteren ve çakıllı seviyelere değişen çoğunlukla kuvars, kuvarsit, jisp, grovak, kili şist ayrışmış andezit çakılları ile sürüklenmiş ve kısmen cilalanmış kemik parçalı, çakıllı seviyelerde çapraz tabaklanması daha belirgin genelde çapraz tabakalı kumlardan oluşur. Çukurçeşme'de üst seviyesi 30 cm'ye

varan kuvars, grovak ve killi şist çakıllı sarı, kırmızımsı bazı yerleri morumsu renkli kumlardan oluşur. Kumlar ince kil ve marn bantlı veya mercekli olup tebeşir ve kil topaklıdır. Küçükköy de Çukurçeşme de bol omurga fosillidir [7].

Sarı, beyaz renkli, tutturulmamış veya az tutturulmuş, genelde tabakasız, yer yer çapraz tabakalı, diş ve kemikli, ince–orta taneli orta ve iyi boylanmalı kumlar, yer yer silt vekil bantlıdır. Pelcypod, gastropod, bitki fosilleriyle yer yer silisleşmiş ağaçlıdır. Bazı yerler bol mikalıdır. Sıkı ve çok sıkı zemin özelliğindedir. Büyükçekmece'den Küçükçekmece'ye doğru çapı küçülür. Çakıllı seviyeleri kırmızımsı, kahverenkli olup tane çapları 1–10 cm arasındadır. Kum içerisinde çakıl cepleri de olağandır. Az köşeli az yuvarlak olan taneler süt beyaz, kırmızı, yeşilimsi ve kahverenklidir. Çakıllar kuvars kuvarsit, opal, kalsedon, mikalı kumtaşı andezit, trakit, arkoz mikaşisttir. Birimin kalınlığı kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Birimde tane boyu da kuzeye doğru büyür [7].

4.2.2.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık

Çukurçeşme formasyonu; Gürpınar ve Soğucak formasyonları üzerine düşük açılı, Trakya Formasyonu üzerine ise açılı uyumsuzlukla gelir. Üzerine gelen Güngören formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir [7].

Kalınlığı paleotopografyaya göre değişir. Arıç (1955), en fazla kalınlığın 40–50 m.yi, bulduğunu, bazen de 2–3 m. kadar inceldiğini belirtir. Birimin kalınlığı kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Genelde ortalama kalınlık 15–20 m.'dir [7].

4.2.2.5 Fosil Kapsamı ve Yaş

Çukurçeşme formasyonu içinde genellikle omurgalı kemik ve dişleriyle balıklara ait omurlar az miktarda da unio iç kalıpları bulunur. Derlenen başlıca fosiller şunlardır; Gruphaea, gryphoides Schlotheim ve Ostrea sp.'ye göre Miyosen- Alt Pliyosen'e ait denizel çökeller (Kaya,1971), Ülkümen ve Dğl.(1993) de ise denizel Orta Miyosen olarak gösterilmiştir [7].

4.2.2.6 Ortamı

Çukurçeşme formasyonu göl ortamına gelen akarsu ve delta ortamı ürünlerinden oluşmuştur. Dereceli olarak göl ortamına geçmektedir [7].

4.2.2.7 Deneştirme

Sayar (1976) Çukurçeşme, bazı çalışmalarda Çukurçeşme üyesi veya Formasyonu ile İkitelli Formasyonu adı da kullanılmıştır [7].

Ayrıca; Çukurçeşme Formasyonu, Trakya havzasındaki eşdeğeri Ergene Grubunun Kurtdere formasyonu veya Çorlu formasyonunun eşdeğeridir [7].

4.2.3 Güngören Formasyonu

4.2.3.1 Tanım

Genellikle yeşil-mavi renkli üst seviyelerinde kirli beyaz renkli maktralı kireçtaşı ara seviyeli, kum cepli kil ve marnlardan oluşur [7].

4.2.3.2 Yayılımı ve Tipik Yerleri

Güngören Formasyonu, Yedikule Kazlıçeşme Osmaniye, Rami, Atışalanı-Esenler arası ve Güngören doğusunda görülür (Arıç, 1955). Ayrıca Şirinevler-Yenibosna-Kocasinan-Mahmutbey sırtının doğu ve batı yamaçlarında Şenlikköy-Sefaköy-Halkalı sırtının doğu ve batı yamaçlarında yüzeyler [7].

4.2.3.3 Litolojik Özellikleri

Sarımsı esmer-yeşil renkli kil, beyaz renkli marnlar ile bunlar arasında ince düzensiz tabakalı maktralı kalker, beyaz tebeşirimsi kalker seviyelerinden oluşur. Killer içinde marnlı kalker topakları vardır. Killer içinde ayrıca bitki sap ve yaprak izleri, silt ve kum mercekleri gözlenir. Killi kireçtaşı–kil ardalanımı Bakırköy kireçtaşına geçişte çoğalır. Killer ince tabakalı olup laminalıdır. Ayrıca içlerinde kum mercekleri bulunur. Yüzeye yakın yerlerde organik madde zenginleşmesiyle kahverengiye dönüşmektedir [7].

4.2.3.4 Dokanak İlişkisi

Güngören formasyonu ayırtlandığı kesimlerde altına gelen Çukurçeşme formasyonu ve üstüne gelen Bakırköy formasyonuyla dereceli geçişlidir [7].

Güngören formasyonunun en fazla 30 m kalınlığı bulunmaktadır [7].

4.2.3.5 Fosil Kapsamı ve Yaş

Arıç (1955) çalışmasında Güngören formasyonu içinde bulduğu maktra, Helix, omurgalı diş ve omurları göre Sarmasiyen yaşını vermiştir [8].

4.2.3.6 Ortam

Güngören formasyonu, karadan kaba malzemenin kıt olarak geldiği, ince-çok ince terrijen malzemenin geldiği göl ortamında çökelmiştir [7].

4.2.3.7 Deneştirme

Bazı çalışmalarda bu formasyon, Süleymaniye formasyonu olarak adlandırılmıştır. Ayrıca Trakya'daki eşdeğeri Ergene grubunun Çelebi formasyonu olarak belirtilmiştir [7].

4.2.4 Bakırköy Formasyonu

4.2.4.1 Tanım

Beyaz, kirli beyaz renkli, katman araları yeşil renkli ince katmanlı kil ara seviyeli, alt seviyesi kil-kireçtaşı ardalı mactralı kireçtaşlarından oluşur [7].

4.2.4.2 Yayılım ve Tipik Yerleri

Bakırköy kireçtaşının Topkapı, Zeytinburnu, Merkezefendi, Esenler, Davutpaşa, Değirmentepe, Bağcılar, Güngören, Bahçelievler, Haznedar, Bakırköy, Mahmutbey, Kocasinan, Yenibosna, Halkalı, Sefaköy, Soğuksu, Kanarya, Şenlikköy ve Yeşilköy civarlarında yüzeylendiğini belirtir [8].

Ayrıca belirtilen bu alanlar dışında Bakırköy formasyonu Küçükçekmece, ile Büyükçekmece arasındaki sırtlarda; Avcılar, Firüzköy, Esenyurt, Yakuplu, Kavaklı, Gürpınar, Beylikdüzü ve Çakmaklı köylerinde geniş yayılım olarak izlenmektedir [7].

4.2.4.3 Litolojik Özellikleri

Bakırköy formasyonu, tabaka araları yeşil killi, genelde değişik kalınlıkta beyaz ve kirli beyaz renkli mactralı kireçtaşlarından oluşur. İnce tabakalı mactralı kalkerler arasında Melanopsisli ve Helix'li kalker seviyeleri görülür. Bakırköy formasyonu İstanbul'un tarihsel gelişim çağlarından beri taş gereksinimini karşılamıştır [7].

Formasyon tabanda kil ve seyrek kirli beyaz killi kireçtaşı ardılanımı ile başlayan tatlı su fasiyesli; düzensiz tabakalanmalı, beyaz mikritik bir kireçtaşıdır. Aralarda yer yer yeşil ve mavi renkli killi ve marnlı düzeyler bulunur. Kireçtaşı yer yer oolitik ve teberişimsidir. İnceden kalına doğru değişen tabakalı boşluklu ve bol kırıklıdır. Bol bol fosil iç kalıplıdır [7].

4.2.4.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık

Bakırköy formasyonunun alt dokanağı, ayırtlandığı kesimlerde Güngören formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir [7].

Genelde 25–30 m kalınlık gösteren Bakırköy formasyonun kuzeye doğru kalınlığı azalır. Bu kalınlık 10–15 m ye kadar düşer [7].

4.2.4.5 Fosil Kapsamı ve Yaş

Bakırköy formasyonu, Arıç (1955) bulduğu fosillere göre Sarmasiyen (Üst Miyosen) yaşını vermiştir. Çok bol miktarda mactra, daha az olmakla birlikte Melanopsis, Helix, Unio, Theodoxus fosilleri yer alır [8].

4.2.4.6 Ortamı

Tatlı su göl ortamında çökelmiştir [7].

4.2.4.7 Deneştirme

Bakırköy formasyonu'na Arıç (1955) Mactralı kireçtaşları, Pamir ve Sayar (1933) Melanopsisi ve Mactralı kireçtaşı bantları, Ternek (1987) mactralı kireçtaşları, diğer çalışmalarda Bakırköy kireçtaşı adı verilmiştir [7].

4.2.5 Kuşdili Formasyonu (Kşf)

4.2.5.1 Tanım

Birimin taban kesimi çakıllı ve yanal devamlılıkları değişen kumlar ile gri siyah renkli kil ve çamurlardan oluşur [7].

4.2.5.2 Yayılım Ve Tipik Yerleri

Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri, Haliç civarı, Ayamama, Veliefendi, Aksaray vadilerinde yer alır [7].

4.2.5.3 Litolojik Özellikleri

Tabanda çakıllı seviye ile başlayan birim üste doğru yanal devamlılığı fazla olmayan kum ve siltlere geçer. Üste doğru siyah renkli bol kavkılı kil ve çamurtaşları yer alır. Bu birimler arasındaki geçişler düzensiz olup sıklıkla değişir [7].

4.2.5.4 Dokanak İlişkisi ve Kalınlık

Birim Avrupa yakasında yer alan diğer birimleri açısal uyumsuzlukla örter. Güncel alüvyon ve dolgular tarafında da örtülür [7].

Haliçte yapılan çalışmalarda alüvyon üzerinde kıyılarda en kalın olmak üzere Kuşdili formasyonunun 20, 22, 35 ve 50 m.ye kadar çıkar [7].

Sarayburnu civarında yapılan sondajlarda ise; 4–11 m arası kalınlıklarda, silt kil, kum ve çakıldan oluşan Boğaz çökelleri Haliçte 20–50 m arası kalınlıklarda kesilmiştir [7].

Küçükçekmece Yarımburgaz sazlığında yapılan sondajlarda 3 m kadar güncel alüvyon altında; üstte kahverenkli, sarımsı kumlu ve siltli killer, alta siyah –koyu gri, çakıllı ve kokulu bataklık killeri, tabanda da 5 m varan çakıl, ortada 43 m. ye varan ve kenarlara doğru incelen bir alüvyon bulunur [7].

Ayamama deresi mansap kısmında Meriç ve diğ (1991) yaptıkları çalışmada güncel alüvyon adı altında Holosen yaşlı Kuşdili formasyonunu incelemişlerdir. Bu birimin kalınığı 23.80 m (13, 20, 6.2, 1.3 m) olarak tespit edilmiştir [7].

4.2.5.5 Fosil Kapsamı ve Yaş

Birim içinde foraminifer, ostrakod, ve mollusk saptanmıştır [7].

4.2.5.6 Ortamı

Kuşdili havzaları acı su havza karakterini yansıtır. Bu havzalar zamanla dolmuş ve su üstüne çıkmışlardır. Kısmen karasal, kısmen acı su, kısmen de sığ denizel şartlarda çökelmişlerdir [7].

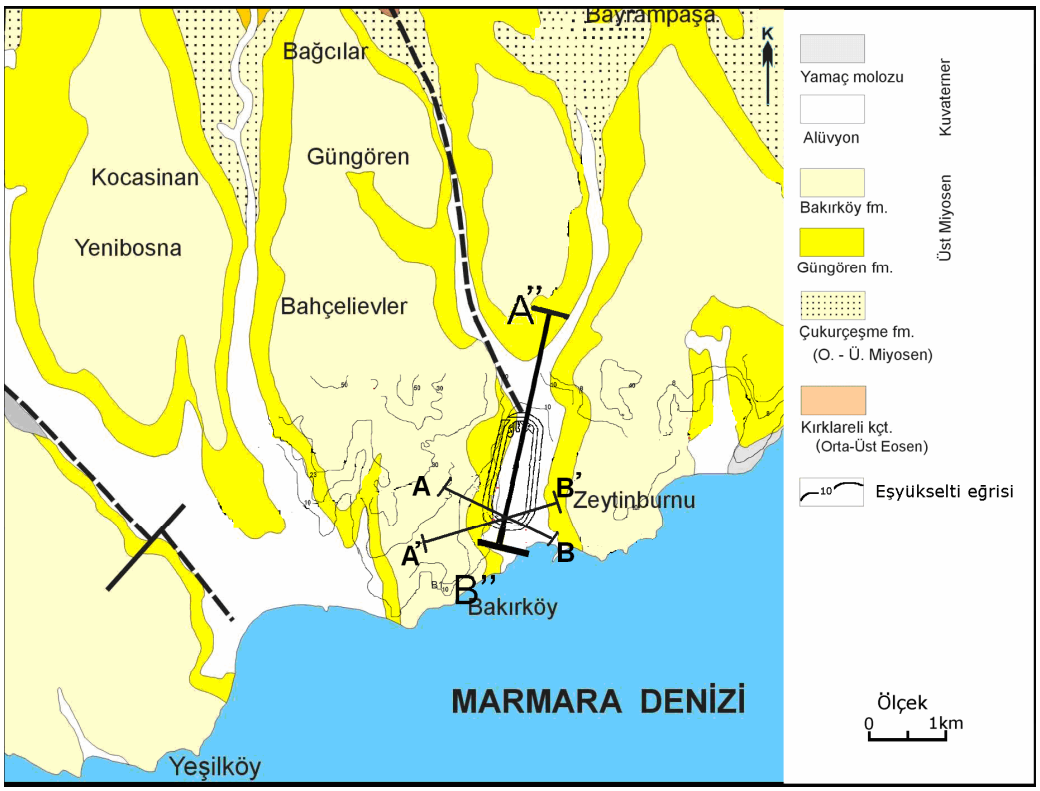
Formasyon düşük enerjili acı sulu lagün-bataklık ortamında oluşmuştur [7].

4.2.5.7 Deneştirme

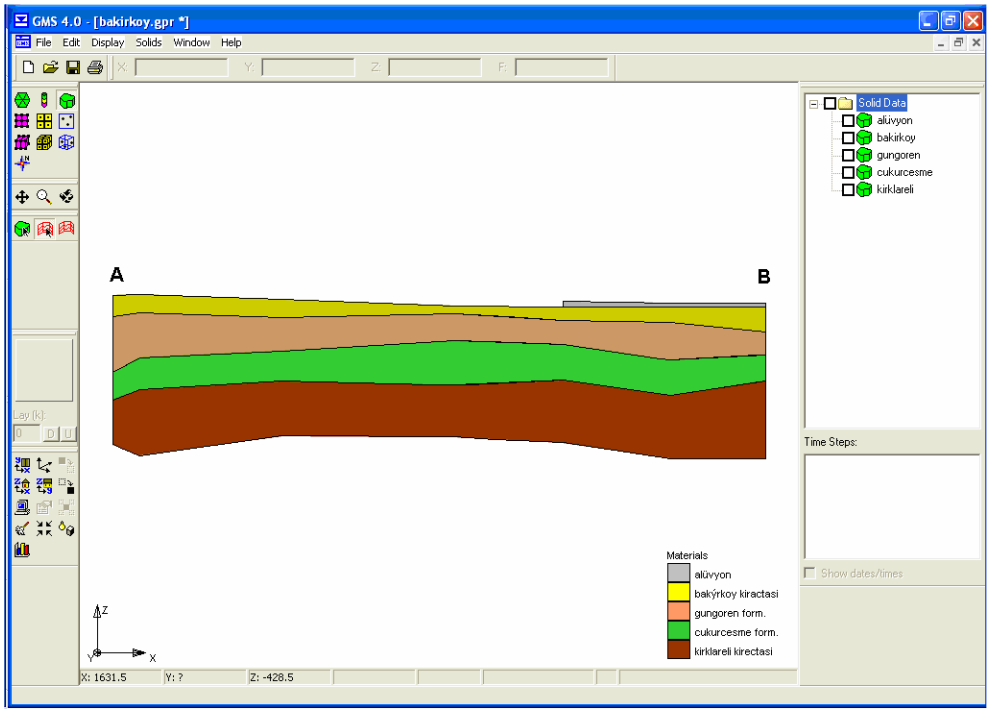
Birimi ilk defa Meriç ve Diğ.(1991) incelemişlerdir. Kadıköy-Kurbağalı dere mansabında ayrıntılı olarak Kuşdili formasyonunun çalışıp tanımlamışlardır [7].

4.2.6 Alüvyon

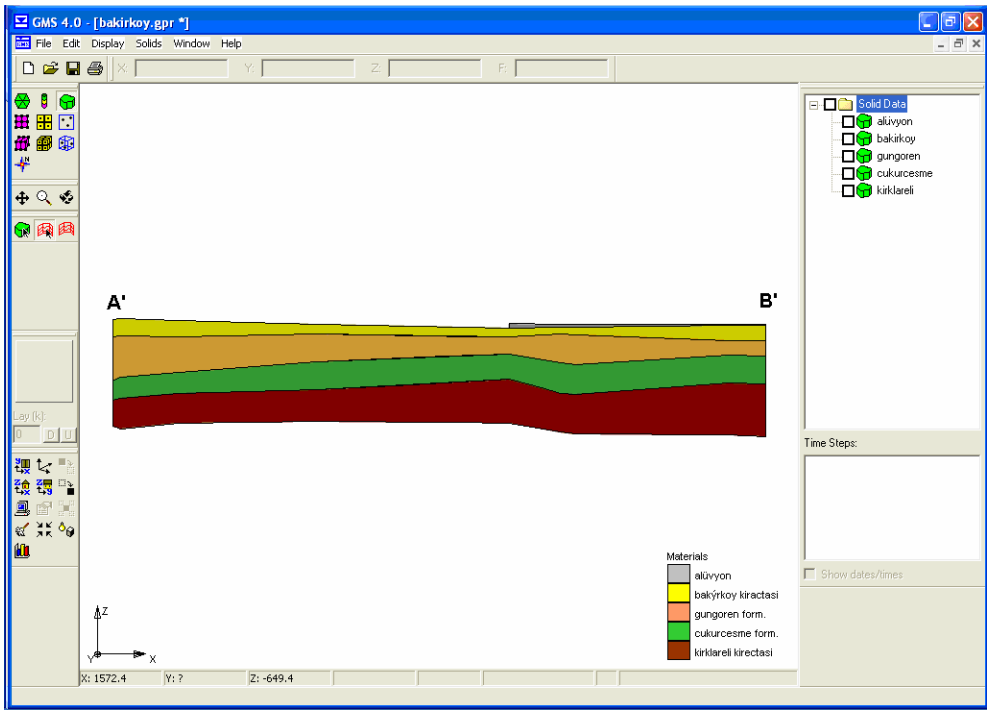
Alüvyonla, geç Kuvaterner de İstanbul yarımadasında mevcut olan çeşitli akarsu ortamlarında depolanmış, gevşek blok–çakıl-kum-kil den yapılmış çökellerdir. Genelde çapraz tabakalı ve devresel çökeller şeklinde olup kalınlıkları ve kendilerini oluşturan malzeme çevrelerine ve akarsuların fiziksel ve geometrik özelliklerine bağlıdır. Bu birim de Holosen yaşlıdır [7].



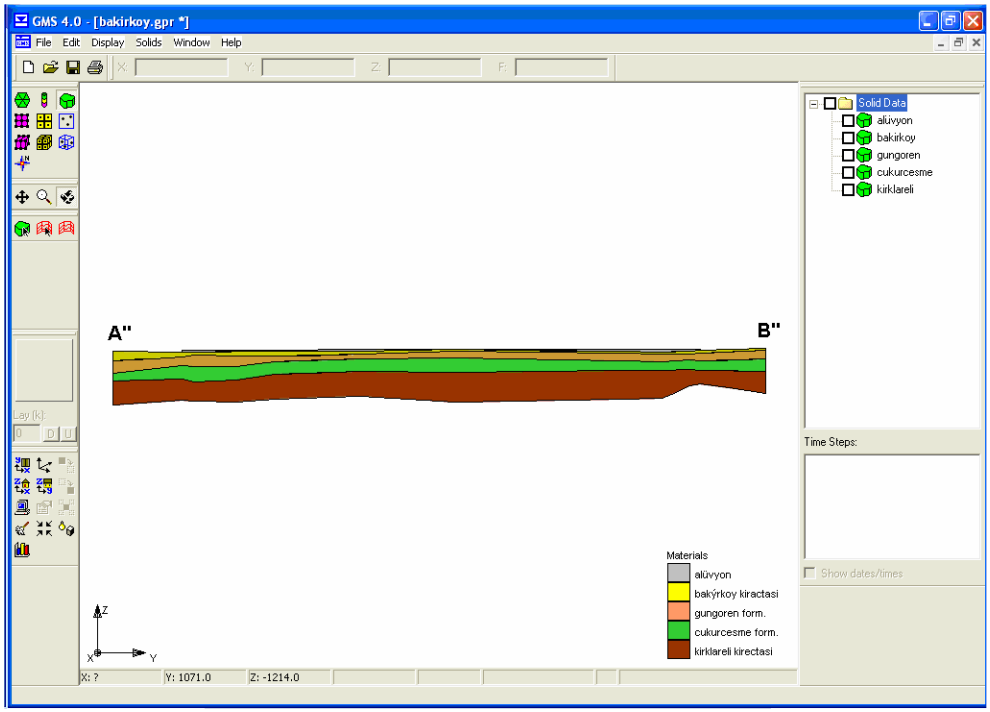
Şekil 4.5: İnceleme alanının jeoloji haritası [9]



Şekil 4.6: İnceleme alanındaki birimleri gösteren, GMS ile oluşturulmuş A-B kesiti A:KB, B: GD, yatay ve düşey ölçek: 1/12000



Şekil 4.7: İnceleme alanındaki birimleri gösteren, GMS ile oluşturulmuş A'-B' kesiti A':GB, B': KD, yatay ve düşey ölçek: 1/15000



Şekil 4.8: İnceleme alanındaki birimleri gösteren, GMS ile oluşturulmuş A"-B" kesiti A":KD, B": GB, yatay ve düşey ölçek: 1/26000

4.3 Yapısal Jeoloji ve Tektonik

İstanbul ve çevresindeki birimlerin yapısal özelliklerini detayda tanımlayan bir araştırma maalesef bulunmamaktadır. Bugüne kadarki bilgiler İstanbul ve çevresindeki kaya birimlerinin kıvrımlı ve kırıklı bir yapısı olduğunu göstermekte ise de bu deformasyonun hangi evrelerde ve ne türde geliştiği ve kayaların bilhassa depreme karşı davranışı açısından önemli olan mühendislik özelliklerini nasıl etkilediği yönünde detay araştırmalar ya yoktur ya da bunlar sadece küçük alanlara özgüdürler [6].

Eski incelemeler, İstanbul'da bilhassa Paleozoyik yaşlı birimlerin kıvrımlı ve bindirmeli bir yapısı olduğunu belgelemişlerdir. Literatürde bilinen en önemli yapısal unsurlardan biri İstanbul kuzeyinde Paleozoyik istifinin Üst Kretase volkanitleri üzerine bindirmesini sağlayan Zekeriyaköy (veya Sarıyer, Maden) bindirmesidir. Kuzey verjansli bu bindirmenin olasılıkla Eosen ve sonrası dönemde geliştiği tahmin edilmektedir [6].

İstanbul Paleozoyik istifi kendi içerisinde bindirmeli bir yapıya sahiptir. Seymen (1995) gibi bazı araştırmacılar bu bindirmeleri haritalamışlarsa da bunları gelişim yaşı hakkında farklı yorumlar öne sürmüşlerdir [6].

İstanbul'da Paleozoyik'ten sonra en geniş yer kaplayan birimler Avrupa yakasındaki Miyosen istifleridir. Bu birimler içerisinde gelişmiş önemli bir kıvrım ya da kırık sistemi

bulunmamaktadır. Çoğunlukla yatay ya da zayıf bir ondülasyon gösteren birimler içerisindeki kirik sistemleri de genellikle uzun mesafelerde izlenen kırıklar olmayıp yaygın değillerdir.

İstanbul'da kara üzerinde genç ve aktif fayların bulunup bulunmadığı önemli bir tartışma konusudur. Oktay vd. (2002); Gökasan vd. (2002) gibi bazı araştırmacılar İstanbul'da örneğin İstanbul Boğazı iki yakasında, Ayamama çayında, Büyük ve Küçük Çekmece'de aktif fayların mevcudiyetini öne sürmektedirler. Ancak İstanbul'da bugüne kadar kara üzerinde fay kökenli orta ve büyük depremler olmamıştır. Diğer yandan aktif olduğu ileri sürülen faylar üzerinde bunların aktif olduğunu kanıtlayacak örneğin paleosismoloji gibi detay çalışmalar yapılmamıştır. Eldeki veriler ışığında genç yapısal unsurların İstanbul'un morfolojik gelişiminde etkili oldukları dışında doyurucu sonuçlara ulaşılması şimdilik mümkün görülmemektedir. Sorun ancak gelecekteki detay araştırmalarla çözümlenebilecektir [6].

