

**MELEN BARAJ GÖLÜ (SAKARYA) SOL SAHİLDE YÜZEYLENEN
KARBONATLI KAYAÇ ALANINDA HİDROJEOLÖJİK YAPININ
OLASI SU KAYAÇLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**HYDROGEOLOGIC INVESTIGATION OF POSSIBLE WATER
LEAKAGE THROUGH THE CARBONATE ROCK AREA ON THE
LEFT BANK OF THE MELEN (SAKARYA) DAM RESERVOIR**

NECATİ ERDEM KALAYCIOĞLU

DR. LEVENT TEZCAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

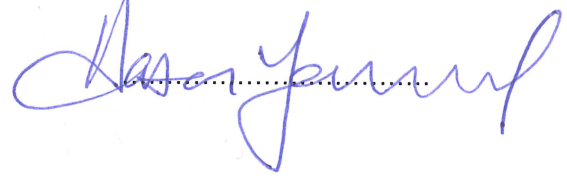
Jeoloji (Hidrojeoloji) Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

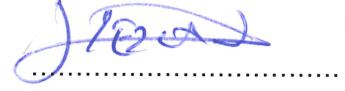
2018

NECATİ ERDEM KALAYCIOĞLU'nun hazırladığı “MELEN BARAJ GÖLÜ (SAKARYA) SOL SAHİLDE YÜZEYLENEN KARBONATLI KAYAÇ ALANINDA HİDROJEOLÖJİK YAPININ OLASI SU KAYAÇLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından JEOLÖJİ (HİDROJEOLÖJİ) MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hasan YAZICIGİL
Başkan



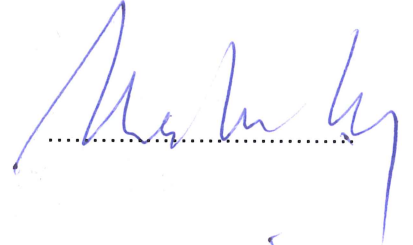
Dr. Levent TEZCAN
Danışman



Prof. Dr. Mehmet ÇELİK
Üye



Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ
Üye



Dr. Türker KURTTAŞ
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☒ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☐ **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

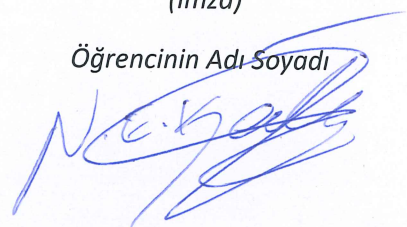
- ☐ **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- ☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

7 / 7 / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı



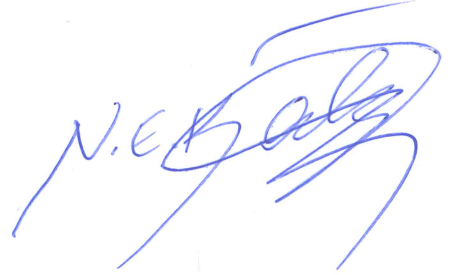
ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07/07/2018



Necati Erdem Kalaycıoğlu

ÖZET

MELEN BARAJ GÖLÜ (SAKARYA) SOL SAHİLDE YÜZEYLENEN KARBONATLI KAYAÇ ALANINDA HİDROJEOLJİK YAPININ OLASI SU KAYAÇLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Necati Erdem KALAYCIOĞLU

Yüksek Lisans, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Levent TEZCAN

Haziran 2018, 95 sayfa

Sakarya ili Kocaali ilçesinde Büyük Melen Çayı üzerinde bulunan ve inşası devam eden Melen Barajı'nın göl alanının sol sahil tarafında karstik kireçtaşları bulunmaktadır. Yaklaşık olarak 25 hektarlık kısmı baraj göl seviyesinin altında kalacak olan kireçtaşının boşalımı kütlenin güneyinde geçirimsiz filişlerle dokanağında gözlenen Cumayeri kaynağı ve kuzeyde Değirmendere ve Hızardere kaynaklarıyla gerçekleşmektedir. Cumayeri kaynağı göl seviyesi altında kalmaktadır. Baraj gölü maksimum su seviyesi olan 113 m'den daha düşük kotlarda boşalan kuzeydeki kaynaklarla göl alanı arasında hidrolojik bağlantı olma olasılığı, baraj gölünün bu kesiminden önemli oranda su kaçağı olabileceğini

ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kireçtaşı kütlesinin göl seviyesi altında kalacak olan kesiminin beton ile kaplanması planlanmıştır. Yapılan çalışma, bir kısmı göl su seviyesinin altında kalacak olan kireçtaşı kütlesinde hidrojeolojik yapının beslenme, dolaşım, boşalım ilişkileri ortaya konacak şekilde incelenmesi ve planlanan beton kaplamanın sızdırmazlık açısından etkinliğinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, sahadaki önceki çalışmalar kapsamında çalışma alanının jeolojisine değinilmiştir. Hidrojeolojik karakterizasyon, önceki çalışmalarda gerçekleştirilen basınçlı su testleri ve kaynak akım ölçümleriyle gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında daha önceki çalışmalarda açılan gözlem kuyularında yapılan yeraltısuyu seviye ölçümleri, yeraltısuyu akım modelin oluşturulması aşamasında yararlanılmıştır. Hidrojeolojik karakterizasyonun sonucunda, beton kaplama sahasının da içinde olduğu yerel dolaşım sistemi ortaya konulmuş, sistemin iki ve üç boyutlu yeraltısuyu akım modeli sonlu farklar yöntemiyle analiz edilmiştir. Daha sonrasında ise, kaplama esnasında oluşacak kaldırma basıncının büyüklüğünün analizi gerçekleştirilmiş ve önceki çalışmalarda yapılan modelleme çalışmalarıyla kıyaslanmıştır. Buna bağlı olarak, kaplama sahasındaki piyezometrik basıncın düşürülmesi için gerekli önlemler modellenmiş ve önceki çalışmalardaki modellerle kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton kaplama, piyezometrik basınç, yeraltısuyu modeli, karst, basınçlı su testi

ABSTRACT

HYDROGEOLOGIC INVESTIGATION OF POSSIBLE WATER LEAKAGE THROUGH THE CARBONATE ROCK AREA ON THE LEFT BANK OF THE MELEN (SAKARYA) DAM RESERVOIR

Necati Erdem KALAYCIOĞLU

Master of Science, Department of Geology (Hydrogeology) Engineering

Supervisor: Dr. Levent TEZCAN

June 2018, 95 pages

On the left bank side of the reservoir area of the Melen Dam, which is located on the Buyuk Melen River in Kocaeli province and is under construction, karstic limestones were outcropped. The limestones, whose approximately 20 hectares will remain below the dam reservoir level, discharge on the south of the mass, where the Cumayeri spring observed with impervious flysch, and on the north with Değirmenderesi and Hızardere springs. Cumayeri spring is below the dam reservoir level. The possibility of a hydrological connection between the northern springs and the reservoir area, which discharge from elevations below 113 m, the maximum reservoir level of the dam, reveals that water from this area of the dam reservoir may be a major source of water leakage. For this reason, it is planned to

cover the section of the limestone mass that will remain below the reservoir level with concrete. The aim of this study is to examine the hydrogeological structure of the limestone mass which will be below the reservoir water level in order to reveal the relationships between recharge, discharge and groundwater flow dynamics to evaluate the effectiveness of the planned concrete coating in terms of sealing. For this, the geology of the study area has been mentioned on the previous works on the field. Hydrogeological characterization was evaluated with Lugeon tests and flow rates of the springs measured in previous studies. Groundwater level, which was measured on the observation wells drilled in previous studies in the study area, were utilized in the development of groundwater flow model. As a result of the hydrogeological characterization, the local groundwater system, which includes concrete lining area, was revealed and the two - and three - dimensional groundwater flow model of the system was analyzed by finite difference method. Subsequently, an analysis of the magnitude of the uplift pressure to be formed during the concrete lining was built and compared with the numeric models which were evaluated in the previous studies. Accordingly, the necessary precautions for reducing the piezometric pressure on the coating area are modeled and compared with those of the previous studies.

Keywords: concrete lining, piezometric pressure, groundwater modelling, karst, Lugeon Tests

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans sürecim boyunca desteğini esirgemeyen, her konuda yardımcı olan kıymetli tez danışmanım Dr. Levent TEZCAN'a teşekkür ediyorum. Bu çalışmanın gerçekleştirime fırsatını yaratan sayın Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye şükranlarımı sunuyorum. Çalışmanın analiz ve raporlama kısımlarındaki fikirlerinden ve yardımlarından ötürü Dr. Türker KURTTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma sürecindeki yardım ve desteklerinden ötürü Otgonbayar NAMKHAİ başta olmak üzere, bütün UKAM çalışanlarına ve bölümümüzün asistanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından ötürü başta Yunus Emre ULUKÜTÜK ve Erhan KASALAK olmak üzere bütün ECETUR – YÖNTAŞ Adi ortaklığı A.Ş. çalışanlarına, ayrıca yardımlarından ötürü Hakan HİÇYILMAZ ve Nevzat KARACA'ya teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans sürecim boyunca, her zaman yanımda durdukları için Mehmetcan ÖZKADIOĞLU'na, Ahmet Fuat – Tuğçe YARGICI çiftine en içten şükranlarımı sunuyorum.

Son olarak, hayatımın her noktasındaki desteklerinden ötürü başta annem Reşide KALAYCIOĞLU olmak üzere ağabeyim M. Zafer KALAYCIOĞLU'na, ablam Ayfer SUNTER'e ve eniştem Ercüment SUNTER'e teşekkür ediyorum.

Bu çalışmayı 2010 yılında kaybettiğim babam M. Necati KALAYCIOĞLU'na adıyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Tanımı Ve Amacı	1
1.2. Çalışma Sahasının Tanıtılması	2
1.3. Çalışma Sahasındaki Jeolojik Yapı.....	4
1.3.1. Çakraz Formasyonu (Mfiliş)	4
1.3.2. Yemişliçay Formasyonu (Krü Kçt).....	6
1.3.3. Akveren Formasyonu (Krü – Pal Kçt)	6
1.3.4. Kusuri Formasyonu (EFlş)	6
1.3.5. Örencik Formasyonu (Nk).....	9
1.3.6. Alüvyon (QAI).....	9
1.4. Hidrostratigrafik Yapı	9
1.5. Önceki Çalışmalar	9
2. HİDROJEOLJİK KARAKTERİZASYON.....	22
2.1. Hidroloji.....	22
2.2. Kaynaklar.....	25
2.3. Basıncılı Su Testleri.....	29
2.4. Yeraltısuyu Seviye Gözlemleri	41
3. YERALTISUYU AKIM MODELİ	48
3.1. Kavramsal Model	49
3.2. İki Boyutlu Model	50
3.2.1. İki Boyutlu Model Alanı Sınırları ve Grid Sistemi.....	53
3.2.2. Başlangıç Koşulları	53
3.2.3. Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı ve Sınır Koşulları.....	54
3.2.4. Doğal Durumda Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınc Dağılımı	56
3.2.5. Beton Kaplama Sonucunda Oluşacak Yük Dağılımı ve Piyezometrik Basınc Dağılımı	57

3.2.6. Drenaj Kanalları ve Kaptaj Sonucunda Oluşacak Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı.....	58
3.3. Üç Boyutlu Model.....	61
3.3.1. Model Alanı Sınırları ve Grid Sistemi	61
3.3.2. Başlangıç Koşulları ve Model Süresi	62
3.3.3. Kalibrasyon ve Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı	62
3.3.4. Sınır Koşulları	64
3.3.5. Doğal Durumda Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı	71
3.3.6. Beton Kaplama ve Perde Enjeksiyonu Sonrasında Oluşan Model Alanı İle Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı	73
3.3.7. Drenaj Kanalları ve Kaptaj Sonucunda Oluşacak Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı.....	80
4. DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR	88
KAYNAKÇA.....	92
EKLER	94
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma Bölgesini Gösteren Yer Bulduru Haritaları	3
Şekil 1.2 Çalışma Alanı Kot – Alan İlişkisi	4
Şekil 1.3 Çalışma Alanının Yükselti Dağılımı.....	5
Şekil 1.4 Bölgenin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti ([1]'den değiştirilerek alınmıştır).	7
Şekil 1.5 Akveren Formasyonu Kireçtaşları.....	8
Şekil 1.6 Akveren Formasyonu'nda bulunan Eybiler Düdeni	8
Şekil 1.7 Akveren Formasyonu Kireçtaşı ile Kusuri Formasyonu Filişi Arasında Gözlemlenen Fay ([3]'ten alınmıştır.)	8
Şekil 1.8 Akveren Formasyonu ile Kusuri Formasyonu Arası Dokanak İlişkisi ([3]'ten alınmıştır.).....	9
Şekil 1.9 1/50000 ölçekli Bölgesel Jeoloji Haritası ([3]'ten düzenlenmiştir)	11
Şekil 1.10 Beton Kaplama Sahası'nın 1/15000 ölçekli jeoloji haritası ([3]'ten düzenlenmiştir.).....	12
Şekil 1.11 Çalışma Alanındaki Hidrostratigrafik Birimler ([4]'ten düzenlenmiştir)..	12
Şekil 1.12 1992 yılında yapılan boya deneyleri sonucunda tahmin edilen bölgesel ve yerel yeraltısuyu dolaşımı ([4]'ten düzenlenmiştir).....	13
Şekil 1.13 Çalışma Alanında DSİ Tarafından 1997 ve 2014 Yıllarında Yaptırılan Gözlem Kuyuları	17
Şekil 1.14 2014 – 2015 Yılları Arasında Yapılan Çalışma Kapsamında Açtırılan Derin Kuyular ([3]'ten düzenlenmiştir)	19
Şekil 1.15 2014 – 2015 Yılları Arasında Yapılan Çalışma Kapsamında Açtırılan Sığ Kuyular ([3]'ten düzenlenmiştir)	19
Şekil 1.16 2013 – 2015 arasında yapılan çalışmalar sonucunda kaplama sahası ve civarında açılan bütün kuyular ([3]'ten düzenlenmiştir).....	21
Şekil 2.1 Akçakoca OMGI'ye göre Uzun Dönem Ortalama Yağış, Gerçek Buharlaştırma, Yüzeysel Akış ve Yeraltısuyuna Süzülme Değerleri.....	23
Şekil 2.2 Cumayeri Kaynağı	25
Şekil 2.3 Demiraçma Kaynağından Bir Fotoğraf.....	26
Şekil 2.4 Cumayeri ve Demiraçma Kaynaklarının Akım Hidrografları ([1]'den düzenlenmiştir)	27

Şekil 2.5 Cumayeri kaynağında ölçülen akım değerleri ve buna bağlı oluşturulan çekilme denklemleri.....	27
Şekil 2.6 Demiraçma kaynağında ölçülen akım değerleri ve buna bağlı oluşturulan çekilme denklemleri.....	28
Şekil 2.7 Cumayeri – Demiraçma Kaynaklarını ve Su bölüm hattını gösteren kesit	28
Şekil 2.8 2015 Yılında [3]'te Gerçekleştirilen Çalışma Kapsamında Basıncılı Su Testi Yapılan Kuyular	29
Şekil 2.9 2015 yılında gerçekleştirilen çalışma kapsamında yapılan testlerin sıklık histogramı ([3]'ten düzenlenmiştir)	34
Şekil 2.10 DK – 1 kodlu kuyuda, kot değerlerine göre A) Lu, B) m/s cinsinden hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri	38
Şekil 2.11 Kireçtaşı birimlerinde hidrolik iletkenlik katsayısının A) Lu ve B) log(m/s) cinsinden sıklık dağılımı	39
Şekil 2.12 Filiş birimlerinde hidrolik iletkenlik katsayısının A) Lu ve B) log(m/s) cinsinden sıklık dağılımı	41
Şekil 2.13 2014 yılında DSİ tarafından açtırılan KA kodlu kuyularda hidrolik yükün zamana bağlı değişimi.....	44
Şekil 2.14 K kodlu kuyularda kireçtaşı birimlerinde hidrolik yükün zamana bağlı değişimi	44
Şekil 2.15 Ölçülen Ortalama Değerlere Göre Kaplama Alanında Hidrolik Yük Dağılımı	47
Şekil 3.1 Beton Kaplama Sahası Kazı Planı ([4]'ten Düzenlenmiştir)	49
Şekil 3.2 İki Boyutlu Modelleme İçin Kullanılan, Kuzey - Güney Doğrultulu Kesit. 52	
Şekil 3.3 Sonlu Elemanlar Metoduyla Yapılan, Su Bölüm Hattı – Cumayeri Kaynağı Akım Modelinde Yük Dağılımı [3]	53
Şekil 3.4 Kesit Modelde Katmanların Dağılımı Ve Akım Alanı	54
Şekil 3.5 Kesit Modelde Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı (m/gün).....	54
Şekil 3.6 İki Boyutlu Modelde Tanımlanan Sınır Koşulları	55
Şekil 3.7 İki Boyutlu Ortamda, Kararlı Koşullarda, Doğal Koşullar Sonucunda Oluşan Hidrolik Yük Dağılımı.....	56
Şekil 3.8 İki Boyutlu Ortamda Doğal Koşullarda Oluşan Piyezometrik Basıncı Dağılımı	57

Şekil 3.9 Beton Kaplama ve Perde Enjeksiyonu Sonrasında Oluşan Model Alanı ve Hidrolik Yük Dağılımı	57
Şekil 3.10 Kaplama Sahasında, Kaplama ve Enjeksiyon Sonucunda Oluşan Yük ve Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı.....	58
Şekil 3.11 Kaplama Sonucunda Oluşan Piyezometrik Basınç Dağılımı	58
Şekil 3.12 İki Boyutlu Modelde Kaplama Sonucunda 53 m ve 40 m Kotuna Drenaj Sistemi ile Cumayeri Kaynağına Kaptaj Uygulandıktan Sonra Oluşan Hidrolik Yük Dağılımı	60
Şekil 3.13 İki Boyutlu Modelde Kaplama Sonucunda 53 m ve 40 m Kotuna Drenaj Sistemi ile Cumayeri Kaynağına Kaptaj Uygulandıktan Sonra Oluşan Piyezometrik Basınç Dağılımı	61
Şekil 3.14 Üç Boyutlu Model Alanı ve Grid Sistemi	62
Şekil 3.15 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durumda Gözlem Noktalarında Ölçülen Hidrolik Yük Değerlerine Karşılık Model Sonuçları	63
Şekil 3.16 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durumda Yapılan Modelde, Gözlemlenen Değerlerle Simüle Edilen Değerler Arası Farkın Alansal Dağılımı	65
Şekil 3.17 Üç Boyutlu Modelde Tabakalara Göre Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı	66
Şekil 3.18 Model Alanında Sınır Koşullarının Dağılımı	67
Şekil 3.19 Kaplama Sahasının Kuzeyinde Yer Alan Sabit Yük Sınır Koşulundaki Tanımlanan Hidrolik Yük Dağılımı	67
Şekil 3.20 Kaplama Sahasının Batısında Yer Alan Yeraltısuyu Bölüm Hattında, Akveren Formasyonu içinde Kalan Hücrelerde Tanımlanan Hidrolik Yük Dağılımı	69
Şekil 3.21 Kaplama Sahasının Batısında Yer Alan Yeraltısuyu Bölüm Hattında, Yemişliçay ve Çakraz Formasyonları içinde Kalan Hücrelerde Tanımlanan Hidrolik Yük Dağılımı	70
Şekil 3.22 Kaplama Sahasının Güneyi ve Batısında Yer Alan Değişken Yük Sınır Koşullarındaki Tanımlanan Hidrolik Yük Değerleri	71
Şekil 3.23 Kaplama Sahasının Güneyi ve Batısında Yer Alan Değişken Yük Sınır Koşullarındaki Tanımlanan İletkenlik Değerleri.....	72

Şekil 3.24 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durumda En Üst Tabakadaki Piyezometrik Basınç Dağılımı	75
Şekil 3.25 Üç Boyutlu Modelde, Kaplama Sahasında, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durum Sonucunda Oluşan Piyezometrik Basınç Dağılımının KD – GB Eksenli Görüntüsü	76
Şekil 3.26 Beton Kaplama Sahası Güney Sınırında Oluşturulması Tasarlanan Dikiş Perdesinin Sınır Boyu Derinliği ([3] ‘ten alıntıdır)	76
Şekil 3.27 1/15000’lik Ölçekte, Beton Kaplama Sonrası Durumun İncelenmesi İçin Yapılan Kararlı Akım Modelinde Tabakalara Göre Hücre Dağılımı	77
Şekil 3.28 1/5000’lik Ölçekte, Beton Kaplama Sonrası Durumun İncelenmesi İçin Yapılan Kararlı Akım Modelinde Tabakalara Göre Kaplama Alanındaki Hücrelerin Dağılımı	78
Şekil 3.29 Kuyularda Doğal Durumda Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerleriyle Kaplama Sonrasındaki Durum İçin Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerlerinin Kıyaslanması.....	80
Şekil 3.30 Beton Kaplama Alanında, Kararlı Akım Koşullarında, Kaplama Sonrasında Betona Direkt Olarak Etki Edecek Piyezometrik Basıncın Dağılımı ..	81
Şekil 3.31 40 ve 53 m kotlarında yer alan drenaj kanallarının yansıtıldığı DRN hücreleri	82
Şekil 3.32 Kaplama Sahasındaki Piyezometrik Basıncın 40 m Ve 53 m Kotlarındaki Drenlerle Ve Cumayeri Kaynağının Kaptaja Alınması Durumunda Hesaplanan Piyezometrik Basınç Haritası	84
Şekil 3.33 Kaplama Sahasında Oluşacak Kaldırma Basıncının Önlenmesinin Hesaplanması Amacıyla 40, 53, 98 ve 113 m basamaklarına yerleştirilen DRN hücreleri	85
Şekil 3.34 40, 53, 98 ve 113 m Kotlarına Drenaj Uygulanması ve Cumayeri Kaynağının Kaptaja Alınması Durumunda Hesaplanan Piyezometrik Basınç Dağılımı	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Hidrolojik Toprak Grubu ve Arazi Kullanımı İlişkisi [9]	23
Çizelge 2.2 Akçakoca Meteoroloji İstasyonu İçin Hazırlanan Meteorolojik Su Bilançosu ([7] ve [8]'ye göre hesaplanmıştır).....	24
Çizelge 2.3 Cumayeri ve Demiraçma Kaynakları Debi Ölçümleri ([1]'den alınmıştır)	27
Çizelge 2.4 Kırıklı – çatlaklı ortamı temsil eden davranışların, basınç değerlerine karşılık Lugeon dağılımları, akım – basınç grafikleri ve hidrojeolojide temsil edici değerlerin formülleri ([10], [11], [12], [13] ve [15]'ten derlenmiştir).....	33
Çizelge 2.5 Çalışma kapsamında yapılan Basıncılı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler:	35
Çizelge 2.6 Çalışma kapsamında kaplama sahasında yer alan kireçtaşlarında yapılan Basıncılı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler.....	36
Çizelge 2.7 Çalışma kapsamında kireçtaşında yapılan Basıncılı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler:.....	39
Çizelge 2.8 Çalışma kapsamında fışık birimlerinde yapılan Basıncılı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler.....	40
Çizelge 2.9 8.4.2014 – 13.9.2014 tarihleri arasında DSİ tarafından açtırılan gözlem kuyularında ölçülen su seviyeleri.....	43
Çizelge 2.10 28.9.2014 – 28.3.2015 tarihleri arasında K kodlu gözlem kuyularında ölçülen su seviyeleri	45
Çizelge 3.1 İki Boyutlu Ortamda, Kararlı Koşullarda, Doğal Koşullar Sonucunda Oluşan Su Bütçesi.....	56
Çizelge 3.2 İki Boyutlu Modelde Kaplama Sonucunda 53 m ve 40 m Kotuna Drenaj Sistemi ile Cumayeri Kaynağına Kaptaj Uygulandıktan Sonra Oluşan Su Bütçesi.....	60
Çizelge 3.3 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durumda Gözlem Noktalarında Ölçülen ve Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerleri	64
Çizelge 3.4 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Koşullarda Oluşan Su Bütçesi.....	73
Çizelge 3.5 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Kaplama Sonrası Koşullarda Oluşan Su Bütçesi.....	79

Çizelge 3.6 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Kaplama Sonrasında Gözlem Noktalarında Ölçülen ve Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerleri	79
Çizelge 3.7 Kaplama Sahasındaki Piyezometrik Basıncın 40 m ve 53 m Kotlarındaki Drenlerle ve Cumayeri Kaynağının Kaptaja Alınmasıyla Oluşan Yeraltısuyu Bütçesi.....	82
Çizelge 3.8 Kaplama Sahasındaki Piyezometrik Basıncın 40 M Ve 53 M Kotlarındaki Drenlerle Ve Cumayeri Kaynağının Kaptaja Alınmasıyla Gözlem Kuyularında Hesaplanan Hidrolik Yük Değerleri.....	83
Çizelge 3.9 40, 53, 98 ve 113 m kotlarına yerleştirilen drenler sonucunda oluşan su bütçesi tablosu.....	85
Çizelge 3.10 40, 53, 98 ve 113 m Kotlarında Dren Uygulandıktan Sonra Gözlem Kuyularında Hesaplanan Hidrolik Yük Değerleri.....	86

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Tanımı Ve Amacı

Yaklaşık 18 milyonluk nüfusuyla ve her geçen gün aldığı göçlerle birlikte, Türkiye'nin en büyük şehri olan İstanbul, temiz su temini problemiyle karşı karşıyadır. Bu ihtiyacın karşılanması için, Devlet Su İşleri tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, Büyük Melen Çayı üzerinde bir baraj yapılması öngörülmüştür [1].