5 HİDROJEOLOJİ

Bu bölümde; inceleme alanının yeraltısuyu jeolojisi yönünden ayrıntılı araştırması yapılmıştır. İnceleme alanına ait iklim ve meteoroloji verileri değerlendirilerek su bilançosu hazırlanmış, su noktaları belirlenmiş ve ortamların hidrojelojik özellikleri ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

5.1 Meteoroloji Verileri ve Penman Su Bilançosu

5.1.1 Yağış, Sıcaklık ve Buharlaşma

Çalışma alanına ait meteorolojik veriler Florya Devlet Meteoroloji istasyonlarından alınmıştır (Tablo A1). İstasyon verilerinden yararlanılarak aritmetik ortalama kullanılarak yıllık ortalama sıcaklık 13.9 ^{o}C olarak hesaplanmıştır. En sıcak ay ortalaması 23.35 ^{o}C ile Ağustos, en soğuk ay ise 5.3 ^{o}C ile Ocaktır. Bu gözlem istasyonuna ait ortalama sıcaklık ölçümleri Tablo A1'de verilmiştir. Veriler 1937–1994 yılları yıllık ölçümlerin ortalamasıdır.

İnceleme alanının büyük olmaması gözlem istasyonlarının çalışma alanına çok yakın olması, ayrıca gözlem değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeni ile yöresel ortalama yağış değeri aritmetik ortalama yöntemi ile bulunmuştur. Yağış gözlemleri ortalamasına göre yıllık ortalama yağış 649.00 mm'dir. En çok yağış, ortalama olarak 104.00 mm ile Aralık ayında, en az yağış ortalama olarak 18.4 mm ile Temmuz ayında düşer. Bu gözlem istasyonuna ait yağış verileri ve ortalamaları Tablo A1'de verilmiştir.

5.1.2 Potansiyel ve Gerçek Buharlaşma

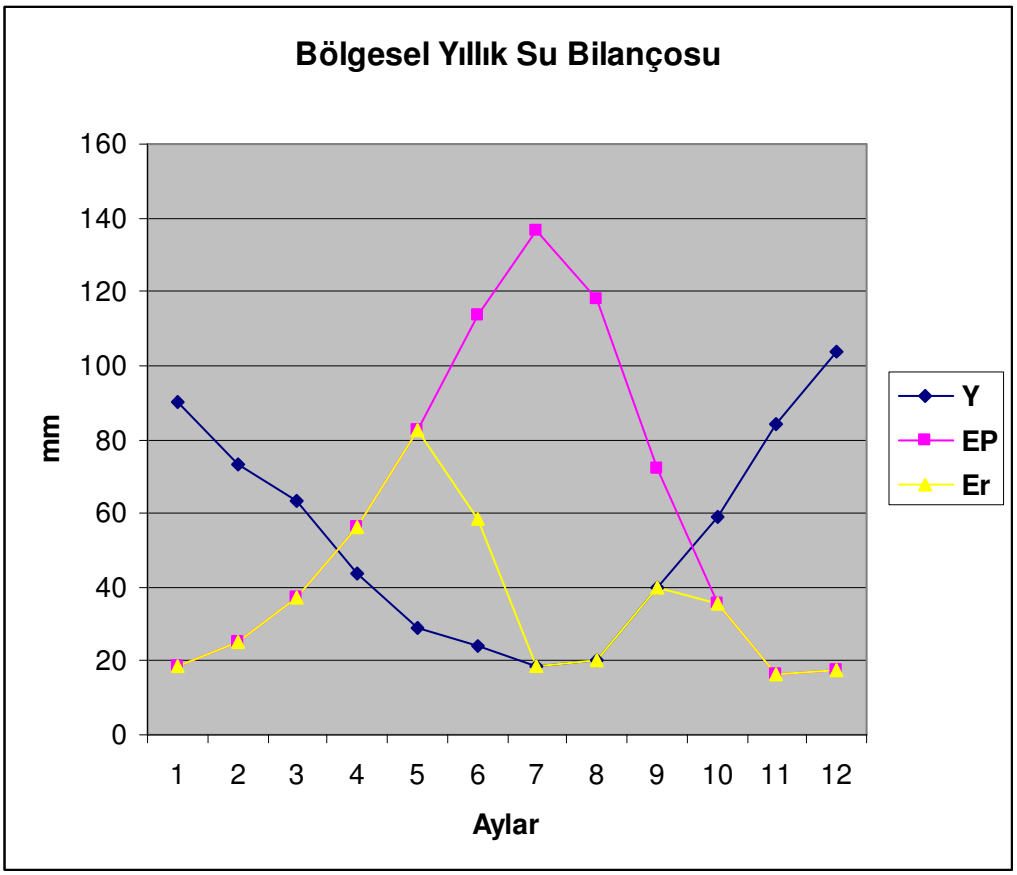
İnceleme alanının su bilançosu hazırlanırken, bölgesel potansiyel ve gerçek buharlaşma değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, sağlanan veriler Penman yöntemine göre değerlendirilmiştir. Bu yöntem enerji dengesi ve kütle transferi eşitliklerine dayanır [10].

Penman yöntemi uygulanırken çalışma alanına en yakın konumdaki Florya istasyonundan alınan veriler kullanılmıştır. Penman yöntemine göre verilerin değerlendirilmesiyle inceleme alanı ve dolayının aylık ve yıllık potansiyel buharlaşma değerleri hesaplanmıştır (Tablo A2). Tablodan görüleceği gibi potansiyel buharlaşmanın en düşük olduğu aylar; Kasım, Aralık ve Ocak, en yüksek olduğu aylar ise Haziran, Temmuz ve Ağustos'tur. Toplam yıllık potansiyel buharlaşma miktarı 729,281 mm.su/yıl olarak bulunmuştur.

5.1.3 Meteorolojik Su Bilançosu

Potansiyel buharlaşmanın hesaplanmasından sonra Penman yöntemi uygulanarak gerçek buharlaşma değerleri saptanmış ve su bilançosu çıkartılmıştır (Tablo A3).

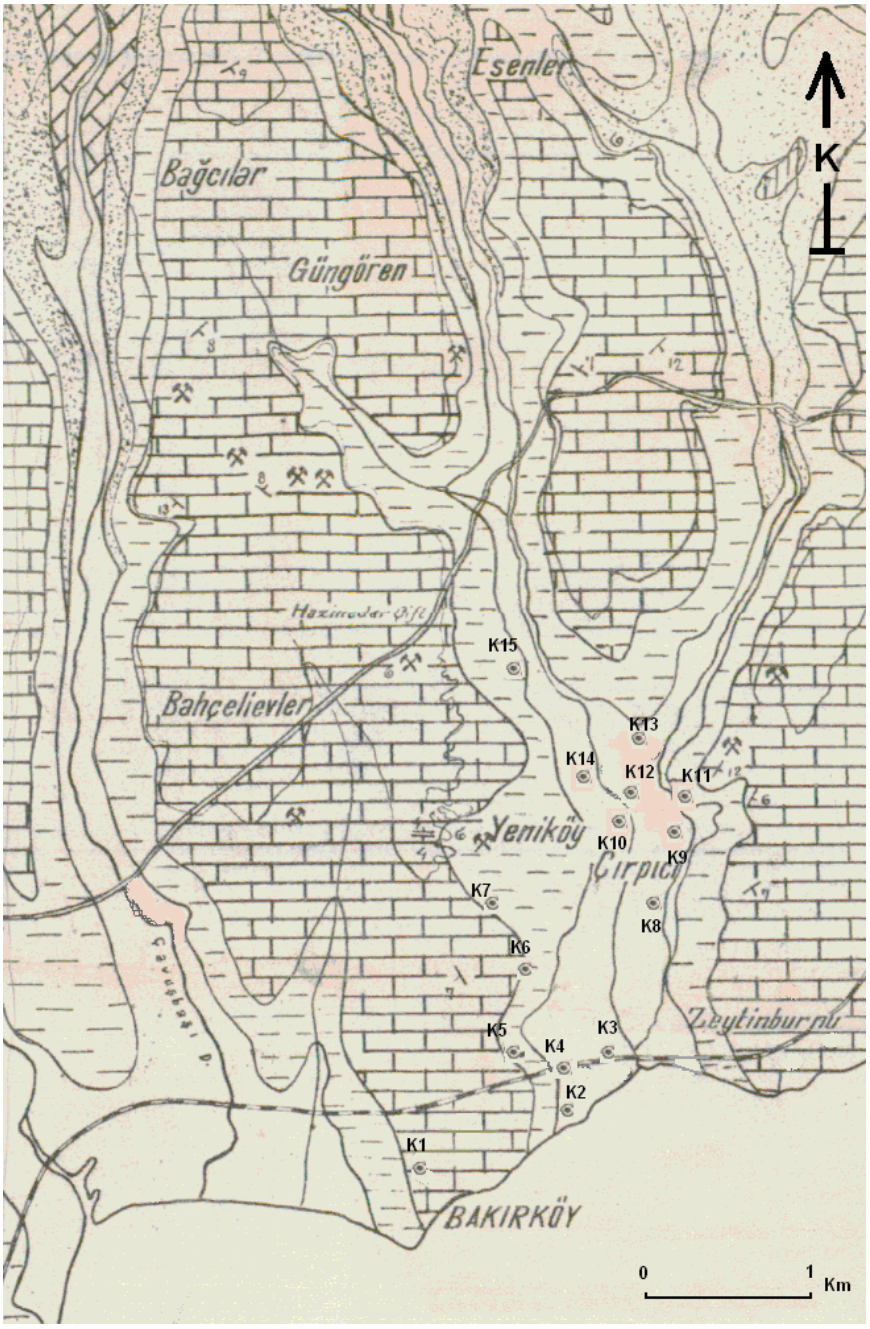
Su bilançosunda, toplam yıllık yağışın 649.00 mm, gerçek buharlaşmanın 426.00 mm. ve akışın 211.00 mm. olduğu görülmektedir. Buna göre inceleme alanında toplam yıllık yağışın 282,3 mm.'si yani %65,6'sı buharlaşma-terleme yolu ile atmosfere geri dönmekte, geriye kalan 211.00 mm. ise yer altı ve yerüstü suyu olarak akışa geçmektedir. Bu miktar tüm yağışın %34,4'üdür. Yağışın gerçek buharlaşmadan fazla olduğu Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında su fazla görülmekte, Ekim ayında rezerv beslenmekte ve ancak bu aylardan sonra zemin Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında suya tamamen doygun duruma gelmektedir. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında (kurak dönem) su eksikliği görülür. Ancak Mart ve Nisan aylarında su fazlalığı ve eksikliği görülmez. Bu aylarda yağışın az olmasına bağlı olarak, rezerv daha az beslenmekte ve rezervdeki su, toprak nemi olarak kalmaktadır. Yağışın buharlaşmayan %15,6'sı yeraltına geçmektedir. Ayrıca, yağış, potansiyel buharlaşma ve gerçek buharlaşma yüksekliklerinin aylara göre değişimini daha kolay bir şekilde değerlendirmek amacıyla bir grafik hazırlanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Bölgesel yıllık su bilançosu diyagramı.

5.2 Kuyular

İnceleme alanında bulunan kuyulara ait veriler M. Sani Karaca'nın 1981 yılında hazırlamış olduğu "Güngören Deresi ve Dolayının Hidrojeolojisi" konulu bitirme ödevinden alınmıştır. Bu çalışmada verilen kuyu loglarından faydalanarak bölgenin 3B katı modeli hazırlanmış, statik su seviyelerinden yararlanılarak bölgenin 3B hidrojeoloji modelinin hazırlanması sağlanmıştır. Çalışma alanındaki kuyular Dr. Cazibe Sayar tarafından 1960 yılında hazırlanmış olan "İstanbul'un batısındaki Arazide Yeraltı Suları ve Artezyen İmkanları" konulu yayında kullanılan jeoloji haritası üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.2). Bu çalışmada kullanılan veriler, kuyuların 1981 yılındaki değerleri kullanılarak modellenmiştir ve Tablo 5.1'de detayları verilmiştir.



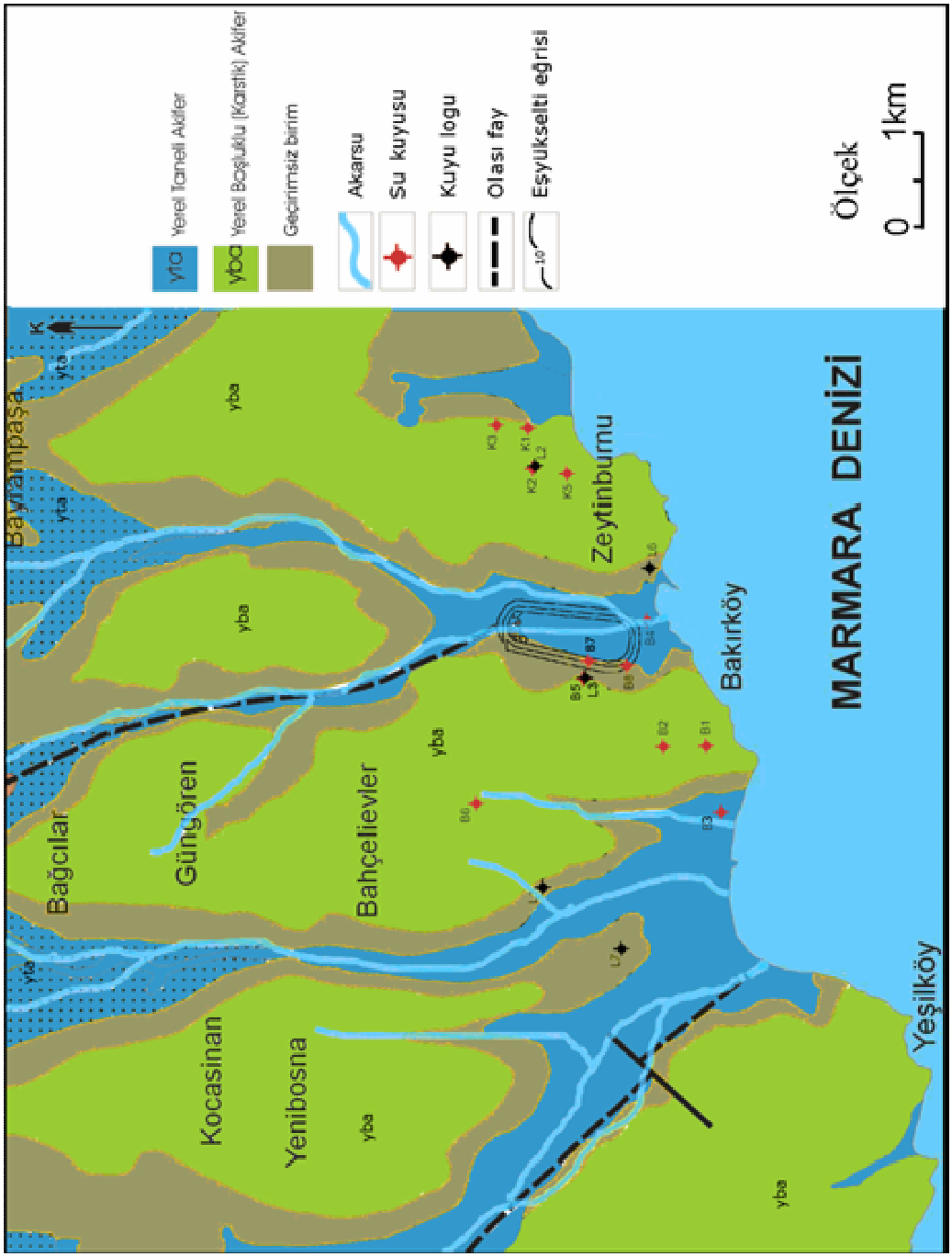
Şekil 5.2: Kuyuların arazide dağılımı

Tablo 5.1 İnceleme alanındaki kuyularla ilgili veriler

Kuyu	Z (m)	Su Seviyesi (m)		Kuyu	Z (m)	Su Seviyesi (m)		Kuyu	Z (m)	Su Seviyesi (m)
K1	13	-62		K6	8	-56		K11	10	-57
K2	2	-43		K7	14	-61		K12	8	-43
K3	2	-49		K8	5	-57		K13	15	-56
K4	2	-55		K9	5	-58		K14	10	-52
K5	5	-45		K10	8	-58		K15	13	-38

5.3 Hidrojeolojik Ortamlar

Bölgedeki yeraltı suyu akım yönü, K-G doğrultusundadır. Bölgede yeralan jeolojik birimlerin litolojik ve yapısal özellikleri gözönüne alınarak iki tür akifer belirlenmiştir (Şekil 5.3) [9].



Şekil 5.3: Çalışma alanına ait hidrojeoloji haritası

5.3.1 Yerel Boşluklu (Karstik) Akifer (yba)

Bölgede resifal kireçtaşından oluşan Eosen yaşlı Kırklareli kireçtaşları ve yer yer tüf ara seviyeli, kumlu-killi kireçtaşı-marn boşluklu geçirimli (karstik) yapıdadır. Bakırköy formasyonuda, egemen olarak kil ve marn arakatkılı bir kireçtaşından oluşur. Kireçtaşları beyaz ve sarımsı renkli, bolca Mactra fosilli, gözenekli, kof ve yer yer tebeşirimsidir. İstifin tabanında yeralan kalın katmanlı ve bol fosilli kesimler ince katmanlı olanlara göre daha sert ve sıkıdır [9].

5.3.2 Yerel Taneli Akifer (yta)

Çukurçeşme formasyonu sarımsı kahve ve pas renkli gevşek kil çimentolu veya çimentosuz kil, silt ve çakıl arakatkılı, tutturulmamış ya da kötü tutturulmuş, yer yer omurgalı kemik ve diş kalıntıları içeren bol mikalı kum ve kumtaşlarından oluşur. Göl fasiyesinde gelişmiş olan Güngören formasyonu içinde yer yer çok iyi boylanmış gri renkli ince kum mercekleri ile yeşil renkli marn ve kireçtaşı ara tabakalı killer bulunur. Kuşdili formasyonunun üzeri genellikle alüvyon ve güncel dolgularla örtülüdür. Çakıl ve kum mercekleri içeren gri-siyah renkli kil ve çamurlardan oluşan bu birim lagün-bataklık ve kısıtlı olarak sığ denizel bir ortamda gelişmiştir [9].

5.3.3 Geçirimsiz Birim

Ayrıca, bölgede geçirimsiz birim olarak, kil içeren Güngören formasyonu yeralmaktadır [9].

5.4 Yeraltısuyu Beslenimi ve Boşalımı

Çalışma alanı içerisinde yeraltısuyu beslenimi yağıştan, yüzeysel akıştan ve komşu akiferlerden olmaktadır. Bu bölgeden suni boşalım ise genellikle kuyulardan olmaktadır.

Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'den de görülebileceği gibi, su çekimi genellikle, kum içeren Çukurçeşme formasyonundan yapılmaktadır. Bu çalışmada da Çukurçeşme akiferinin modellemesi yapılmıştır.

5.5 Çukurçeşme Akiferinin Hidrojeolojik Özellikleri

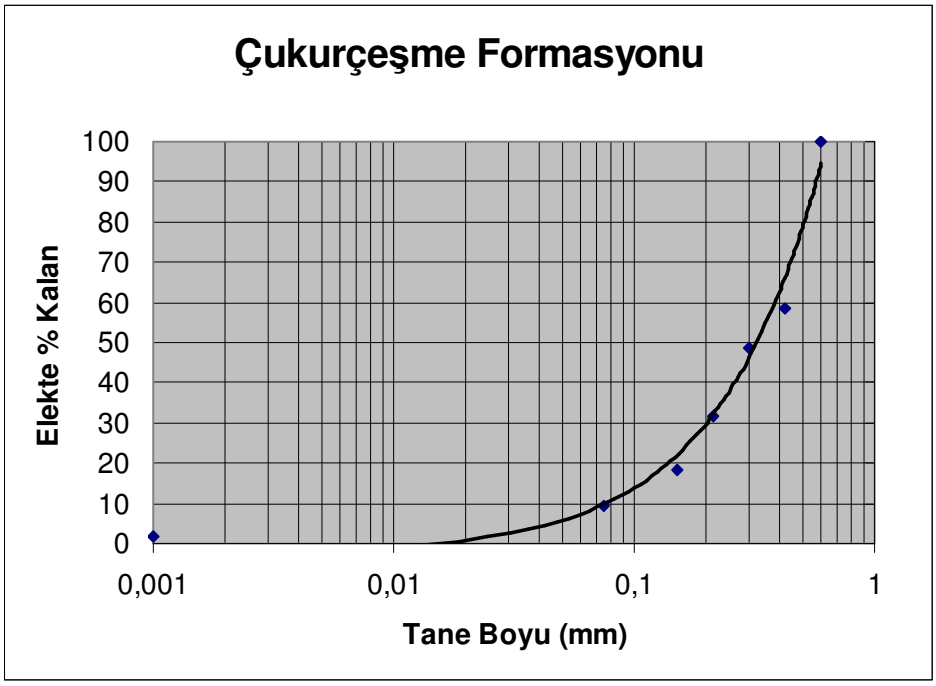
Çalışmaya konu olan ve Çukurçeşme formasyonunun oluşturduğu akifere ait hidrojeolojik özellikleri belirlenmesi amacıyla, inceleme alanının içinde yer alan Esenler otogarının yakınlarından formasyona ait numune alınmış ve İTÜ Maden Fakültesi laboratuarlarında ilgili deneyler yapılmıştır.

5.5.1 Porozite

Kayaç bünyesindeki boşlukların birbiri ile bağlantılı olması durumunda, su kayaç içerisinde birikerek hareket edebilmektedir. Porozite (n) bir kayacın içerdiği boşluk hacminin (V_b), kayacın toplam hacmine (V_k) oranının % ifadesidir [10]. Laboratuarda yapılan deney sonuçunda Çukurçeşme formasyonundan alınan kum numunesinin porozite değeri % 38 bulunmuştur.

5.5.2 Tane Boyu Dağılımı

Ortamı oluşturan tanelerin boyunun yüzde olarak dağılımı bir ortamın porozitesi ile doğrudan ilişkilidir [10]. Şekil 5.4'te Çukurçeşme akiferinin tane boyu dağılım grafiği verilmiştir. d_{10}= 0.08mm, d_{60}= 0,39mm olarak tespit edilmiştir. Tane çapı dağılımı ve granülometri, laboratuarlarda elek analizi deneyi yapılarak bulunmuştur (Şekil 5.5).



Şekil 5.4: Çukurçeşme akiferinin tane boyu dağılımı



Şekil 5.5: Elek Analizi

5.5.3 Geçirimlilik (Permeabilite)

Geçirimlilik (Permeabilite), boşluklu bir ortamın içerisinden bir akışkanı geçirebilme yeteneğidir. Permeabilite sadece boşluklu ortamın porozite, tane çağı ve tane dağılımı gibi fiziksel özelliklerine bağlıdır [10]. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi laboratuarda yapılan sabit seviyeli permeametre deneyi sonucunda bulunan değer; k= $5{,}63.10^{-5}$ m/sn'dir. Aynı değer tane boyu dağılımından hesaplandığında, k= $6{,}6.10^{-5}$ m/s olarak bulunmuştur.

$k = m/s \quad hidrolik\ iletkenlik$

$g = 9{,}8\ m/s^2$

$v = 1{,}14\text{x}10^{-6}\ m^2/s \quad 15\ ^{o}C\ viskozite\ su\ için$

$$C = 6\text{x}10^{-4}.\log(\frac{500}{u})$$

$$u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$k = \frac{g}{v} \cdot C \cdot d_{10}^2$$

$$u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,39}{0,08} = 4,875$$

$$C = 6\text{x}10^{-4}.\log(\frac{500}{4,875}) = 6\text{x}10^{-4}.2,01 = 12,06\text{x}10^{-4}$$

$$d_{10} = 0,08mm$$

$$d_{60} = 0,39mm$$

$$k = \frac{g}{v} \cdot C \cdot d_{10}^2 = \frac{9,8\ m/s^2}{1,14\text{x}10^{-6}\ m^2/s} \cdot 12,06\text{x}10^{-4} \cdot (8.10^{-5}m)^2 = 6,6.10^{-5}m/s$$



Şekil 5.6: Sabit seviyeli permeametre

6 YERALTISULARININ MODELLENMESİ

Modellemenin önemi teknolojinin gelişmesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Modelleme sadece hidrojeoloji için değil diğer tüm branşlar için de oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Yapılan araştırmalar neticesinde ortaya çıkan varsayımlar modellemenin temelini oluşturur. Hazırlanan bir modelde veriler değiştirilerek, sonuçlar üzerindeki etkisi görülür. Böylece çalışma alanına ait görsel bir bilgi elde edilir. Ayrıca çalışma alanının önceki ve gelecekteki durumu hakkında bilgiler de oluşturulur.

Bu çalışmada yeraltısularının modellenmesi için GMS v4.0 paket programı kullanılmıştır. Programa ait çeşitli modüller kullanılarak kavramsal model oluşturulmuştur. Oluşturulan kavramsal model GMS altında çalışan yeraltısuyu akım denklemini çözmeye yarayan MODFLOW (MODular three-dimensional finite-difference ground water FLOW) arayüzü ile incelenmiştir [1].

Bu bölümde modellemenin temel ilkeleri, kullanılan paket program GMS v4.0'ın genel tanıtımı ve GMS v4.0 ile yapılabilen çeşitli işlemler hakkında bilgiler verilecektir.

6.1 Genel İlkeler

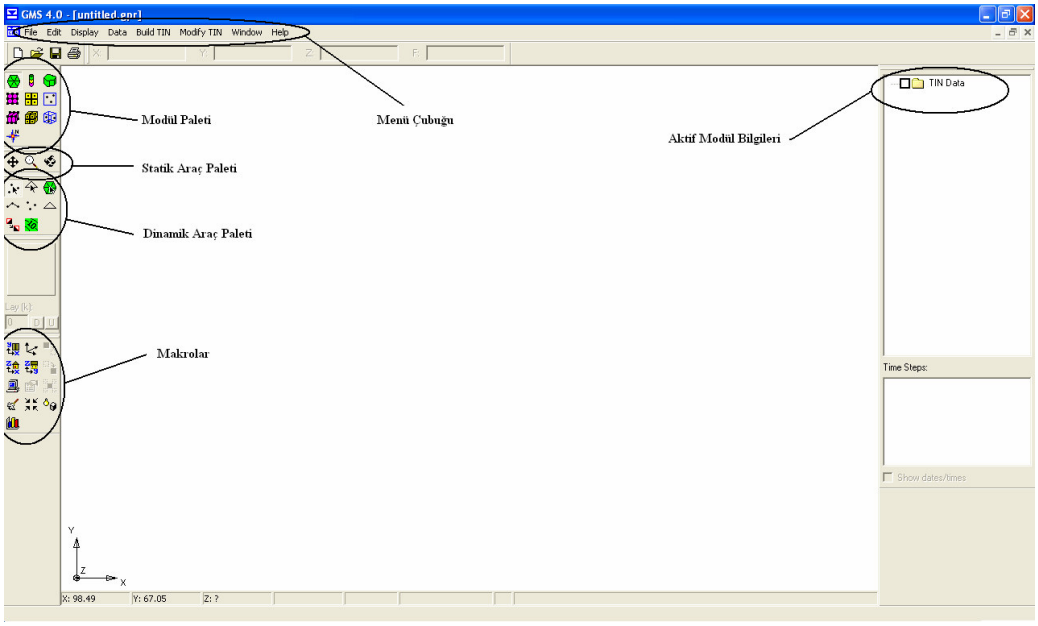
Hidrojeolojide özellikle akiferler ile ilgili çalışmalarda birçok araştırmacının (Darcy, Theis, Jacob vd.) ileri sürdüğü varsayımlar kabul edilip, bu varsayımlar üzerine model kurularak tahminler yapılır. Modelleme mantığı da bu temel ilke ile paralellik gösterir. Modelleme ile kesin sonuçlar elde edilemez, sadece kabul edilen varsayımlar üzerine değiştirilen koşullar neticesinde oluşturulan yaklaşımlar ile yeraltısuyu hakkında bir bakış açısına sahip olunur. Modelleme temelinde hücre sistemleri vardır, kullanılan formüller her hücrenin içinde ayrı ayrı işlem görerek homojenliği artırır. Her modelleme yapımında belirli aşamalar vardır. Her yeraltısuyu modeli tasarımı aşağıda verilen 13 temel aşamadan geçer [11];

1. Kavram geliştirme
2. Bilgisayar programının seçimi
3. Model geometrisinin tanımlanması
4. Model sınırları
5. Model parametreleri
6. Sınırların oluşturulması
7. Başlangıç koşulları
8. Sistemden su çıkışı ve su girişi (akifer stresi)
9. Modelin çalıştırılması
10. Kalibrasyon ve duyarlılık analizleri
11. Modelin geçerliliğinin test edilmesi
12. İleriye dönük tahmin analizleri
13. Verilerin ve sonuçların sunumu

6.2 GMS (Groundwater Modeling System) Tanıtımı

Groundwater Modeling System (GMS), Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Savunma Bakanlığı tarafından Brigham Young Üniversitesi (Engineering Computer Graphics Laboratory of Brigham Young University) laboratuarında geliştirilmiştir. GMS yeraltısularına ait simulasyonların yapılması için kapsamlı bir grafiksel kullanıcı programıdır. Bütün GMS sistemi grafiksel kullanıcı arayüzü (GMS) ve belirli analiz kodlarından (MODFLOW, MT3D, MODPATH, FEMWATER, T-PROGS, SEAM3D, SEEP2D, UTCHEM, FACT, RT3D, ART3D) oluşur. Bu analiz kodları özel yeraltısuyu modelleme paketleridir ve bunların hepsi GMS arayüzü ile bir arada kullanılmaktadır. GMS kapsamlı bir modelleme programı olarak tasarlanmıştır. Çeşitli model tipleri desteklenerek farklı model ve veri tipleri arasında bilgi paylaşımına olanak sağlar. Bu da kullanıcıya zaman açısından çok büyük bir avantaj sağlar.[29;30]

GMS arayüzü on modülden oluşur (Şekil 6.1). Modüller GMS ile oluşturulacak her tür temel veri tipleri için üretilmiştir. Bir modülden işlem yaparken diğer modül aktif edildiği zaman dinamik araç paleti, aktif modül bilgileri ve menü çubuğu değişir [1].

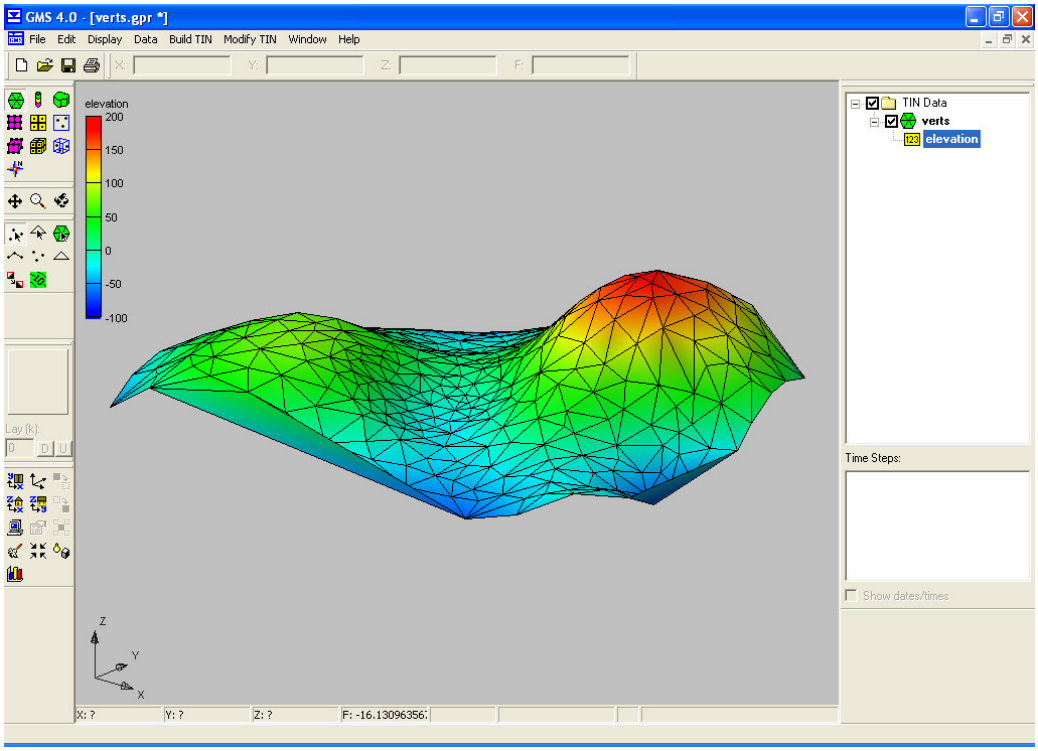


Şekil 6.1: GMS arayüzü ve temel araçlarına ait açıklamaların görüntüsü.

Bu değişim kullanıcının modelleme sürecinde aktif olan modül ile ilgili araç ve komutlara odaklanmasını sağlar. GMS tarafından desteklenen modüller şunlardır;

6.2.1 Üçgensel Düzensiz Ağ Modülü (ÜDA)

Üçgensel düzensiz ağ modülü yüzey modellemesi için kullanılır. ÜDA'lar XYZ noktalarının köşeler ile birleşmesi ile üçgensel ağlar oluşturarak şekillenir. Oluşturulan yüzeyin tüm üçgenler üzerinden geçtiği varsayılır. ÜDA'lar jeolojik bir birimi veya matematiksel fonksiyonlar ile belirlenmiş bir yüzeyi göstermek için kullanılır. ÜDA'larla oluşturulmuş yüzeylerin en anlaşılır görüntüleri eğik bakış açısı ile görülebilir[12] (Şekil 6.2). Bölüm 6.3.2'de Kuyu modülü ile ÜDA oluşturma ve bölüm 6.3.3'te de bu ÜDA'lardan yüzey yapımı anlatılmıştır.

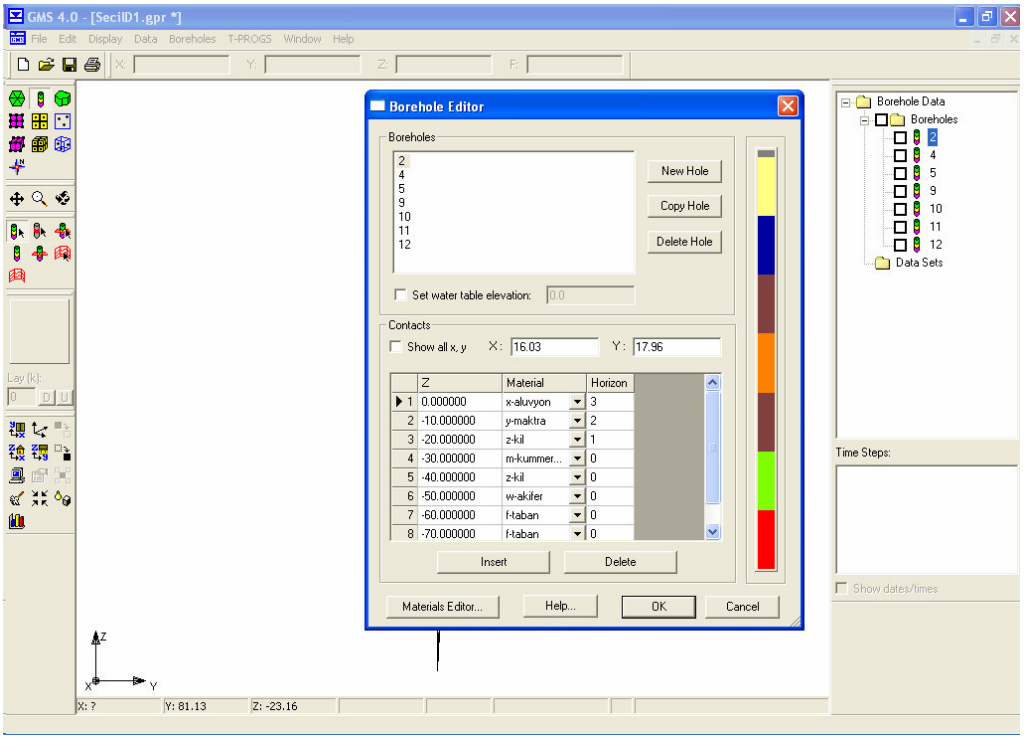


Şekil 6.2: ÜDA ile oluşturulmuş yüzeye ait görüntü, eğik bakış açısı.

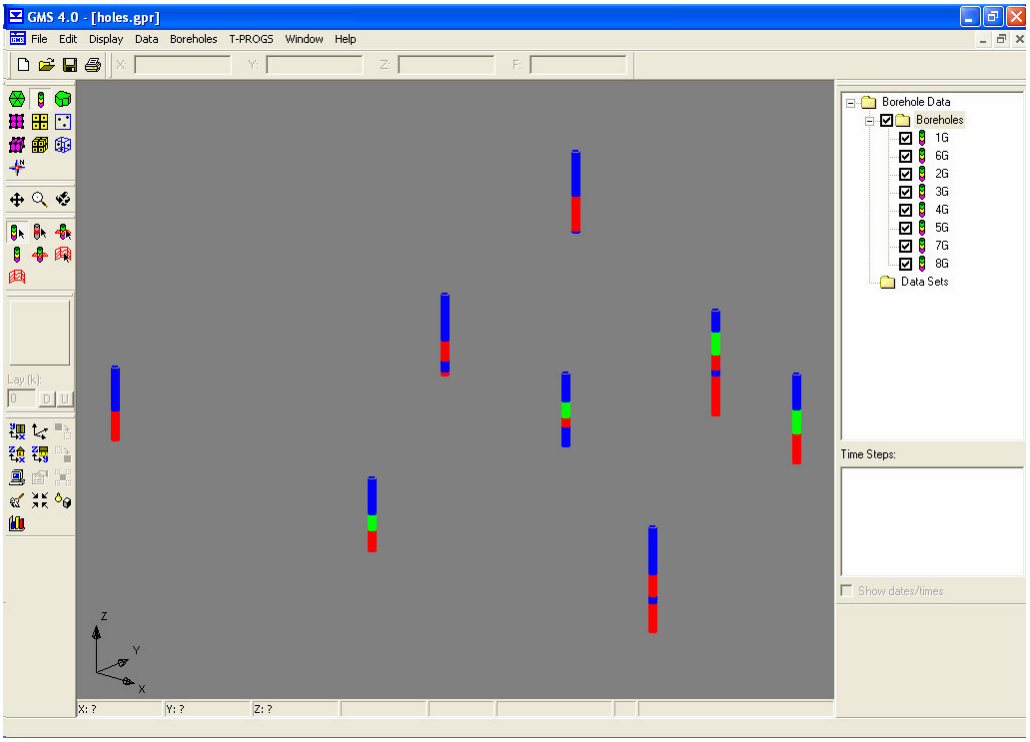
ÜDA'lar ile ilintili yükseklikler veya diğer değerler renk saçakları veya konturları ile gösterilebilirler. ÜDA'lar katı model ve 3 Boyut sonlu eleman ağların yapımında kullanılır [12]

6.2.2 Kuyu Modülü

Kuyu modülü tüm kuyu çeşitlerine (araştırma, sondaj vb.) ait verileri göstermek için kullanılır. Kuyu verileri metin düzenleyicilerden dahil edilebildiği gibi GMS'nin kendi tablo hazırlama arayüzü ile de girilebilir (Şekil 6.3). Oluşturulan her kuyu 3 boyut eğik bakış açısı ile bakıldığı zaman derinlik ve farklı zonları belirten renkleri anlaşılır bir şekilde görülebilir (Şekil 6.4). Kuyulardaki bölge ve dokanaklar ayrı ayrı seçilebilir ve ÜDA'lar, katı modeller ve 3 Boyut sonlu eleman ağları oluşturmada kullanılabilirler. Bunlara ek olarak penetrometre deneylerine ve jeofizik araştırmalara ait veriler de programa dahil edilebilir [12]. Bölüm 6.3.1'de bu modül ile yapılabilecek en temel işlem olan sondaj kuyularının yapımı anlatılmıştır.



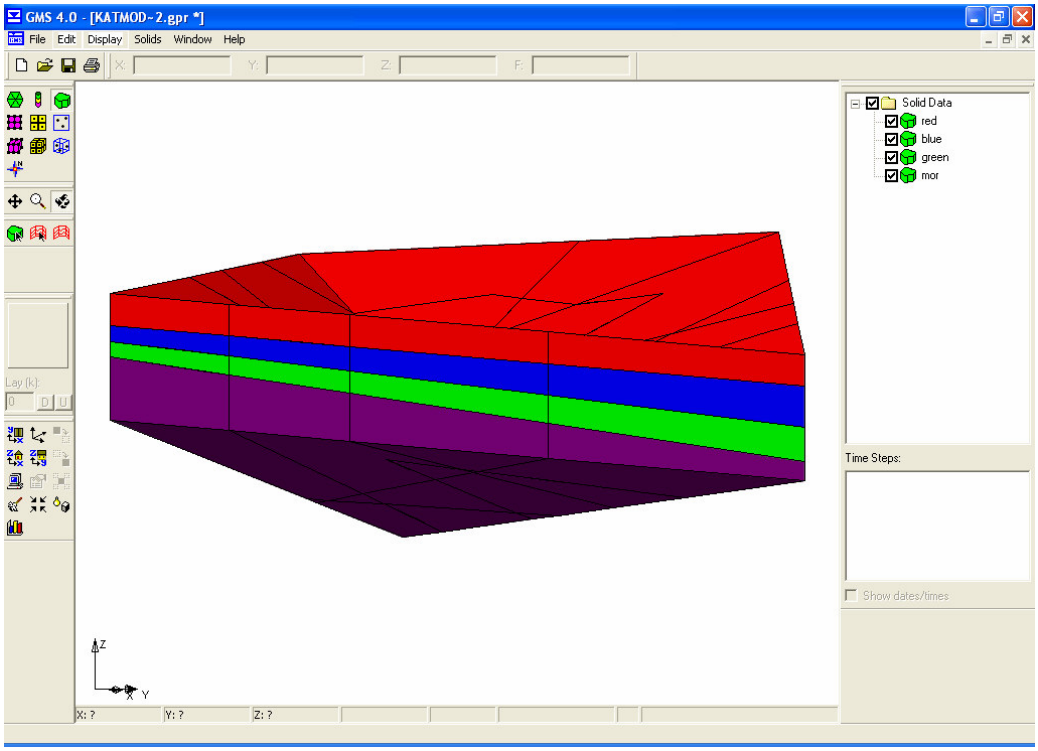
Şekil 6.3: GMS tablo arayüzü ile kuyu veri girişi.



Şekil 6.4: Kuyu modülü ile oluşturulmuş kuyuların görüntüsü, eğik bakış açısı.

6.2.3 Katı Modülü

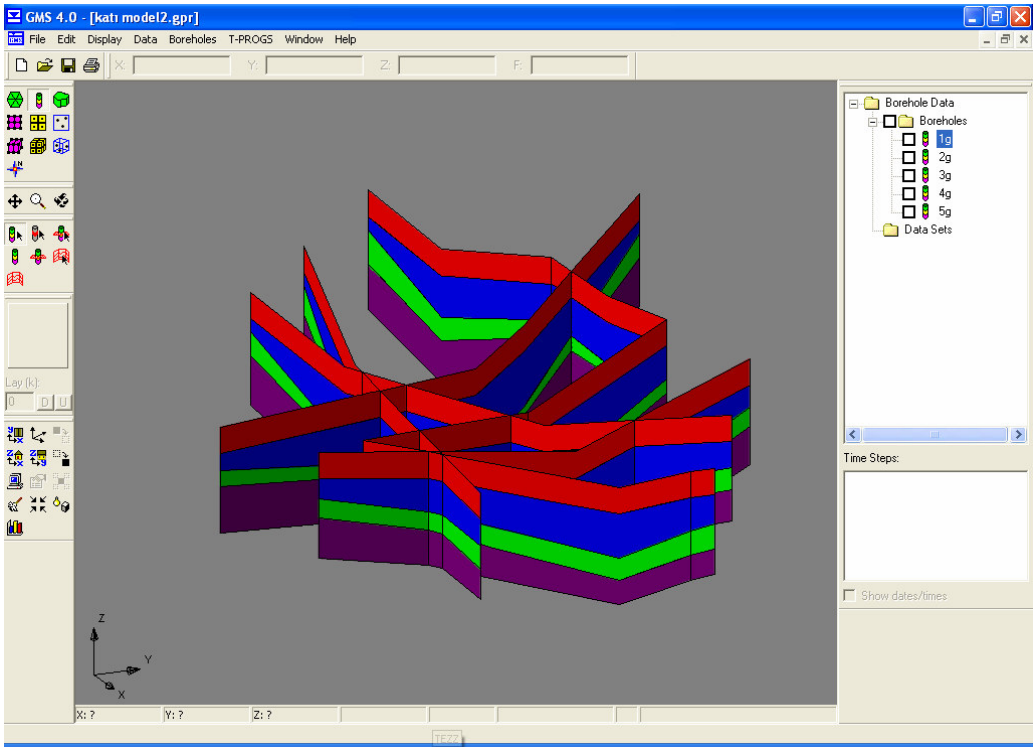
Katı modülü, sınırları belirli üç boyutlu model stratigrafisinin görüntülenmesi için kullanılır. Katı model ile 3 Boyut sonlu eleman ağları oluşturulur [12] (Şekil 6.5). Oluşturulan bir katı modelin istenilen her yerinden enine kesitler alınarak gerçekçi görüntüler elde edilir (Şekil 6.6). Bu işlemlerle ilgili detaylı bilgiler bölüm 6.3.6 ve 6.3.7'de anlatılmıştır.



Şekil 6.5: 3B katı model, eğik bakış açısı.

6.2.4 2 Boyut Ağ Modülü

2 Boyut ağ modülü, 2 Boyut sonlu eleman ağlarını oluşturmak için kullanılır. Otomatik olarak ağ oluşturmak ve düzenlemek için çeşitli araçlar bulundurur. 2 Boyut ağlar temel olarak 3 Boyut ağları oluşturmak için kullanılır [12].



Şekil 6.6: Katı modelden alınmış enine kesitler, eğik bakış açısı

6.2.5 2 Boyut Grid Modülü

2 Boyut grid modülü yüzey görselleştirmeleri için kullanılır. Gridler konturlanarak veya renklendirilerek çeşitli görselleştirmeler hazırlanır [12].

6.2.6 2 Boyut Yayılı Nokta Modülü

2 Boyutlu yayılı nokta modülü, 2 Boyutlu yayılı veri gruplarını her tür diğer veri tipine eklemeye yarar. Bu modül kullanılarak 2 Boyut jeoistatistik haritaları hazırlanabilir [12]. Bu modül ile yapılabilecek işlemler bölüm 6.3.4 ve 6.3.5'de anlatılmıştır.

6.2.7 3 Boyut Ağ Modülü

3 Boyut ağ modülü, 3 Boyut sonlu eleman ağlarını yönetmek için kullanılır. Bir ağ oluşturulduktan sonra FEMWATER arayüzü ile çeşitli uygulamalar yapılabilir. Sonuçlar ağ üzerinde renk saçakları, renkli enine kesitler ve eş-yüzeyler şeklinde gösterilebilir [12].

6.2.8 3 Boyut Grid Modülü

3 Boyut grid modülü, 3 Boyut kartezyenlerin oluşturulması için kullanılır. Bu gridler 3 Boyut eklemeleri, eş-yüzey oluşturma, enine kesitler ve sonlu fark modellemeleri için kullanılır. Tamamlanmış arayüzleri MODFLOW, MT3D ve MODPATH modellerini destekler [12].

6.2.9 3 Boyut Yayılı Nokta Modülü

3 Boyut yayılı nokta modülü, 3 Boyut yayılı nokta birliklerini diğer her tür veri tiplerine eklemek için kullanılır. Örneğin 'XYZC' nokta birliklerinden, 'XYZ' konumu 'C' ise derişimi gösterir. Desteklenen bir 3 Boyut ekleme şeması seçilebilir ve yayılı noktalardan 3 Boyut grid düğümüne derişim verisi eklenebilir [12].

6.2.10 Harita Modülü

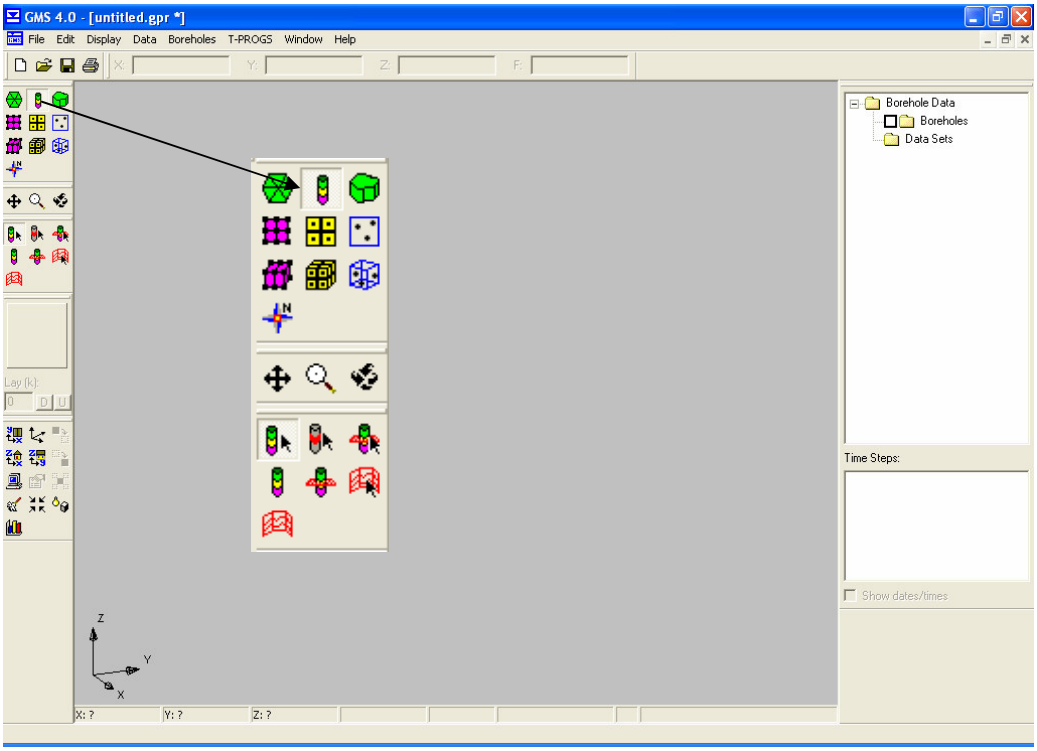
Harita modülü dört tip nesnenin işlenmesi için kullanılır. Bu nesneler; DXF, resim, çizim ve şekil nesneleridir. İlk üç nesne (DXF, resim, çizim) temel olarak modelin geliştirilmesi ve sunumu için grafik aracı olarak kullanılır. DXF nesneleri, standart CAD paketlerinden dahil edilen çizimlerdir. Çizim nesneleri, modele yapılacak çeşitli eklemeler (metin yazımı, çizgiler, geometrik şekiller vd.) için temel araçtır. Resim nesneleri, TIFF biçimindeki dijital resimleri (hava fotoğrafları, taranmış haritalar vd.) kapsar. Dördüncü tip nesne; şekil nesnesi, kavramsal model oluşturmada kullanılır. Şekil nesneleri, kullanılacak şekillerin Coğrafi Bilgi Sistemleri'ne (GIS) uyumlu hale getirilmesinden sonra şekillenir. Kavramsal model oluşturulduktan sonra otomatik olarak sayısal bir modele dönüştürülebilir [12].

6.3 GMS İle Yapılabilen Diğer İşlemler

GMS paket programı ile modellemenin yanı sıra çeşitli jeolojik çalışmalar da yapılabilir. Örneğin; kuyu verileri ile yüzey oluşturma, katı model oluşturma, 2 boyutlu jeoistatistik harita yapma [1]. Bu bölümde GMS paket programı ile yapılabilecek çeşitli işlemlerden tüm yerbilimcilerin kullanabileceği işlemler anlatılacaktır. Ayrıca bu işlemlerin kavramsal model oluşturulmasındaki yerleri ve geçişleri anlatılacaktır.