Büyük İstanbul İçme Suyu 3. Merhale kapsamında yer alan, DSİ XIV. Bölge Müdürlüğü (İstanbul) tarafından ihale edilen ve 2013 yılında inşasına başlanan Melen Barajı, Batı Karadeniz Bölgesinde Sakarya – Düzce sınırında yer alan Büyük Melen Çayı üzerinde yükselmektedir. Baraj, Karadeniz'e 8 km, İstanbul'a ise 170 km uzaklıktadır. Barajın kret kotu 113 m, en yüksek su seviyesi 110,46 m olarak planlanmıştır. Yapımının tamamlanmasıyla birlikte, Melen Barajı'nın, İstanbul'un içme suyu ihtiyacının tamamını karşılaması beklenmektedir. Barajın 694 milyon m³ su depolaması öngörülmektedir [2].

Baraj, Eosen yaşlı filiş biriminin üzerinde yükselmesine rağmen göl alanında, baraj aks yerinin 2 km sol sahil membaında karbonatlı karstik kayalar yüzeylenmektedir [3], [4]. 1997 yılında DSİ XIV. Bölge Müdürlüğü'nce hazırlanan planlama raporuna göre, bu karbonatlı kayaların yaklaşık 20 hektarlık bir kesiminden su kaçaqları olacağı öngörülmüştür. DSİ, "karbonatlı kayaların olduğu kısımların temizlenerek beton kaplanması veya maksimum su seviyesi ile alttaki filişler arasında enjeksiyon perdesi teşkil edilmesini" önermiştir. DSİ XIV. Bölge Müdürlüğü tarafından 2011 yılında sızdırmazlığın sağlanması amacıyla "perde dikişli" beton kaplama sahası dizayn edilmiştir. Kaplama sahasının kuzey ve batı sınırı, en yüksek su seviyesine göre belirlenmiştir. Güney ve doğu sınırları ise karbonatlı birimlerin filiş birimleriyle sınırına göre belirlenmiştir. Emniyet payı bırakmak amacıyla sınır, kireçtaşı – filiş dokanağından itibaren 10 m filiş sınırına doğru üzerlenmiştir. Perde enjeksiyonunun derinliği 10 m olarak belirlenmiştir [2].

Kaplama sahasının boyutları, dikiş perdesinin konumu ve derinliği ile kaplama sonucunda oluşacak kaldırma basıncının büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla, 2014 yılında yüklenici ve proje firmaları ile Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Araştırma Merkezi işbirliğinde kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında karotlu sondajlar, basınçlı su testleri ve yeraltısuyu seviye gözlemleri yapılmış, elde edilen verilerle bölgenin jeoloji haritası ve kaplama sahasının sınırları revize edilmiş, perde enjeksiyonu yeniden dizayn edilmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle oluşturulan iki boyutlu nümerik modellerle kaldırma basıncı sınanmış ve yapılan çalışmalar 2015 yılında rapor olarak [3] DSİ XIV. Bölge Müdürlüğü'ne sunulmuştur.

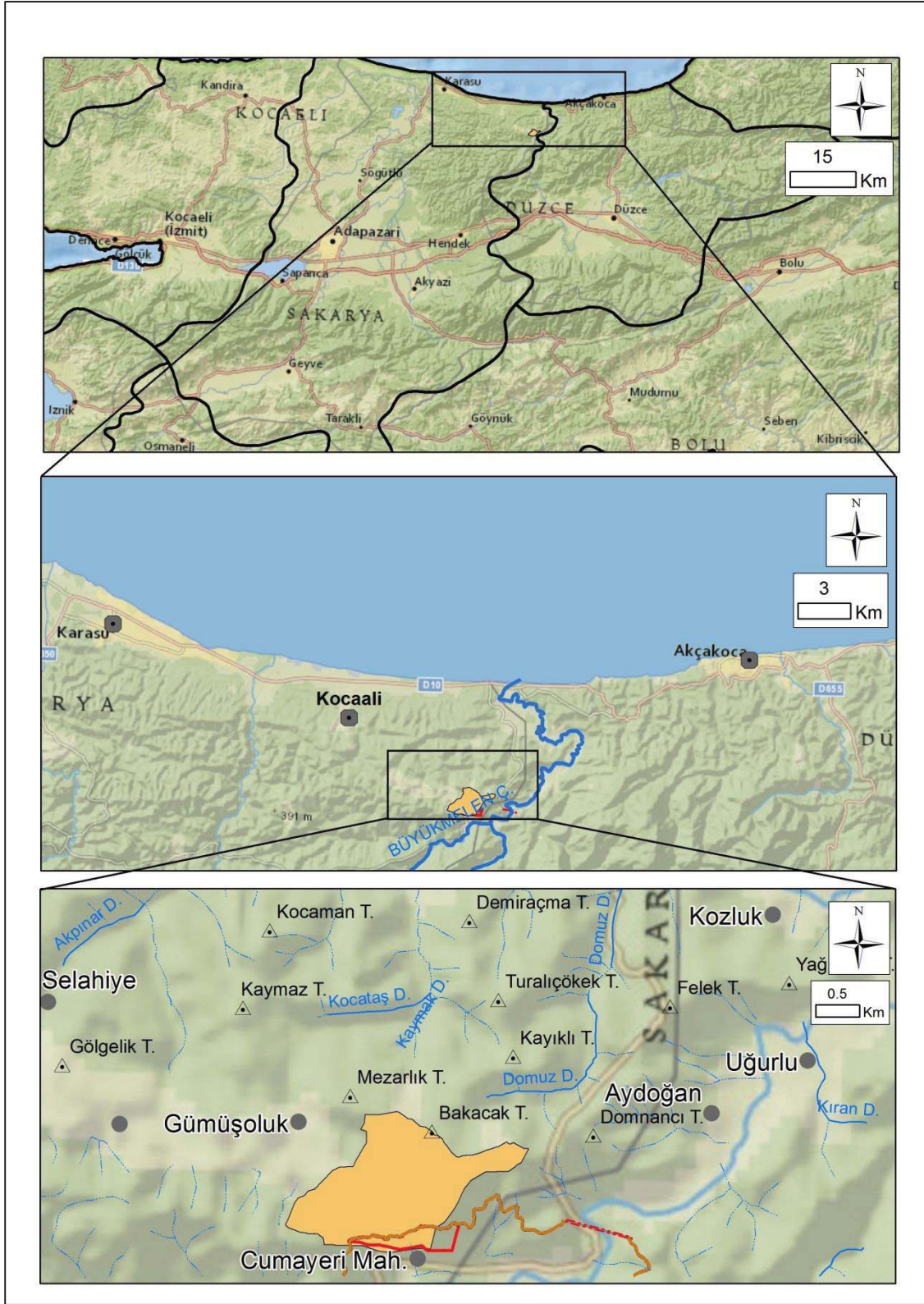
Tez çalışmasının amacı, Ekmekçi vd, 2015 [3] tarafından hazırlanan rapordaki kavramsal modelin geliştirilerek, sistemin iki ve üç boyutlu ortamda sonlu farklar yöntemiyle nümerik modelinin kurulması, buna bağlı olarak kaplama alanında yük ve piyezometrik basınç dağılımının kaplama alanına etkisinin incelenmesi üzerinedir.

1.2. Çalışma Sahasının Tanıtılması

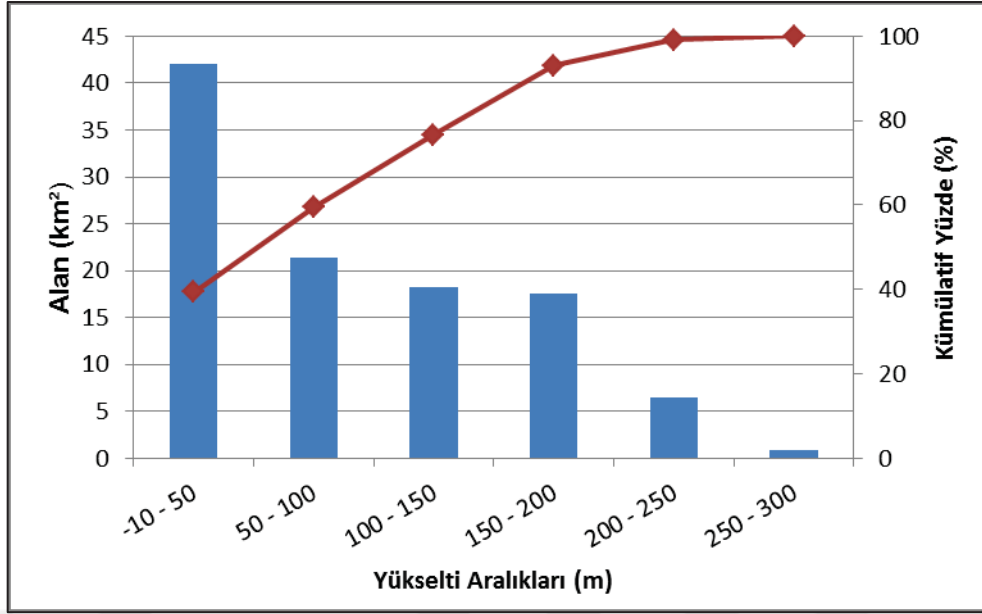
Melen Barajı, DSİ XIV. Bölge Müdürlüğü tarafından, İstanbul'un içme suyunu karşılama amacıyla planlanmıştır. Baraj, Büyük Melen Çayı üzerinde yer almaktadır (Şekil 1.1). İlk etapta kil dolgu baraj olarak planlanmasına rağmen, daha sonra silindire sıkıştırılmış beton barajı olarak yapılması gerektiğine karar verilmiştir (DSİ Genel Müdürlüğü, 2013). Barajın inşası 2013 yılında başlamış olup, inşaatı halen devam edilmektedir. Baraja ve beton kaplama sahasına ulaşım, Karadeniz Sahil yolu olarak bilinen D – 010 kodlu yol üzerinden sağlanmaktadır.

Bölgede pek çok sürekli ve mevsimsel akarsu bulunmakla birlikte, başlıca sürekli akarsular Büyük Melen Çayı ve Hızar Deresi'dir. Bunlara ilaveten, Büyük Melen Çayına boşalan Domuz Deresi ve Demiraçma Deresi önemli mevsimsel akarsulardır.

Çalışma bölgesinin ortalama yükseltisi 128,89 metredir. Çalışma alanı ve civarındaki başlıca yükseltiler, Bakacak Tepe (240 m), Mezarlık Tepe (230 m), Kaymat Tepe (214,7 m) ve Çukurluk Tepe (200 m)'dir. Çalışma bölgesinin kot – alan ilişkisi Şekil 1.2'de, yükselti dağılımını gösterir harita ise Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Çalışma Bölgesini Gösteren Yer Bulduru Haritaları



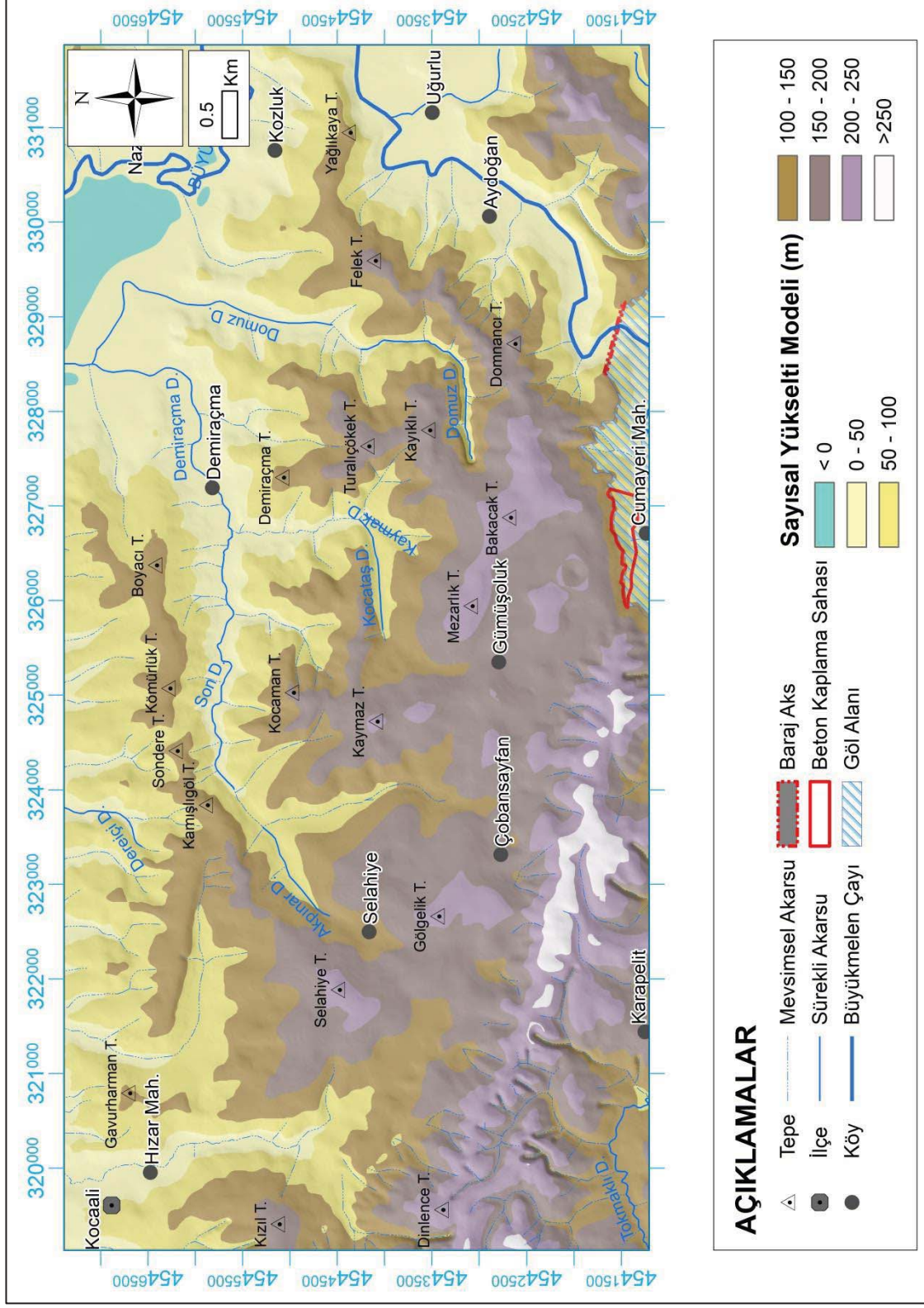
Şekil 1.2 Çalışma Alanı Kot – Alan İlişkisi

1.3. Çalışma Sahasındaki Jeolojik Yapı

Çalışma alanı ve civarında en yaşlı birim Paleozoyik - Mesozoyik yaşlı Çakraz Formasyonudur. Bu birimin üzerine tektonik hareketler sonucunda Üst Kretase yaşlı Yemişliçay Formasyonu ile Üst Kretase – Paleosen yaşlı Akveren Formasyonu gelmiştir. Birbirleriyle uyumlu olan kireçtaşları, Eosen yaşlı Kusuri Formasyonu tarafından üzerlenir. Bu birimlerin üzerinde ise Orta – Üst Eosen yaşlı tuf ve aglomeralar ile Neojen yaşlı tortul birim olan Örencik Formasyonu bulunmaktadır. Çalışma alanı civarındaki en genç birim, akarsu yataklarında bulunan Pliyo – Kuvaterner alüvyonlardır [1]. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 1.4'te verilmiştir.

1.3.1. Çakraz Formasyonu (Mfiliş)

Kaplama sahasının güneyinde yüzeyleyen Paleozoyik - Mesozoyik yaşlı filiş birimidir. Kumtaşı, silttaşı, kiltası ve marndan oluşmaktadır. Birimler ardalıdır. Kumtaşı gri, koyu gri renkli olup ince tanelidir. Birim mika içerir ve karbonat çimentoludur [1]. Orta – zayıf dayanımlı olup, parçalı bir yapıya sahiptir. Kiltası – silttaşı birimleri ise gri renkli, karbonat çimentoludur. Kırılgan ve eklemlili bir yapıya sahiptir. Marn ise özellikle yüzeye yakın kesimlerde taşlaşmamış halde bulunmaktadır. Yüksek tektonizmanın etkisiyle deformasyonlar gözlenmektedir [3].



Şekil 1.3 Çalışma Alanının Yükselti Dağılımı

Kuzeyinde kalan Yemişliçay ve Akveren Formasyonlarıyla dokanak ilişkisi ters faydır. Sondajlardan elde edilen bilgiler sonucunda, daha genç olan Yemişliçay ve Akveren formasyonlarının Çakraz formasyonunun üzerine geldiği anlaşılmıştır. Doğusunda kalan Eosen yaşlı Kusuri formasyonu ile arasındaki dokanak bindirme fayı olup, Çakraz formasyonu, Kusuri formasyonunun üzerine gelmiştir [3], [4].

1.3.2. Yemişliçay Formasyonu (Krü Kçt)

Çalışma sahasının doğusunda gözlemlenmekte olan bu birim egemen olarak kireçtaşlarından oluşmaktadır. En üstte şarabi renkli, orta – zayıf dayanımlı, orta katmanlı kireçtaşları bulunmaktadır. Hemen altında daha sert yapıda, daha kalın, grimsi – bejimsi renkli, heterojen taneli kireçtaşları bulunmaktadır. Çakraz formasyonu ile olan dokanak kısmında ise kireçtaşları deforme olmuştur. Akveren formasyonu ile arasındaki dokanak uyumludur [1], [3], [4].

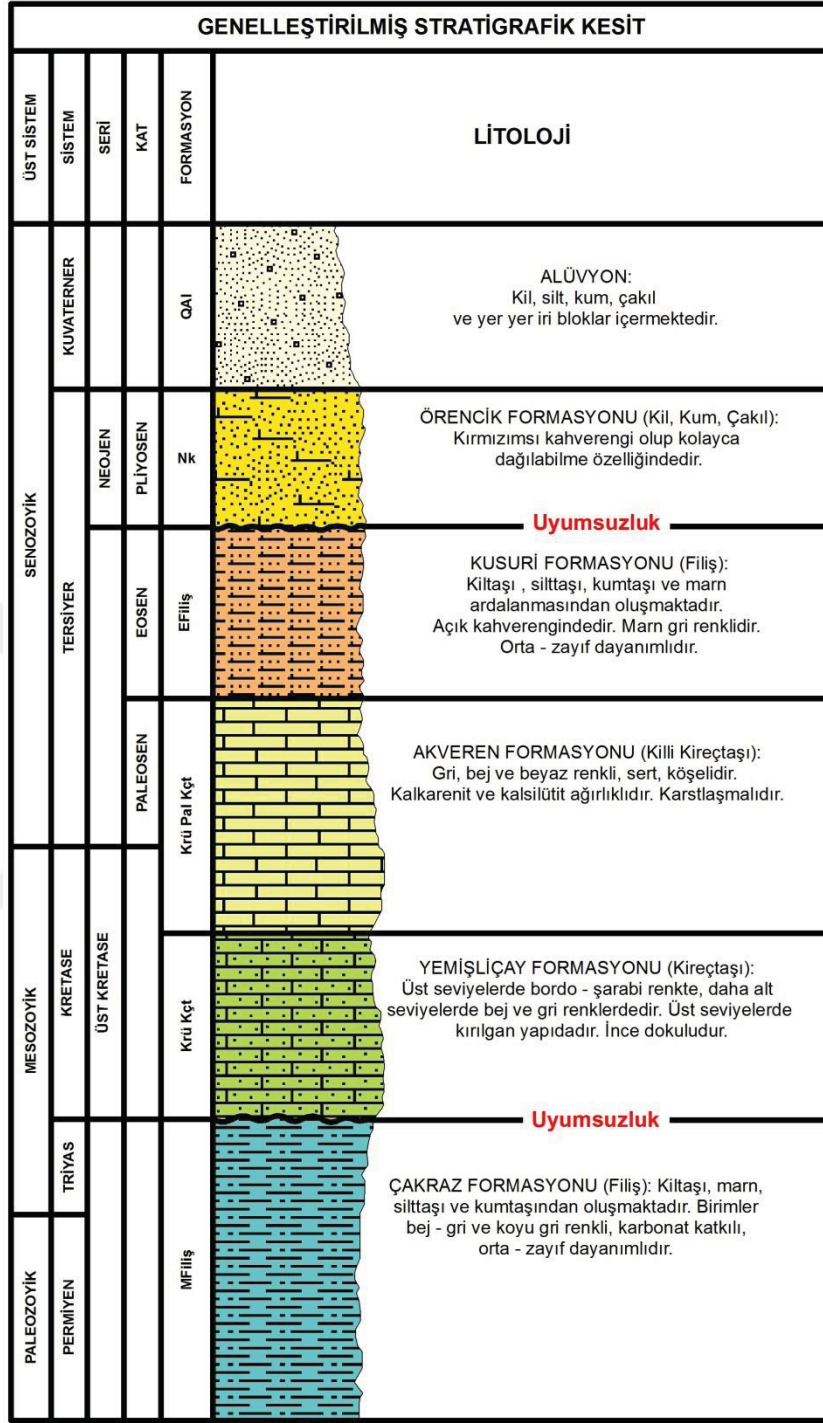
1.3.3. Akveren Formasyonu (Krü – Pal Kçt)

Killi – kumlu kireçtaşı ve ağırlıklı olarak kalkarenitten oluşmaktadır. Kireçtaşları gri, bej ve beyaz renkli olarak gözlemlenebilmektedir (Şekil 1.5). İnce – orta tabakalı ve sert bir yapıya sahip olan kireçtaşları, DSI, 1997 [1]'de geçirimsiz olarak nitelendirilmesine rağmen, Cumayeri kaynağının Yemişliçay formasyonu ile olan dokanağında bulunması, ayrıca çalışma sahasına yakın bölgelerde dolin ve düden gibi karstik yapıların görülmesi (Şekil 1.6), buna ilaveten basınçlı su testlerinde birimin geçirimli olması, birimin karstlaşmalı olduğunu göstermektedir [3].

1.3.4. Kusuri Formasyonu (EFlş)

Kaplama sahasının doğu kesiminin bir kısmını oluşturmaktadır. Genel olarak kumtaşı, silttaşı, marn ve kiltaşından oluşmaktadır [1]. Kumtaşları sarı – boz renkli, yer yer gri renklidir. Zayıf dayanımlı, ince tabakalıdır. Kiltaşları ile ara katmanlı dereceli dokanak yapmıştır. Kiltaşları koyu gri renkli olup orta dayanıma sahiptir [3].

Kusuri formasyonunun Akveren formasyonu ile olan dokanağı uyumlu olmasına karşın, yapılan çalışmalar ve gözlemler sonucunda, beton kaplama sahası ve civarında Akveren formasyonu ile tektonik dokanak gözlemlenmiştir. Sadece beton kaplama sahası civarında gözlemlenen bu fay, bindirme fayıdır. Kusuri formasyonu yaklaşık 10 – 12 derecelik bir açıyla Akveren formasyonunu üzerlemiştir [3](Şekil 1.7 ve Şekil 1.8).



Şekil 1.4 Bölgenin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti ([1]'den değiştirilerek alınmıştır).