6.3.1 Kuyu Yapımı

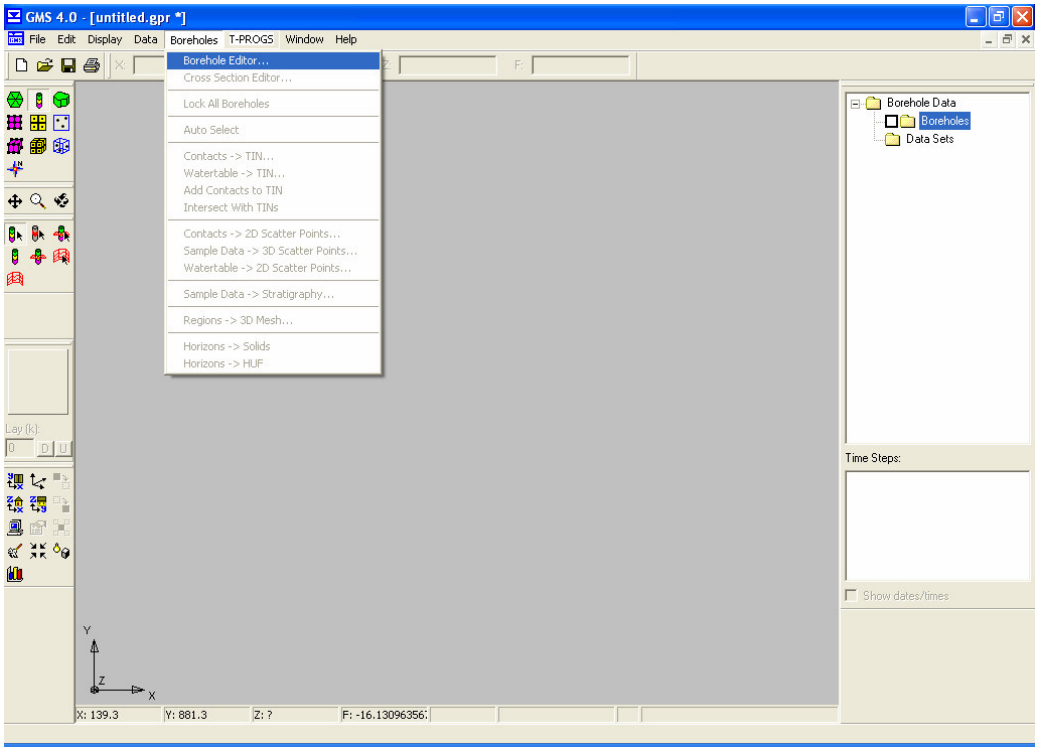
GMS paket programı ile kuyu yapmak için Kuyu Modülü aktif edilmelidir. Daha sonra GMS'nin kendi tablo hazırlama arayüzü ile veriler girilerek kuyular oluşturulur [13;14] (Şekil 6.3). Bu bölümde bir kuyu oluşturmak için gerekli adımlar sırası ile anlatılacaktır. İlk önce GMS programı çalıştırılır, daha sonra da kuyu oluşturmak için gerekli olan Kuyu Modülü aktif edilir (Şekil 6.7).



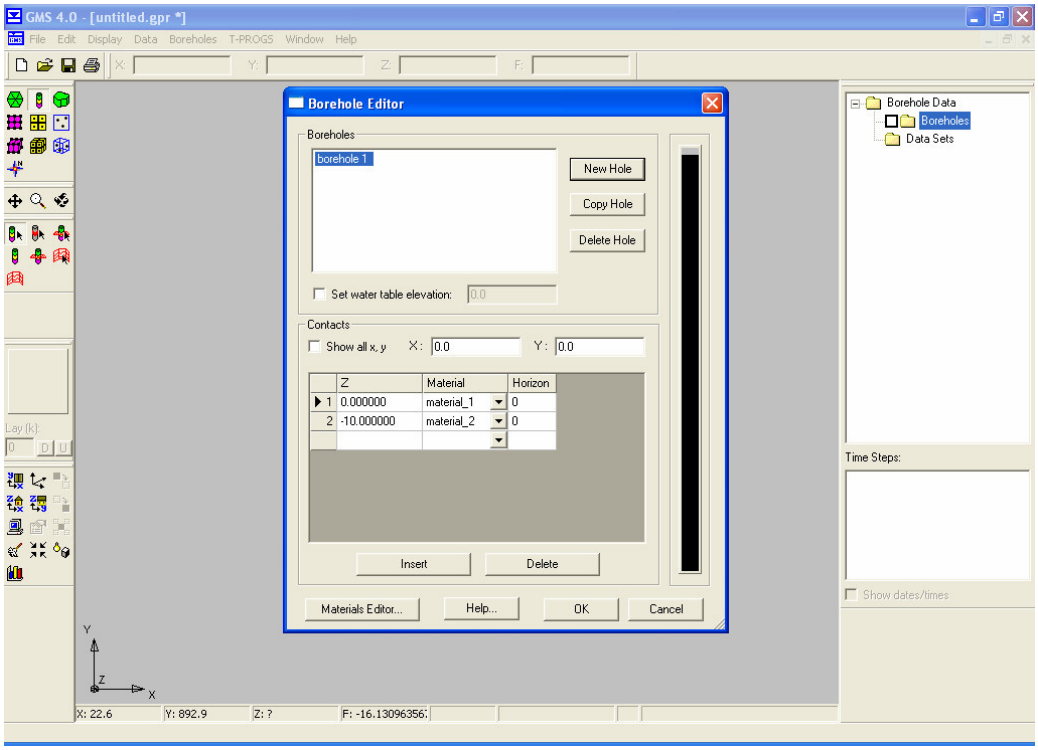
Şekil 6.7: Aktif edilmiş Kuyu Modülünün görüntüsü.

Daha sonra menü'den Boreholes->Borehole Editor tıklanarak GMS'ye ait tablo hazırlama arayüzü açılır (Şekil 6.8).

Açılan tablo hazırlama arayüzü 'New Hole' tıklanarak aktif edilir. Arayüz ile kuyunun adı, statik su seviyesi, XYZ nokta değerleri ve litolojileri belirlenir (Şekil 6.9).

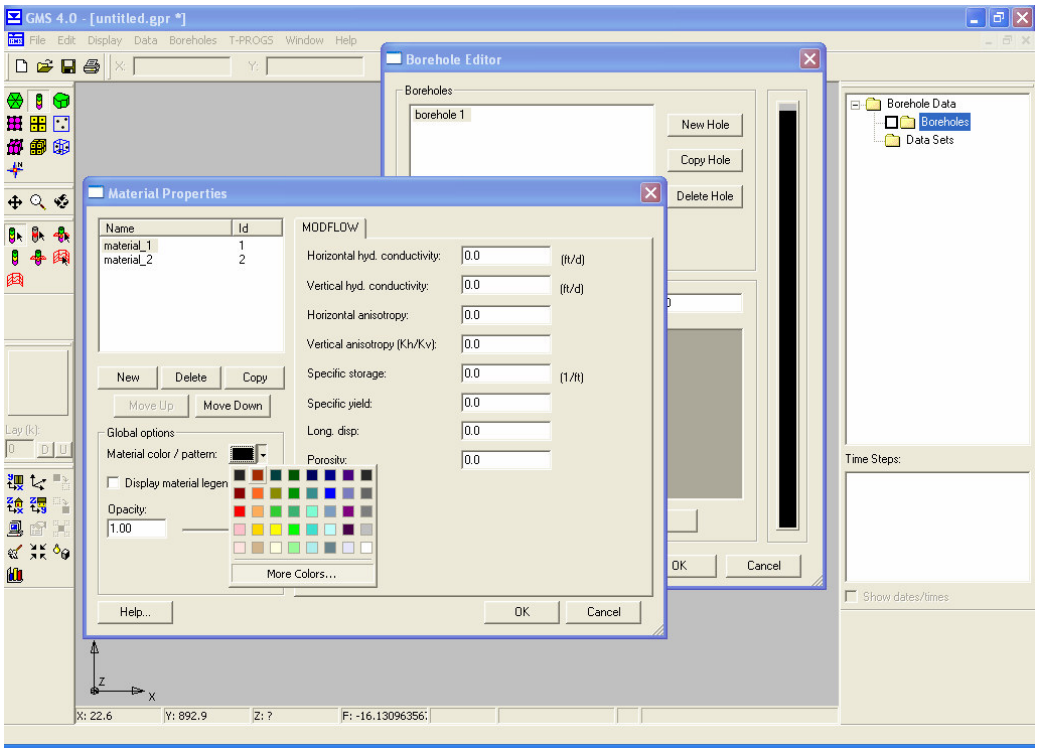


Şekil 6.8: GMS'nin tablo hazırlama arayüzünün açılışı.



Şekil 6.9: GMS'ye ait tablo hazırlama arayüzü.

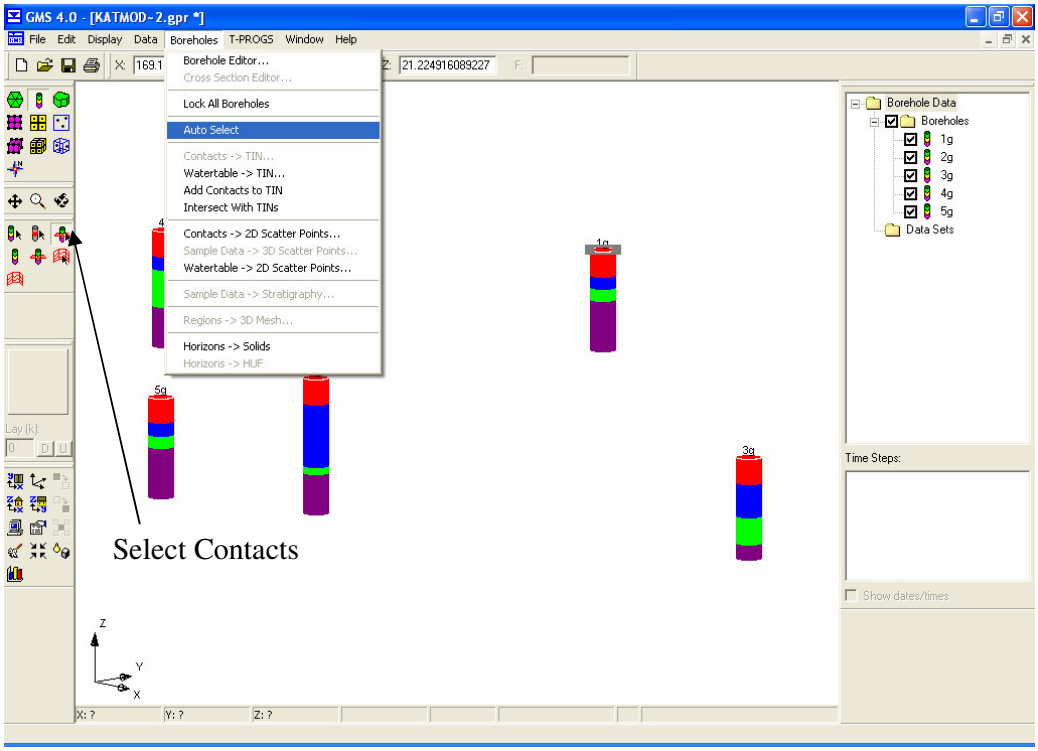
Tablo hazırlama arayüzündeki ‘Materials Editor’ tıklanarak kuyuya ait litolojiler belirlenir. Kavramsal model oluşturulduğu zaman MODFLOW arayüzü için gerekli olan çeşitli hidrojeolojik katsayılar da ‘Materials Editor’ ile girilerek belirlenir (Şekil 6.10).



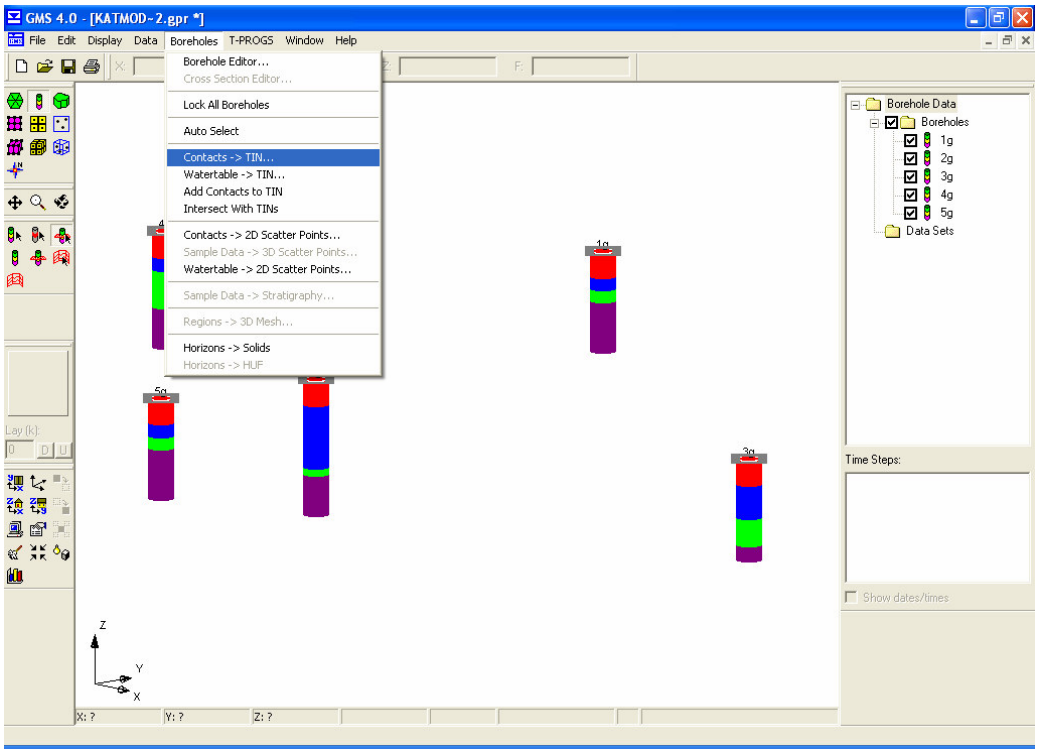
Şekil 6.10: Materials Editor ve eklentileri.

6.3.2 Kuyular İle ÜDA Yapımı

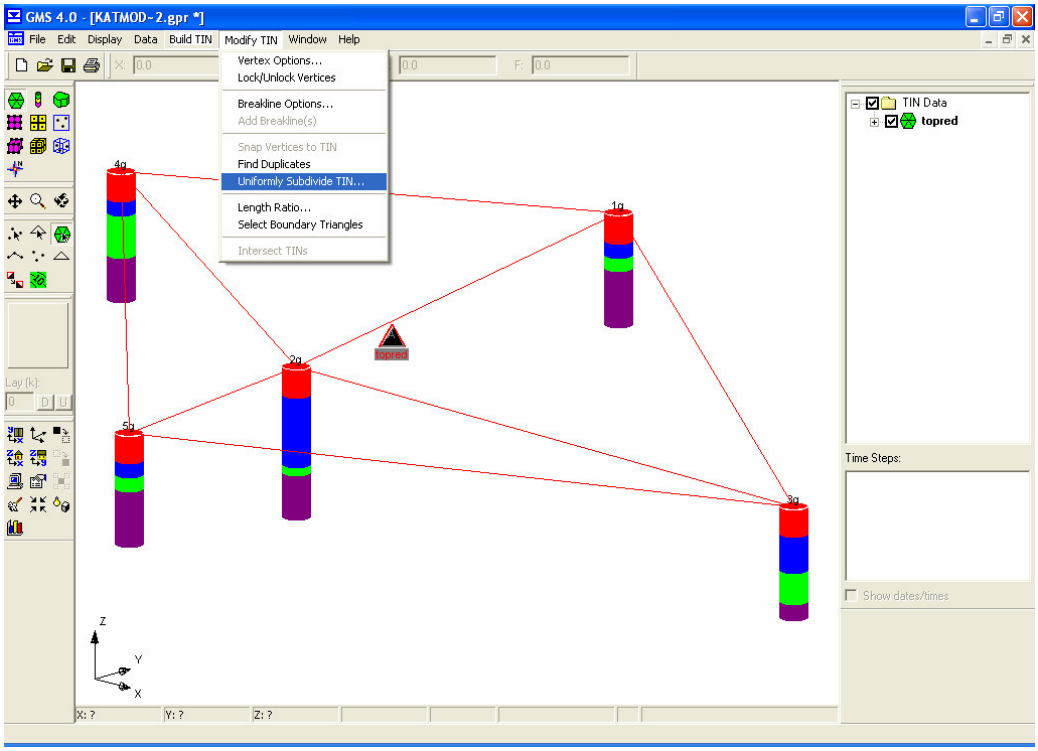
Hazırlanmış kuyulardan ÜDA yapmak için önce Kuyu sonra da ÜDA Modülü aktif edilmelidir. Sonra dinamik araç paletinden ‘Select Contacts’ tıklanır, ardından en üstteki dokanak noktası seçilir ve menüden Boreholes->Auto Select seçilir (Şekil 6.11). Daha sonra menüden Boreholes-Contacts->TIN seçilerek (Şekil 6.12) aktif dokanaklara ait üçgensel düzensiz bir ağ oluşturulur [13;14] (Şekil 6.13). Oluşturulmuş ÜDA’nın düzenlenmesi için ÜDA Modülü aktif edilir. Sonra dinamik araç paletinden ‘Select TINs’ seçilir ve menüden Modify TIN->Uniformly Subdivide TIN tıklanarak oluşturulacak üçgenlerin sıklıkları belirlenir (Şekil 6.13). Sıklaştırılmış ÜDA’ya ait görüntü Şekil 6.14’de gösterilmiştir.



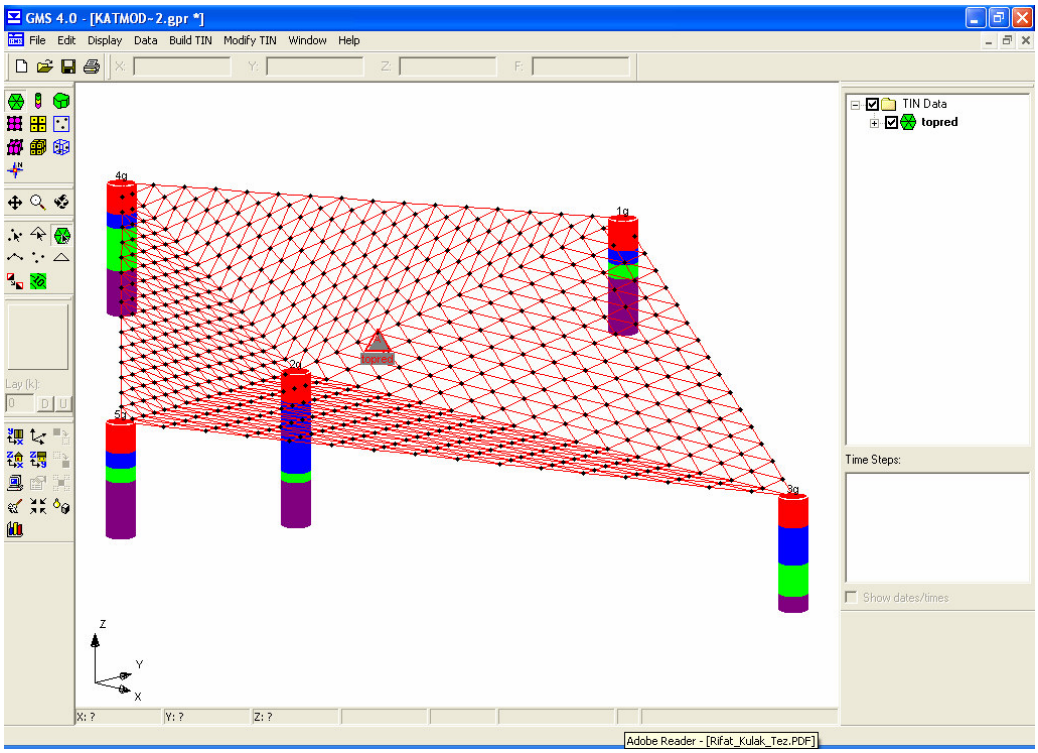
Şekil 6.11: Kuyu verilerinde otomatik dokanak seçimi.



Şekil 6.12: Aktif dokanaklardan otomatik olarak ÜDA yapımı.



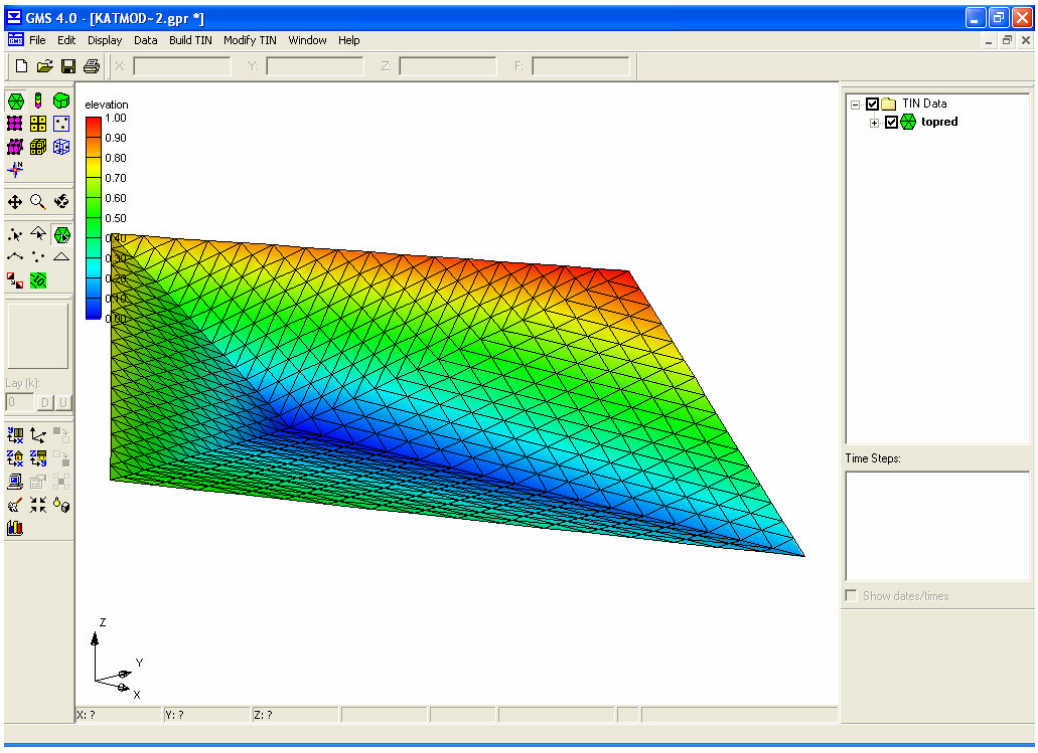
Şekil 6.13: Oluşturulan ÜDA'ların sıklıklarının değiştirilmesi.



Şekil 6.14: Sıklıkları arttırılmış ÜDA'nın son hali.

6.3.3 ÜDA İle Yüzey Yapımı

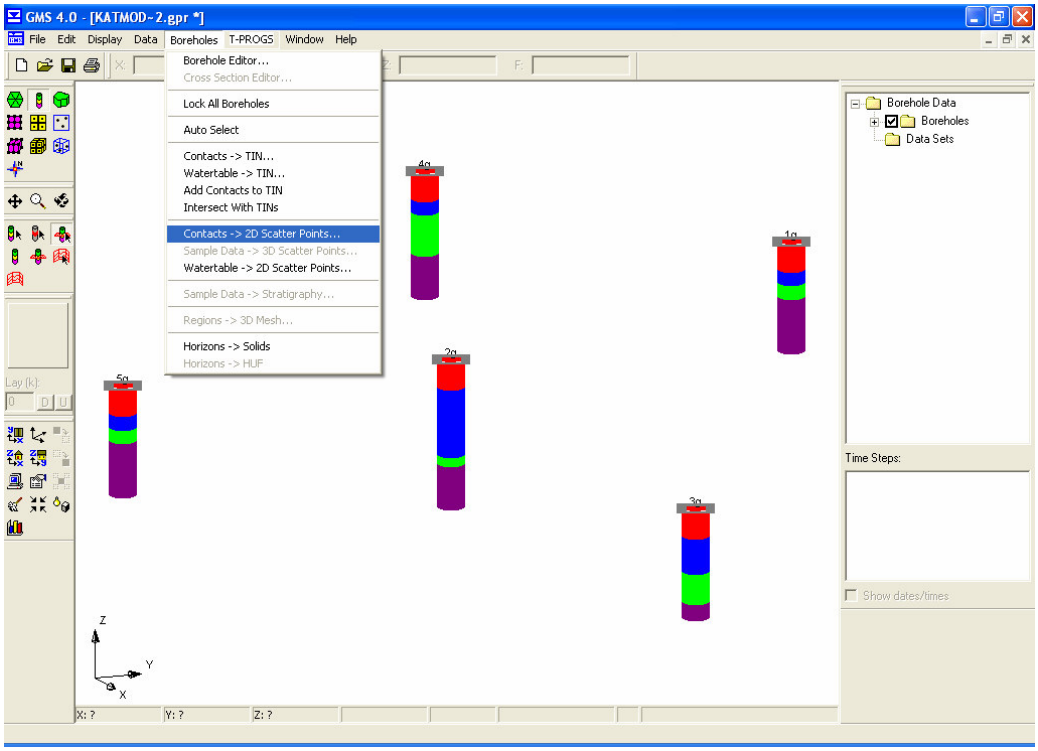
Kuyulardan oluşturulmuş ÜDA'lar düzenlendikten sonra yüzey hazır hale gelmiş sayılır. Tek yapılması gereken ÜDA Modülü aktif iken menüden 'Display->Display Options' seçeneği ile görüntünün düzenlenmesidir [13;14]. Bu düzenlenme yapıldıktan sonra yüzey hazır hale gelir. Bu bölümde örnek olarak konturların renkler ile doldurulması şeklinde elde edilmiş bir yüzey görüntüsü verilmiştir (Şekil 6.15), fakat amaca, hedef kitleye ve isteğe bağlı olarak hazır olan yüzeyler farklı şekillerde de görüntülenebilirler.



Şekil 6.15: ÜDA ile oluşturulmuş yüzeye ait konturların görüntüsü.

6.3.4 Kuyular İle Yayılı Nokta Yapımı

Hazırlanmış kuyulardan yayılı noktalar yapmak için önce Kuyu sonra da 2B Yayılı Nokta Modülü aktif edilmelidir. Sonra dinamik araç paletinden 'Select Contacts' tıklanır, ardından en üstteki dokanak noktası seçilir ve menüden Boreholes->Auto Select seçilir (Şekil 6.11). Daha sonra menüden Boreholes-Contacts->2D Scatter Points seçilerek aktif dokanaklara ait yayılı noktalar oluşturulur [13,14] (6.16).



Şekil 6.16: Aktif dokanaklardan otomatik olarak yayılı noktalar yapımı.

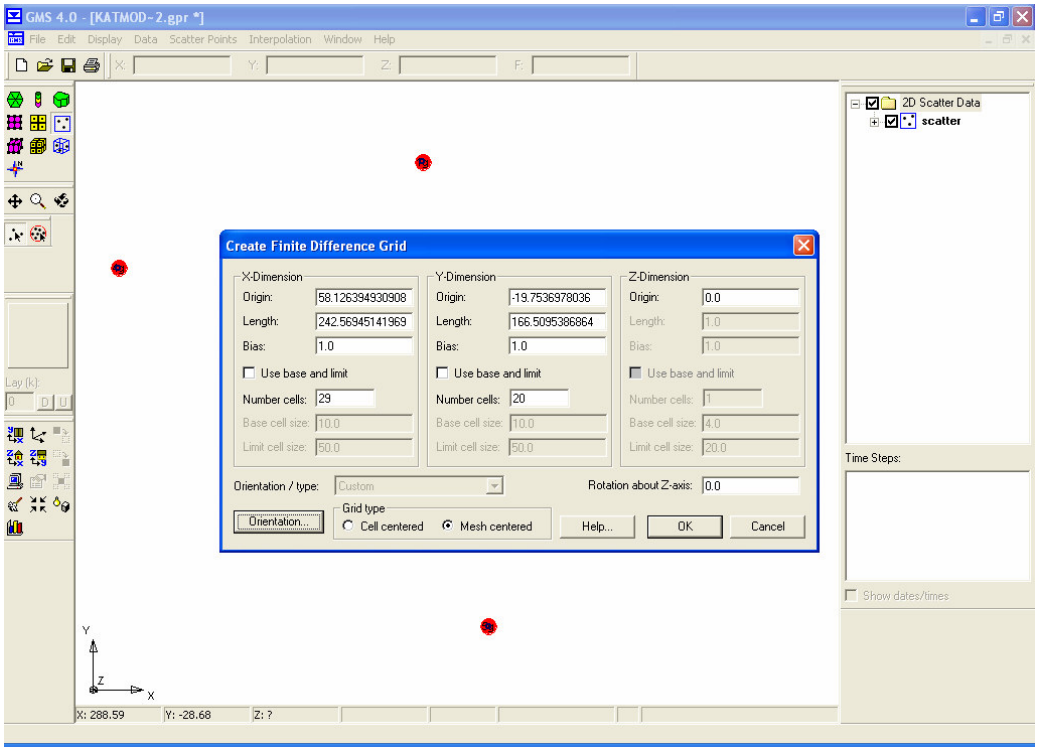
6.3.5 Yayılı Noktalar İle 2b Jeoistatistik Harita Yapımı

2 Boyutlu jeoistatistik, 2 Boyutlu Yayılı Nokta Modülü ile yapılır. Bu modül ile 2 Boyut yayılı noktalar diğer herhangi bir nesne tipine (ağlar, gridler, ÜDA) eklenebilir [13;14].

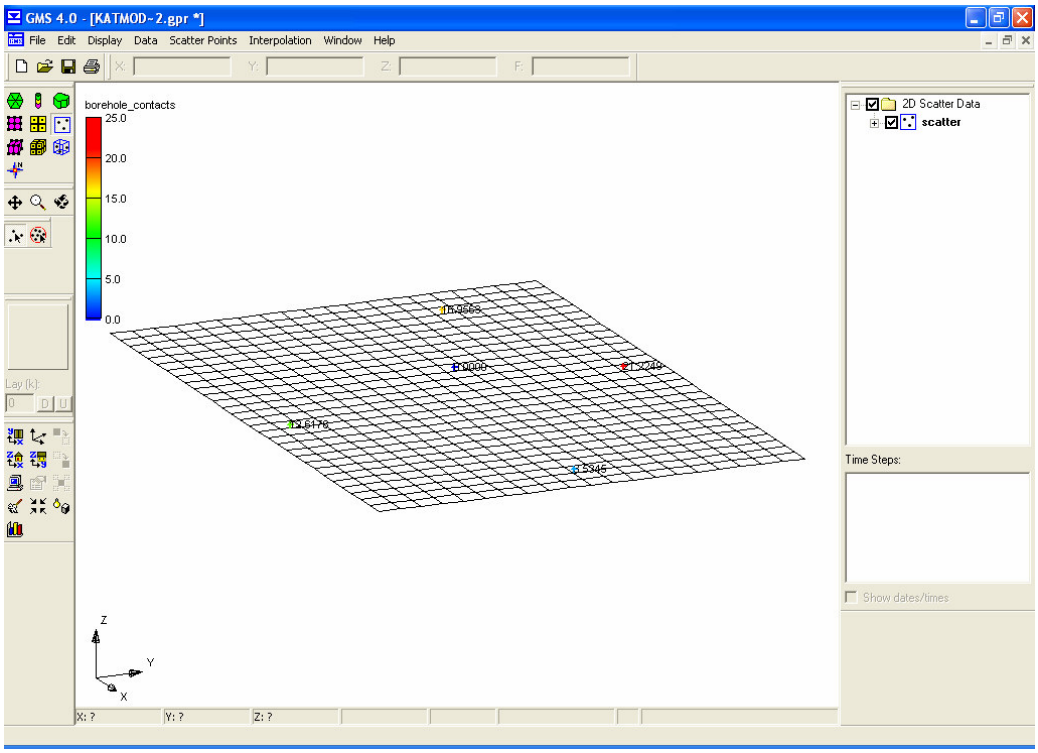
Jeoistatistik özellikle bölge belirlemelerinde çok faydalıdır. Örneğin ince bir akiferden alınan ‘xyc’ yayılı noktalarında ‘xy’ konum, ‘c’ ise derişimi gösterir. Bu ‘xyc’ yayılı noktalarından derişimler aradeğerlenerek gridlenir ve gridler konturlanarak kirleticiyi gösteren bir harita üretilebilir [13;14].

Kuyulardan oluşturulmuş yayılı noktalar oluşturulduktan sonra 2 Boyutlu Yayılı Nokta Modülü tıklanarak bu yayılı noktaların düzenlenmesine geçilir. İlk olarak menüden Display->Display Options seçilerek yayılı noktaların görsellikleri düzenlenir.

Sonra bu noktalara ait bir sınır gridi oluşturulur. Menüden Scatter Points->Bounding 2D Grid seçilip gerekli ayarlar yapılarak (Şekil 6.17) sınır gridi oluşturulur (Şekil 6.18).

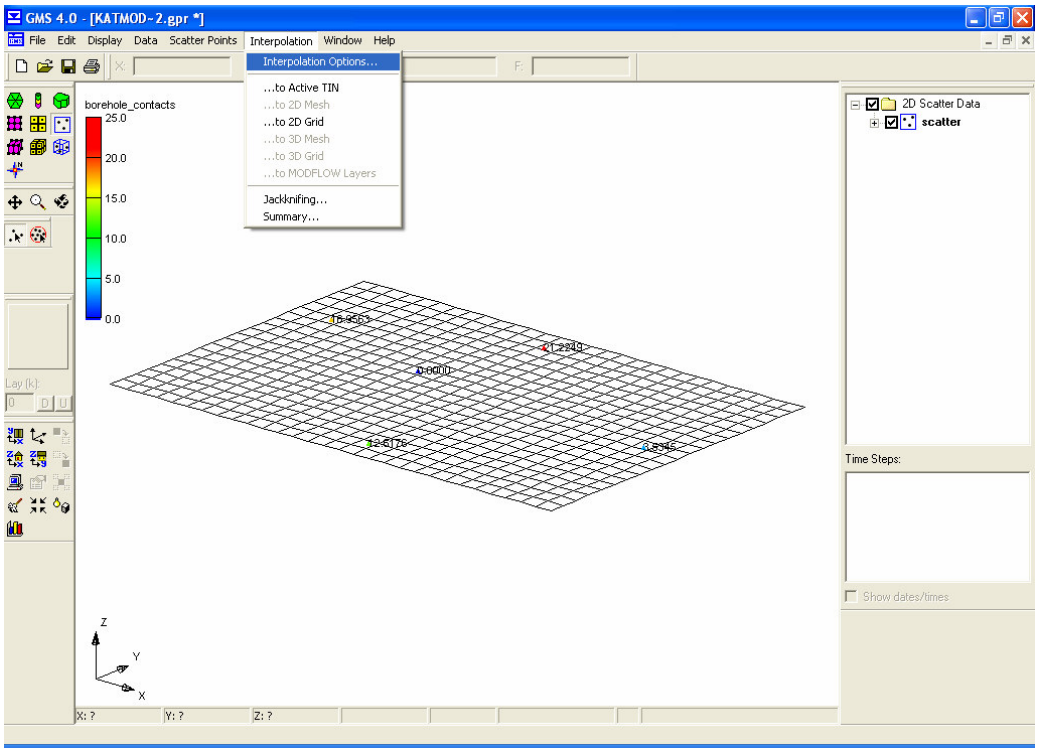


Şekil 6.17: 2 Boyut grid oluşturmak için gerekli ayarların düzenlenmesi.



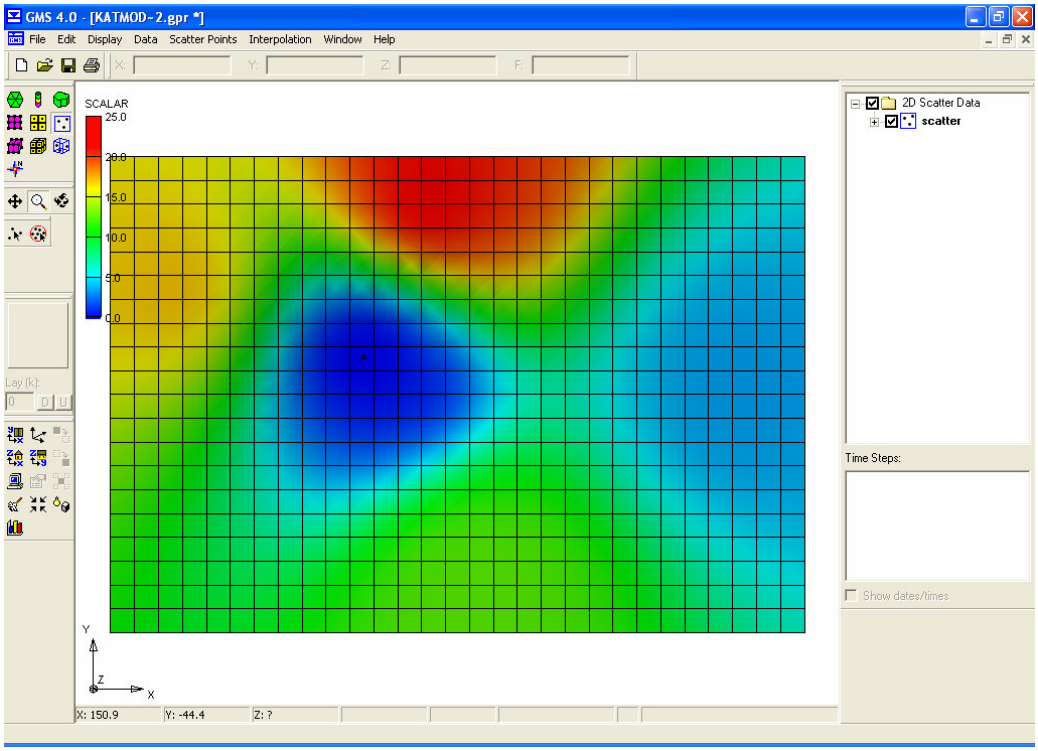
Şekil 6.18: Tüm ayarların düzenlenmesi ile oluşturulmuş grid.

Grid oluşturulduktan sonra aradeğer atama şemalarından amaca, içeriğe ve isteğe bağlı olanı seçilir. GMS çeşitli aradeğerleme şemalarını destekler. Bunlar; Linear, Inverse distance weighted (IDW), Clough-Tocher, Natural neighbor ve Kriging'dir [13;14]. Aradeğerleme şemalarının seçilmesi için menüden Interpolation->Interpolation Options seçilir (Şekil 6.19).



Şekil 6.19: Aradeğerleme şemalarının seçilmesi.

Bu bölümde örnek olarak Inverse distance weighted (IDW) aradeğerleme kullanılarak oluşturulan 2 Boyut jeoistatistik anlatılacaktır. Aradeğerleme şema seçimi tıklanarak IDW seçildikten sonra menüden Interpolation -> to 2D Grid seçilir ve yeni veri birliğinin adı yazılırak oluşturulur. IDW ile oluşturulmuş 2 Boyut jeoistatistik harita Şekil 6.20'de gösterilmiştir.

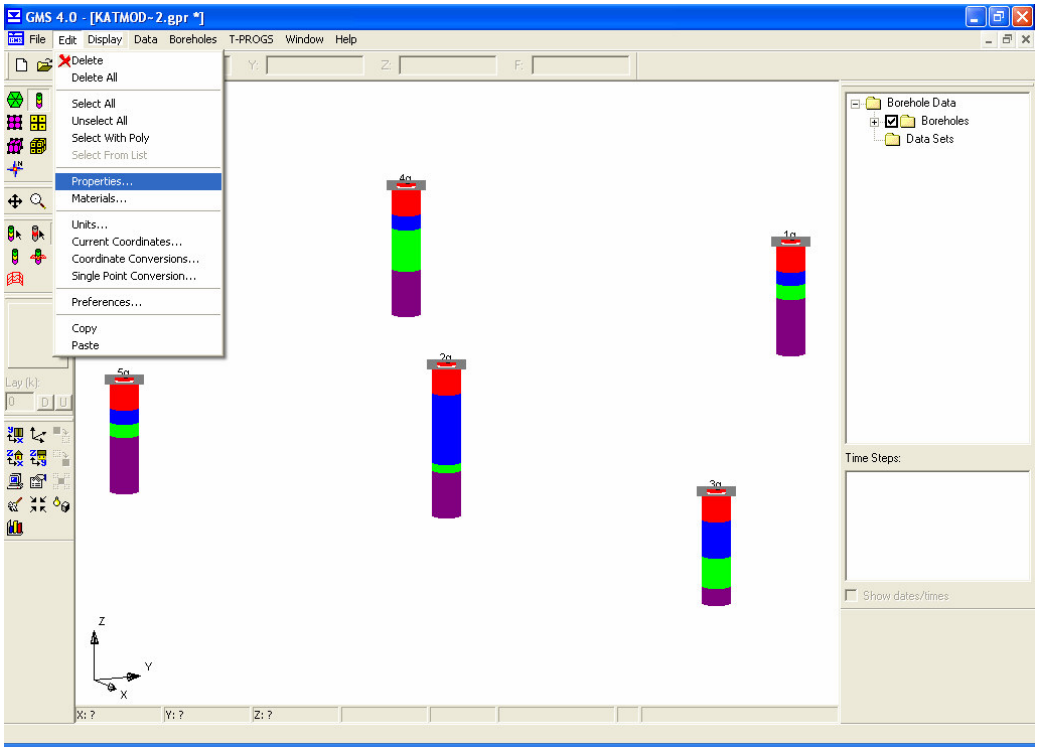


Şekil 6.20: Inverse distance weighted (IDW) ile oluşturulmuş 2 Boyut jeoistatistik harita.

6.3.6 Kuyular İle Katı Model Yapımı

Hazırlanmış kuyulardan katı model yapımı için Kuyu Modülü, Harita Modülü ve Katı Modülü kullanılır. GMS kuyulardan katı model oluşturmak için birçok yöntemi kullanmaya olanak sağlar [1]. Bu bölümde kavramsal model oluşturulurken kullanılan yöntem ile katı model yapımı anlatılacaktır.

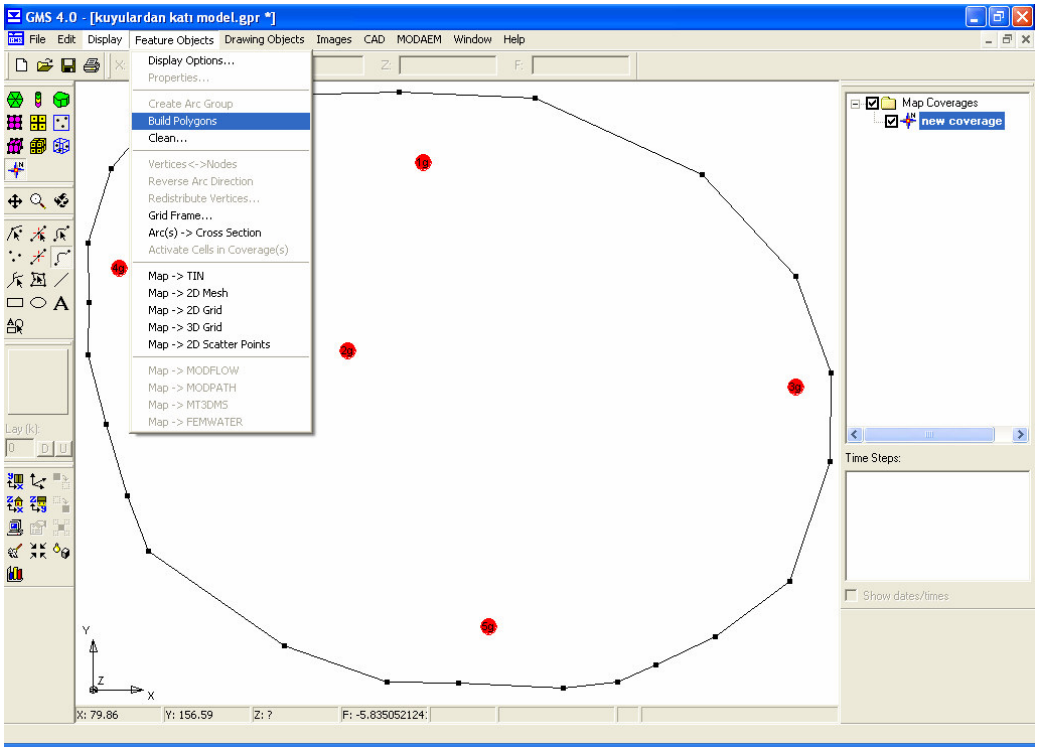
İlk önce Kuyu Modülü aktif edilir ve dinamik araç paletinden 'Select Contacts' seçilir. Sonra istenilen dokanak noktası seçilip menüden Boreholes->Auto Select seçilir (Şekil 6.11). Daha sonra menüden Edit->Properties seçilerek seçili olan dokanaklara ait bir ufuk değeri atanır (Şekil 6.21). Bu işlem tüm dokanaklar için uygulanır [13;14].



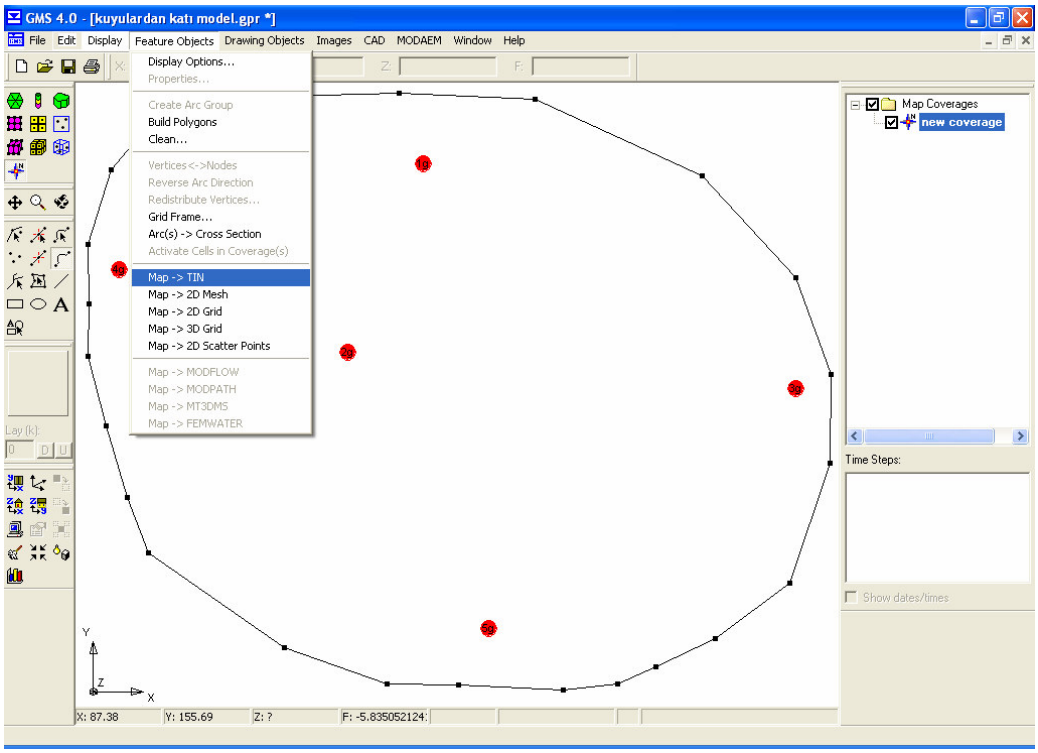
Şekil 6.21: Seçili dokanaklara ufuk değeri atanması.

Ufuk değerleri atandıktan sonra katı modelin sınırlarını belirleyen ÜDA oluşturulması gereklidir. ÜDA Harita Modülü kullanılarak yapılacaktır. İlk önce Harita Modülü aktif edilir. Sonra aktif modül bilgilerindeki (Şekil 6.1) veri ağacında bulunan 'Map Coverages' sağ tıklanarak yeni bir koveraj oluşturulur (Şekil 6.22). Yeni koveraj sağ tıklanarak özelliklerinden koveraj tipi olarak SEEP2D seçilir. SEEP2D 2 Boyutlu ağları kullanarak akım birliklerini belirlemek için kullanılan modeldir [13;14]. Önce 2 Boyutlu ağ oluşturulup daha sonra ÜDA'lara dönüştürülecektir.

Makrolardan plan görüntüsü seçildikten sonra dinamik araç paletinden 'Create Arc Tool' seçilir ve tüm kuyuları kapsayan bir poligon çizilir. Sonra menüden Feature Objects->Build Polygons seçilerek poligon oluşturulur (Şekil 6.22). ÜDA oluşturmak için de menüden Feature Objects->Map->TIN seçiler (Şekil 6.23).

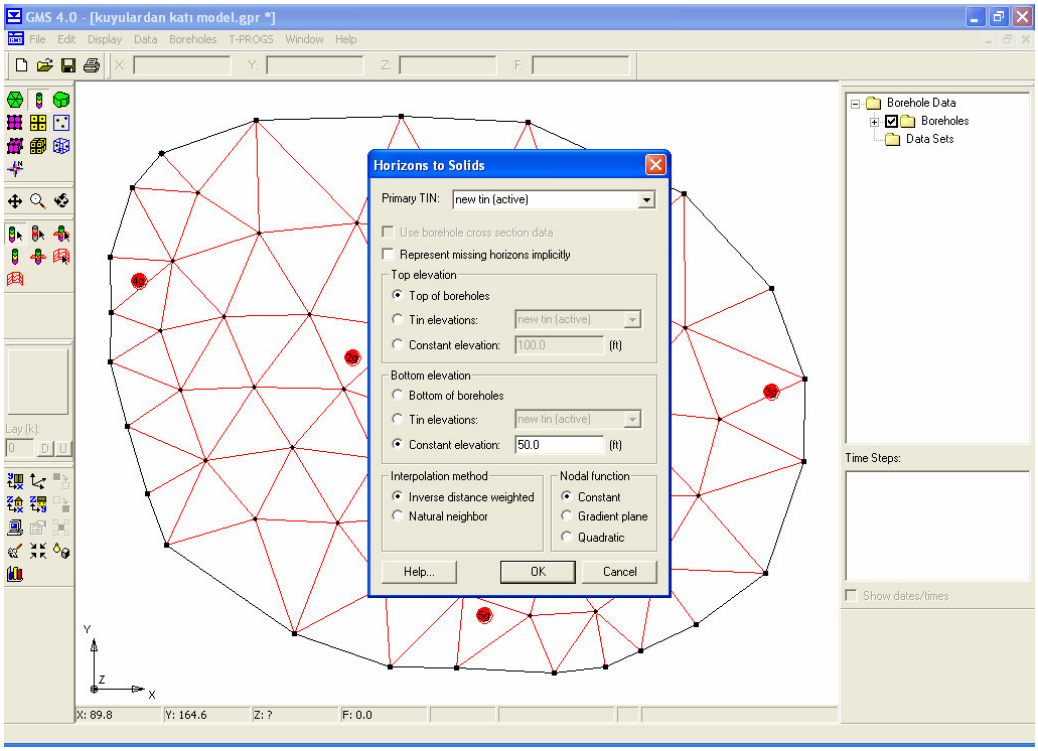


Şekil 6.22: ÜDA yapımı için poligon oluşturma



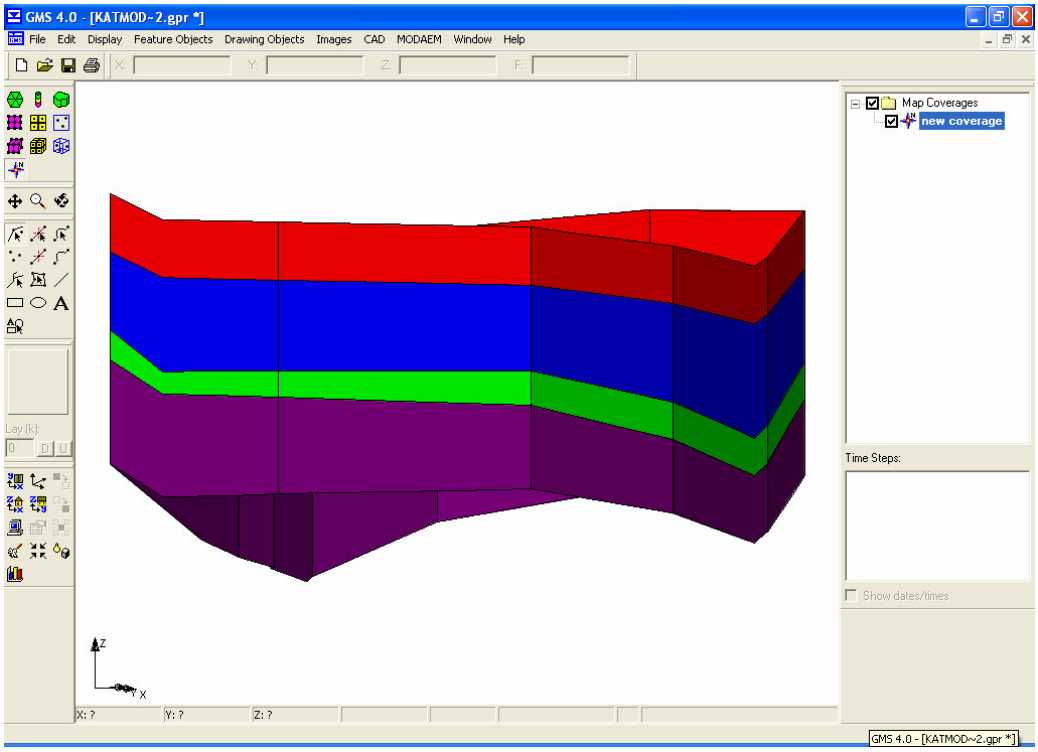
Şekil 6.23: Katı model oluşturmak için ÜDA yapımı.