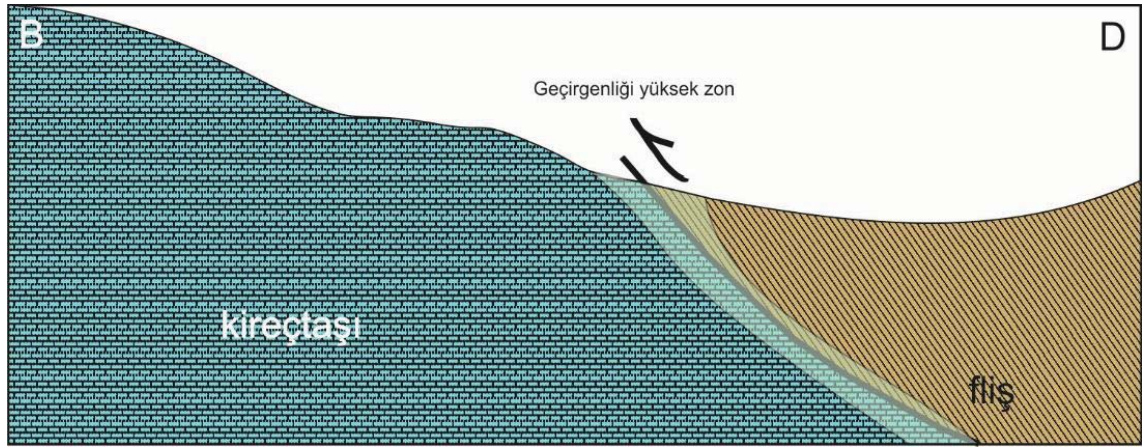
Şekil 1.5 Akveren Formasyonu Kireçtaşları



Şekil 1.6 Akveren Formasyonu'nda bulunan Eybiler Düdeni



Şekil 1.7 Akveren Formasyonu Kireçtaşı ile Kusuri Formasyonu Filişi Arasında Gözlemlenen Fay ([3]'ten alınmıştır.)



Şekil 1.8 Akveren Formasyonu ile Kusuri Formasyonu Arası Dokanak İlişkisi ([3]'ten alınmıştır.)

1.3.5. Örencik Formasyonu (Nk)

Filişin üst kesimlerinde, kalınlığı 10 metreye kadar varabilen toprak örtüsü şeklinde görülmektedir. Genel olarak kırmızımsı kahverenginde olup, kil çimentolu, inceden kalına doğru değişik çaplarda, gevşek tutturulmuş kum ve çakıldan oluşmuştur. Yer yer gri renkli kum-çakıl bantları içermektedir. İnceleme alanında sahil kesimlerinde yüzeylenmektedir [1].

1.3.6. Alüvyon (QAI)

Büyük Melen Çayı vadisi ve sahilde gözlemlenmiştir. Heterojen yapıdadır. Siltli, killi, çakıllı kum özelliğindedir [1].

2015 yılında Ekmekçi - Kalaycıoğlu tarafından düzenlenen çalışma kapsamında jeoloji haritası revize edilmiştir [3]. 1/50000 ölçekli bölgenin jeoloji haritası ve 1/15000 ölçekli beton kaplama sahası Şekil 1.9 ve Şekil 1.10'daki gibidir.

1.4. Hidrostratigrafik Yapı

Çalışma alanında jeolojik birimler, suyu iletebilme ve depolayabilme özelliklerine göre, geçirimli ve geçirimsiz olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre Yemişliçay ve Akveren Formasyonları ile Kuvaterner Alüvyon geçirimli, Çakraz, Kusuri ve Örencik Formasyonları geçirimsiz olarak nitelendirilmiştir. 1/50000 ölçekli hidrostratigrafik harita Şekil 1.11'de gösterilmiştir.

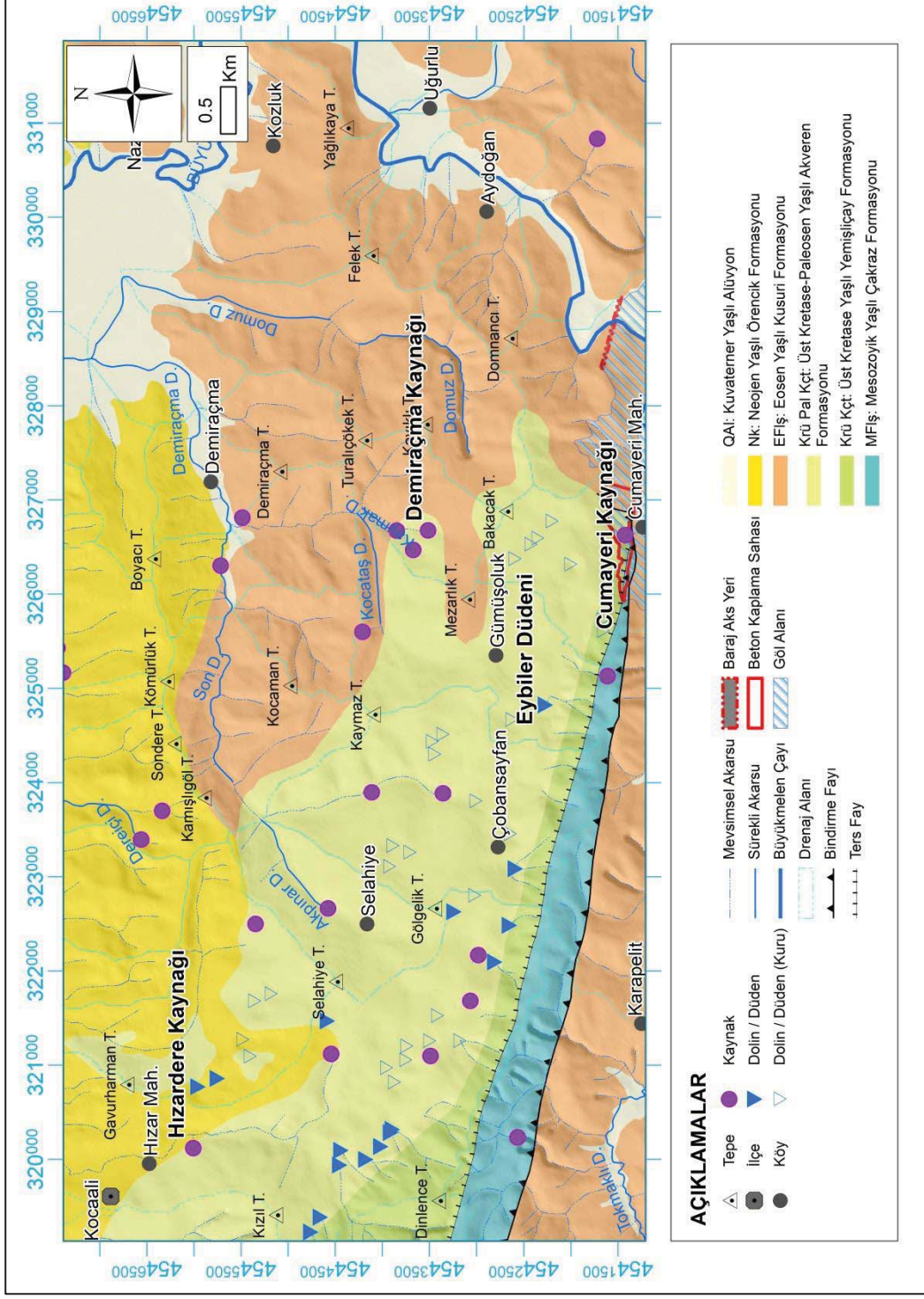
1.5. Önceki Çalışmalar

Çalışma sahası ve civarındaki başlıca çalışmalar 1992 yılında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yapılan "Büyük Melen Barajı Yeraltısuyu İzleme Deneyi Raporu" çalışması [5], 1997 yılında DSİ XIV. Bölge Müdürlüğü tarafından hazırlanan "Büyük İstanbul İçmesuyu II. Merhale Projesi Melen Sistemi Büyük

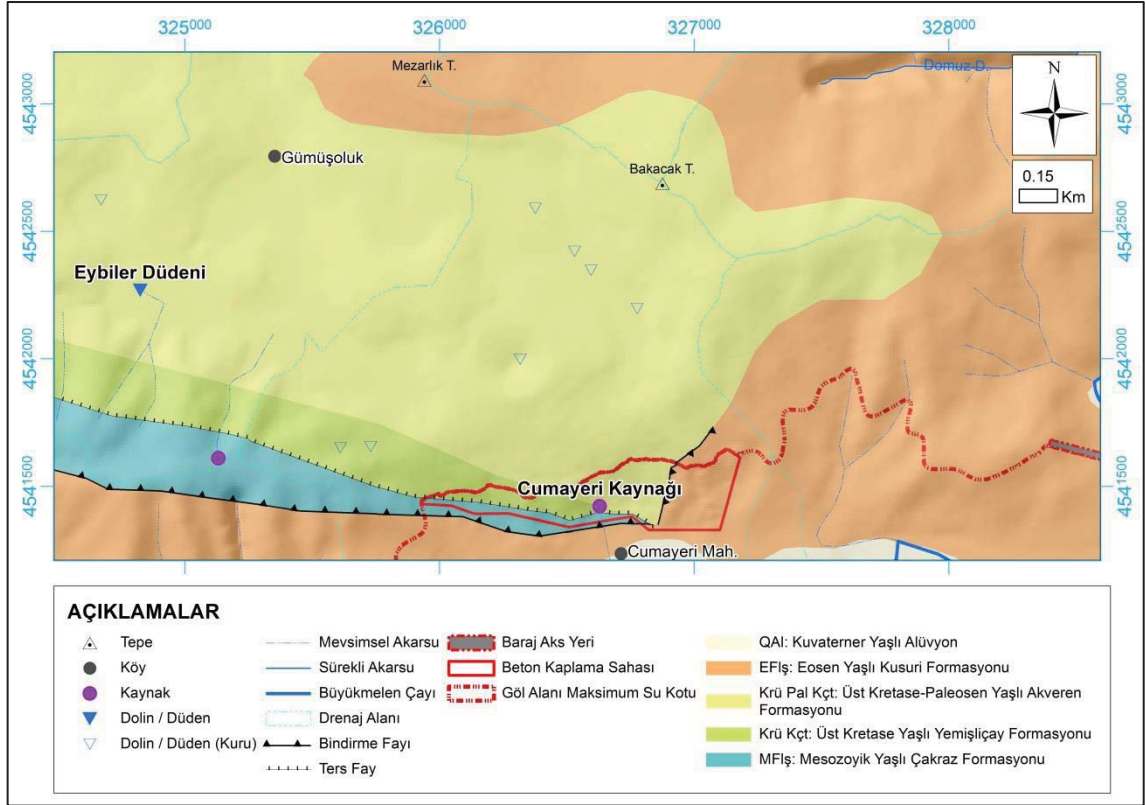
Melen Barajı Planlama Aşaması Mühendislik Jeolojisi Raporu” [1] ve Hacettepe UKAM tarafından hazırlanan “Melen Barajı Göl Alanı Sol Sahil Beton Kaplama Sahasında Sızdırmazlık Amaçlı Tasarımın Hidrojeolojik Yapı Açısından Değerlendirilmesi Projesi”dir [3].

1992 tarihli, DSİ Genel Müdürlüğü’nden Kimya Mühendisi Ali Kaplan tarafından hazırlanan “Büyük Melen Barajı Yeraltısuyu İzleme Deneyi Raporu” [5] kapsamında, 3 adet izleme deneyi yapılmıştır. Bunlardan ilki, çalışma alanının yaklaşık 1,2 km kuzeyinde yer alan 140 m kotundaki düdenin, etüt alanında bulunan kaynaklarla ilişkisini; diğer ikisi ise Cumayeri kaynağının beslenmesini ve kaynağın etüt alanında bulunan kuyularla ilişkisini saptamak amaçlıdır.

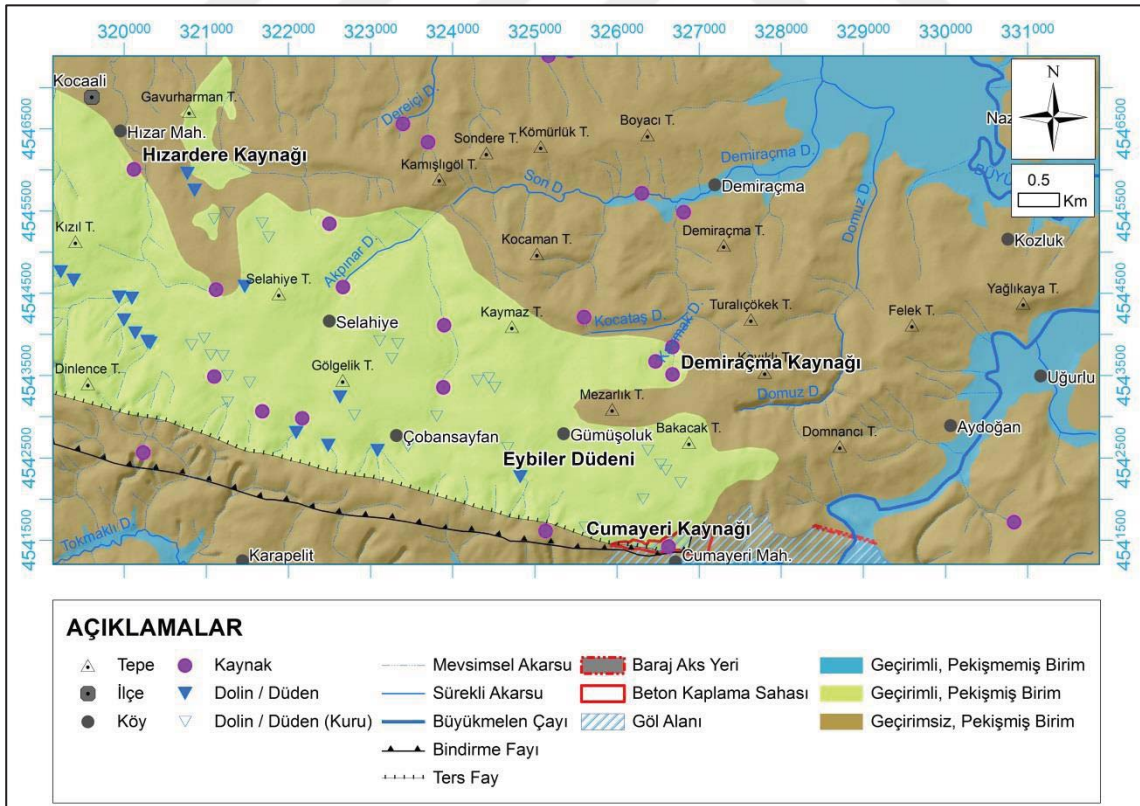




Şekil 1.9 1/50000 ölçekli Bölgesel Jeoloji Haritası ([3]'ten düzenlenmiştir)

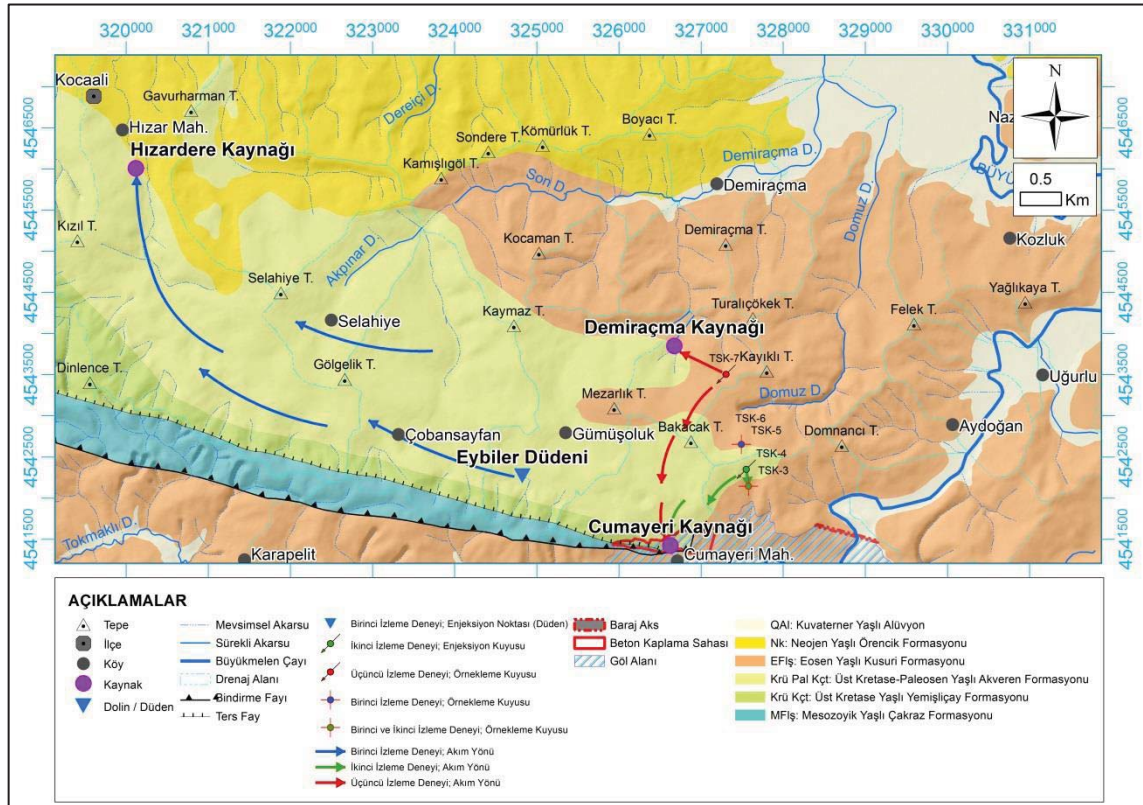


Şekil 1.10 Beton Kaplama Sahası'nın 1/15000 ölçekli jeoloji haritası ([3]'ten düzenlenmiştir.)



Şekil 1.11 Çalışma Alanındaki Hidrostratigrafik Birimler ([4]'ten düzenlenmiştir)

Üç boya deneyinde de yeraltısuyu akım hızları, boyanın ilk gözlemlendiği ana kadar geçen sürenin, aradaki mesafeye oranlanmasıyla bulunduğu için, bulunan değerler ne akım ne de taşınım parametrelerini temsil etmektedir. Ayrıca belirtilen raporda geri kazanım konsantrasyonlarına dair bir bilgi olmadığı için, rapor sadece kavramsal modelin anlaşılmasında yardımcı olmuştur. Üç boya deneyindeki enjeksiyon ve gözlem noktaları ve deney sonuçlarına bağlı olarak oluşturulan akım yönleri Şekil 1.12’de gösterilmiştir.



Şekil 1.12 1992 yılında yapılan boya deneyleri sonucunda tahmin edilen bölgesel ve yerel yeraltısuyu dolaşımı ([4]'ten düzenlenmiştir)

Birinci deneyde düdenin, kaynaklarla olan ilişkisini gözlemleyebilmek adına boya enjeksiyonu düdenden yapılmıştır. 24.5.1991 tarihinde saat 12:00'da düdenden 5 kg Uranin enjekte edilmiştir. Gözlem noktaları olarak kaplama alanında yer alan, 50 m kotundaki Cumayeri kaynağı, göl alanı ile Karadeniz'i ayıran su bölüm hattının kuzeyinde yer alan, 55 m kotundaki Demiraçma kaynağı ve enjeksiyon noktasının yaklaşık 6,5 km kuzeyinde yer alan Hızardere Kaynakları ile, iletim hattı tüneli için açılan TSK kodlu kuyulardan TSK – 3 ve TSK – 5 seçilmiştir. Örneklemeler saatte bir yapılmış olup, 25.6.1991 tarihine kadar devam etmiştir. Boya 30.5.1991 tarihinde Hızardere kaynaklarında gözlenmiştir. Boya önce,

fluorometre cihazı ile tespit edilmiş, daha sonrasında konsantrasyon arttığı için gözle görülebilmektedir. Diğer örnekleme noktalarından alınan su örneklerinde boyaya rastlanmamıştır.

İkinci deneyde, Cumayeri kaynağının beslenmesini, kuyularla ve Demiraçma kaynağıyla olan ilişkisini gözlemleyebilmek adına, Cumayeri kaynağına 1375 m, Demiraçma kaynağına 1700 m uzaklıkta bulunan, su kotu 58,2 m olan TSK – 4 kuyusu enjeksiyon noktası olarak seçilmiştir. 24.7.1991 tarihinde saat 17.00'de kuyuya 5 kg Rodamin enjekte edilmiştir. Gradyan yaratmak adına boya enjekte edilir edilmez 5 m³ su kuyuya basılmıştır. İzleme noktaları olarak Demiraçma kaynağı, Cumayeri kaynağı ve enjeksiyon noktasının 250 m güneyinde yer alan TSK – 3 kodlu kuyu seçilmiştir. Örneklemler 4 saatte bir yapılmış ve 28.8.1991 tarihine kadar devam etmiştir. Boya 8.8.1991 tarihinde saat 08.00'da TSK – 3 kodlu kuyudan ve aynı gün saat 15.00'da Cumayeri kaynağından gözlenmiştir. Deney boyunca Demiraçma kaynağında boya gözlenmemiştir.

Üçüncü deney, Cumayeri kaynağı ile Demiraçma kaynakları arasındaki ilişkinin netleştirilmesi için yapılmıştır. Cumayeri kaynağına 2125 m, Demiraçma kaynağına 750 m uzaklığındaki TSK – 7 kodlu kuyu seçilmiştir. Gözlemler sadece Cumayeri ve Demiraçma kaynaklarından yapılmıştır. İzleme deneyine 22.7.1992 tarihinde 4 kg Uranin varilde karıştırılarak saat 12:00'dan itibaren kuyuya enjekte edilerek başlanmıştır. Kuyudan akifere doğru akımı hızlandırmak için boya enjekte edilir edilmez 3 m³ su kuyuya basılmıştır. Örneklemler 4 saatte bir alınmıştır. Boyaya 23.7.1992 tarihinde saat 16.00'da Demiraçma kaynağında, 30.7.1992 tarihinde saat 24.00'da ise Cumayeri kaynağında rastlanmıştır. Demiraçma kaynağında boya gözle gözlenmiş olup, boya akışı 4.8.1992 tarihine kadar sürmüştür.

Sonuç olarak;

- İlk deneyde bölgesel akımın Hızardere kaynaklarına doğru olduğu, Cumayeri ve Demiraçma kaynaklarının farklı yerel sistemler olduğu tespit edilmiştir.
- İkinci deneyde ise Cumayeri kaynağıyla Demiraçma kaynağının farklı yerel sistemlerin boşalım noktaları olduğu anlaşılmıştır.

- Üçüncü deneyde ise boyanın her iki kaynakta da gözlenmesi, boyanın daha yakın olan Demiraçma kaynağında daha fazla ve daha çabuk gözlenmesine dayanarak, enjeksiyon kuyusunun yeraltısuyu bölüm hattında olmasıyla açıklanabilmektedir. Diğer taraftan, enjeksiyon kuyusu olan TSK – 7'deki hidrolik yük değerinin, 2015 yılında Ekmekçi vd. tarafından gerçekleştirilen çalışma [3] kapsamında açılan kuyulardaki hidrolik yük değerinden daha düşük olması, bu deneyin güvenilirliğini tartışmaya açmaktadır. Buna ilaveten, gözlemlenen boyanın, birinci deneyde enjekte edilen boya olma olasılığı da göz ardı edilmemelidir.

1997 yılında DSİ 14. Bölge Müdürlüğü tarafından hazırlanan “Büyük İstanbul İçmesuyu II. Merhale Projesi Melen Sistemi Büyük Melen Barajı Planlama Aşaması Mühendislik Jeolojisi Raporu” [1] kapsamında kireçtaşları, karstlaşmalı birimler oldukları için sızdırmazlık açısından incelenmiştir. Bu kapsamda kaplama sahası içinde yer alan Cumayeri Kaynağı ile 1992 tarihli boya deneyi raporunda söz edilen Demiraçma kaynağının 1991 – 1995 yılları arasında ölçülen kaynak akım değerleri ele alınmıştır. Cumayeri kaynağının ortalama boşalım debisinin yaz aylarında 10 l/s, kış aylarında ise 50 l/s olduğundan, Demiraçma kaynağından ise yazın 10 l/s, kışın 40 l/s olduğundan bahsedilmiştir. Raporda 1990 – 1995 yılları arasında Adapazarı, Düzce ve Akçakoca Meteorolojik Gözlem İstasyonlarında ölçülen aylık ortalama yağış değerleri kullanılarak, ortalama yağış – ortalama kaynak boşalımı ilişkilendirilmiş ve yağış – boşalım ilişkisinin hızlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Aynı çalışma kapsamında ARSK – 1 ve ARSK – 2 kodlu iki tane kuyu, karotlu sondajla açılmış, bu kuyularda basınçlı su testleri yapılmıştır. Kuyularda yapılan basınçlı su testleri sonucunda kireçtaşı geçirimli çıkmış, iki kuyuda da basıncın yükselmediği, kaçakların fazla olduğu seviyeler geçilmiştir. Kuyular, betonla kapatıldığı için, çalışma kapsamında faydalanılamamıştır (Şekil 1.13).

Sonuç olarak çalışmada “karbonatlı kayaçların olduğu kısımların temizlenerek beton kaplanması veya maksimum su seviyesi ile alttaki fişler arasında enjeksiyon perdesi teşkil edilmesi” önerisi sunulmuştur.

Çalışma alanıyla ilgili bir diğer kayda değer çalışma ise 2013 yılında DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı ile DSİ XIV. Bölge

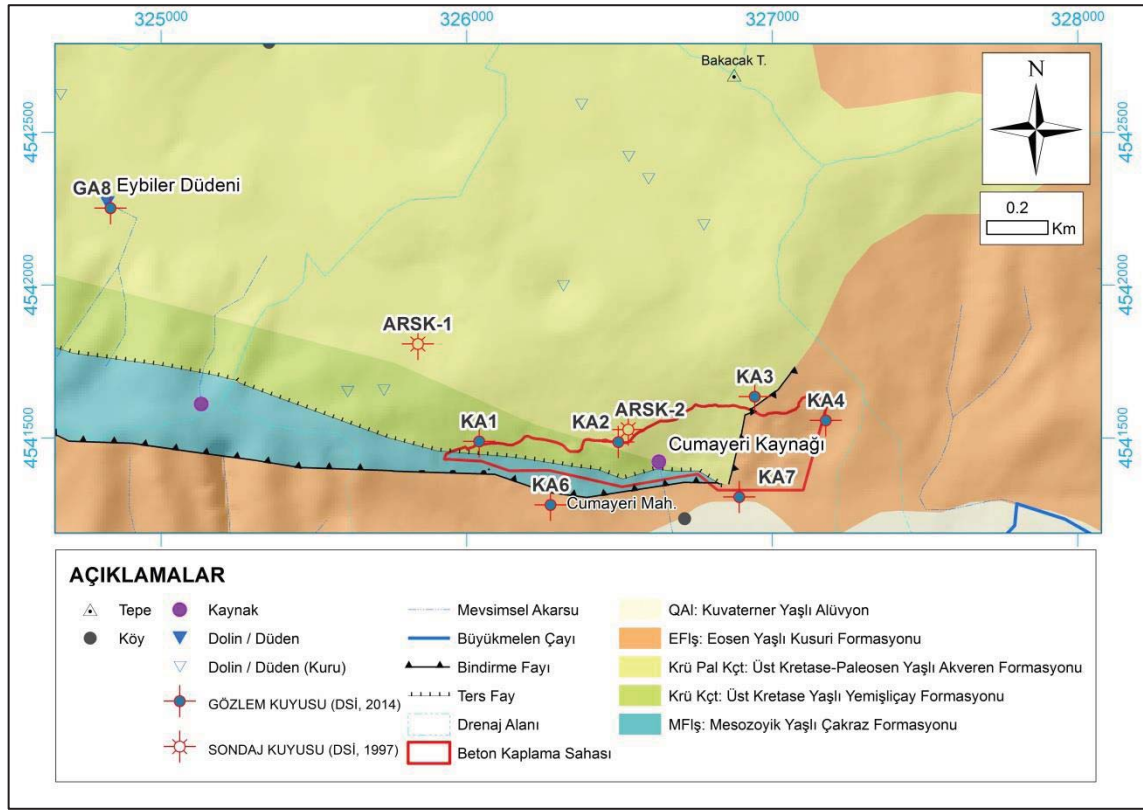
Müdürlüğü'nce kurulan heyetin yaptığı bir teknik gezidir [6]. Teknik gezi raporunda ağırlıklı olarak önceki çalışmalardan bahsedilmiştir. Yapılacak çalışmalar kapsamında, kaplama alanının sınırının topoğraf marifetiyle işaretlenmesi, kaplama alanı civarının jeolojik sınırının belirlenmesi amacıyla 7 adet, 0 m kotuna inen temel sondaj kuyusu, bu kuyularda basınçlı su testleri yapılması, kuyuların gözlem kuyusuna çevrilerek ayda bir yeraltısuyu seviye ölçümü yapılması önerilmiştir. Boya enjeksiyon noktalarından biri olan düdenin yakınına, karstik akiferin doğal yükünü belirlemek amacıyla gözlem kuyusu açılması planlanmıştır. Ayrıca, Cumayeri, Demiraçma ve Hızardere kaynaklarının topoğraf marifetiyle kot ve koordinatlarının belirlenmesi ve bu kaynaklardan aylık olarak debi ölçümü yapılması da öneri olarak sunulmuştur. Bunun dışında kuyulardan ve kaynaklardan Nisan ve Ekim aylarında su numunesi alınması planlanmıştır.

2013 yılındaki teknik gezi sonucundaki öneriler üzerine [6] 2014 yılında temel sondaj araştırmaları yapılmıştır. Çalışma DSİ XIV. Şube Müdürlüğü adına yürütücü firma ECETUR – YÖNTAŞ Adi Ortaklığı A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Önerilen kuyular açılmış, basınçlı su testleri yapılmış ve kuyular gözlem kuyusuna çevrilmiştir. Kaplama alanındaki 7 kuyudan 3'ü kireçtaşı, 4'ü ise fildişi taşıdır (Şekil 1.13). Basınçlı su testleri sonuçlarına göre kireçtaşı geçirimli – çok geçirimli olup, fildişi taşı ise az geçirimli – geçirimli olarak tanımlanmıştır. Ancak, çalışma kapsamında ölçülen yeraltısuyu seviyesi değerlerinin çok değişken olması ve kuyu teçhizat – tecritleri hakkında bir bilgi olmaması, çalışma alanının küçüklüğü göz önünde bulundurulduğunda, ölçülen yeraltısuyu seviyelerinin temsil ediciliği hakkında problem teşkil etmektedir. Buna ilaveten kuyuların kaplama alanı içindeki lokasyonları, özellikle kireçtaşı hidrolik yük dağılımını sağlayabilecek nitelikte değildir.

Çalışma alanı ve civarında yapılan en kapsamlı çalışma, daha önce de bahsi geçen, 2015 tarihli, Ekmekçi & Kalaycıoğlu tarafından yapılan “Melen Barajı Göl Alanı Sol Sahil Beton Kaplama Sahasında Sızdırmazlık Amaçlı Tasarımın Hidrojeolojik Yapı Açısından Değerlendirilmesi Projesi”dir [3]. Çalışma, 4 ana belirsizliğin giderilmesi üzerinedir. Bunlar:

- Kaplama alanının sınırının belirlenmesi
- Kaplama alanı sınırında oluşturulacak dikiş perdesinin yeri ve derinliğinin belirlenmesi

- Kaplama sonrası oluşacak piyezometrik basınç sebebiyle oluşacak kaldırma basıncının hesaplanması
- Oluşacak basıncın düşürülmesi için alınması gereken önlemlerin belirlenmesidir.

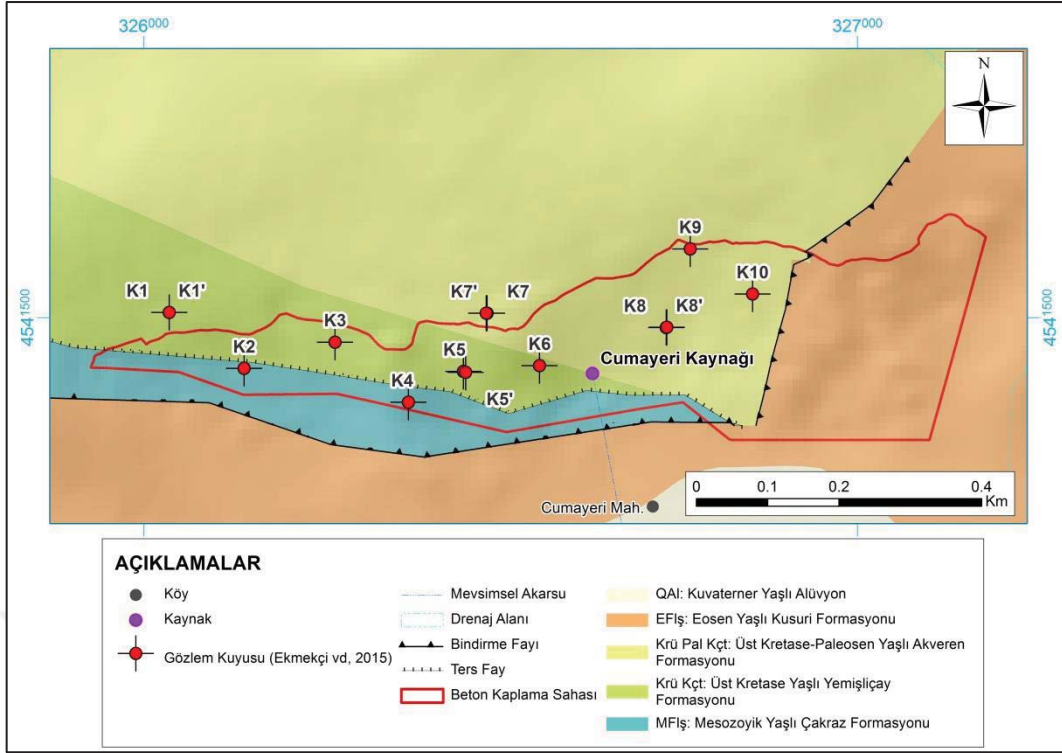


Şekil 1.13 Çalışma Alanında DSİ Tarafından 1997 ve 2014 Yıllarında Yaptırılan Gözlem Kuyuları

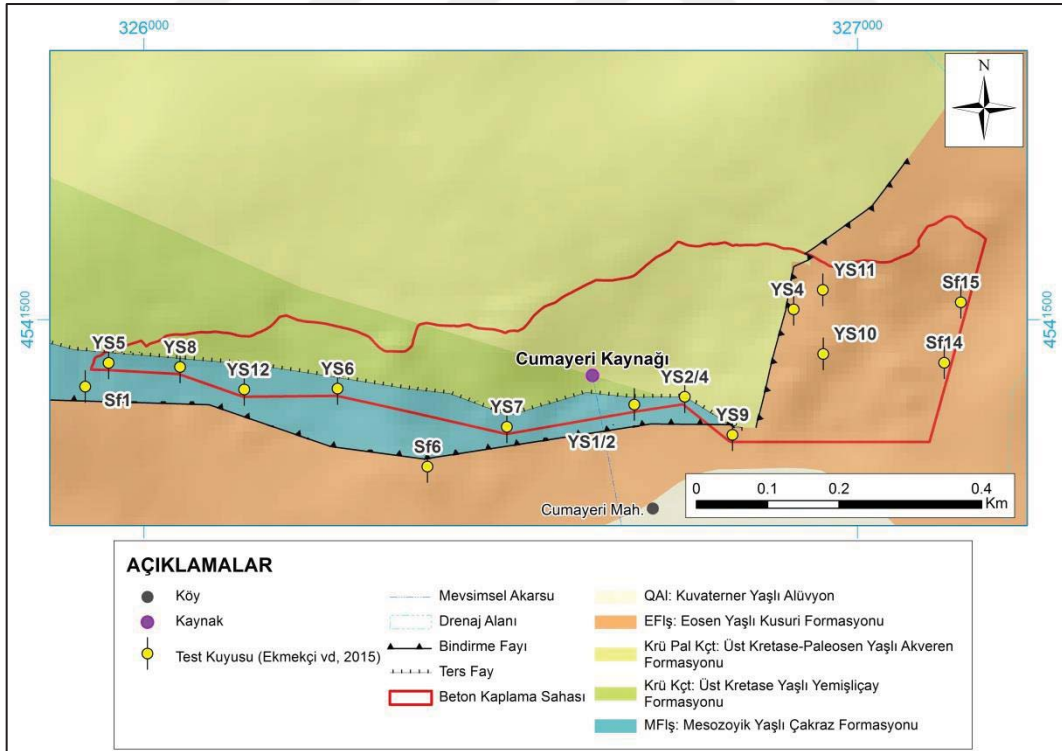
Bu amaçla kaplama sahası sınırlarını belirleyecek olan kireçtaşı – fliš dokanağını ve bu dokanağın yapısal ilişkilerini belirlemek amacıyla arazi gözlemleri yapılmış ve 24 noktada araştırma çukuru açılmıştır. Kaplama sahası ve civarındaki birimlerin litolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, kireçtaşında 10 tane (Şekil 1.14), flište ise 15 tane (Şekil 1.15), [5]'te belirtilen yeraltısuyu bölüm hattında 1 tane olmak üzere toplam 26 tane karotlu sondaj yapılmıştır (Şekil 1.16). Kireçtaşındaki sondajlar 0 m kotunda kadar açılmış olup, flišteki kuyular güney sınırında 40 m, doğu sınırında ise 50 m derinlikte açılmıştır. Karotlu sondajla açılan bütün kuyularda, ileriki bölümlerde bahsedilecek yöntemlerle basınçlı su testleri yapılmıştır. Basınçlı su testleri sonuçlarına göre, Lugeon sınıflandırmasına göre kireçtaşı geçirimli – çok geçirimli, fliš ise az geçirimli – geçirimli olarak sınıflandırılmıştır. Hidrolik yükün gözlemlenmesi amacıyla kireçtaşındaki kuyuların tamamı ve su bölüm hattındaki kuyu, piyezometreye

çevrilmiştir. Ayrıca kireçtaşıda 4 lokasyonda, düşey yönlü dolaşımı gözlemlemek amacıyla, daha sığ derinliklerde kuyular açılıp piyezometreye dönüştürülmüştür. Proje kapsamında Eylül – Mart ayları arasında olabildiğince haftalık aralıklarla yeraltısuyu seviye ölçümü yapılmıştır. Ölçümler sonucunda kaplama alanındaki yükteki değişkenliğin önceki çalışmalardan daha düşük olduğu, sığ piyezometrelerde bu değişimin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla sığ dolaşimli kesimin yağışlardan daha fazla etkilendiği sonucu ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, +1 m kotundaki hidrolik yükü temsil eden K-8 kodlu kuyudaki hidrolik yük değerlerinin, Cumayeri kaynağının kot değerinden daha düşük olması sebebiyle, Cumayeri boşalımının olduğu noktadaki hidrolik yükün boşalım kotunun üzerinde olduğu, dolayısıyla kaynağın “yükselen” bir kaynak olduğu sonucuna varılmıştır. Kavramsal model kapsamında hidrolik yük dağılımı ortaya çıkartılmış, ayrıca 1991 – 1995 yılları arasında Cumayeri ve Demiraçma kaynaklarında ölçülen kaynak akım değerlerinden [1] faydalanılarak çekilme eğrisi analizi yapılmıştır. Hesaplama sonucunda Cumayeri kaynağının ortalama boşalım debisi 25 l/s olarak bulunmuş, çekilme katsayısı $0,015 \text{ gün}^{-1}$ bulunmuştur.

Proje sonunda, araştırma çukurları ve sondajlar sonucunda çalışma alanının jeolojik haritası revize edilmiştir. Kireçtaşları ile filiş birimleri arasındaki dokanakların faylı olduğu, kireçtaşı birimlerinin Çakraz formasyonuna bindirmeyle geldiği, Akveren formasyonu kireçtaşı ile Kusuri formasyonu arasındaki dokanağın kaplama sahası ve civarında normal fay şeklinde olduğu anlaşılmıştır. Kaplama sahasının yerel bir hidrojeolojik sistemde yer aldığı, yerel sistemin bölgesel sistemden Bakacak Tepe sırtlarında oluşan su bölüm hattıyla ayrıldığı, yüzey su bölüm hattının yeraltısuyu bölüm hattıyla paralellik arz ettiği, Cumayeri kaynağının bu sistemin boşalım noktası olduğu vurgulanmıştır. Yapılan sondajlar ve basınçlı su testleri sonucunda, beton kaplama sahası revize edilmiştir. Güney sınırı, kireçtaşı – filiş dokanağının filiş yönünde 10 m, doğu sınırında ise kireçtaşı – filiş dokanağının filiş yönünde 150 m içinden geçirilmiştir. Basınçlı su testleri sonuçlarına göre güney sınırında örnek bir perde enjeksiyonu tasarımı sunulmuş, doğu sınırında ise enjeksiyon derinliğinin 20 – 25 m arasında olması gerektiği ifade edilmiştir. Proje sonucunda ortaya çıkartılan kavramsal model, nümerik model ortamına aktarılmıştır. Oluşturulan nümerik model 2 boyutlu kesit modeldir ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır.



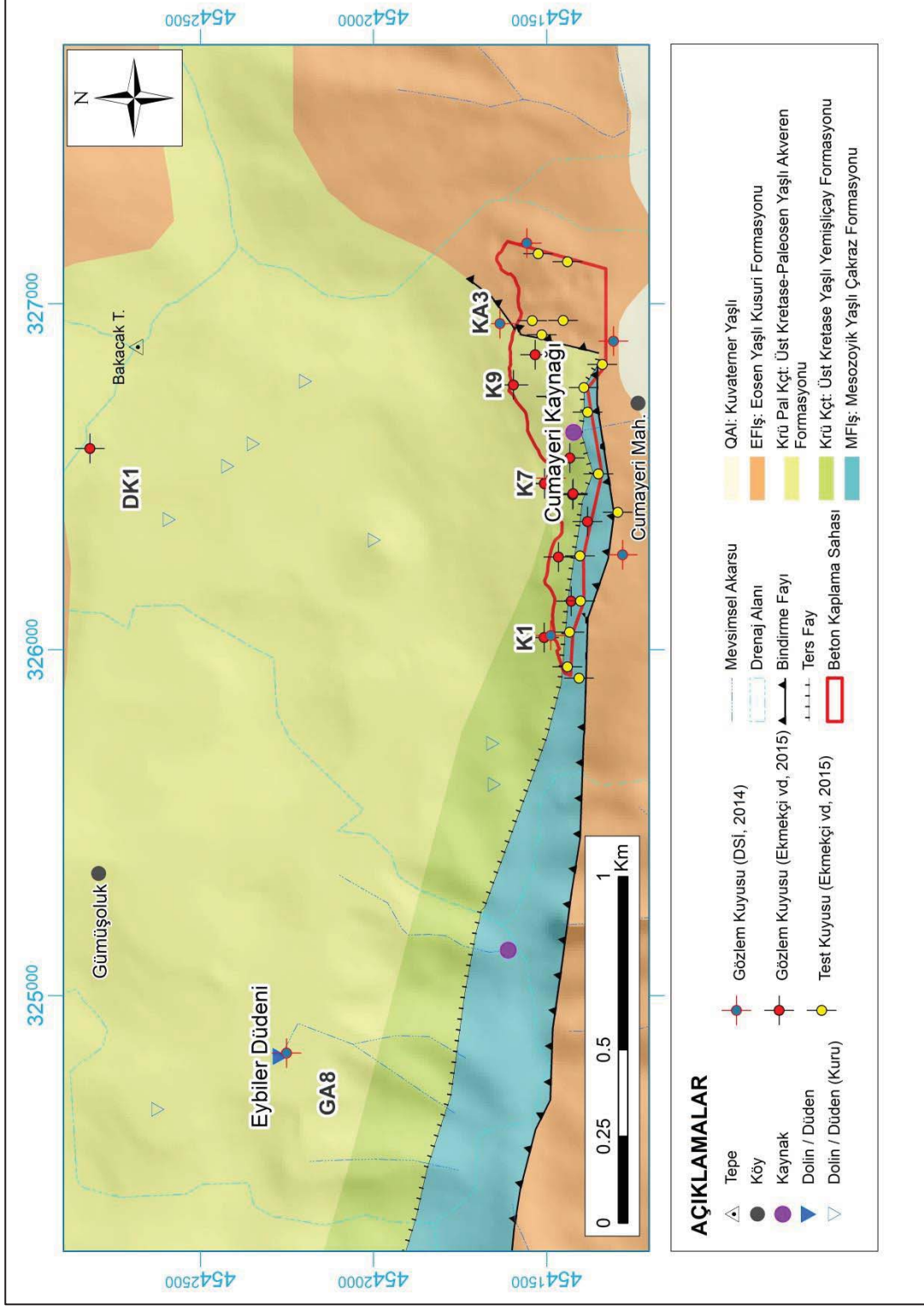
Şekil 1.14 2014 – 2015 Yılları Arasında Yapılan Çalışma Kapsamında Açtırılan Derin Kuyular ([3]'ten düzenlenmiştir)



Şekil 1.15 2014 – 2015 Yılları Arasında Yapılan Çalışma Kapsamında Açtırılan Sığ Kuyular ([3]'ten düzenlenmiştir)

Çalışma kapsamında öncelikle doğal durum modellenmiştir. Sonrasında, beton kaplama yapıldıktan sonra oluşacak piyezometrik basıncın hesaplanabilmesi için kaplama sonrasındaki durum da modellenmiştir. Model sonucunda piyezometrik basıncın yüksek olduğu, bunun sonucunda beton kaplamanın kaldırma basıncı sonucunda işlevsiz hale geleceği anlaşılmıştır. Piyezometrik basıncın düşürülmesi amacıyla farklı yöntemlerin modellenmesi sonucunda, basıncın kaynak kaptajı ve 53 m kotunda 2 m derinliklerde yer alan drenlerle giderilebileceği sonucuna varılmıştır [3].





Şekil 1.16 2013 – 2015 arasında yapılan çalışmalar sonucunda kaplama sahası ve civarında açılan bütün kuyular ([3]'ten düzenlenmiştir)

2. HİDROJEOLÖJİK KARAKTERİZASYON

Beton kaplama sahası ve civarında bulunan hidrolik yük dağılımının ve kaplama sonrasında oluşacak piyezometrik basıncın incelenmesi için, bölgedeki hidrojeolojik birimlerin karakterizasyonuna gerek duyulmuştur. Bu kapsamda Ekmekçi vd, 2015 [3]'te gerçekleştirilen basınçlı su testleri ve hidrolik yük değerleri incelenmiş; 1992 ile 1997 yılları arasında DSİ tarafından Cumayeri ve Demiraçma kaynaklarından alınan kaynak boşalım debileri [1] ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan yağış verileriyle sistemin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

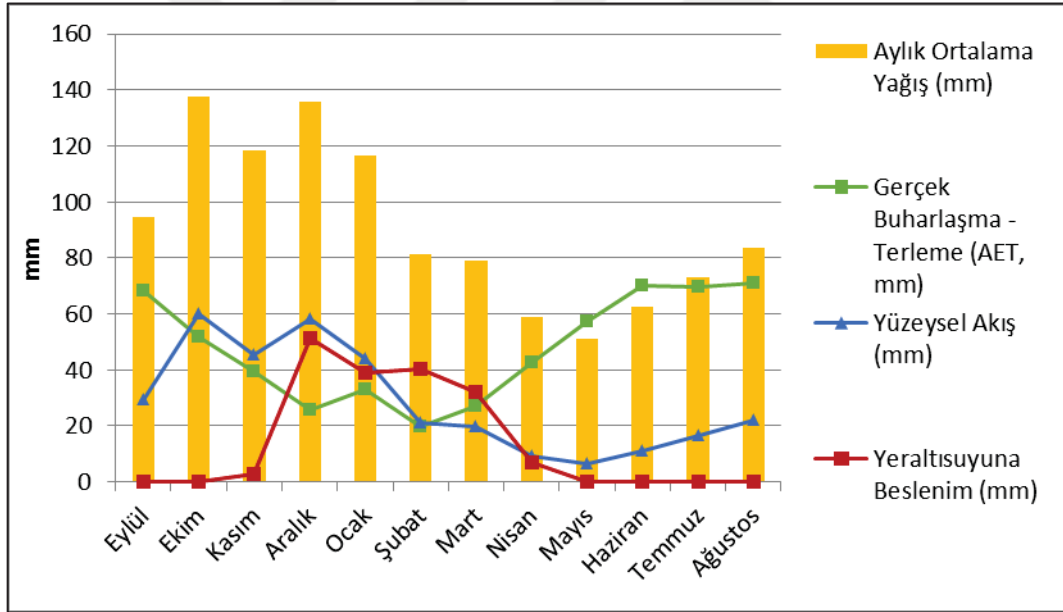
2.1. Hidroloji

Çalışma kapsamında aylık yağış ve sıcaklık değerleri kullanılarak, buharlaşma değerleri ve meteorolojik su bütçesi hesaplanmıştır. Bu kapsamda Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 17075 numaralı, kaplama sahasının yaklaşık 25 km kuzeydoğusunda ve 10 m kotunda yer alan Akçakoca Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun verileri kullanılmıştır. İstasyonda ölçülen yağış ve sıcaklık değerleri kullanılarak, Thornthwaite metoduyla [7] potansiyel ve gerçek buharlaşma – terleme hesaplanmış ve buna bağlı olarak su bütçesi oluşturulmuştur.