Artık kuyulardan katı model oluşturulabilir. Bunun için önce Kuyu Modülü aktif edilir. Sonra menüden Boreholes->Horizons->Solids seçilerek açılan menüde gerekli düzenlemeler yapılır ve katı model oluşturulur (Şekil 6.24).



Şekil 6.24: Ufuk değerlerinden katı model oluşturmak için yapılması gereken ayarlar.

Ayarlar yapıldıktan sonra GMS otomatik olarak katı modeli oluşturur. Oluşturulan katı modele ait detay görüntülerin alınması için eğik bakış açısı seçilir ve makrolardan 'shade' tıklanarak model için belirlenmiş litolojilerin renklendirilmesi yapılır (Şekil 6.25).

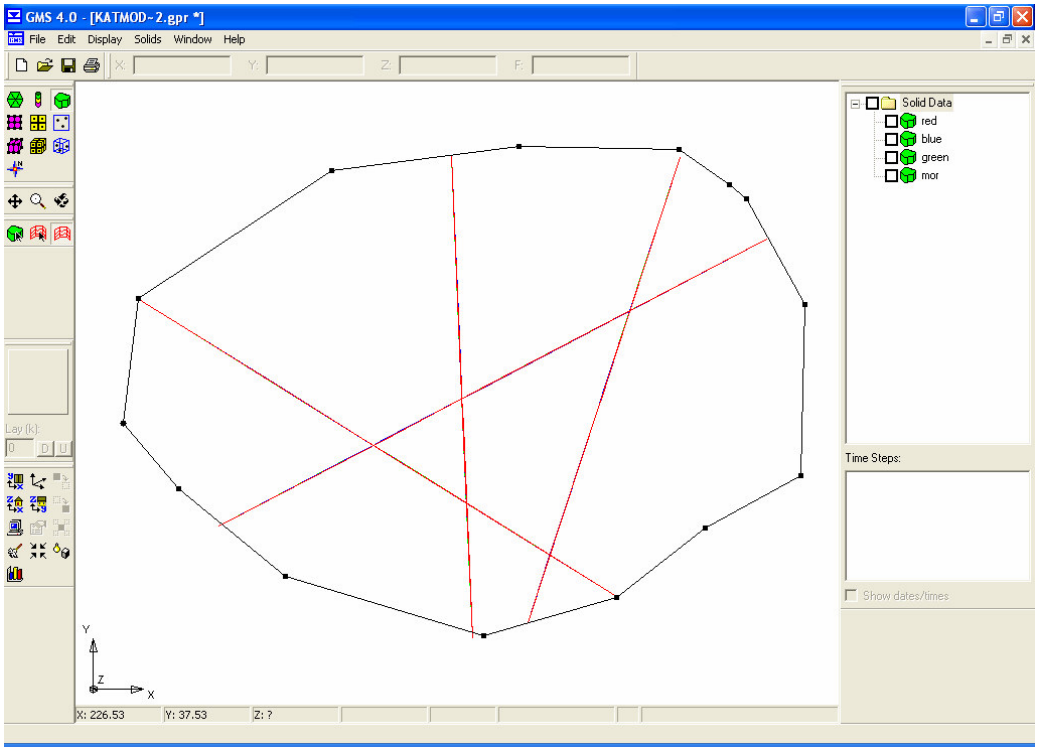


Şekil 6.25: Otomatik olarak oluşturulmuş katı model, eğik bakış açısı.

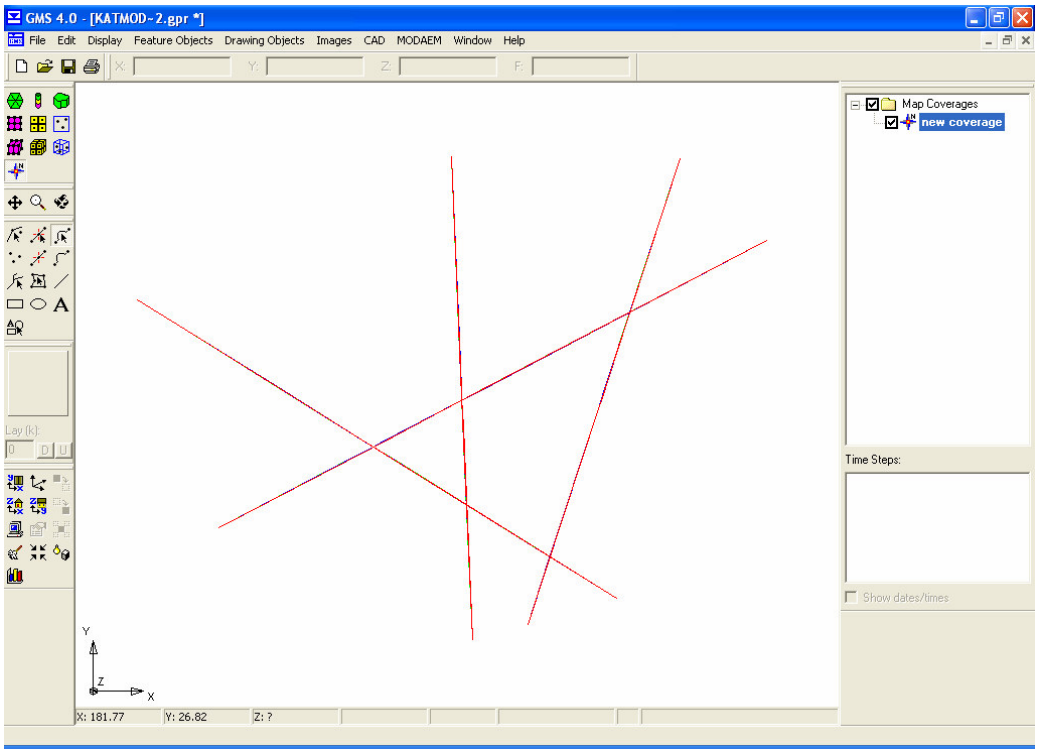
6.3.7 Katı Model İle Enine Kesit Yapımı

Katı model oluşturulduktan sonra, modelin istenilen yerinden sayısız enine kesitler alınabilir [13;14]. Enine kesit alımı için önce Katı Modül aktif edilir. Sonra plan görüntüsüne geçilir ve dinamik araç paletinden 'Create Cross Section' tıklanır. Model üzerinde istenilen yerler tıklanarak enine kesitlerin alınacağı doğrultular belirlenir (Şekil 6.26). Belirlenen kesitin bitirilmesi için fare ile iki kez tıklanması gerekir.

Kesit doğrultuları belirlendikten sonra katı model renksizleştirilir ve enine kesitler açık bir şekilde görüntülenebilir. Bunun için önce dinamik araç paletinden 'Select Solids' seçilir, sonra menüden Edit->Select All tıklanır. Daha sonra makrolardaki 'Hide' tıklanarak katı model renksizleştirilir, böylece ekranda sadece enine kesitlerin doğrultu izleri kalır (Şekil 6.27).

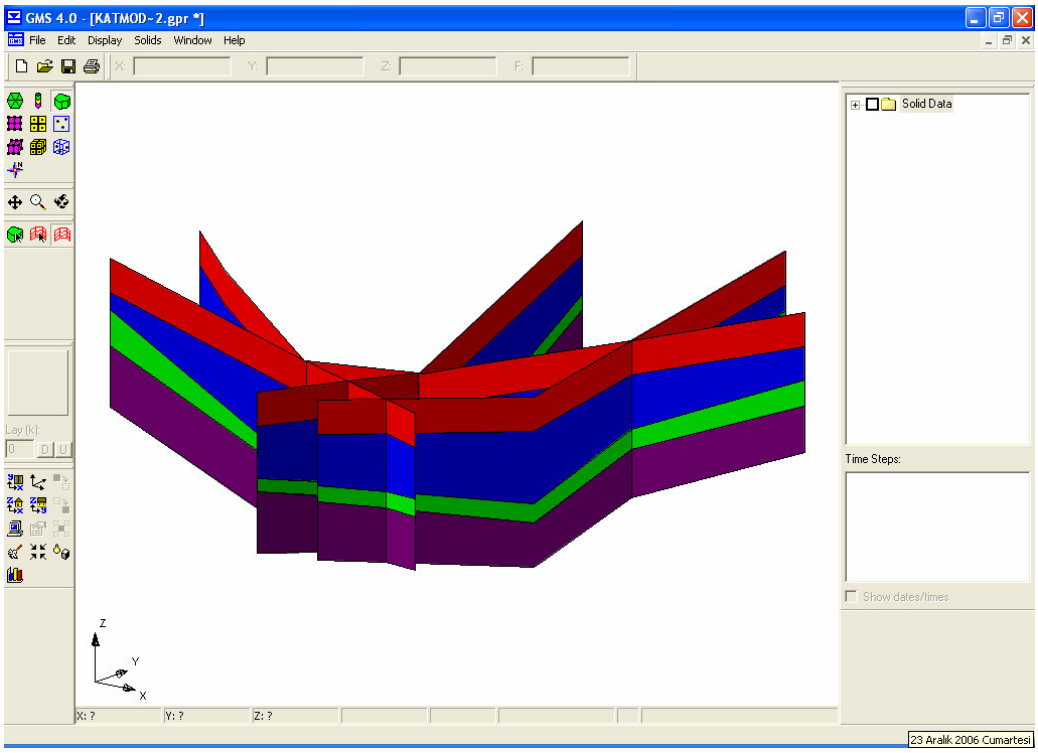


Şekil 6.26: Katı modelden enine kesit oluşturma

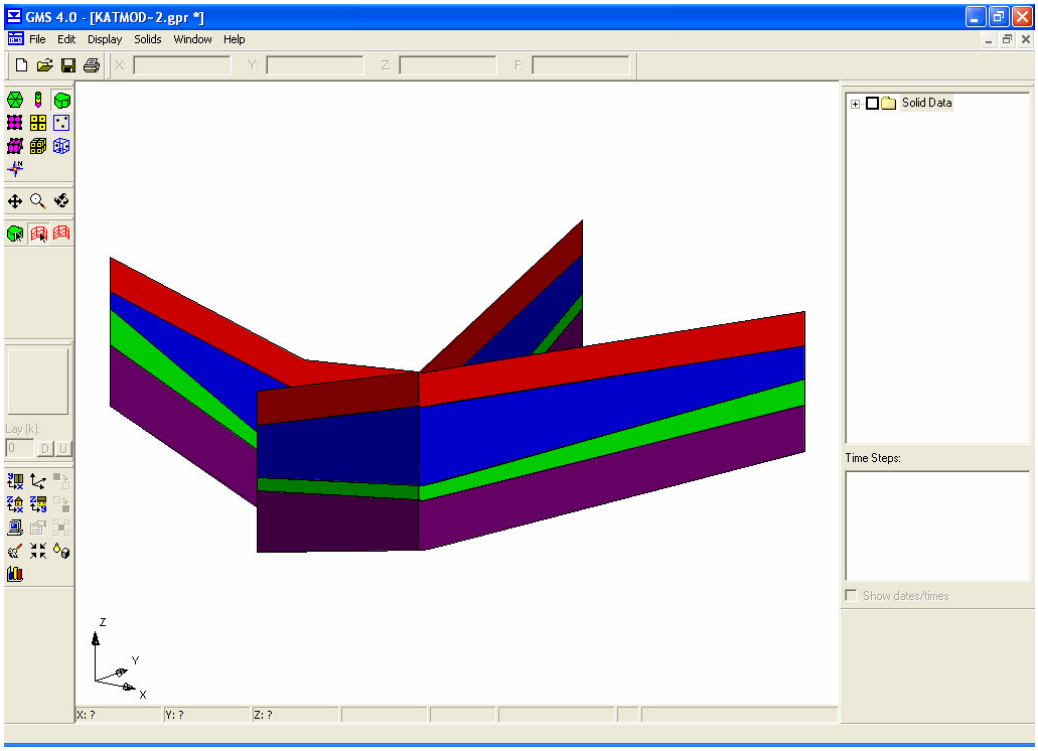


Şekil 6.27: Enine kesitlerin doğrultu izleri

Enine kesit görüntüleri eğik bakış açısı ile açık bir şekilde görüntülenebilir (Şekil 6.28). Kesitler statik araç paletindeki 'Rotate' tıklanarak istenilen açıdan görüntülenebilir. Alınan enine kesitlerden istenmeyenler dinamik araç paletindeki 'Select Cross Sections' tıklanarak seçilir ve makrolardaki 'Hide' ile renksizlendirilir (Şekil 6.29).



Şekil 6.28: Katı modelden alınmış enine kesitler, eğik bakış açısı.



Şekil 6.29: İstenmeyen enine kesitlerin gizlenmesi ile görüntülenen enine kesitler.

6.4 Çalışma Alanında Yapılan Modeleme

Yeraltısuyunun zaman ve konum içindeki değişiminin belirlenmesi, sayısal çözümleme yöntemleri ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada, bu çözümleme yöntemlerinden biri olan ve yaygın olarak kullanılan 'Sonlu Farklar Yaklaşımı' ile yeraltısuyu akım denklemlerini çözen MODFLOW kullanılmıştır. Öncelikle çalışma alanına ait kavramsal modelin uygulandığı MODFLOW arayüzü hakkında kısa bilgiler verilecektir. Daha sonra ise yapılan modelleme aşama aşama anlatılıp yapılabilecek uygulamalar anlatılacaktır.

6.4.1 Modflow Arayüzü Hakkında Bilgiler

Yeraltısuyu akım denklemini çözmek için, MODFLOW (Modular three-dimensional finite-difference groundwater FLOW) kullanılmıştır. MODFLOW, hidrojeoloji alanında çok geniş kullanım alanına sahip yeraltısuyu akımı benzeşim programı olup, United States Geological Survey (USGS) tarafından geliştirilen ve yeraltısuyu sistemlerindeki genel özellikleri benzeştiren modüler sonlu-farklar akım modelidir. MODFLOW, doygun akım koşullarında, Darcy yasasının geçerli olduğu, yeraltısuyu yoğunluğunun sabit olduğu ve hidrolik iletkenlik ve transmisivitenin zamanla

değişmediği durumlar için, akifer sistemlerini benzeştirmek amacı ile tasarlanmış bir programdır. MODFLOW, girdi verilerini akifer sistemindeki yeraltısuyu akım denklemlerini çözmek için kullanmaktadır. Çözüm, akifer sistemindeki her bir hücre için değişik zaman adımlarındaki hidrolik yük değerlerini (yeraltısuyu seviyesi) vermektedir. MODFLOW, yeraltısuyu akımı kısmi diferansiyel eşitliğini hidrolik yük çözmektedir [1].

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\mathrm{Kxx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(Kyy\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(Kzz\frac{\partial h}{\partial z}\right)+W=Ss\frac{\partial h}{\partial t} \qquad \textbf{(6.1)}$$

Kxx, Kyy, Kzz = Hidrolik iletkenlik katsayısının x, y, z koordinat eksenlerindeki bileşenleri ($L\ T^{-1}$)

h = Hidrolik yük (L)

W = Hacimsel su katkısı/kaybı (T^{-1})

S_s = Özgül depolama (L^{-1})

t = Zaman (T)

MODFLOW, yeraltısuyu akım denklemini çözmek için sonlu farklar yaklaşımını kullanmaktadır. Yeraltısuyu akım eşitliğinin sonlu farklar yaklaşımı ile yeniden düzenlenmesi, diferansiyel matematik kurallarının kullanımının dışında, akımın fiziksel tanımından hareketle süreklilik ve momentum denklemleri kullanılarak da sağlanabilir. Sonlu farklar yaklaşımının üç boyutlu problemlere uygulanabilirliğinin basit ve kolay olması, bu yaklaşımın yeraltısuyu modellemesinde çok geniş alanlarda kullanılmasını sağlamaktadır. MODFLOW, (6.1)'i her bir hücre için sonlu farklar metodunu kullanarak aşağıdaki doğrusal denkleme dönüştürmektedir [1]:

$CR_{i,j-1/2,k}(h^m_{i,j-1,k}-h^m_{i,j,k})+CR_{i,j+1/2,k}(h^m_{i,j+1,k}-h^m_{i,j,k})+$

$CC_{i,j-1/2,k}(h^m_{i,j-1,k}-h^m_{i,j,k})+CC_{i,j+1/2,k}(h^m_{i,j+1,k}-h^m_{i,j,k})+$

$CV_{i,j-1/2,k}(h^m_{i,j-1,k}-h^m_{i,j,k})+CV_{i,j+1/2,k}(h^m_{i,j+1,k}-h^m_{i,j,k})+$

$P_{i,j,k}h^m_{i,j,k}+Q_{i,j,k}=S_s(\Delta R_j.\Delta C_i.\Delta V_{i,j,k})[(h^m_{i,j,k}-h^{m-1}_{i,j,k})/(t^m-t^{m-1})]$

$h^m_{i,j,k}$=i,j,k hücrelerindeki m zaman adımındaki yük değerleri (L)

CV, CR, CC=i,j,k düğüm noktaları ve komşu düğüm noktaları arasındaki hidrolik iletimlilik (L^2T^{-1})

$P_{i,j,k}$=Katkı/kayıplardaki hidrolik yük katsayılarının toplamı

$Q_{i,j,k}$ = Katkı/kayıplardaki katsayıların toplamı (L^3T^{-1})

S_s = Özgül depolama (L^{-1})

ΔR_j = Tüm satırlardaki j kolonunun hücre genişliği (L)

ΔC_i = Tüm kolonlardaki i satırının hücre genişliği (L)

$\Delta V_{i,j,k}$ = i, j, k hücresinin düşey kalınlığı (L)

t^m = m zaman adımındaki zaman (T)

Sonlu farklar modelleri hücre merkezli ya da ağ merkezli olarak tanımlanmaktadır. MODFLOW, hücre merkezli sonlu farklar gridlerini kullanır [1]. Hidrolik özellikler her bir hücre için belirlenmekte ve hücre içerisinde değişmediği kabul edilmektedir. Bu hücreler birbirlerinden grid çizgileri ile ayrılmaktadır. Yeraltısuyu taşınım süreçlerinin modellenmesinde kullanılan tanecik izleme yaklaşımına ait tekbiçimli grid boyutları gerekmektedir. Bu yüzden kuyu ve sınırlar çevresinde daha ince bir ağ oluşturularak, kuyu ve sınırlar için daha sık gridler yapılır.

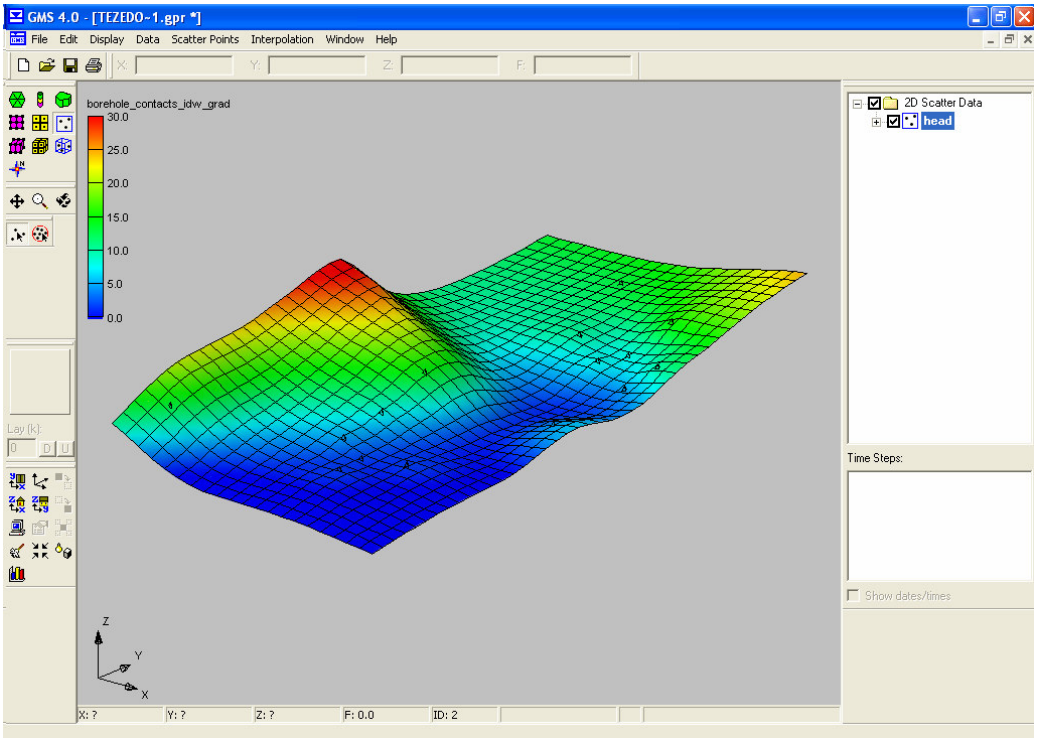
MODFLOW'un modüler yapısı ana program ve modül olarak bilinen birbirinden bağımsız birkaç alt yordamı içerir. Modüller paketler halinde gruplanmıştır. Her paket belirli bir hidrolojik sistemin özelliklerinin çözümlemesi için hazırlanmıştır. MODFLOW'un modüllere bölünmüş olması modelin belirli hidrolojik özelliklerinin bağımsız bir şekilde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu da modelin geliştirilmesi için gerekli eklemelerin yapılmasında çok kolaylık sağlar, çünkü yeni bir modül veya paket önceki modül ve paketlerde bir düzenlemeye gerek kalmadan programa eklenebilir [1].

6.4.2 Bakırköy Havzasının Hidrojeolojik Modeli

Bu bölümde Bakırköy havzasının hidrojeolojik modelinin yapımı, GMS ile kavramsal model oluşturma aşamalarının da anlatılması ile hazırlanmıştır. GMS ile iki farklı yaklaşım kullanılarak MODFLOW simulasyonları yapılabilir. Bunlar; grid yaklaşımı ve kavramsal model yaklaşımıdır. Grid yaklaşımında doğrudan 3 Boyut ile çalışılır ve tüm model parametreleri hücre-hücre uygulanır. Kavramsal model yaklaşımında ise Harita Modülü ile Coğrafi Bilgi Sistem (GIS) araçları kullanılarak modellenecek bölgeye ait kavramsal modelin geliştirilir. Kavramsal model aşamasında kaynakların yerleri, formasyon parametreleri (hidrolik iletkenlik vb.), model sınırları, ve diğer tüm gerekli veriler tanımlanabilir. Kavramsal model tamamlandıktan sonra grid üretilebilir ve kavramsal modele ait tüm hücre-hücre

atanmış değerlerin grid modele otomatik olarak dönüşümü gerçekleştirilir. Kavramsal model içerisindeki veriler daha sonra gridlere kopyalanır. Çoğu zaman, kavramsal model yaklaşımı grid yaklaşımından daha verimlidir. Yine de, grid yaklaşımı basit problemler ve hücre-hücre düzenleme gerektiren akademik çalışmalar için kullanışlıdır. Çalışma alanı olan Bakırköy havzasının modellenmesi için GMS ile birlikte kullanılan MODFLOW kavramsal model yaklaşımı kullanılmıştır.

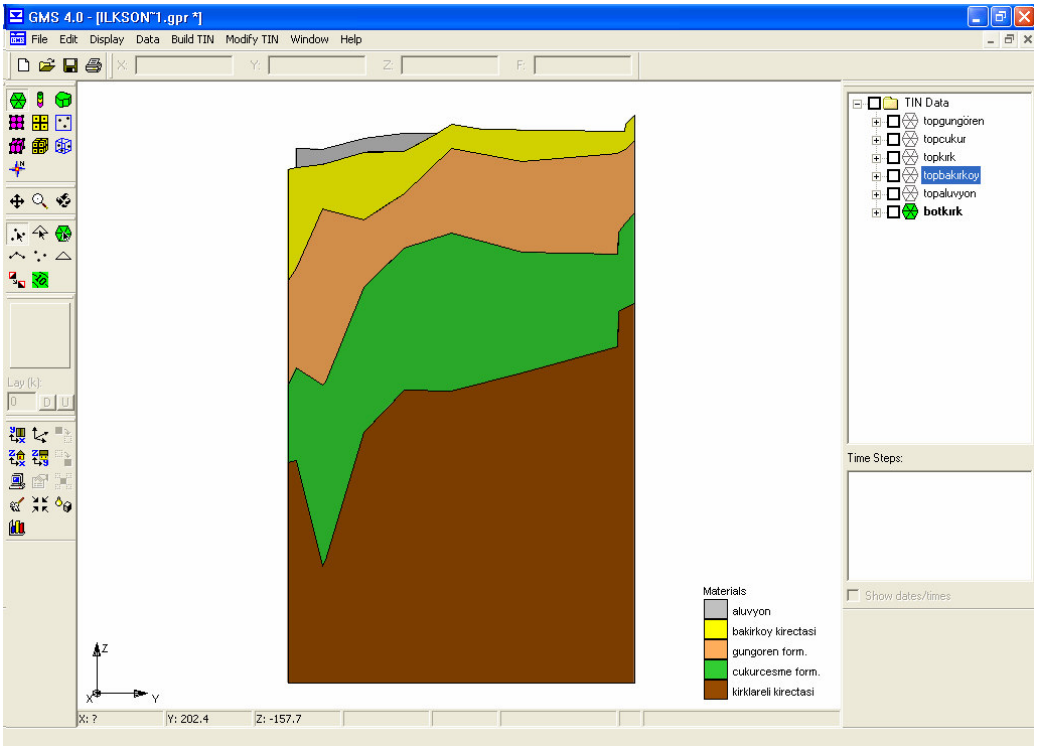
İlk önce problemin tanımı yapılacaktır. Bu çalışmada çözülecek problem Şekil 4.3.'teki gibidir. Çalışma alanı Bakırköy ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Önce akiferin durumu belirlenecek, sonra da yapılacak çekim ve pompajlar neticesindeki yeni durumu değerlendirilecektir. Simülasyon sonuçları grafik olarak gösterilecektir. Yükseklik farkı yaklaşık 30m olan ve fazla engebeli bir topografyaya sahip olmayan havza içerisindeki yeraltısuyu akışı modellenecektir (Şekil 6.30).