Akçakoca Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu'nda Ocak 1970 – Ocak 2017 tarihleri arasında ölçülen yağış değerlerinin ortalaması 1092,7 mm/yıl'dır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, yıllık buharlaşma değerlerinin ortalaması 576,4 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Buna göre bölgede yağışın ortalama %52,74'ü buharlaşma – terleme yoluyla atmosfere geri dönmektedir. Yüzeysel akışın hesaplanması için, "SCS - Eğri Numarası" metodu kullanılmıştır [8]. Arazi kullanımı ormanlık alan, toprak sınıfı olarak da C sınıfı toprak (süzülme hızı düşük, tane boyu ince, süzülme kapasitesi 0,13 – 0,38 cm/saat) kabul edilmiştir. Buna göre eğri numarası olarak 70 kabul edilmiştir (Çizelge 2.1). Buna göre, uzun dönemde ortalama olarak 343,2 mm/yıl yüzeysel akış gözlemlenmektedir. Bütün bunların sonunda, uzun dönem ortalaması olarak yılda 173,0 mm yeraltısuyuna beslenme olmaktadır. Beslenme Kasım ile Nisan ayları arasında gerçekleşmektedir (Şekil 2.1, Çizelge 2.2).

Çizelge 2.1 Hidrolojik Toprak Grubu ve Arazi Kullanımı İlişkisi [9]

Arazi Kullanımı	Hidrolojik Toprak Grubu			
	A	B	C	D
Tarım Alanı				
Nadassız	72	81	88	91
Nadaslı	62	71	78	81
Mera	30	58	71	78
Orman				
Çayır, Bahçe	45	66	77	83
Fundalık, Bağ	36	60	73	79
Orman	30	55	70	77
Yerleşim Yeri				
Yaklaşık %65 Geçirimsiz	77	85	90	92
Yaklaşık %38 Geçirimsiz	61	75	83	87
Yaklaşık %25 Geçirimsiz	54	70	80	85
Yaklaşık %20 Geçirimsiz	51	68	79	84



Şekil 2.1 Akçakoca OMGİ'ye göre Uzun Dönem Ortalama Yağış, Gerçek Buharlaşma, Yüzeysel Akış ve Yeraltısuyuna Süzülme Değerleri

Çizelge 2.2 Akçakoca Meteoroloji İstasyonu İçin Hazırlanan Meteorolojik Su Bilançosu ([7] ve [8]'ye göre hesaplanmıştır)

Parametre / Aylar	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Toplam	Yüzde
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	18.3	14.6	10.3	7.2	8	5.6	7.1	10.6	14.8	19.1	21.5	21.7		
i	7.13	5.07	2.99	1.74	2.04	1.19	1.70	3.12	5.17	7.61	9.10	9.23		
a	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37		
UPET, mm *	81.11	59.49	36.86	22.55	26.06	15.97	22.12	38.34	60.61	86.01	101.18	102.48	652.79	
r : Aylık Düzeltme Katsayısı	0.84	0.87	1.07	1.15	1.27	1.24	1.22	1.11	0.96	0.88	0.77	0.78		
PET, mm **	68.45	51.91	39.36	25.93	33.21	19.83	27.05	42.59	58.09	75.55	77.57	80.30	599.84	
Aylık Ortalama Yağış (mm)	94.60	137.80	118.30	135.70	116.40	81.50	79.10	58.90	51.30	62.40	73.30	83.40	1092.70	
Yüzeysel Akış Katsayısı	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Yüzeysel Akış (R/O)	29.19	59.86	45.37	58.26	44.01	21.16	19.78	9.44	6.30	11.04	16.56	22.28		
İnfiltrasyon (I, mm)	65.41	77.94	72.93	77.44	72.39	60.34	59.32	49.46	45.00	51.36	56.74	61.12		
I-PET	-3.04	26.02	33.58	51.51	39.19	40.51	32.27	6.87	-13.09	-24.19	-20.83	-19.18		
TOTAL (P-PET)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-13.09	-37.28	-58.11	-77.29		
Rezervdeki Su (ST, mm)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	87.73	68.88	55.93	46.17		
Δ ST	-3.04	26.02	30.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.27	-18.85	-12.95	-9.76		
Gerçek Buharlaşma - Terleme (AET, mm)	68.45	51.91	39.36	25.93	33.21	19.83	27.05	42.59	57.27	70.21	69.70	70.88	576.38	52.74
Fazla Su (I-AET)	29.19	59.86	48.10	109.77	83.19	61.67	52.05	16.31	6.30	11.04	16.56	22.28	516.32	
Yüzeysel Akış (mm)	29.19	59.86	45.37	58.26	44.01	21.16	19.78	9.44	6.30	11.04	16.56	22.28	343.25	31.41
Yeraltısuyuna Beslenim (mm)	0.00	0.00	2.73	51.51	39.19	40.51	32.27	6.87	0.00	0.00	0.00	0.00	173.07	15.83

* UPET: Potansiyel Buharlaşma - Terleme

** PET: Düzeltme Katsayısı Sonunda Hesaplanan Potansiyel Buharlaşma - Terleme

2.2. Kaynaklar

Çalışma kapsamında kaplama sahasında yer alan Cumayeri Kaynağı ve kaplama sahasının kuzeyinde yer alan Demiraçma kaynağı incelenmiştir. Cumayeri kaynağı, [3]'te ve [4]'te de bahsedildiği üzere, yerel yeraltısuyu sisteminin boşalım noktasıdır. Arazi gözlemleri boyunca, kaynağın birden fazla çıkış noktası olduğu, ancak en büyük çıkış noktasının Cumayeri Kaynağı olarak isimlendirildiği anlaşılmıştır. Kaynaklar Yemişliçay Formasyonu ile Akveren Formasyonu Kireçtaşlarının dokanağında yüzeylemiş olup, kireçtaşı – filiş dokanağına yaklaşık 25 m uzaklıkta yer almaktadır. En büyük çıkış noktasında kot değeri 51,11 m'dir. Mevsimsel değişikliklere bağlı olarak, kurak dönemde daha düşük, yağışlı dönemde ise daha yüksek kotlarda da boşalımların gerçekleştiği gözlemlenmiştir [3],[4].



Şekil 2.2 Cumayeri Kaynağı

Demiraçma kaynağı ise, Cumayeri kaynağının yaklaşık 2500 m kuzeyinde yer alıp, kot değeri 55 m'dir. Birden fazla çıkış noktası bulunmakta olan kaynak, aynı zamanda Kaymak Deresi'nin çıkış noktasıdır. Kaynak, Akveren formasyonu ile Kusuri formasyonu dokanağında yüzeylemektedir. Kaynak, Demiraçma ve Gümüşoluk köylerine içme suyu temin edilmesi amacıyla kaptaja alınmıştır (Şekil 2.3).



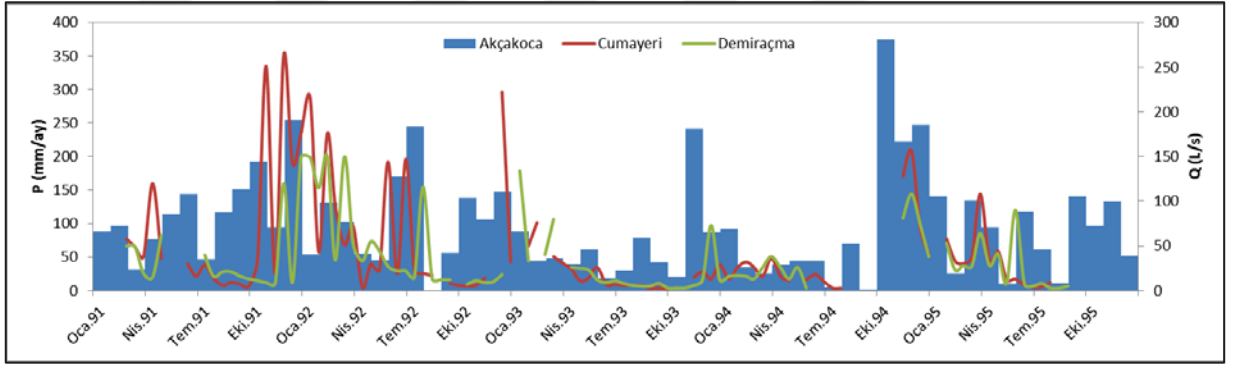
Şekil 2.3 Demiraçma Kaynağından Bir Fotoğraf

Çizelge 2.3'te DSI'nin 1991 – 1995 yılları arasında Cumayeri ve Demiraçma kaynaklarından aldığı debi ölçümleri bulunmaktadır [1]. Ölçümler 15 günlük periyotlarla alınmıştır. Şekil 2.4'te ise buna göre hazırlanan aylık yağış ve buna karşılık akım değerlerinin olduğu kaynak akım hidrografı görülebilmektedir. Uzun dönem ölçümler sonunda ortalama boşalım değerleri Cumayeri kaynağında 44,4 l/s, Demiraçma kaynağında ise 34,8 l/s'dir. Yağışın en yüksek olduğu Kasım ve Aralık aylarında akım değerleri en yüksek, yağışın en düşük olduğu Ağustos ve Eylül aylarında ise en düşük düzeydedir.

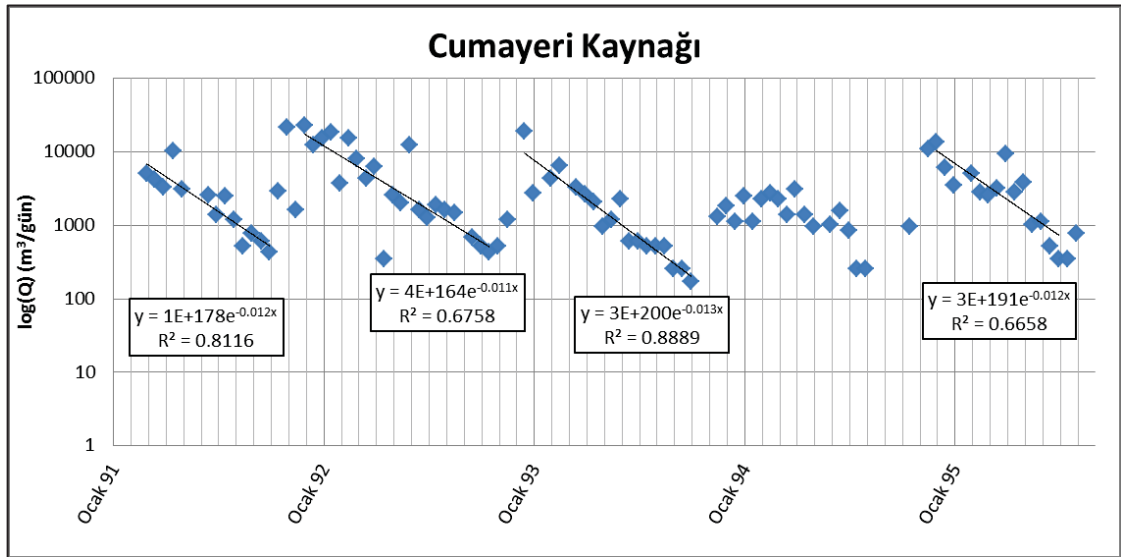
Her iki kaynağın da, beslenme koşuluna verdiği tepkiyi görmek amacıyla, çekilme grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6). Cumayeri kaynağında Kasım ayında en yüksek debilere ulaşıldıktan sonra çekilme başlamış, çekilme hareketi Eylül ayına kadar devam etmiştir. Demiraçma kaynağında ise çekilme hareketi Mart ayında başlayıp, Eylül ayında bitmektedir. Cumayeri kaynağında çekilme katsayısı ortalama $1,1 \times 10^{-2} \text{ gün}^{-1}$, Demiraçma kaynağında $1,2 \times 10^{-2} \text{ gün}^{-1}$ 'dür. Bu değerler, akım rejiminin hem kırık – çatlaklar hem de kanal akımı tarafından domine edildiğini göstermektedir. Ayrıca kaynak boşalımının yağışa çabuk tepki verdiği anlaşılmaktadır [3].

Çizelge 2.3 Cumayeri ve Demiraçma Kaynakları Debi Ölçümleri ([1]'den alınmıştır)

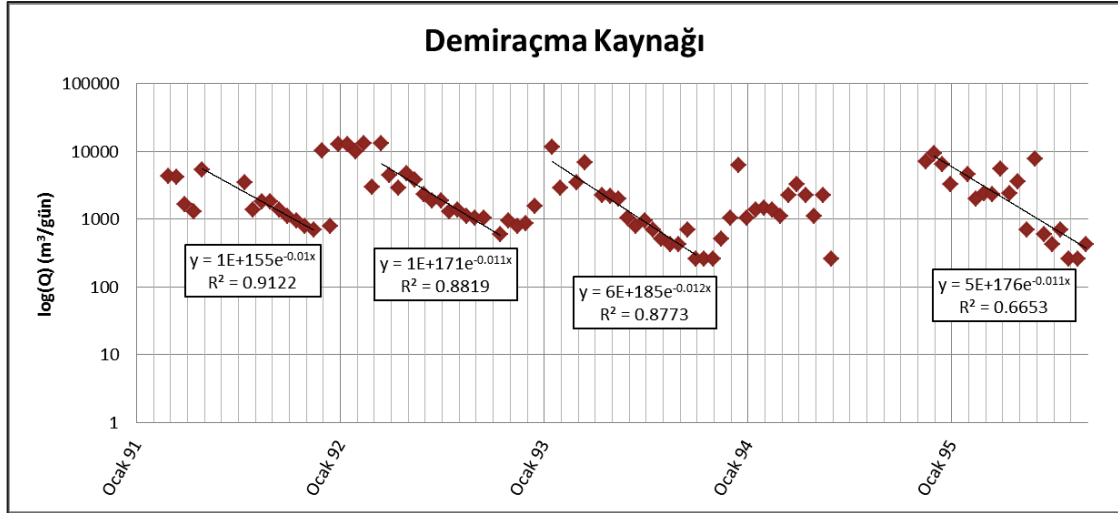
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ort.
Cumayeri (L/s)				49	120		30	29	6	7	34	19	143	
	1991		58	38	36		16	14	9	5	251	264	176	57.9
		215	176	51	4	23	19	22	17	8	5	14	222	
	1992	43	94	72	30	144	147	19		6	6		32	55.8
			76	38	24	14	7	6	6	3		15	13	
	1993	50		31	11	26	7	6	3	2		21	29	19.2
		13	32	16	16		18	3				128	70	
	1994	26	26	36	11	12	10	3			11	156	41	32.3
Demiraçma (L/s)														
	1991		50	19	62		16	21	13	9	120	149	115	36.9
		150	150	33	44	22	15	13	12	7	9	18	134	
	1992	34	52	55	27	22	116	12		11	10		33	40.6
			80	26	23	9	8	5	8	3		6	73	
	1993	40		25	12	11	6	5	3	3		12	12	15.8
		16	16	26	26	26						81	74	
	1994	17	13	38	13	3						108	38	31.9
	1995	58	30	108	45	13	4	9						30.2
	Ortalama	67.5	65.6	47.6	33.0	34.9	26.4	11.5	8.2	5.2	61.4	88.1	90.8	44.4



Şekil 2.4 Cumayeri ve Demiraçma Kaynaklarının Akım Hidrografları ([1]'den düzenlenmiştir)

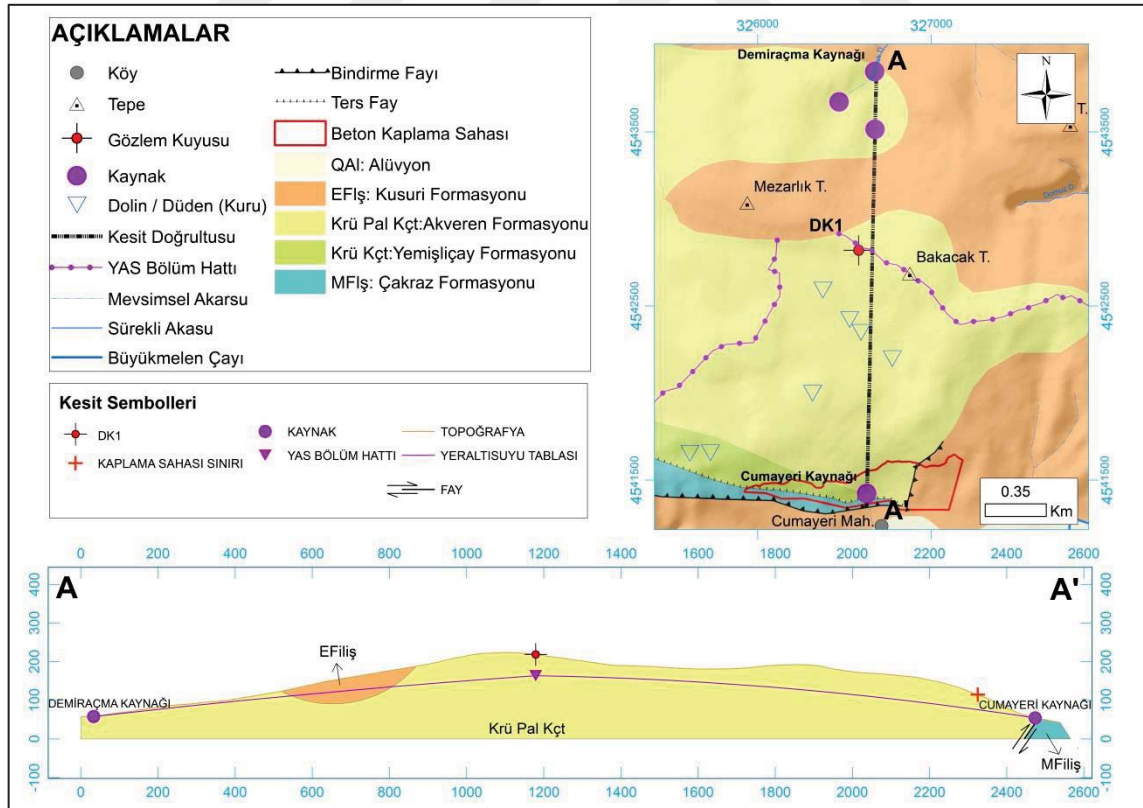


Şekil 2.5 Cumayeri kaynağında ölçülen akım değerleri ve buna bağlı oluşturulan çekilme denklemleri



Şekil 2.6 Demiraçma kaynağında ölçülen akım değerleri ve buna bağlı oluşturulan çekilme denklemleri

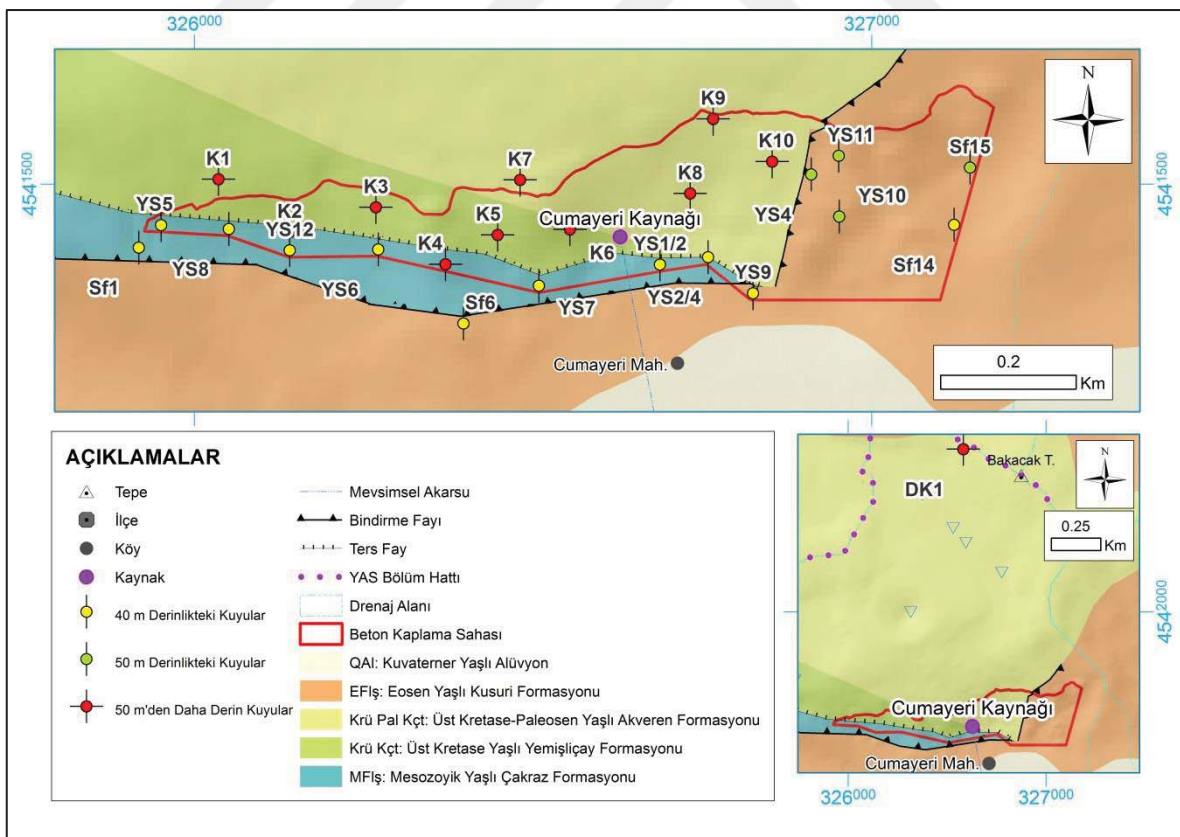
Cumayeri ve Demiraçma kaynaklarının benzer kotlarda yer almaları ve benzer boşalım değerlerine sahip olmaları, yeraltısu bölüm hattının Ekmekçi vd, 2015 [3]'te ve DSİ, 1992 [5]'te belirtildiği gibi yüzey su bölüm hattıyla paralel olduğu çıkarımına uygundur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Cumayeri – Demiraçma Kaynaklarını ve Su bölüm hattını gösteren kesit

2.3. Basınçlı Su Testleri

Çalışma kapsamında nümerik modelde kullanılacak hidrolik iletkenlik katsayılarının belirlenmesi için Ekmekçi vd, 2015 [3]'te gerçekleştirilen Basınçlı Su Testleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında beton kaplama sahası içinde, sınırında ve kaplama sahasının yaklaşık 1250 m kuzeyinde olmak üzere 25 kuyuda basınçlı su testi yapılmıştır. K kodlu kuyularda ve DK – 1 kodlu kuyuda yüzeyden 0 m kotuna kadar testler yapılmışken, kaplama sahasının güney sınırında kalan kuyularda ve Sf – 14 kodlu kuyuda yüzeyden 40 m derinliğe kadar, Sf – 14 dışında sahanın doğusunda yer alan kuyularda ise yüzeyden 50 m derinliğe kadar testler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.8). Bunlardan sadece K6 ve DK-1 kodlu kuyularda testlerin kademe boyları 5 m olup, diğer kuyularda kademe boyları 2 m'dir. Analiz yapılırken K5, K9 ve SF-6 kodlu kuyular ile K7 kodlu kuyunun 76 m kotundan daha derin kısımları, testlerin yanlış uygulanması ve su kaçaklarının yanlış okunması sebebiyle değerlendirmeye alınmamıştır. Bunun sonucunda değerlendirmeye 21 tane kuyu alınmıştır. Bu 21 kuyuda toplam 580 kademe basınçlı su testi yapılmıştır.



Şekil 2.8 2015 Yılında [3]'te Gerçekleştirilen Çalışma Kapsamında Basınçlı Su Testi Yapılan Kuyular

Testler, değerlendirmeler ve hidrojeolojik özelliklerin belirlenmesine ait ayrıntılar Houlby, 1978 [10], Ruper vd, 1992 [11], Quinones-Rojo, 2000 [12] ve Ekmekçi, 2011 [13]'de verilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. Basıncılı su testleri, kararlı akım koşulları varsayılarak yapılmaktadır. Standart Basıncılı Su Testleri, belirli boya sahip kademelerde, farklı basınç değerleri altında, her kademede 10'ar dakika boyunca kuyuya su verilmesi ve bu esnada formasyonda kaybolan su miktarının ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilir. Genellikle “geri dönüşlü”, yani en yüksek basınç kademesinden sonra diğer basınç kademelerinin azalan sırayla tekrar edilmesi biçiminde uygulanır ($P_{min} - P_{mid} - P_{max} - P_{mid} - P_{min}$ gibi). Yapılan testlere göre hidrolik iletkenlik katsayısı, aşağıdaki denklemle bulunmaktadır [14],[10]:

$$K \text{ (m/s)} = 1,85 \times 10^{-5} \frac{Q/L}{\Delta h}$$

Burada,

K: kuyu eksenine dik yönde hidrolik iletkenlik katsayısı (m/s)

Q: test sırasındaki su kaybı (l/dk)

L: testin yapıldığı kademe boyu (m)

Δh : net basınç (m).

1 Lugeon, 10 atm basınç altında 1 m kademe boyundan 1 dakikada litre cinsinden su kaybıdır [14]. Buna göre,

$$K \text{ (Lu)} = 100 \frac{Q/L}{\Delta h}$$

olarak ifade edilebilir. Burada net basınç, etkin basınç ile basınç kayıpları arasındaki farka eşittir. Etkin basınç, uygulanan basınç (P), manometrenin yerden yüksekliği (H_m) ve yer yüzeyinden kuyudaki su seviyesinin (H_0) toplamına eşitken; kayıplar ise borulardan ileri gelen kayıplar (ΔH_b) ile pakerden ileri gelen kayıpların (ΔH_t) toplamına eşittir.

$$\Delta h = (P + H_m + H_0) - (\Delta H_b + \Delta H_t)$$

Houlby tarafından [10]'da, test esnasında kayalarda hidrolik kırılmanın oluşmaması, dolayısıyla da formasyonun geçirgenliğinin yapay olarak artmaması amacıyla, her kademe için uyarlanması gereken en yüksek basınç, aşağıdaki formüldeki gibi belirlenmiştir:

$$P_{\max}=0.226 \times D$$

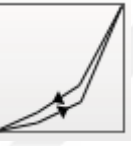
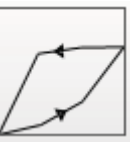
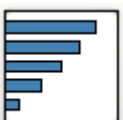
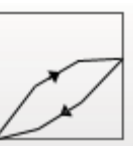
Burada 0,226 sabit katsayıyken; $P_{\max}$, bar cinsinden ilgili kademede uygulanması gereken net basınç, D ise kademe derinliğidir. Buna göre test aşamaları $P_{\max}$ 'a göre belirlenmelidir. En düşük net basınç, $P_{\min}$, $P_{\max}$ 'ın %40'ı, P_{mid} , $P_{\max}$ 'ın %70'i olmalıdır [10], [11], [12], [13].

Bir kademede yapılan test sonucunda hidrolik iletkenlik katsayısının bulunabilmesi için basınç – su kaybı grafiği ve her basınç seviyesindeki bulunan geçirgenlik değerlerinin grafiklerinin oluşturulması gereklidir. Houlby, farklı basınçlar altındaki su kaybı miktarlarına göre, kırıkların 5 farklı davranış gösterdiğini öne sürmüştür [10] (Çizelge 2.4). Bu davranışlar; Laminer akım, türbülanslı akım, yıkanma, tıkanma ve açılma. Laminer akımda su kaçakları ile uygulanan basınç değerleri genellikle doğru orantılıdır. Her basınç kademesi için hesaplanan geçirimsizlik değerleri birbirine eşit veya yakındır. Laminer davranışın gözlemlendiği kırıklarda akım genelde yavaş ve düzgündür. Kademeyi temsil eden hidrolik iletkenlik katsayısı, basınç kademelerinde hesaplanan değerlerin ortalamasıdır. Türbülanslı akımda, uygulanan basınç arttıkça, kademedeki kırık – çatlaklardaki akımda türbülans arttığından, geçirgenlik değeri azalmaktadır. Türbülanslı akım genellikle geniş açıklıklı kırıkların olduğu kademelerde gözlemlenir. Temsil edici hidrolik iletkenlik katsayısı, en düşük basınç seviyesinin olduğu kademelerin geometrik ortalamasıdır. Dilatasyon, yani açılma hareketinde en yüksek basınç kademesindeki hidrolik iletkenlik değeri, diğer kademelerdeki değerlerden oldukça büyüktür. Bu durumda hidrolik iletkenlik katsayısı, en yüksek basınç seviyesi dışındaki seviyelerde bulunan hidrolik iletkenlik değerlerinin geometrik ortalamasıdır. Yıkanma hareketinde, uygulanan basınçtan bağımsız olarak her basınç kademesinde hidrolik iletkenlik değerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi de, kırık – çatlaklarda bulunan ayrıışmış malzemenin, su alışı sonucunda ortamdan yıkanarak uzaklaşmasıdır. En sonuncu kademede hesaplanan hidrolik iletkenlik katsayısı, ortamı temsil eden hidrolik iletkenlik katsayısıdır. Tıkanma hareketinde ise yıkanmanın tam tersine, kırık – çatlaklar ince taneli malzemeyle dolmakta veya kırıklar birbirinden izole halde bulunmaktadır. Her basınç kademesinde su kaçığı miktarı basınçtan bağımsız olarak azalmaktadır. Temsil edici hidrolik iletkenlik katsayısı, ilk basınç kademesinde hesaplanandır [10], [12], [13].

Basınçlı su testlerinde artan ve azalan kademeler geri dönüşlü olarak kullanılmıştır. Her basınç kademesi 10 dakika uygulanmış, 5 dakikada bir okuma yapılmış ve kaydedilmiştir. Uygulanan basınç değerleri, yukarıda bahsedilen yöntemlerle bulunmuştur. Bu yüzden sondaj bittikten sonra testlere başlanması uygun görülmüştür. Yeraltısuyu seviyesinin belirlenmesi amacıyla, sondaj bittikten sonra kuyudaki su kompresörle boşaltılmış ve yeraltısuyu seviyesi sabitlenene kadar kuyuda yeraltısuyu ölçümü yapılmıştır. Ayrıca DSI, 2013 [6]'teki tavsiyeler sonucu açılan ve gözlem kuyusuna çevrilen kuyulardaki yeraltısuyu seviyelerinden de faydalanılmıştır.



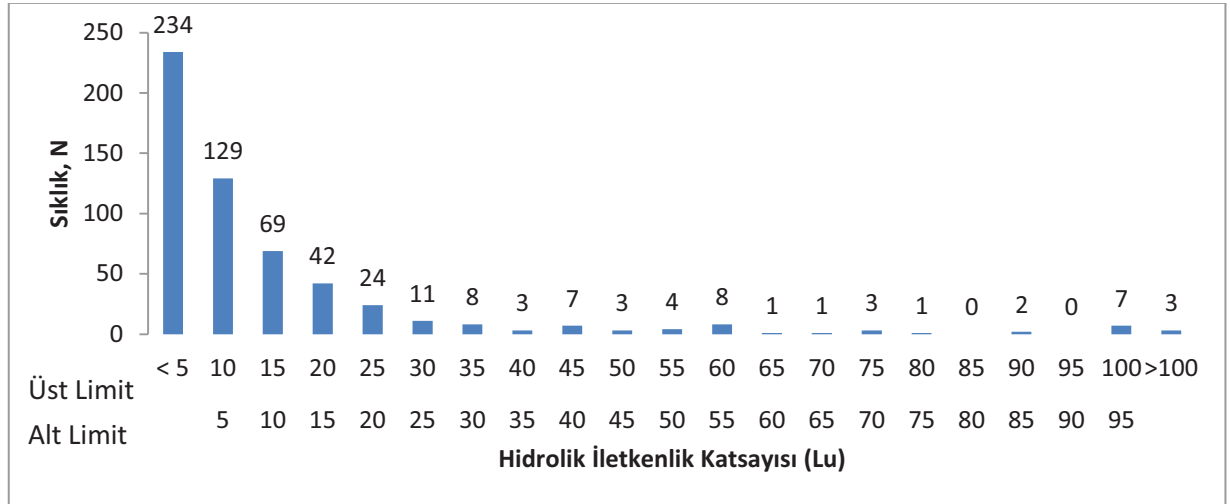
Çizelge 2.4 Kırıklı – çatlaklı ortamı temsil eden davranışların, basınç değerlerine karşılık Lugeon dağılımları, akım – basınç grafikleri ve hidrojeolojide temsil edici değerlerin formülleri ([10], [11], [12], [13] ve [15]’ten derlenmiştir)

Davranış	Lugeon Dağılımı	Akım – Basınç Grafiği	Temsil Edici Değer
Laminer Akım			$\frac{K_1+K_2+K_3+K_4+K_5}{5}$
Türbülanslı Akım			$\sqrt[2]{K_1 \times K_5}$
Açılma			$\sqrt[4]{K_1 \times K_2 \times K_4 \times K_5}$
Yıkanma			K_5
Tıkanma			K_1

Test sadece kayalarda uygulanmış, kalın nebati toprak örtüsünde ise uygulanmamıştır.

Yapılan 580 kademe basınçlı su testinden 19 kademede paker tutmamıştır. Bunun dışındaki 18 kademede ise ya alış olmamıştır, ya da manometrede istenilen basınç seviyesine ulaşamamıştır. Bu kademeler dışında kalan 543 kademede, birimler ayırt edilmeksizin yapılan hesaplar sonucunda bulunan ortalama geçirgenlik değeri 11,65 Lu, yani $1,17 \times 10^{-6}$ m/s'dir. Değerler 0,00 ile 174,82 Lu arasında değişmektedir. Standart sapma 18,38, değişkenlik katsayısı %157'dir. Eğer manometrenin yükselmediği kademeleri teorik sınır olan 100 Lu [16] ve alış olmayan kademeler 0 olarak hesaba katıldığında, ortalama değer 12,59 Lu ($1,29 \times 10^{-6}$ m/s) olmaktadır, ancak değer aralığı değişmemektedir.

Şekil 2.9'da görüleceği üzere yapılan bütün testler sınıflandırıldığında, değerler 0 – 10 Lu arasında toplanmıştır ve pozitif çarpıklık söz konusudur. 30 Lu'dan büyük değerlerin sayısı ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Bu yüzden geometrik ortalama ihtiyacı duyulmuştur. Geometrik ortalama değerleri, basınç seviyesinin tutturulamadığı değerler hesaba katılmadığında 4,92 Lu'dur. Bu kademeler 100 Lu olarak değerlendirildiğinde geometrik ortalama 5,08 Lu'ya yükselmektedir (Çizelge 2.5).



Şekil 2.9 2015 yılında gerçekleştirilen çalışma kapsamında yapılan testlerin sıklık histogramı ([3]'ten düzenlenmiştir)

Birimler ayrı ayrı değerlendirilirken, kaplama sahası içinde Yemişliçay ve Akveren formasyonunda bulunan 7 kuyuda gerçekleştirilen toplam 154 kademe basınçlı su

testi dikkate alınmıştır. Hesaplamalara göre kaplama sahasında kireçtaşının geçirgenlik değerleri 1,24 ile 174,82 Lu arasında değişmektedir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.5 Çalışma kapsamında yapılan Basınçlı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler:

Parametre	A			B		
	Lu	m/s	m/gün	Lu	m/s	m/gün
Ortalama	11,65	$1,17 \times 10^{-6}$	0,10	12,59	$1,29 \times 10^{-6}$	0,11
Geometrik Ortalama	4,92	$5,27 \times 10^{-7}$	0,05	5,08	$5,45 \times 10^{-7}$	0,05
Standart Sapma	18,38	$1,89 \times 10^{-6}$	0,16	19,71	$2,10 \times 10^{-6}$	0,18
En Yüksek	174,82	$1,76 \times 10^{-5}$	1,52	174,82	$1,76 \times 10^{-5}$	1,52
En Düşük	0,01	$1,01 \times 10^{-8}$	0,00	0,01	$1,01 \times 10^{-8}$	0,00
Değişkenlik Yüzdesi	157,84	161,30	161,30	156,54	162,71	162,71

A; Basınç seviyesinin tutturulamadığı kademeler hesaba katılmadığında, B; Basınç seviyesinin tutturulamadığı kademelerde K =100 Lu olarak hesaba katıldığında.

Kireçtaşının ortalama geçirgenlik değeri 26,83 Lu iken geometrik ortalama değeri ise 16,93 Lu'dur. Değişkenlik katsayısı ise % 99'dur. "Kireçtaşında geçirimsizliği çok düşük masif zonların bulunmasının yanında karstlaşma sonucu genişlemiş kırıkların bulunmasından kaynaklanan yüksek bir heterojenite söz konusudur [3]." Ayrıca K6 numaralı kuyuda yaklaşık 55 m kalınlığındaki kireçtaşında en yüksek hidrolik iletkenlik katsayısının $3,70 \text{ Lu}$ yani $4.62 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ olması, belirtilen kuyuda geçirimsiz bir bölgeye rastlanıldığını göstermektedir. Dolayısıyla bu da ortalama değerleri düşürmektedir.

Kaplama sahasının 1500 m kuzeyinde yer alan DK1 kodlu kuyuda ise ortalama geçirgenlik değeri $2,08 \text{ Lu}$ 'dur. Test değerleri 9,14 ile 0,43 Lu arasında değişmektedir. Geometrik ortalama ise $1,54 \text{ Lu}$ 'dur. Bu değerlendirmeye basınç değerinin sağlanamadığı, kot değeri 198 m ile 168 m arasında olan zon dâhil edilmemiştir. Eğer bu zonun geçirgenlik değeri alınabilecek minimum değer olan 100 Lu alınırsa, ortalama geçirgenlik değeri $16,07 \text{ Lu}$ 'ya çıkacaktır. Geometrik ortalama ise $2,79 \text{ Lu}$ 'ya yükselecektir. Hem testler hem de litostratigrafik incelemeler sonucunda açıkça görülmektedir ki, bahsedilen kotlar arasında aşırı geçirgen bir zon olup, 120 m kotu ve aşağısında ise kireçtaşının masif yapısı ve

çamurtaşıyla ardalanması sonucu geçirimsizlik söz konusudur. DK – 1 kodlu kuyunun kota karşılık gelen geçirgenlik değerleri Şekil 2.10'da verilmektedir.

Çizelge 2.6 Çalışma kapsamında kaplama sahasında yer alan kireçtaşlarında yapılan Basıncılı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler.

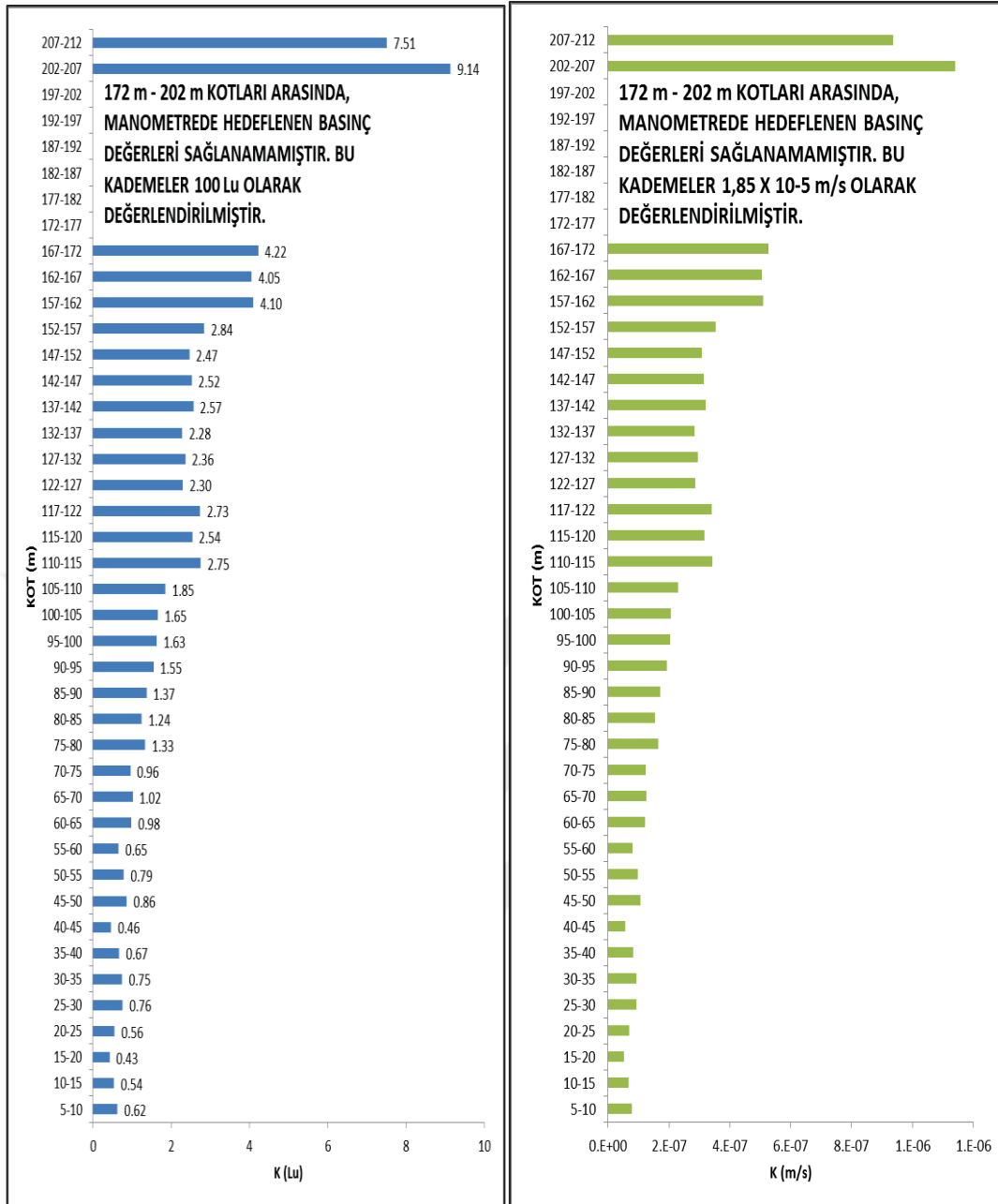
Parametreler	Hidrolik İletkenlik Katsayısı		
	Lu	m/s	m/gün
Ortalama	25,95	$2,69 \times 10^{-6}$	0,23
Geometrik Ortalama	13,43	$1,43 \times 10^{-6}$	0,12
Standart Sapma	28,30	$3,05 \times 10^{-6}$	0,26
En Yüksek	174,82	$1,76 \times 10^{-5}$	1,52
En Düşük	0,43	$5,30 \times 10^{-8}$	$4,58 \times 10^{-3}$
Değişkenlik Yüzdesi	109,05	109,05	109,05

Bütün olarak bakıldığında, kireçtaşı birimlerinde yapılan toplam 190 kademe basınçlı su testinin ortalaması 23,61 Lu, yani $2,38 \times 10^{-6}$ m/s'dir. Eğer DK-1'deki basınç seviyelerinin tutturulamadığı 6 kademe de hesaba katılıp, bu 6 kademedeki hidrolik iletkenlik katsayısı değerini teorik sınır olan 100 Lu olarak varsayıldığında; 196 kademenin ortalama değeri 25,95 Lu, yani $2,69 \times 10^{-6}$ m/s'dir (Çizelge 2.7). Dolayısıyla kireçtaşı için geçirimsizliği yüksek ve heterojen bir yapıda, hem masif zonları hem de geçirimli ana kırık hatları barındıran bir yapıda denilebilmektedir. Buna ilaveten, kireçtaşı birimlerinde çok yüksek olarak sınıflandırılan kademeler, ağırlıklı olarak vadoz zonda bulunmaktadır.

Şekil 2.11'de kireçtaşının hidrolik iletkenlik değerlerinin sıklık dağılımlarına dair sınıflamalar yer almaktadır. Lu cinsinden sınıflama yapıldığında, hidrolik iletkenlik değerleri 10 – 25 Lu arasında yoğunlaşmaktadır. Buna rağmen değerlerin yaklaşık %35'inin 25 Lu'dan büyük olması dikkat çekici bir nokta olarak göze çarpmıştır. Hidrolik iletkenlik katsayısı m/s cinsinden incelendiğinde değerlerin %73'ü $1 - 5 \times 10^{-6}$ m/s aralığında bulunmaktadır. Benzer şekilde m/gün biriminde inceleme yapıldığında ise değerlerin %75'i 0,1 – 0,5 m/gün aralığındadır.

Kaplama sahasının sınırını belirleyen filiş birimleri olan Kusuri ve Çakraz formasyonlarında 18 tane kuyuda toplam 365 tane başarılı basınçlı su testi yapılmıştır. Bu testlerden 12 tanesinde birimlerde su alışı gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla bu kademelerde geçirgenlik 0 Lu olarak değerlendirilmiştir. Filiş birimlerinin ortalama geçirgenliği 5,42 Lu'dur ($5,41 \times 10^{-7}$ m/s). Geçirgenliğin geometrik ortalaması ise 3,01 Lu'dur ($3,24 \times 10^{-7}$ m/s). Gözlemlenen en yüksek geçirgenlik değeri 23,58 Lu'dur ($2,37 \times 10^{-6}$ m/s).





A

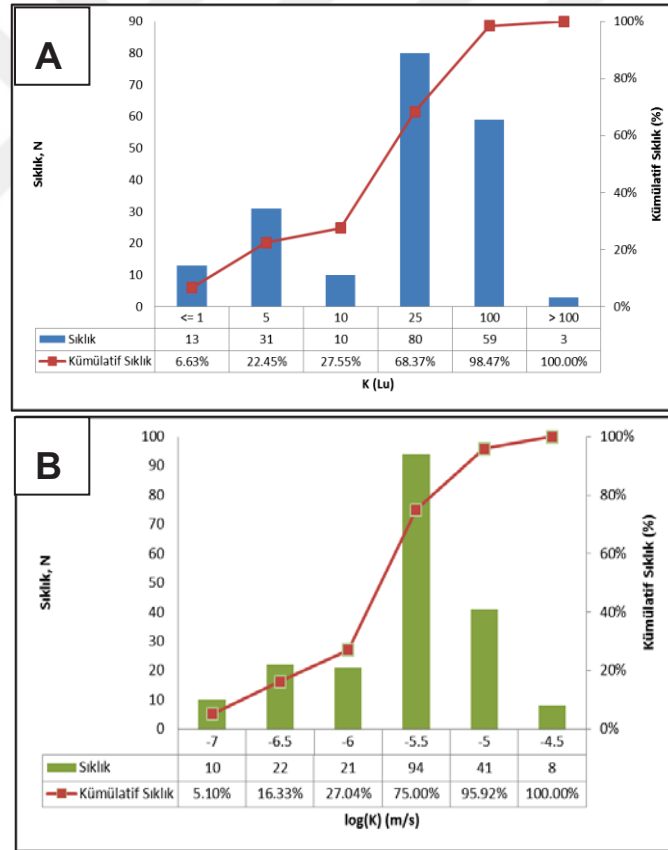
B

Şekil 2.10 DK – 1 kodlu kuyuda, kot değerlerine göre A) Lu, B) m/s cinsinden hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri

Çizelge 2.7 Çalışma kapsamında kireçtaşındaki yapılan Basıncılı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler:

Parametreler	A			B		
	Lu	m/s	m/gün	Lu	m/s	m/gün
Ortalama	23,61	$2,38 \times 10^{-6}$	0,21	25,95	$2,69 \times 10^{-6}$	0,23
Geometrik Ortalama	12,61	$1,34 \times 10^{-6}$	0,12	13,43	$1,43 \times 10^{-6}$	0,12
Standart Sapma	25,44	$2,54 \times 10^{-6}$	0,22	28,30	$3,05 \times 10^{-6}$	0,26
En Yüksek	174,82	$1,76 \times 10^{-5}$	1,52	174,82	$1,76 \times 10^{-5}$	1,52
En Düşük	0,43	$5,30 \times 10^{-8}$	0,00	0,43	$5,30 \times 10^{-8}$	0,00
Değişkenlik Yüzdesi	107,76	106,67	106,67	109,05	113,20	113,20

A) Manometrenin yükselmediği seviyeler hesaplamaya katılmadığında, B) Manometrenin yükselmediği seviyelerde $K = 100$ Lu alındığında.