Şekil 6.30: Çalışma alanı ve civarının yüzey topografyası

Bölgede fazla kot farkı bulunmadığı gibi herhangi bir su kaynağı da yoktur, bununla birlikte su noktası olarak sadece genel kullanım amaçlı açılmış kuyular bulunmaktadır. Bölgeye ait tipik K-G enine kesiti Şekil 6.31'de gösterilmiştir. Bölge tabanda karstik kireçtaşından oluşan Kırklareli kireçtaşı bunun üzerine gelen ve

akiferi oluşturan kum özellikli Çukurçeşme formasyonu, akiferin üstünde kil ve marnlardan oluşan Güngören formasyonu, üstünde kireçtaşından oluşan Bakırköy formasyonu ve bunların üzeri güncel çökeller ile örtülüdür. Altta ve üstte geçirimsiz tabakalar arasında bulunan akifer basınçlı bir akiferdir ve bu şekilde modellenecektir. Bu yüzden sisteme giren tüm beslenimin besleme kuyularından olduğu kabul edilecektir. Ayrıca bölgede 15 adet kuyu bulunmaktadır, bunlar model içerisinde çekim veya pompalama kuyuları olarak kullanılacaktır.

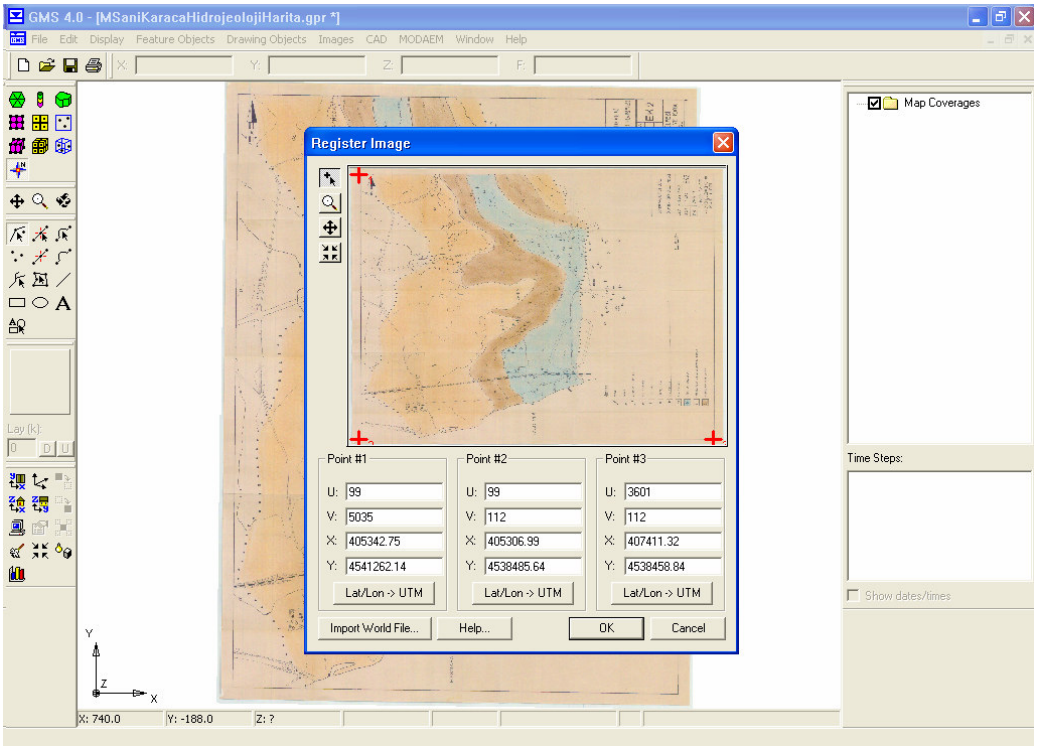


Şekil 6.31: Bölgeye ait K-G enine kesiti

Problem tanımlandıktan sonra, kavramsal model için gerekli modül ve arayüzler belirlenmelidir. Bunlar; Harita Modülü, Grid Modülü ve MODFLOW arayüzüdür.

Problemin çözülmesi için ilk aşama modellenecek bölgeye ait resmin dahil edilmesidir. Resim bir kez GMS'ye dahil edildikten sonra, arka plan olarak görülebileceği gibi sayısallaştırma ve model özelliklerini atama için rehber olabilir. Resmin dahil edilmesi için menüden File->Open seçilir ve resim dahil edilir. Resim dahil edildikten sonra, yeri değiştirilebilir, büyütülüp küçültülebilir ve tekrar düzenlenebilir. TIFF uzantılı resim GMS'ye ilk kez dahil edildiğinde kayıt edilmesi gereklidir. Kayıt resim üzerinde gerçek dünya koordinatları bilinen üç noktaya bu değerlerin atanması ile gerçekleştirilir. Böylece resmin gerçek koordinatlara uygun

olması sağlanır. Bu işlemlerden sonra TIFF dosyası, resim dosyası olarak kaydedilir. Arka plan resmi GMS'ye dahil edildikten sonra kavramsal modelde kullanılacak birimler belirlenmelidir. Menüden Edit->Units seçilerek birimler belirlenir. Bu çalışmada birimler "m/s" olarak belirlenmiştir.



Şekil.6.32: Arkaplan resminin GMS'ye kayıt işlemi

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra kavramsal model yapımına hazır hale gelinmiş olur. Bunun için Harita Modülündeki 'Feature Objects' kullanılır ve bunlar daha sonra Coğrafi Bilgi Sistem (GIS) nesnelerine dönüştürülür. Şekil nesneleri (Feature Objects); nokta (point), aranokta (vertex), uçnokta (node), yay (arc) ve poligonlardan (polygon) oluşur. 'xy' koordinatları bilinen noktalar bir yay'a bağlı değildir. Noktalar bağımsız birimlerdir ve nitelik/nicelik atanabilir. Noktalar genel olarak kuyuları göstermek için kullanılırlar. Yaylar, çizgi katmanları veya köşelerinin bir arada gruplandırılması ile oluşan birimlerdir. Yaylar bağımsız çoğul çizgi birimleridir ve nitelik/nicelik atanabilir. Yaylar, poligonlar olarak gruplandırılabilir veya bağımsız olarak düzlemsel özellikler (nehir vb.) yansıtabilirler. Bir yayın iki son noktası uçnokta ve ara noktaları da aranokta olarak adlandırılır. Uçnoktalar bağımsız birimlerdir ve nitelik/nicelik atanabilir. Aranoktalar ise genellikle yayın geometrisinin belirlenmesinde kullanılırlar. Şekil nesneleri koverajlar olarak

gruplandırılabilirler. Her bir koveraj belirli bir veri grubunu gösterir[13;14]. Bölge için hazırlanan kavramsal model üç koveraj içerecektir: model sınırını ve kaynağını belirleyen koveraj, beslenimi belirleyen koveraj ve hidrolik iletkenliği belirleyen koveraj. Akifere ait değerler sondaj kuyularının dokanaklarından oluşturulmuş 2B yayılı nokta birliklerinden tanımlanacaktır.

Kavramsal model yapımının ilk adımı kaynak/boşalım koverajını oluşturmaktır. Bu koveraj bölgenin sınırlarını tanımlar. Ayrıca kuyu, nehir, dren ve genel uç sınırları içerir. GMS'de her koveraj, kendine ait belirlenmiş tipe göre değerler alır ve işlemler uygulanabilir. Harita Modülü aktif edilip, aktif modül bilgilerinde "Map Coverages" sağ tıklanarak yeni bir koveraj oluşturuldu. Bu yeni koverajın adı "Kaynak" olarak değiştirilerek, "default elevation=130" girildi. Son olarak da koveraj tipi "MODFLOW/MT3D/MODPATH" olarak değiştirildi.

Bu aşamalardan sonra modele ait dış sınırların belirlenmesine geçilir. Önce Dinamik Araç Paletinden "Create Arc" seçilip, tüm sınır belirlendi.

Sınırlar belirlendikten sonra, bu koveraj model için kullanılacak koveraj adedi kadar kopyalanır. Çalışmamızda Kaynak, Hidrolik Iletkenlik ve Beslenme olarak toplam üç adet koveraj kullanıldı. İlk kopya olarak Hidrolik İletkenlik koverajının yapımı için Kaynak koverajı sağ tıklanıp "duplicate" seçeneği ile kopyalama gerçekleşti. Sonra bu koverajın adı Hidrolik Iletkenlik olarak değiştirildi. Koveraj tipi de "MODFLOW/MT3D/MODPATH layer properties" olarak değiştirildi. Son kopya olarak Beslenme koverajının yapımı için Hidrolik Iletkenlik koverajı sağ tıklanıp "duplicate" seçeneği ile kopyalama gerçekleşti. Sonra bu koverajın adı Beslenme olarak değiştirildi. Koveraj tipi de "MODFLOW/MT3D areal properties" olarak değiştirildi.

Belirlenen sınırlar üzerinde bilinen uç noktalar belirlenerek model için kullanılmış yaylara ait uç noktalar tanımlanır. Bunun için Kaynak koverajı aktif edilir ve Dinamik Araç Paletinden "Select Vertices" seçilir. Sınır üzerinde belirlenecek uçlar Shift tuşu kullanılarak seçildi. Bu noktalar menüden Feature Objects->Vertices<->Nodes tıklanarak birer uçnokta haline getirildi. Bu işlemden sonra sınırı belirleyen yay belirlenen noktalar kadar yaylara bölündü. Bu arayayların özelliklerinin belirlenmesi için Dinamik Araç Plaetinden "Select Arcs" tıklandı ve Shift tuşu kullanılarak tüm yaylar seçildi. Tüm arayaylar seçili iken menüden Feature Objects->Properties->Specified Head tıklandı. Bu aşamadan sonra yayların rengi değişti,

artık uçnoktalar belirlenebilir. Bunun için Dinamik Araç Paletinden "Select Points/Nodes" seçilir ve uçnoktalar tek tek tıklanarak değerler atanır.

Şimdi bölgede varsa dren ve nehirler belirlenir. Bunlara ait özellikler atanıp değerleri belirlenebilir. Çalışma alanımızda hiçbir dren veya nehir bulunmamaktadır.

Koverajlar oluşturulduktan sonra hepsi poligonlar haline getirilir. Poligonlar grid içerisindeki aktif bölgenin tanımlanması ve değerlerinin atanmasını sağlar. Poligon oluşturmak için istenen koveraj aktif edilir ve menüden Feature Objects->Build Polygons seçilir. Kaynak koverajı içerisinde yapılacak son aşama kuyuların belirlenmesidir. Bunun için bölgenin belirli yerlerinde "x,y" koordinat noktaları bilinen toplam 15 adet kuyu kullanılmıştır. Kuyu oluşturmak için Dinamik Araç Paletinden "Create Point" seçilir ve ekranda herhangi bir yere tıklanır daha sonra ekranın üzerindeki "x" ve "y" kutularına kuyuya ait "x" ve "y" koordinatları ENTER veya TAB tuşları ile atanır. Tüm kuyular oluşturulduktan sonra, hepsi seçilerek menüden Feature Objects->Properties->Well seçilir. Dinamik Araç Paletinden "Select Points/Nodes" seçili iken çekim veya pompalama değerleri belirlenecek kuyu çift tıklanır ve açılan menüde yapılan çekim veya pompalama miktarı girilir.

İkinci aşama olarak bölgeye ait Beslenme koverajının yapılması ve değerlerinin atanması gelir. Bunun için Beslenme koverajı aktif edilir ve poligon oluşturmak için menüden Feature Objects->Build Polygons seçilir. Sonra, Dinamik Araç Paletinden "Select Polygons" seçilir ve ekrandaki poligon alanına çift tıklanır. Açılan menüde bölgeye ait beslenme değeri girilir, çalışma alanına ait beslenme değeri "7.07e-009" olarak girildi.

Üçüncü ve son aşama olarak Hidrolik Iletkenlik koverajının yapılması ve değerlerinin atanması gelir. Bunun için Hidrolik Iletkenlik koverajı aktif edilir ve poligon oluşturmak için menüden Feature Objects->Build Polygons seçilir. Sonra, Dinamik Araç Paletinden "Select Polygons" seçilir ve ekrandaki poligon alanına çift tıklanır. Açılan menüde bölgeye ait hidrolik iletkenlik değerler girilir, çalışma alanına ait girilen değerler aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.1 Kavramsal modeldeki Hidrolik iletkenlik koverajına ait veriler.

Horizontal K	0.00006(m/s)
Vertical Anisotropy	5
Specific storage	30 (1/m)
Specific yield	27
Aquifer porosity	38

Böylece kavramsal modele ait koverajların yapımı ve değerlerinin atanması yapılmıştır. Bundan sonra grid oluşturulacaktır. Bunun için önce Kaynak koverajı aktif edilir sonra menüden Feature Objects->Grid Frame->New Frame seçilir. Oluşturulan grid fare yardımı ile sürüklenerek veya açılan menüde "x,y,z" değerlerini değiştirerek düzenlenebilir. Açılan menüde "Origin Z: -160" ve "Dimensions Z:190" olarak girildi. Bu düzenlemelerden sonra menüden Feature Objects->3D Grid seçilerek 3 Boyut Grid oluşturuldu. Bu aşamada yine "x,y,z" boyutlarında görüntülenecek hücre sayısı belirlenebilir. Hücre sayıları "X=10, Y=10, Z=1" olarak belirlendi.

Grid oluşturulduktan sonra modele ait aktif ve aktif olamayan bölgeler belirlenir. Bunun için önce Kaynak koverajı aktif edilir sonra menüden Feature Objects->Build Polygons seçilir. Son olarak menüden Feature Objects->Activate Cells in Coverage(s) seçilerek modele ait aktif bölgeler otomatik olarak seçilir.

Grid oluşturulduktan ve aktif bölgeler belirlendikten sonra kavramsal model grid-tabanlı sayısal bir modele dönüştürülebilir. Bundan önce MODFLOW verilerinin başlatılması gerekir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için önce 3 Boyut Grid Modülü seçilir sonra menüden MODFLOW->New Simulation tıklanır.

Modeli kayıt etmeden ve MODFLOW'u çalıştırmadan önce son aşama, tabaka yükseklikleri ve başlangıç uç değerlerinin belirlenmesi gerekir. GMS'de "gerçek tabaka" uygulamasının kullanılması için her tabakaya ait alt ve üst yükseklikler belirlenmelidir. Tabaka yüksekliklerinin belirlenmesi için en basit yol yayılı noktalara ait birliklerin belirlenmesidir. Bunlar tabakalara doğrudan aradeğer ataması ile aktarılır. Burada iki tür yayılı nokta birliği kullanıldı. Bunlar; terrain ve elevs'e ait yayılı nokta birlikleri. Terrain yayılı nokta birlikleri genellikle harita sayısallaştırılırken belirlenir. Çalışmada belirlenen yüzey yayılı nokta birlikleri taranmış bölge haritasının GMS'ye aktarılmasından sonra topografik yüksekliklerin tek tek girilmesi ile oluşturulmuştur. Ayrıca yüksekliklere ait yayılı nokta birliklerinin belirlenmesi için litolojisi bilinen 15 adet kuyuya ait dokanak noktaları, 2 Boyut yayılı noktalara dönüştürülerek oluşturulmuştur. Starting heads değerleri terrain'den belirli bir derinlikte terrain'e paralel olarak belirlenir.

2 Boyut yayılı noktaları oluşturulduktan sonra bunların düzenlenmesi ve aradeğer ataması ile modele uyarlanması gereklidir. Bunun için 2 Boyut Yayılı Nokta Modülü seçilir ve veri dizininden terrain ve elevs yayılı nokta birlikleri aktive edilir. Starting

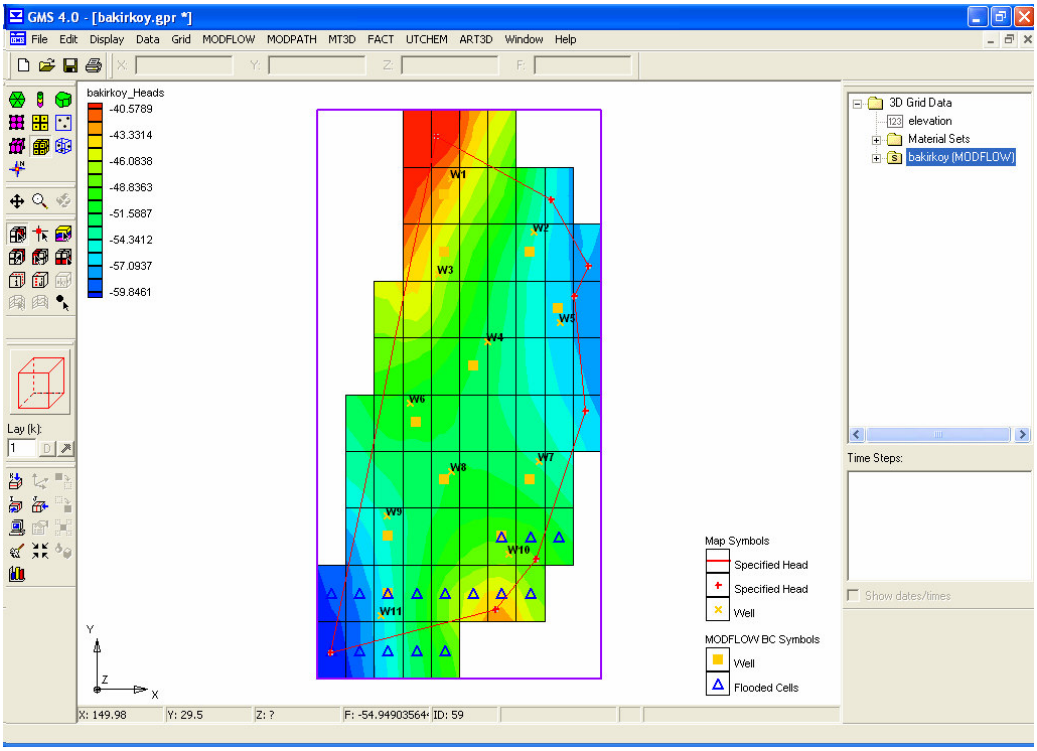
head değerleri yüzeyden 3 m. aşağıda yüzeye paralel olarak bulunacaktır. Bunun için aktif modül bilgilerinde yuzey aktif iken menüden Data->Data Calculator->Expression: a-3; Results: starting head yazılıp "Compute" tıklanarak starting head yayılı nokta birlikleri oluşturulur. Bundan sonra terrain ve starting head yayılı nokta birliklerinin aradeğer olarak MODFLOW grid'e atanması gelir. Bunun için terrain yayılı nokta birliği aktif iken menüden Interpolation->to MODFLOW Layers seçilir. Açılan menüde sol taraf ulaşılabilir aktif yayılı nokta birliklerini, sağ taraf ise MODFLOW tabaka dizinlerini gösterir. Bu menü ile her bir veri birliği, uygun olan tabaka dizinlerine atanır. Bu atama seçim işleminden sonra menüdeki "Map" tuşunun tıklanması ile gerçekleştirilir. Yapılan tüm atamalar menünün aşağısındaki kutucukta görülür. Tabaka yüksekliklerinin aradeğer olarak atanması için veri dizininden elevs yayılı nokta birlikleri seçilerek aynı aradeğer atama işlemi gerçekleştirilir.

Tabaka dizinleri otomatik olarak oluşturuldukları için bazı problemler oluşmuş olabilir. MODFLOW'a ait bu gibi problemlerin düzenlenmesi için 3 Boyut Grid Modülü aktif edilir, sonra menüden MODFLOW->Check Simulation->Run Check->Fix Layer Errors seçilir. Burada dört farklı düzeltme metodu bulunmaktadır, çalışma için en uygun "Truncate to bedrock" düzeltme metodu seçilmiştir.

Tüm bu işlemlerden sonra kavramsal model oluşturulmaya hazır hale gelmiştir. Bunun için Harita Modülü aktif edilir, menüden Feature Objects->Map->MODFLOW seçilir ve gelen menüde "All applicable coverages" seçilir. Böylece MODFLOW verileri tamamı ile belirlenmiş ve simülasyon yapılmaya hazır hale gelmiştir. Simülasyonun kayıt edilmesinden ve MODFLOW'un çalıştırılmasından önce tüm hataların düzeltilmesi ve uyarıların gözlenmesi için MODFLOW Model Checker birçok kez çalıştırılır. Model Checker'in yaptığı düzeltmeler, gösterdiği hata ve uyarılar neticesinde modelin tamamı ile doğru bir çözüm üreteceği garanti edilemez. Model Checker'i çalıştırmak için 3 Boyut Grid Modülü aktif iken menüden MODFLOW->Check Simulation->Run Check tıklanır. Hata listesindeki bir hata tıklandığı zaman alt kutuda bu hatanın düzeltilmesi için izlenecek yol aşama aşama gösterilmektedir.

Tüm düzeltmeler yapıldıktan, hatalar düzenlendikten ve uyarılar kontrol edildikten sonra proje kayıt edilir ve MODFLOW çalıştırılabilir. MODFLOW'u çalıştırmak için menüden MODFLOW->Run MODFLOW seçilir.

Böylece kavramsal model oluşturulmuş ve MODFLOW'a aktarılmış olur. Oluşturulmuş olan bu model statiktir ve sistemin mevcut durumunu yansıtır. Çalışma alanındaki kuyularda hiçbir faaliyet bulunmadığı zaman bölge Şekil 6.33'deki gibidir. Model için belirlenmiş 15 kuyunun su seviye yükseklikleri 1981 yılında Karaca tarafından hazırlanmış olan "Güngören Deresi ve Dolayının Hidrojeolojisi" isimli bitirme ödevinden alınmış ve çalışma alanının durumu 1981 yılına göre modellenmiştir. Şekil 6.34'de akiferin G-K doğrultulu bir kesiti görülmektedir.

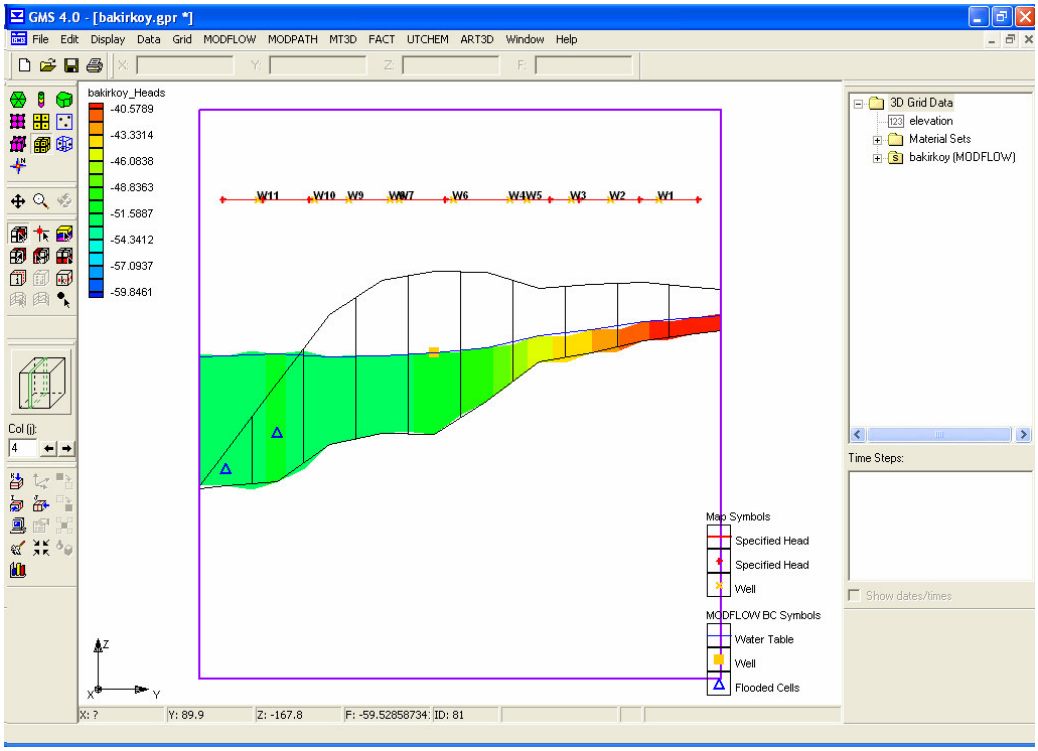


Şekil.6.33: 1981 yılında, kuyularda faaliyet olmadığı zaman, akiferin durumu.

Model için oluşturulan ve W1'den W11'e kadar isimlendirilen 11 kuyudan su çekimi ve su basımı yapılarak akiferin davranışı değerlendirilecek ve sonuçlar programın otomatik olarak oluşturacağı şekillerle ortaya koyulacaktır. Toplam 3 farklı simülasyon hazırlanmıştır.