Şekil 2.11 Kireçtaşı birimlerinde hidrolik iletkenlik katsayısının A) Lu ve B) log(m/s) cinsinden sıklık dağılımı

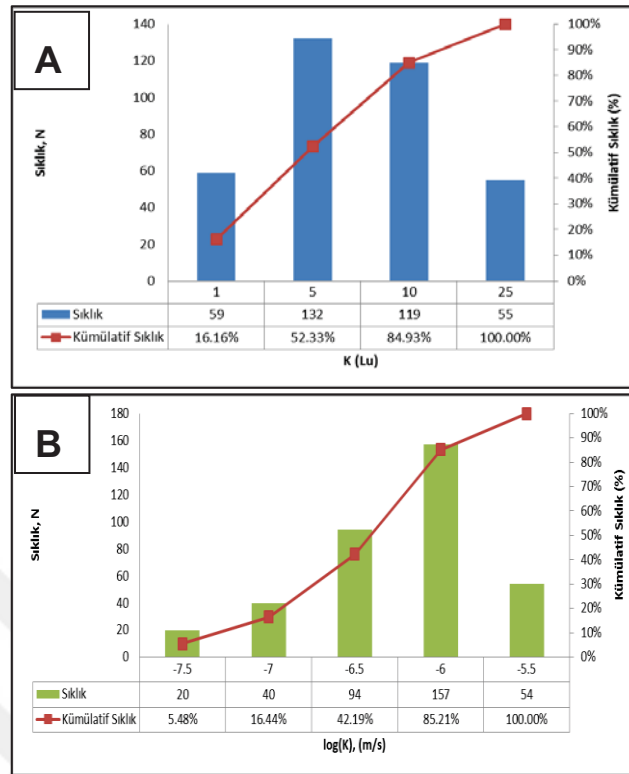
Geçirgenliğin yüksek olduğu kademeler genellikle filişin yüzeye yakın olduğu ve pekişmemiş malzemelerin ağırlıklı olduğu bölümlerdir. Su kaçağının hiç olmadığı kademeler dışında rastlanılan en küçük geçirgenlik değeri 0,11 Lu'dur. Standart

sapma değeri 4,47 Lu'dur. Dolayısıyla filiş birimleri için, yüzeyde geçirgenliğin gözlemlenebildiği, ancak genel olarak az geçirimli olduğu yönünde bir değerlendirme yapılabilir (Çizelge 2.8).

Filiş birimlerinde yapılan basınçlı su testleri sınıflandırıldığında, geçirgenlik değerinin 1 – 10 Lu aralığında yoğunlaştığı görülebilmektedir (Şekil 2.12). 132 kademedeki değerler 1 – 5 Lu arasında değişmekteyken, 119 kademedeyse 5 – 10 Lu arasında değişmektedir. 1×10^{-7} m/s'den daha düşük hidrolik iletkenlik katsayısının azlığı, filişin de nümerik modele dâhil edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 2.8 Çalışma kapsamında filiş birimlerinde yapılan Basınçlı Su Testlerinin sonuçlarına göre geçirgenlik değerlerine ait temel istatistikler.

Parametreler	Lu	m/s	m/gün
Ortalama	5,42	$5,41 \times 10^{-7}$	0,047
Geometrik Ortalama	3,01	$3,24 \times 10^{-7}$	0,028
Standart Sapma	4,45	$4,45 \times 10^{-7}$	0,038
En Yüksek	23,58	$2,37 \times 10^{-6}$	0,205
En Düşük	0,00	0,00	0,000
Değişkenlik Yüzdesi	82,19	82,20	82,2



Şekil 2.12 Filiş birimlerinde hidrolik iletkenlik katsayısının A) Lu ve B) log(m/s) cinsinden sıklık dağılımı

Filiş içerisinde yer alan kumtaşı birimlerine, [3]'te ayrıca değinilmiştir. Bu kapsamda kumtaşının en az 1 m olduğu kademelerde yapılan hesaplamalar sonucunda, kumtaşı birimlerinin yer aldığı kademelerde ortalama geçirgenlik değeri 4,78 Lu'dur. Geometrik ortalama değeri 3,33 Lu'dur. Bu değerler ortalamadan yüksek olmasına rağmen, filişin ortalama değerleriyle arasındaki fark çok düşüktür. Bu değerler itibariyle, kumtaşının geçirgenliği artırıcı etkisinin düşük olduğu söylenebilmektedir.

Sonuç olarak, testler sonucunda özellikle kaplama sahasındaki kireçtaşında geçirgenliğin diğer alanlara göre arttığı gözlemlenmektedir. Ancak filiş birimlerinin beklenilen aksine geçirimsiz olmadığı, filişlerdeki birimlerin az geçirimli davrandığı belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler, nümerik modelde filişin de temsil edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

2.4. Yeraltısuyu Seviye Gözlemleri

Çalışma alanında 2014 ve 2015 yıllarında yapılan çalışmalar kapsamında açılan gözlem kuyularında, 15 günlük aralıklarla yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır.

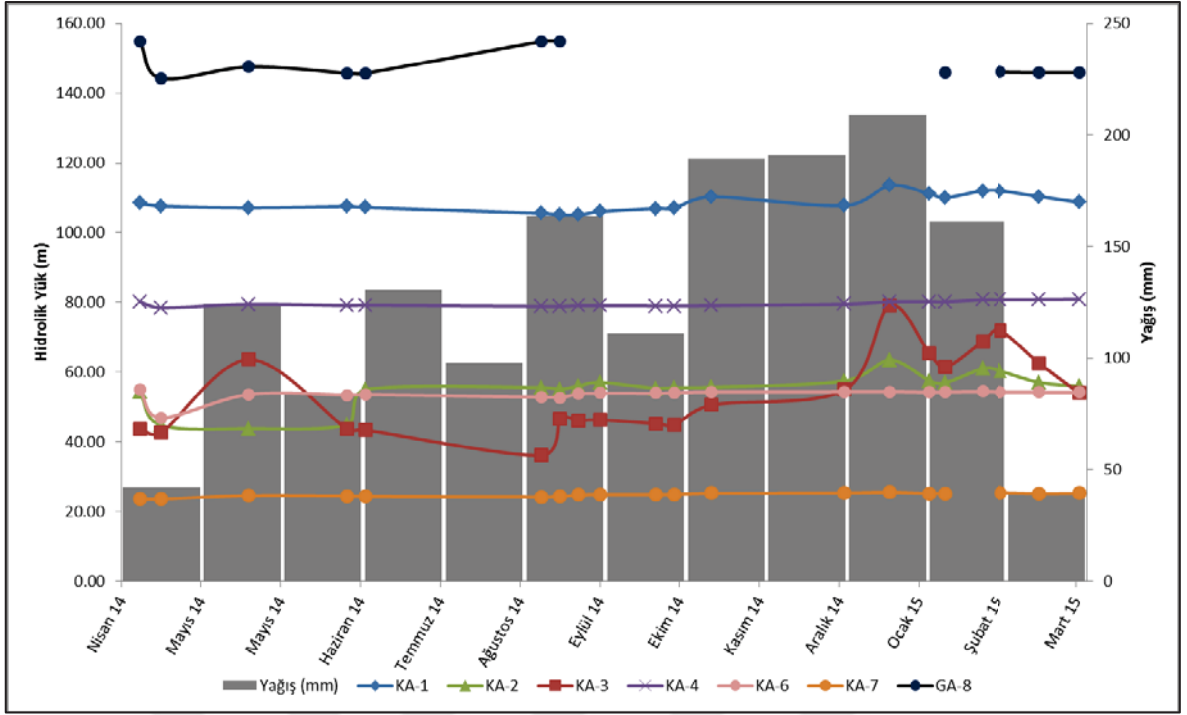
Ölçümler 0,1 cm hassasiyetli dipmetreyle gerçekleştirilmiştir. Mevsimsel şartlar ve ekipman eksikliği sebebiyle, ölçümler 9.11.2014 – 29.12.2014 tarihleri arasında alınamamıştır. Çizelge 2.9 ve Şekil 2.13 'de DSI, 2013 [6]'teki tavsiyeler üzerine açtırılan KA kodlu kuyularda ölçülen yeraltısuyu seviye değerleri bulunmaktadır.

KA kodlu kuyularda, genel olarak mevsimsel değişim çok az görülmektedir. Bunun sebeplerinin, kuyuların teçhizlerinin güvenilir olmaması, kuyularda çakılama işleminin yapılmaması, kuyu ağız betonlarının düzgün yapılmamış olması, inkişaf esnasındaki belirsizlikler ve PVC kullanılan kuyularda PVC boruların bükülmesi sonucunda bu kuyularda ölçülen değerlerin güvenilir olmadığı anlaşılmıştır. Bu kuyulardan sadece KA – 2, KA – 3 ve GA – 8 kireçtaşı içinde yer almaktadır. Bu kuyularda su seviyesindeki değişimler, filişte yer alan kuyulara göre biraz daha belirgindir. Özellikle KA – 3 kodlu kuyuda düzensiz değişimler yer almaktadır. Bunun sebebi olarak, kuyunun kaplama sahasının doğusunda yer alan bindirmeye olan yakınlığı olduğu düşünülmektedir [3].

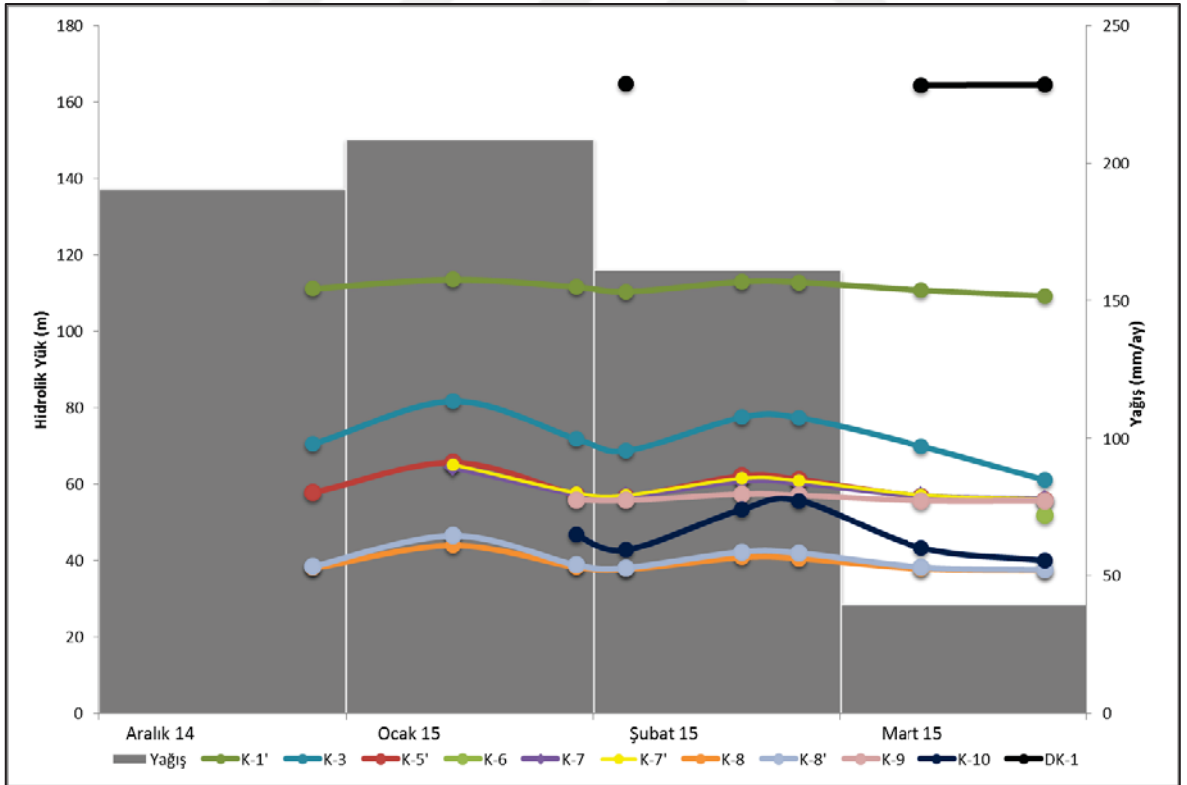
Ekmekçi vd, 2015 [3] kapsamında piyezometreye dönüştürülen, 14 tanesi kaplama alanında, 1 tanesi de yeraltısuyu bölüm hattında bulunan kuyularda ise su seviyelerinde mevsimsel değişiklik daha net gözükmemektedir (Çizelge 2.10 ve Şekil 2.14). Kaplama alanı içerisinde 10 noktada kuyular açılmış olup, seçilen 4 noktada ise kireçtaşı akiferindeki düşey yönlü dolaşımı gözlemlemek amacıyla daha sık piyezometreler inşa edilmiştir. Bu kuyuların hepsinin kireçtaşında olması ve 0 kotunda filtrelenmesi planlanırken, Yemişliçay formasyonunda yer alan bütün kuyularda bindirme fayı sonucunda Çakraz formasyonu filişine rastlanılmıştır. Bu kuyulardan K – 2 ve K – 4 kodlu olanlarda hiç kireçtaşına rastlanılmamıştır. Ayrıca K – 1 ve K – 5 kodlu kuyularda filiş birimi filtrelenmiştir. K – 1', K – 3 ve K – 5' kodlu kuyular ise kireçtaşı ile fay dokanağının hemen üzerinde filtrelenmiştir. Dolayısıyla Yemişliçay formasyonunda düşey dolaşımın varlığı ve gradyanın büyüklüğü hakkında fikir elde edilememiştir. Diğer taraftan, Akveren formasyonuna ait derin kuyularda, 0 m kotuna kadar inilmesine rağmen filişe rastlanılmamıştır.

Çizelge 2.9 8.4.2014 – 13.9.2014 tarihleri arasında DSI tarafından açtırılan gözlem kuyularında ölçülen su seviyeleri

KUYU NO		KA-1	KA-2	KA-3	KA-4	KA-6	KA-7	GA-8
KOORDİNATLAR (ITRF 2005)	X	4541476.15	4541490	4541653	4541584	4541276	4541324	4542197
	Y	578339.87	578794.8	579236.3	579471.4	578580.2	579196.9	577107.3
	Z	116.15	112.77	132.15	83.26	54.91	26.89	154.77
TARİH	YERALTISUYU SEVİYESİ (m)							
	08.04.2014	108.45	54.27	43.65	80.16	54.91	23.59	154.77
	16.04.2014	107.65	44.77	42.65	78.46	46.91	23.59	144.27
	19.05.2014	107.15	43.77	63.65	79.46	53.61	24.59	147.57
	25.06.2014	107.55	44.97	43.65	79.06	53.41	24.49	145.77
	02.07.2014	107.25	54.97	43.35	79.16	53.56	24.36	145.77
	06.09.2014	105.55	55.57	36.15	78.86	52.81	24.19	154.77
	13.09.2014	105.10	55.02	46.57	78.83	52.71	24.29	154.77
	20.09.2014	105.09	56.06	46.16	79.04	53.76	24.82	
	28.09.2014	106.04	57.04	46.32	79.03	53.93	24.88	
	19.10.2014	106.97	55.37	45.23	79.00	53.93	24.88	
	26.10.2014	107.06	55.54	44.85	78.96	54.13	24.95	
	09.11.2014	110.27	55.63	50.56	79.04	54.29	25.23	
	29.12.2014	107.81	57.49	54.90	79.50	54.36	25.36	
	15.01.2015	113.60	63.49	79.08	80.14	54.40	25.54	
	30.01.2015	111.12	57.49	65.30	80.18	54.25	25.19	
	05.02.2015	110.05	56.98	61.42	80.17	54.30	25.19	145.95
	19.02.2015	112.01	60.98	68.78	80.71	54.42		
	26.02.2015	112.02	60.36	71.96	80.75	54.32	25.43	146.10
	13.03.2015	110.34	57.04	62.55	80.83	54.23	25.17	145.93
	28.03.2015	108.74	56.00	53.98	80.91	54.21	25.25	145.93
En Yüksek		113.60	63.49	79.08	80.91	54.91	25.54	154.77
En Düşük		105.09	43.77	36.15	78.46	46.91	23.59	144.27
Ortalama		108.49	55.14	53.54	79.61	53.62	24.79	148.33
Standart Sapma		2.39	4.98	11.49	0.77	1.63	0.56	4.01
Değişkenlik (%)		2.20	9.03	21.45	0.96	3.03	2.27	2.70



Şekil 2.13 2014 yılında DSI tarafından açtırılan KA kodlu kuyularda hidrolik yükün zamana bağlı değişimi



Şekil 2.14 K kodlu kuyularda kireçtaşı birimlerinde hidrolik yükün zamana bağlı değişimi

Çizelge 2.10 28.9.2014 – 28.3.2015 tarihleri arasında K kodlu gözlem kuyularında ölçülen su seviyeleri

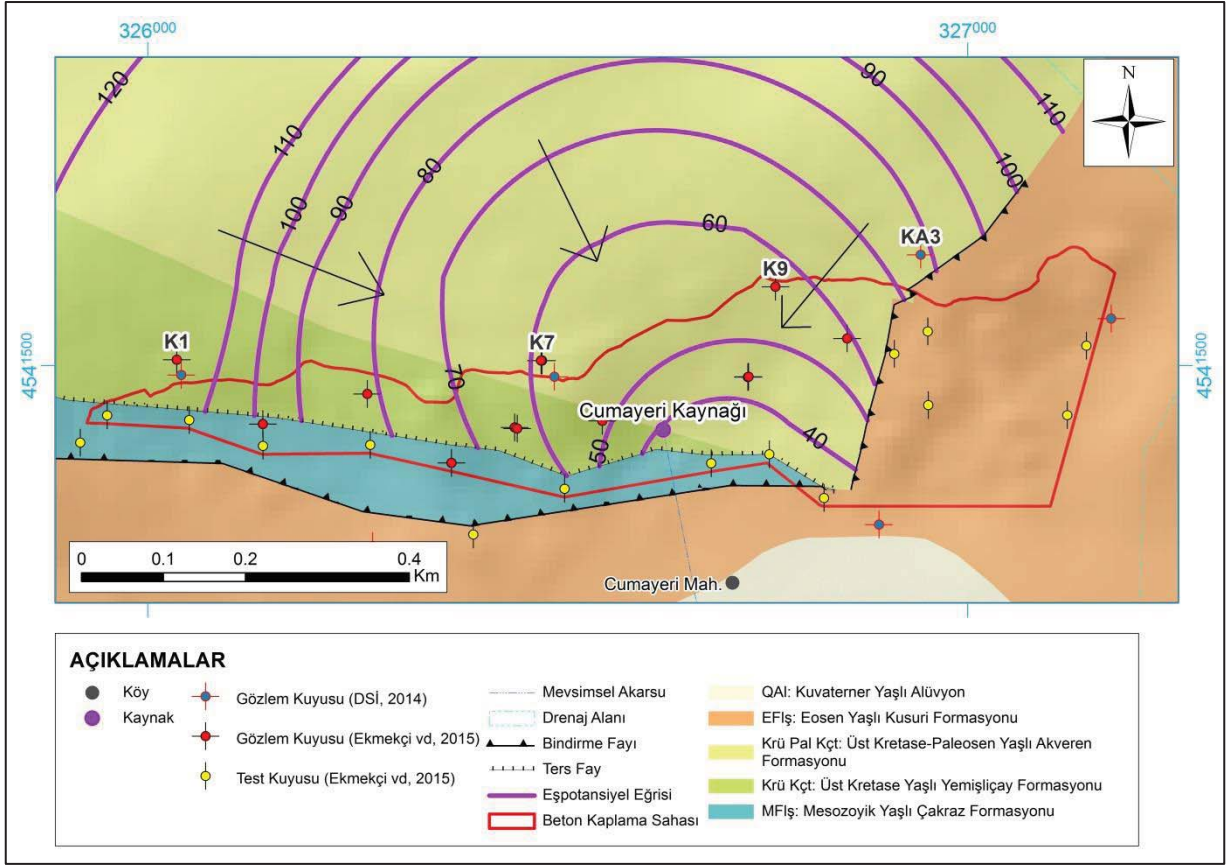
KUYU NO	K-1	K-1'	K-2	K-3	K-4	K-5	K-5'	K-6	K-7	K-7'	K-8	K-8'	K-9	K-10	DK-1
KOORDİNATLAR (ITRF 2005)	X	4541495	4541420	4541461	4541381	4541427	4541425	4541438.3	4541509	4541509	4541497	4541498	4541609	4541549	4542825
	Y	578333.6	578441.2	578567.3	578672.8	578748.6	578751.8	578854.9	578779	578777.9	579030.6	579031.4	579060.5	579150.1	578834.9
	Z	121.81	121.81	104.55	82.7	89.09	89.09	77.63	117.55	117.5	68.85	68.85	109.88	85.25	218.28
YERALTISUYU SEVİYESİ (m)															
TARİH															
28.09.2014					60.41						39.49				
26.10.2014											37.31				
09.11.2014					50.31						38.96				
29.12.2014	109.835	111.14	79.06	70.545	59.74	61.29	57.82				38.05	38.43			
15.01.2015	114.87	113.49	81.794	81.657	60.57	66.542	65.66		64.315	65.11	43.965	46.525			
30.01.2015	109.01	111.57	80.41	71.78	60.75	62.51	57.254		57.415	57.755	38.28	38.82	55.89	46.72	
05.02.2015	106.975	110.365	79.125	68.69	60.79	61.78	56.62		56.89	57.17	37.77	38.14	55.78	42.79	164.815
19.02.2015	111.85	112.955	80.87	77.475	61.02	64	62.13		60.83	61.48	40.8	42.28	57.415	53.38	
26.02.2015	111.345	112.82	81.185	77.362	61.15	64.145	61.18		60.33	60.855	40.565	41.96	57.1	55.7	
13.03.2015	106.525	110.74	79.4	69.905	61.04	61.96	56.75		56.95	57.24	37.89	38.28	55.705	43.375	164.398
28.03.2015	101.635	109.25	78.795	61.06	60.82	61.225	55.905	51.81	56.08	56.075	37.38	37.525	55.67	40	164.495
En Yüksek	114.87	113.49	81.79	81.66	61.15	66.54	65.66	51.81	64.32	65.11	43.97	46.53	57.42	55.70	164.82
En Düşük	101.64	109.25	78.80	61.06	50.31	61.23	55.91	51.81	56.08	56.08	37.31	37.53	55.67	40.00	164.40
Ortalama	109.01	111.54	80.08	72.31	59.66	62.93	59.16	51.81	58.97	59.38	39.13	40.25	56.26	46.99	164.57
Standart Sapma	3.76	1.36	1.06	6.00	3.14	1.72	3.23	0.00	2.75	2.99	1.91	2.91	0.71	5.72	0.18
Değişkenlik (%)	3.45	1.22	1.32	8.30	5.26	2.74	5.46	0.00	4.67	5.03	4.88	7.22	1.27	12.17	0.11

Genel olarak bakıldığında, kaplama sahasındaki yük dağılımı ve su seviyelerinin zamana bağlı değişimleri, akımın ve sistemin boşalım noktasının Cumayeri kaynağına doğru olduğunu göstermektedir. Kireçtaşı akiferinde hidrolik gradyan, kaplama alanı içerisinde ortalama olarak 0,08'dir. Filişte ise ortalama 0,07'dir. Kuyularda değişkenlik katsayısı derin kuyularda % 1 ile % 5 arasında değişmekteyken, sığ kuyularda ise %1 ile % 12 arasında değişmektedir. Bu, dolaşım süresi daha kısa olan sığ kesimin yağışlardan daha fazla etkilendiğini göstermektedir. K – 8, K – 8' ve K – 10 kodlu kuyulardaki hidrolik yük değerleri, Cumayeri kaynağının çıkış noktasından daha düşüktür. K – 8'in filtre aralığının +1 ile +5 m arasında olduğu, yani yükün +3 m kotundaki değeri temsil ettiği göz önünde bulundurulduğunda, kaynağın basınçla ortaya çıktığı anlaşılabilmektedir [3]. Akveren formasyonunda K – 7 ve K – 8 kuyu gruplarından görülebileceği üzere, düşey yönlü dolaşımın varlığını göstermektedir. K – 7 kuyu grubunun olduğu bölgede düşey yönlü gradyan 0,014 iken, K – 8 grubunun olduğu bölgede düşey yönlü gradyan 0,045'tir. Bu farkın sebebi K – 8 grubunun kaynağa olan yakınlığıdır. Yemişliçay formasyonunda yer alan kuyu gruplarında ise, K – 1 grubunda kireçtaşıda yer alan K – 1' kodlu kuyuda su seviyesi daha yüksekken, K – 5 grubunda ise filişte yer alan K – 5'te su seviyeleri daha yüksektir.

Kaplan, 1992 tarafından yapılan boya deneyleri [5] sonucunda belirlenen yeraltısuyu bölüm hattındaki hidrolik yükü belirlemek amacıyla açılan DK – 1 ve komşu havzada, Eybiler Düdeni'nin yaklaşık 20 m doğusunda yer alan GA – 8 kodlu kuyularda ise yük değerleri sabittir. Bu durum, su bölüm hattındaki değerin sabit yük koşulu olarak alınabileceğini göstermektedir.

Ölçüm aralığı boyunca en yüksek seviye değerleri 15.1.2015 tarihinde, en düşük değerler ise 28.3.2015 tarihinde gözlemlenmiştir. Ortalama değerlere göre hazırlanan yeraltısuyu seviye haritası Şekil 2.15'dedir.

Haritadan da görülebildiği üzere, Cumayeri kaynağına yaklaşıldıkça gradyan azalmaktadır. Bunun sebepleri, kurak dönemde düşük kotlardan da çıkışın gerçekleşmesi ve yağışlı dönemde boşalmanın, kireçtaşının yüzeye yakın çok geçirgen kısımlardan ani olarak gerçekleşmesi, kurak dönemde daha az geçirgen kesimden boşalmanın olmasıdır [3].