Birinci simülasyonda 1960 yılından 1981 yılına kadar olan değişiklikler göz önüne alınarak akiferin eski haline getirilebilmesi için ne kadar beslenmesi gerektiği bulunacaktır. 1981 yılındaki duruma bakılacak olursa, akiferin güney kesimlerindeki dolu hücrelerden yeraltı suyunun akiferi tamamen doldurmuş olduğu görülmektedir. 1960 yılında akiferin tamamının yeraltı suyu ile dolu olduğu ve yer altı su seviyesinin -10 m ile +0.3 m arasında değiştiği belirtilmiştir [15]. 1981 yılından

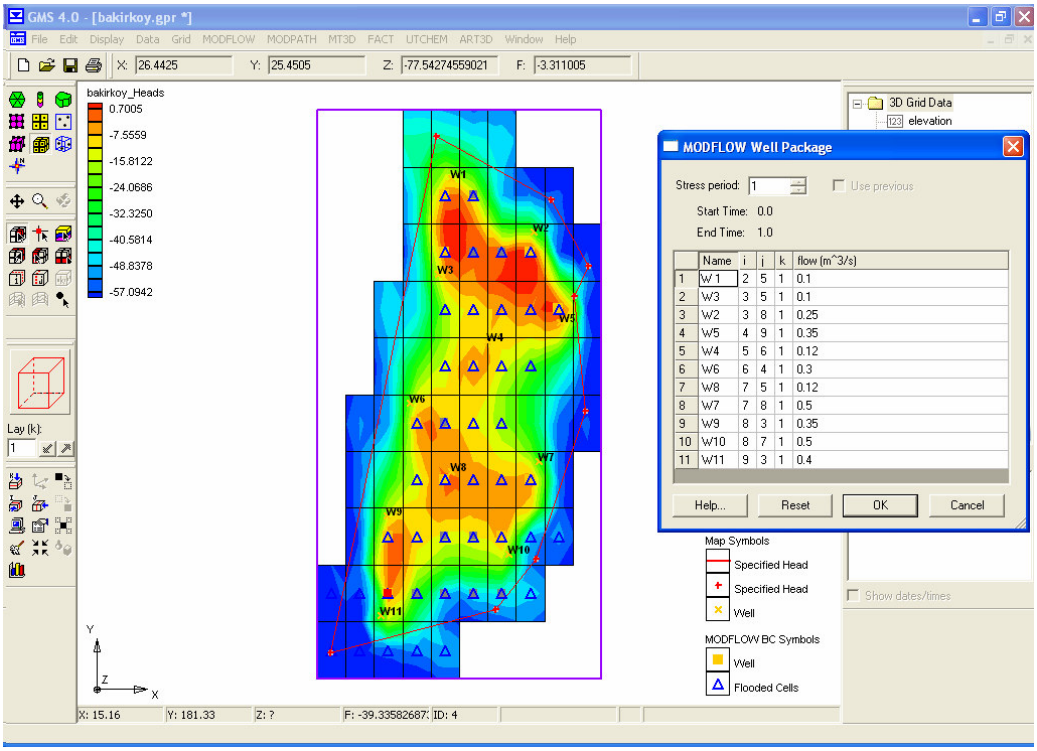
1960 yılındaki duruma yeniden gelebilmek için akiferin ne kadar beslenmesi gerektiği denenmiş ve Tablo 6.2'deki değerler bulunmuştur. 11 kuyudan yapılan su basımı ile çalışma alanındaki akifer tamamen yeraltı suyu ile dolmuş ve seviye 1960 yılındaki değerlere ulaşmıştır. (Şekil 6.35)



Şekil 6.34: Akiferin G-K doğrultusunda bir kesiti.

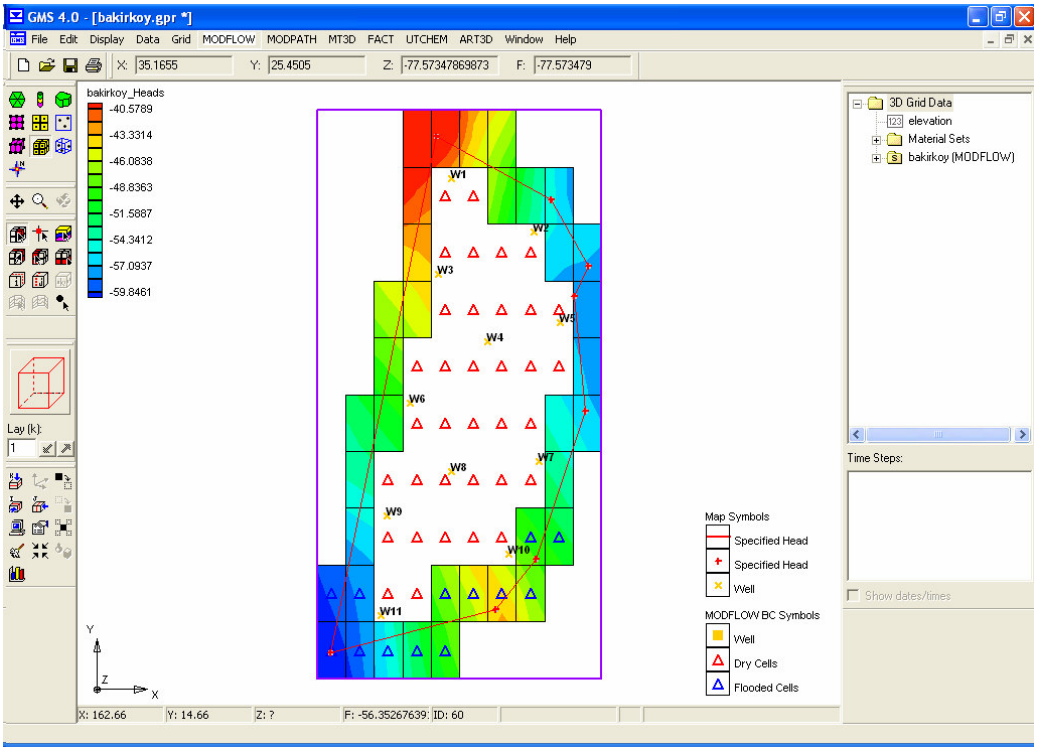
Tablo 6.2 1960 yılındaki su seviyesine ulaşmak için kuyuların beslenme değerleri

Kuyu	i	j	k	Flow(m^3/s)
W1	2	5	1	0.1
W3	3	5	1	0.1
W2	3	8	1	0.25
W5	4	9	1	0.35
W4	5	6	1	0.12
W6	6	4	1	0.3
W8	7	5	1	0.12
W7	7	8	1	0.5
W9	8	3	1	0.35
W10	8	7	1	0.5
W11	9	3	1	0.4



Şekil 6.35: Akiferin 1981 yılındaki durumdan, kuyuların beslenmesi ile 1960 yılındaki durumuna getirilmesi.

İkinci simülasyonda ise, akiferin 1981 yılından bugünkü duruma gelirken ne kadar su çekimi yapıldığı belirlenecektir. Gürsoy'un 2004 yılında inceleme alanında hazırlamış olduğu "Bakırköy ve Dolayının Hidrojeolojisi" isimli bitirme tezinde belirtildiği gibi günümüzde kuyulardaki su seviyesi 120-130 m civarındadır. Yani bu da bize çalışmamıza konu olan Çukurçeşme akiferinin tamamen kuru olduğunu gösterir. Geçen süreç içinde yeraltısunun nasıl kullanıldığını anlayabilmek için inceleme alanında bulunan 11 kuyudan 8'inde çekim yapılmış ve günümüzdeki koşullar sağlanana kadar çekim yapılmaya devam edilmiştir. Şekil 6.36'de Çukurçeşme formasyonunun güncel durumu ortaya konmuş ve Tablo 6.3'de bu durumu oluşturmak için yapılan su çekim değerleri sunulmuştur.

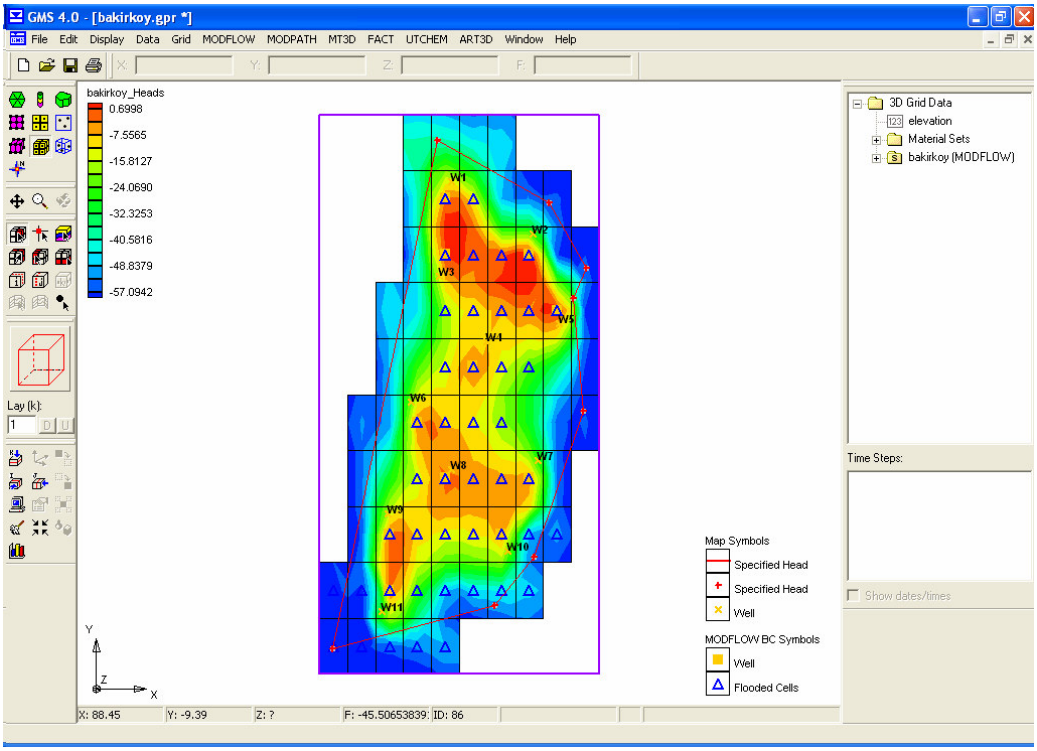


Şekil 6.36: Çukurçeşme akiferinin günümüzdeki görünümü

Tablo 6.3 Akiferin 1981'deki durumundan, bugünkü duruma gelebilmesi için yapılmış olan çekim miktarları.

Kuyu	i	j	k	Flow(m^3/s)
W1	2	5	1	0.0
W3	3	5	1	0.0
W2	3	8	1	0.0
W5	4	9	1	-0.4
W4	5	6	1	-0.3
W6	6	4	1	-0.2
W8	7	5	1	-0.3
W7	7	8	1	-0.4
W9	8	3	1	-0.3
W10	8	7	1	-0.3
W11	9	3	1	-0.8

Üçüncü simülasyonda, birinci simülasyonda olduğu gibi su seviyesini 1981 yılındakinden 1960 yılındaki seviyeye getirebilmek için kuyularda yapacağımız su basımı işlemi sırasında, doğal beslenmeyi ihmal etmek olacaktır. Böylelikle beslenmenin ne derece etkili olduğunu ortaya koyulabilecektir. Tablo 6.2'deki tüm değerler kullanılmış fakat bu kez beslenme değeri 7.01×10^{-9} yerine 0 kabul edilerek bir sonuç elde edilmiş ve Şekil 6.37'de belirtilmiştir.



Şekil 6.37: Akiferin 1981'deki durumundan 1960'daki durumuna getirilirken beslenme 0 kabul edilerek, sadece kuyulardan su basılmasıyla oluşan durum.

Şekil 6.37'de görüldüğü gibi birinci ve üçüncü simülasyonların arasındaki tek fark olan beslenme değerinin sıfır olarak alınması, akiferdeki yeraltısuyu seviyesinin çok da fazla etkilememiştir. Birinci simülasyonda en yüksek yeraltısuyu seviyesi 0.7005 m iken, üçüncü simülasyonda 0.6998 m olup aradaki fark önemsenmeyecek kadar küçüktür.

7. SONUÇLAR

- İnceleme alanı içerisinde yer alan jeolojik birimler sırası ile Eosen yaşlı Kırklareli kireçtaşı, Üst Miyosen yaşlı Çukurçeşme Formasyonu, Güngören Formasyonu ve Bakırköy Formasyonu ve Kuvaterner Kuşdili Formasyonudur.
- Çalışmaya konu olan akifer Çukurçeşme Formasyonu olup gri, grimsi beyaz, kirli beyaz, omurgalı fosilli kum ve çakıllardan oluşur, altta Eosen yaşlı Kırklareli kireçtaşı, üstte ise kil ve marndan oluşan Güngören Formasyonu ile sınırlı olup basınçlı bir akiferdir.
- Hazırlanan kavramsal model ile bölge için yüksek önem taşıyan akiferin, beslenerek tekrar geri kazandırılabilir özellikte olduğu tespit edilmiştir.
- Hazırlanan modelde 1981'deki durumdan 1960'daki durumdaki gibi akiferi tam dolu hale getirmek için 3090 lt/s beslemek gerektiği tespit edilmiştir.
- Aynı şekilde hazırlanan bir diğer simülasyonda günümüz koşullarındaki akiferin oluşması için 1981 yılındaki durumdan ne kadar su çekildiği tespit edilmiş ve 3000 lt/s bulunmuştur.
- Kuyulardan besleme yapıldığında doğal beslenimin ihmal edilmesi durumunda yeraltısuyu seviyesinin sadece 0.0007 m gibi önemsenmeyecek kadar küçük bir fark yarattığı belirlenmiştir.
- Bölgede açılmış kuyularda daha önce yapılmış ölçümler göz önüne alındığında bir kuyudan 0,11 lt/s su çekimi ile su seviyesinin 1 m düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumda ikinci simülasyonda ortaya çıkan çekim miktarlarından en yükseği olan 800lt/s için 20 m kalınlığındaki akiferin tamamını boşaltmayı düşündüğümüzde bir kuyudan 2,2 lt/s çekim yapabiliriz. Bu durumda oluşturmamız gereken kuyu grubunda 363 adet kuyu açılması gerekmektedir. 400 lt/s çekim yapılacak bir bölge için ise 181 kuyu açılması

gereklidir. Maliyetler göz önüne alındığında, ekonomik olup olmayacağı günün koşullarına göre tartışılabilir.

- Yağışın fazla olduğu zamanlarda, belirli noktalarda biriktirilen yağmur suları bu doğal depoya aktarılarak burada biriktirilebilir.
- Atık sular arıtıldıktan sonra burada depolanabilir ve sanayi suyu ihtiyacının karşılanmasında faydalı olabilir.
- Surfer programında yapılan hesaba göre, çalışma alanında bulunan akiferin toplam hacmi 205.106.115 m^3 olarak tespit edilmiştir. Bu noktadan hareketle, %38 poroziteye sahip olan akiferin içine depolanabilecek su miktarı 77.940.323 m^3'tür.
- Özgül verimin %20 ile %10 arasında değişim gösterebileceğini kabul edersek, akiferde işletilebilecek su rezervi miktarının 41.021.222 m^3 ile 20.510.611 m^3 arasında olacağı hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Kulak, R.**, 2006. KKTC Yeşilköy Havzasının Hidrojeolojik Modellemesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] **Bakırköy Belediyesi,** 2006 Bakırköy Hakkında Genel Bilgiler, http://www.bakirkoy.gov.tr/

[3] **Karaca, M.S.,** 1981. Güngören Deresi ve Dolayının Hidrojeolojisi, *Bitirme Ödevi,* İTÜ Maden Fakültesi Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği Kürsüsü, İstanbul.

[4] **Sayar, C.,** 1979, İstanbul - Pendik kuzeyinde Kayalıdere Grovaklarının Biyostratigrafisi ve Brachiopod'lari. İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.

[5] **Önalan, M.,** 1982. Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri, *Doçentlik Tezi*, İ.Ü. Müh. Fak., İstanbul.

[6] **Tüysüz, O.,** 2003. İstanbul İçin Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı, *İTÜ Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi,* İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul

[7] **İstanbul Büyükşehir Belediyesi**
http://www.ibb.gov.tr/IBB/DocLib/pdf/birimler/zemin_deprem_inc_mud/avrupa.doc

[8] **Arıç, C.,** 1955. Haliç – Küçükçekmece Gölü Bölgesinin Jeolojisi, *Doktora Tezi,* İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.

[9] **Gürsoy, B.,** 2004. Bakırköy ve Dolayının Hidrojeolojisi, *Bitirme Tezi,* İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul

[10] **Dumlu, O., Yalçın, H.T. ve Bozkurtoğlu, E.,** 2006. Yeraltısuyu Jeolojisi ve Hidroliği. Literatür Yayıncılık, İstanbul.

[11] **Yalçın, H. T.,** 2005. Bilgisayar Ortamında Yeraltısularının Modellenmesi. *Ders notu.* (Yayınlanmamış).

[12] **BOSS International,** 2004. Groundwater Modeling System v2.0 Overview Guide, http://www.bossintl.com.

[13] **BOSS International,** 2004. Groundwater Modeling System v2.0 Reference Manual, http://www.bossintl.com.

[14] **Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL),** 2003. Groundwater Modeling System 4.0 Tutorials. V. **I**, http://www.ems-i.com.

[15] **Sayar, C.** 1960. İstanbul'un Batısındaki Arazide Yeraltı Suları ve Artezyen İmkânları, İTÜ Hidrojeoloji Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

Tablo A1 Florya Meteoroloji İstasyonu Verileri (1937 – 1994)

FLORYA 1937-1994	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ORT. SICAKLIK(^{0}C)	5,3	5,5	6,9	11,1	15,9	20,6	23,2	23,3	19,7	15,4	11,5	8,0
ORT. NİSBİ NEM (%)	78	77	76	74	75	71	68	69	72	75	0,770	78
YAĞIŞ ORT. (mm)	90,2	73,3	63,1	43,9	28,9	24,0	18,4	20,0	40,1	59,2	83,9	104,0
ORT. RÜZGAR (m/sn)	3,90	3,70	3,50	2,90	2,60	2,70	3,30	3,20	3,00	2,90	3,10	3,70
GÜNEŞLENME SÜRESİ	2,47	3,30	4,34	6,26	8,39	10,36	11,30	10,44	8,22	5,58	4,00	2,48

Tablo A2 Penman yöntemi ile hazırlanmış aylık ve yıllık potansiyel buharlaşmadeğerleri.

FLORYA 1937-1994	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
SICAKLIK(C)	5,3	5,5	6,9	11,1	15,9	20,6	23,2	23,3	19,7	15,4	11,5	8,0
A	0,986	0,997	1,073	1,341	1,738	2,248	2,594	2,608	2,139	1,692	1,370	1,137
RA(mm.su/gün)	5,90	8,10	10,90	13,80	15,90	16,90	16,30	14,60	12,00	9,10	6,40	5,60
n(saat/gün)	2,47	3,30	4,34	6,26	8,39	10,36	11,30	10,44	8,22	5,58	4,00	2,48
N(saat/gün)	9,60	10,60	11,80	13,30	14,40	15,20	14,80	13,70	12,40	11,10	9,90	9,20
Rc(mmsu/gün)	1,42	2,13	3,13	4,54	5,97	7,03	7,33	6,56	4,90	3,12	1,93	1,38
B	12,06	12,10	12,38	13,22	14,18	15,12	15,64	15,66	14,94	14,08	13,30	12,60
RH	0,780	0,770	0,760	0,740	0,750	0,710	0,680	0,690	0,720	0,750	0,770	0,780
ea(mmHg)	6,68	6,77	7,46	9,90	13,54	18,18	21,31	21,44	17,20	13,11	10,17	8,04
RB	1,400	1,610	1,819	2,153	2,363	2,475	2,583	2,537	2,459	2,112	1,866	1,423
U10(m/sn)	3,90	3,70	3,50	2,90	2,60	2,70	3,30	3,20	3,00	2,90	3,10	3,70
U2(m/sn)	3,04	2,74	2,45	1,68	1,35	1,46	2,18	2,05	1,80	1,68	1,92	2,74
Ea	1,207	1,151	1,184	1,169	1,235	2,076	4,010	3,675	2,340	1,488	1,214	1,308
E(mm.su/gün)	0,619	0,838	1,247	1,868	2,740	3,794	4,545	3,927	2,410	1,184	0,549	0,588
Ep(mm.su/ay)	18,566	25,143	37,411	56,054	82,193	113,813	136,353	117,803	72,300	35,511	16,484	17,651
Ep(mm.su/yıl)	729,281											

Tablo A3 Penman yöntemi ile hazırlanmış meteorolojik su bilançosu

	Aylar												
Florya 1937 – 1994	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	YILLIK
Sıcaklık(^{o}C)	5,3	5,5	6,9	11,1	15,9	20,6	23,2	23,3	19,7	15,4	11,5	8,0	13,9
Potansiyel Evapotranspirasyon(mm),EP	18,560	25,140	37,400	56,050	82,200	113,810	136,350	117,800	72,300	35,510	16,480	17,650	729,3
Yağış (mm),Y	90,2	73,3	63,1	43,9	28,9	24,0	18,4	20,0	40,1	59,2	83,9	104,0	649,0
Y-EP	71,6	48,2	25,7	-12,2	-53,3	-89,8	-118,0	-97,8	-32,2	23,7	67,4	86,4	-80,2
Rezerv su(mm)	100,0	100,0	100,0	87,9	34,6	0,0	0,0	0,0	0,0	23,7	67,4	100,0	-
Gerçek Evapotranspirasyon (mm)	18,6	25,1	37,4	56,1	82,2	58,6	18,4	20,0	40,1	35,5	16,5	17,7	426,0
Eksik su (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,3	118,0	97,8	32,2	0,0	0,0	0,0	303,2
Fazla su (mm)	71,6	48,2	25,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,7	53,8	223,0
Akış (mm)	49,3	48,7	37,2	18,6	9,3	4,7	2,3	1,2	0,6	0,3	12,0	26,9	211,0
Akışın yağışa göre açığı (mm)	40,9	24,6	25,9	25,3	19,6	19,3	16,1	18,8	39,5	58,9	71,9	77,1	438,0

Tablo A4 Bölgede bulunan kuyulara ait bilgiler.

K1	Z	Litoloji
	13	Bakırköy Kireçtaşı
	-25	Güngören Form
	-115	Çukurçeşme Form.
	-155	Kırklareli Kireçtaşı
	-200	Kırklareli Kireçtaşı

K6	Z	Litoloji
	8	Alüvyon
	2	Bakırköy Kireçtaşı
	-15	Güngören Form
	-32	Çukurçeşme Form.
	-75	Kırklareli Kireçtaşı
	-170	Kırklareli Kireçtaşı

K11	Z	Litoloji
	10	Alüvyon
	7	Bakırköy Kireçtaşı
	-1	Güngören Form
	-56	Çukurçeşme Form.
	-90	Kırklareli Kireçtaşı
	-140	Kırklareli Kireçtaşı

K2	Z	Litoloji
	2	Alüvyon
	-5	Bakırköy Kireçtaşı
	-42	Güngören Form
	-75	Çukurçeşme Form.
	-100	Kırklareli Kireçtaşı
	-210	Kırklareli Kireçtaşı

K7	Z	Litoloji
	14	Bakırköy Kireçtaşı
	5	Güngören Form
	-25	Çukurçeşme Form.
	-75	Kırklareli Kireçtaşı
	-220	Kırklareli Kireçtaşı

K12	Z	Litoloji
	8	Alüvyon
	2	Bakırköy Kireçtaşı
	-8	Güngören Form
	-30	Çukurçeşme Form.
	-69	Kırklareli Kireçtaşı
	-120	Kırklareli Kireçtaşı

K3	Z	Litoloji
	2	Alüvyon
	0	Bakırköy Kireçtaşı
	-30	Güngören Form
	-61	Çukurçeşme Form.
	-117	Kırklareli Kireçtaşı
	-220	Kırklareli Kireçtaşı

K8	Z	Litoloji
	5	Alüvyon
	0	Bakırköy Kireçtaşı
	-5	Güngören Form
	-27	Çukurçeşme Form.
	-87	Kırklareli Kireçtaşı
	-177	Kırklareli Kireçtaşı

K13	Z	Litoloji
	15	Bakırköy Kireçtaşı
	5	Güngören Form
	-15	Çukurçeşme Form.
	-68	Kırklareli Kireçtaşı
	-175	Kırklareli Kireçtaşı

K4	Z	Litoloji
	2	Alüvyon
	-3	Bakırköy Kireçtaşı
	-18	Güngören Form
	-78	Çukurçeşme Form.
	-138	Kırklareli Kireçtaşı
	-215	Kırklareli Kireçtaşı

K9	Z	Litoloji
	5	Alüvyon
	-4	Bakırköy Kireçtaşı
	-15	Güngören Form
	-40	Çukurçeşme Form.
	-78	Kırklareli Kireçtaşı
	-172	Kırklareli Kireçtaşı

K14	Z	Litoloji
	10	Bakırköy Kireçtaşı
	5	Güngören Form
	-30	Çukurçeşme Form.
	-61	Kırklareli Kireçtaşı
	-175	Kırklareli Kireçtaşı

K5	Z	Litoloji
	5	Alüvyon
	-3,5	Bakırköy Kireçtaşı
	-12	Güngören Form
	-30	Güngören Form
	-45	Çukurçeşme Form.
	-108	Kırklareli Kireçtaşı
	-182	Kırklareli Kireçtaşı

K10	Z	Litoloji
	8	Alüvyon
	1	Bakırköy Kireçtaşı
	-9	Güngören Form
	-39	Çukurçeşme Form.
	-69	Kırklareli Kireçtaşı
	-190	Kırklareli Kireçtaşı

K15	Z	Litoloji
	13	Bakırköy Kireçtaşı
	5	Güngören Form
	-20	Çukurçeşme Form.
	-45	Kırklareli Kireçtaşı
	-195	Kırklareli Kireçtaşı

ÖZGEÇMİŞ

04.09.1980 yılında doğan yazar, ilkokulu İcadiye İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini ise Üsküdar Kız Lisesinde tamamladı. 1998 yılında İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başlayan yazar, 2003 yılında mezun olduktan sonra yine aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce bilen yazar, şuan bir fuar organizasyon firmasında Pazarlama Koordinatörü olarak görev yapmaktadır.