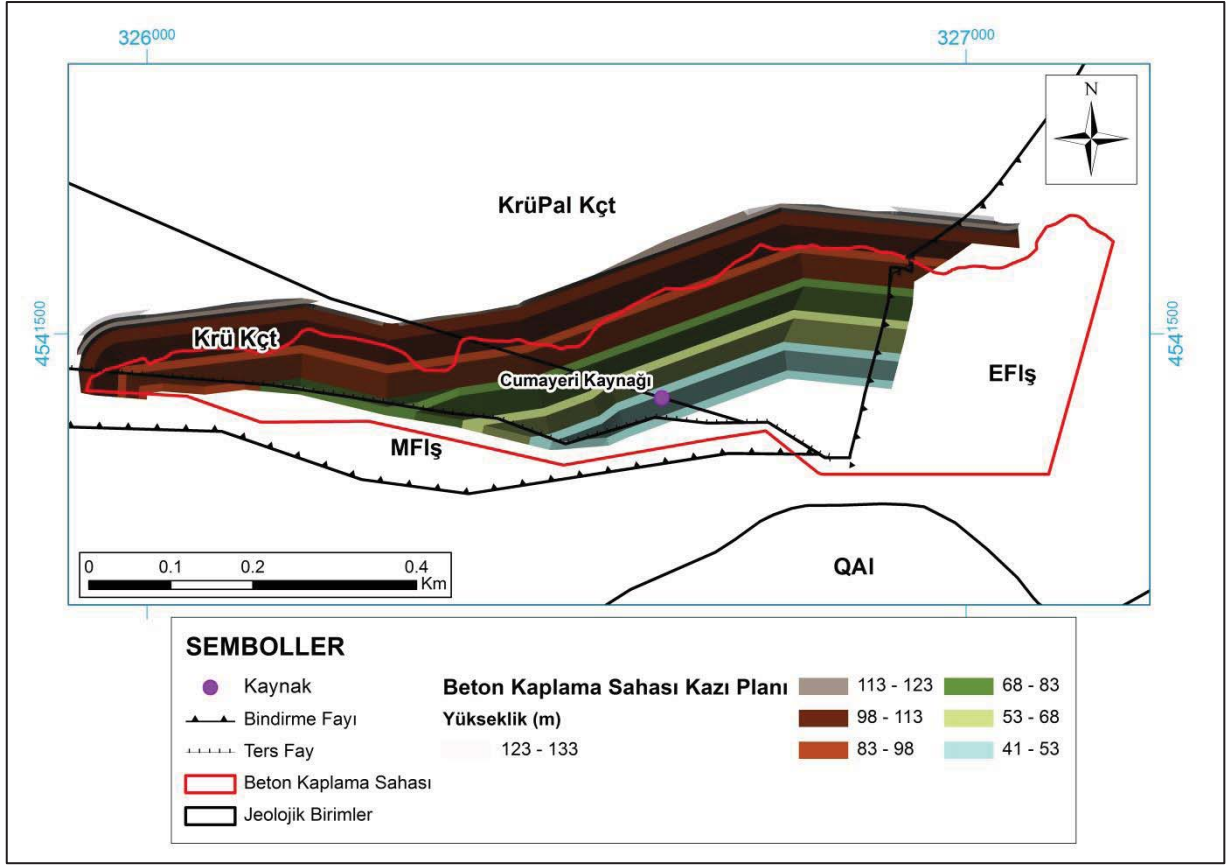
Şekil 2.15 Ölçülen Ortalama Değerlere Göre Kaplama Alanında Hidrolik Yük Dağılımı

3. YERALTISUYU AKIM MODELİ

Kaplama alanı ve kaplama alanının bulunduğu yeraltısuyu havzası, hem 2 boyutlu hem de 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Nümerik modelleme metodu olarak sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Bunun için USGS (United States Geological Survey – Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu) tarafından geliştirilen MODFLOW (Modular Three – Dimensional Finite – Difference Groundwater Flow Model) kullanılmıştır. MODFLOW, yeraltısuyu akım denklemlerini sonlu farklar yaklaşımı ile çözümleyen bir yazılımdır. İlk olarak 1984 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Güncel versiyonu 2005 yılında çıkmıştır. MODFLOW – 2005, akifer katmanlarının basınçlı, serbest veya her ikisinin kombinasyonu olan düzensiz şekilli akım sistemlerini, kararlı ve kararsız akım koşullarında simüle edebilmektedir. Hidrolik iletkenlik, depolama katsayısı veya transmisivite değerleri her katman için farklı değerlerde atanabilmekte ve heterojen – anizotropik koşullar oluşturulabilmektedir. Sabit yük (Dirichlet) ve sabit gradyan (Neumann) sınır koşullarının yanında, model sınırlarının dışında yer alan bölgelerden beslenme veya boşalmanın temsil edilmesi amacıyla yüke bağlı akım sınır koşulu (Cauchy) da MODFLOW – 2005'te kullanılabilmektedir [17].

Modeller, hem akifer parametrelerinin kararlı akım koşullarında belirlenmesi hem de kaynak akım ölçümleri ile yeraltısuyu seviye kararlı koşulları temsil ettiği varsayımıyla, kararlı akım koşullarında çalıştırılmıştır. Cumayeri kaynağında ve piyezometrelerde ölçülen ortalama akım ve seviye değerleri kullanılarak, kaplama sahasındaki ortalama piyezometrik basıncın hesaplanması hedeflenmiştir.

Hem iki boyutlu modelde, hem de üç boyutlu modelde, beton kaplama sahasının modele yansıtılması için [4]'te belirtilen kazı planı kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Beton Kaplama Sahası Kazı Planı ([4]'ten Düzenlenmiştir)

3.1. Kavramsal Model

Tez kapsamında ve daha öncesinde yapılan çalışmalar kapsamında, beton kaplama alanının da içinde bulunduğu yerel dolaşım sisteminin, bölgesel dolaşım sisteminden yeraltısuyu bölüm hatlarıyla ayrıldığı ve bu yerel dolaşım sisteminin, Cumayeri ile Demiraçma kaynaklarından boşaldığı düşünülmektedir. Cumayeri ve Demiraçma kaynaklarının bulunduğu bölgesel yeraltısuyu sistemi, Kocaali ilçesi Hızar Mahallesi'nde yüzeyleyen Hızardere kaynaklarından boşalmaktadır. Bölgesel dolaşım sistemi kireçtaşı birimlerinde gelişmiştir. Özellikle Akveren Formasyonundaki gelişmiş dolin ve düdenlerin varlığı ve bu su yutanların belirli hatlar boyunca gelişmesi, karstlaşmanın tektonik kontrollü olduğunu göstermektedir [3].

Yeraltısuyu ölçümleri ve boya deneyleri, topoğrafik su bölüm hattıyla yeraltısuyu su bölüm hatlarının çakıştığını göstermektedir. Ayrıca yeraltısuyu seviye ölçümleri sonucunda, yağış suyunun hızlıca yeraltısuyuna karışıp, kaynaklardan boşaldığı kanaatine varılmıştır. Kaynak akım hidrografları ve çekilme analizleri sonucunda, yağışın arttığı dönemlerde, kireçtaşının üst kotlarındaki aşırı geçirgen bölgelerden

hızlı bir boşalımın gerçekleştiği, bunun dışında boşalımın düşük bir debiyle olduğu anlaşılmıştır [3], [4].

Kusuri formasyonunda basınçlı su testleri için açılan kuyular, Kusuri formasyonunda yer alan KA-4 ve KA-7 kodlu piyezometreler ve Akveren formasyonunda yer alan KA-3 kodlu piyezometredeki uzun dönem su seviyesi gözlemleri, Kusuri formasyonu ile Akveren formasyonu arasında yer alan dokanaktan bir beslenme gerçekleştiğini göstermektedir.

Basınçlı su testleri analizleri sonucunda, kireçtaşı birimlerinde hidrolik iletkenlik katsayısı ortalama 0,23 m/gün, filiş birimlerinde ise ortalama 0,028 m/gün olarak hesaplanmıştır. Yeraltısuyu akım modellerinde de bu değerler kalibrasyonla beraber değiştirilmiştir.

3.2. İki Boyutlu Model

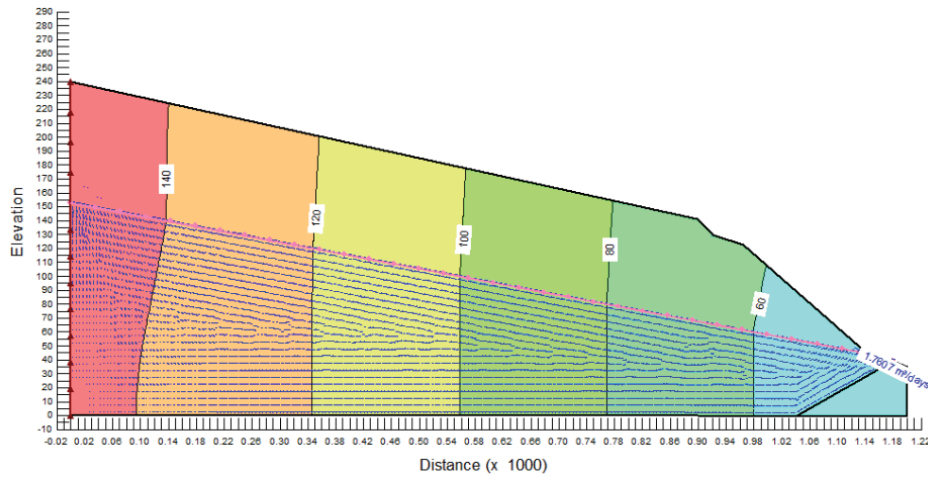
Kaplama alanında beslenme – boşalım ilişkisini test etmek ve üç boyutlu modelde kullanılacak parametreler ile sınır koşullarının önceden belirlenebilmesi amacıyla, Kuzey – Güney doğrultulu bir kesit üzerinde iki boyutlu kesit model yapılmıştır (Şekil 3.2). İki boyutlu kesit modelde kesit doğrultusu olarak, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te de kullanılan Kuzey – Güney doğrultulu bir kesit kullanılmıştır. Kesitin kuzeyde başlangıç noktası, yeraltısuyu havzasının kuzeyinde yer alan su bölüm hattı üzerindeyken, güneydeki bitiş noktası, Melen nehrinin yaklaşık 25 m kuzeyinde yer almaktadır. Bu doğrultunun seçilmesinin sebebi, yeraltısuyu bölüm hattının yarattığı beslenme koşulunun doğrudan Cumayeri kaynağına yarattığı etkiyi gözlemleyebilmektir.

İki boyutlu kesit model için, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te yapılan kesit model referans alınmıştır. Bu referans modelde, sonlu farklar yerine sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Model, GeoStudio™ – Seep/W programında yapılmıştır. Kesit alanı tek tabakada, 5 m aralıklı “ağ”lara, yaklaşık 5000 sonlu elemana bölünmüştür. Sınır koşullarının uygulandığı bölgelerde düğüm noktalarının aralıkları 0,5 m'ye kadar inmiştir. Modelde hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri olarak birimlerde yapılan basınçlı su testlerinin aritmetik ortalaması seçilmiştir (kireçtaşı için $K=0,25$ m/gün, filiş için $K=0,025$ m/gün). Model, kararlı akım koşullarında çalıştırılmıştır. Sınır koşulu olarak, DK-1 kodlu kuyuda 155 m'lik yük değeri sabit yük sınır koşulu

olarak girilmiş, Cumayeri kaynağı ise “sıfır piyezometrik basınç” sınır koşulu olarak yansıtılmıştır.



Sonlu elemanlar modeli ile Cumayeri kaynağında boşalım $1,76 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Yaklaşık 1250 m genişliğindeki beton kaplama sahasında bu değer 25,4 l/s'ye karşılık gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında hem yük dağılımı (Şekil 3.3) hem de kaynak boşalım debisi olarak ölçülen ve gözlemlenen değerlerle sonlu elemanlar modelinin sonucu uyumlu bulunmuştur. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan modelin sonucunda yük dağılımı, su tablası ve eşpotansiyel çizgileri Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Sonlu Elemanlar Metoduyla Yapılan, Su Bölüm Hattı – Cumayeri Kaynağı Akım Modelinde Yük Dağılımı [3]

3.2.1. İki Boyutlu Model Alanı Sınırları ve Grid Sistemi

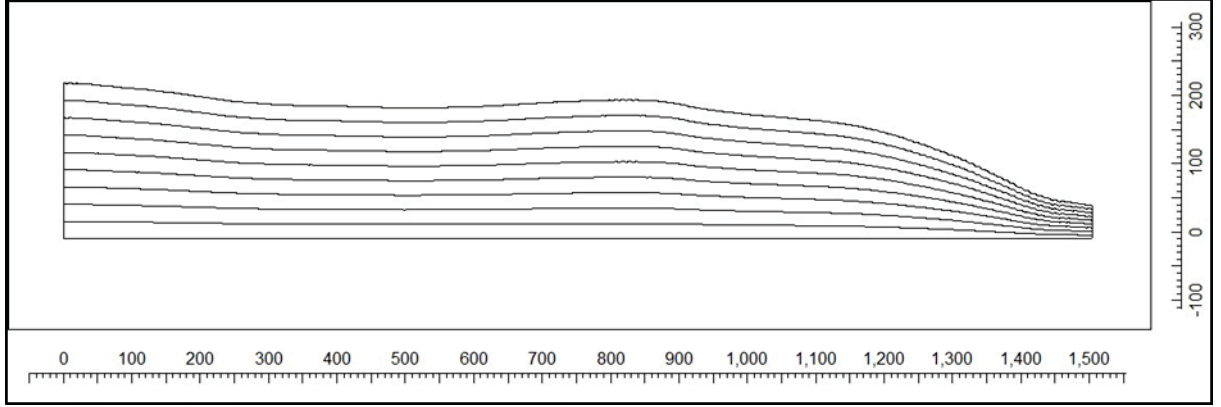
İki boyutlu sonlu farklar modeli için kullanılan kesitin uzunluğu 1504 m'dir. Model tavanı, topoğrafyaya eşitlenmiştir. Modelin taban kotu ise, en derin sondaj yapılan K-8 kodlu kuyunun tabanı olan -10 m seçilmiştir.

Model sınırları ve grid ağı hazırlanırken, modelin birim genişliği temsil ettiği göz önünde bulundurulmuştur. Hücre uzunluğu ve genişliği 1 m alınmıştır. En düşük hücre kalınlığının 5 m olması amacıyla, modelde eşit kalınlıkta 9 tane tabaka yaratılmıştır. Bunun sonucunda, 13536 tane hücre kullanılmıştır. Şekil 3.4'te model alanı ve tabaka geometrisi görülmektedir.

3.2.2. Başlangıç Koşulları

Model, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te geliştirilen modelleme sonuçlarının mukayese edilebilmesi için kararlı akım koşullarında çalıştırılmıştır. Kararlı akım koşullarında başlangıç yük dağılımının bir etkisi olmamasına karşın, sayısal yakınlasmayı

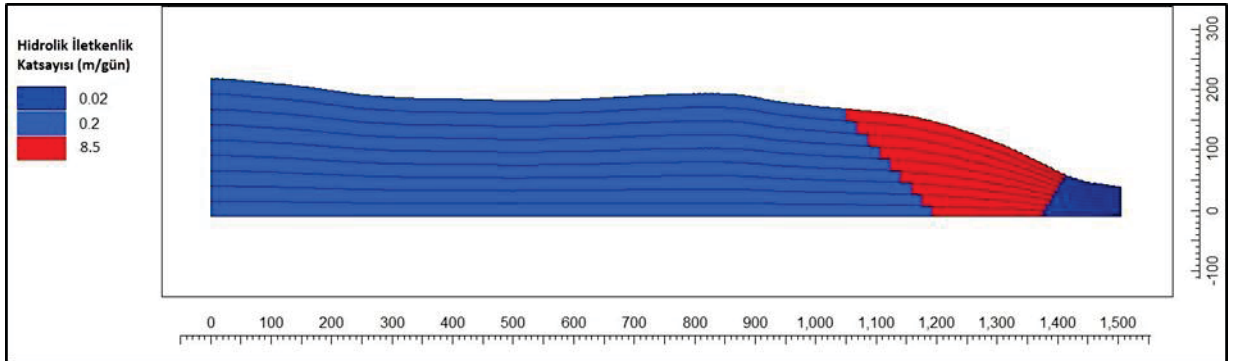
kolaylaştırmak adına ilksel su seviyesi olarak, referans modelde elde edilmiş yük dağılımı kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Kesit Modelde Katmanların Dağılımı Ve Akım Alanı

3.2.3. Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı ve Sınır Koşulları

Kesit modelde iki birim yer almaktadır. Bunlar Akveren formasyonu kireçtaşı ile Çakraz formasyonu flişidir. İki birimde de hidrolik iletkenlik katsayısı olarak, basınçlı su testleri sonucunda hesaplanmış değerlerin aritmetik ortalaması kullanılmış olup, bu değerler Akveren formasyonu için 0,23 m/gün, Çakraz formasyonu için 0,025 m/gün 'dür (Şekil 3.5). İlk etapta birimler kendi içlerinde homojen olarak kabul edilmiş, daha sonra kalibrasyon aşamasında hidrolik iletkenlik katsayılarında değişiklikler yapılmıştır. Kireçtaşı biriminde, Cumayeri kaynağının 200 m çevresinde, kaynak civarında kırık – çatlakların artması varsayımıyla hidrolik iletkenlik katsayısı değeri, yaklaşık 20 kat büyütülerek 8,5 m/gün olarak belirlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Kesit Modelde Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı (m/gün)

Sınır koşulları, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te yapılan modelle kıyaslanabilmesi açısından benzer tutulmuştur. DK – 1 kodlu kuyu su bölüm hattında bulunduğu için sabit yük sınır koşulu ile Cumayeri kaynağı ise MODFLOW Dren Paketi'yle temsil edilmiştir.

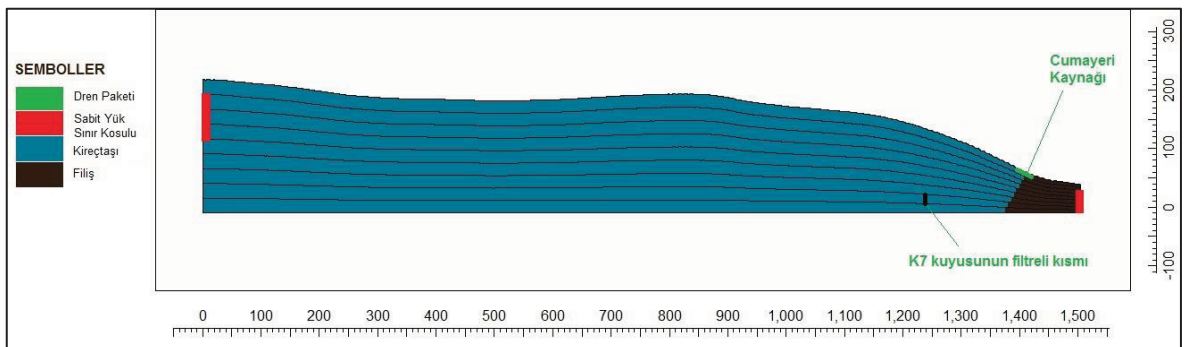
DK -1 kodlu kuyunun bulunduğu yerde sınır yük değeri, seviye gözlemlerine bağlı olarak 165 m olarak atanmıştır. Bu kuyuda yapılan basınçlı su testi değerleri sonucunda geçirimli kısmın 115 – 220 m kotu arasında olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla buradaki sınır koşulu, 115 – 165 m kotları arasındaki katmanlara atanmıştır. Cumayeri kaynağında ise sınır yük değeri, model tavanıyla aynı tutulmuştur.

Yağıştan beslenim olarak, uzun dönem ortalama yeraltısuyuna süzülme değeri olan 171 mm/yıl kullanılmıştır. Yağıştan beslenim sınır koşulu, filiş biriminden süzülme gerçekleşmeyeceği varsayılarak sadece kireçtaşı birimine verilmiştir.

Bu sınır koşullarına ilaveten, Büyük Melen Çayı'na olan boşalımını yansıtmak için, model alanının sonunda filiş birimindeki hidrolik yük, sabit yük sınır koşuluyla gösterilmiştir.

Kalibrasyon için Cumayeri kaynağının yanı sıra, kaynağın 125 m kuzeyinde, 120 m kotunda yer alan K-7 kodlu piyezometredeki hidrolik yük değeri kullanılmıştır. Piyezometredeki su seviyesi, filtrelenen aralığı temsil ettiğinden (filtre aralığı 0 – 12 m kotu arasındadır), filtre aralığının ortası olan +6 m kotuna yerleştirilmiştir. Model kararlı akım koşullarında çalıştırıldığı için, kalibrasyon değeri olarak kuyuda ölçülen ortalama yük değeri olan 59,5 m kullanılmıştır.

Şekil 3.6'da iki boyutlu modelde tanımlanan sınır koşulları görülmektedir.



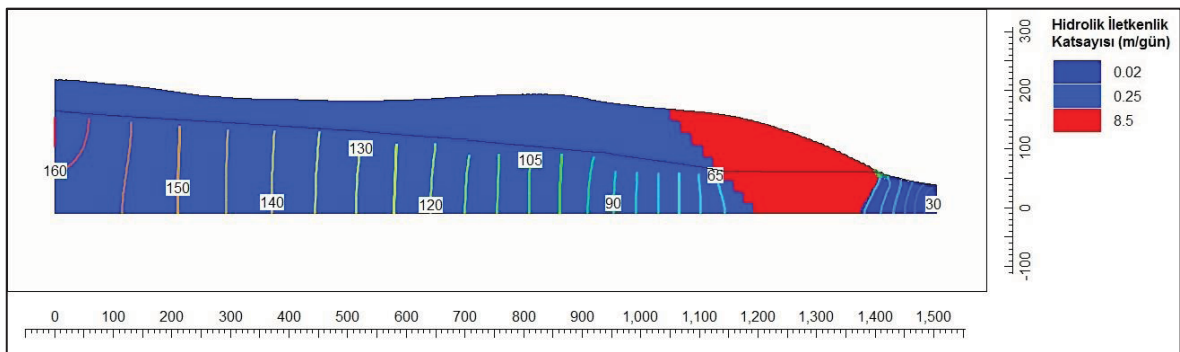
Şekil 3.6 İki Boyutlu Modelde Tanımlanan Sınır Koşulları

3.2.4. Doğal Durumda Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı

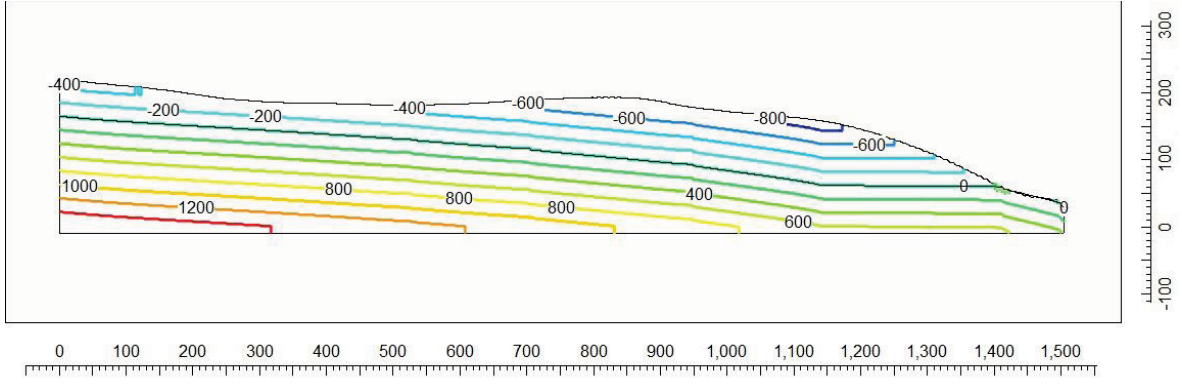
Model bahsedilen sınır koşulları ve değerlerle çalıştırılmış, kaynak boşalım debisi yaklaşık $2,6 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$ olarak bulunmuştur. Kaplama sahasının genişliğinin yaklaşık 1250 m olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu değer yaklaşık olarak $3257 \text{ m}^3/\text{gün'e}$, yani $37,7 \text{ l/s'ye}$ denk gelmektedir. Kaynak boşalımının tamamı, su bölüm hattında tanımlanan sabit yük sınır koşulundan elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.7'de yük dağılımına bakıldığında, su seviyesi dağılımı, gözlemlenen değerlerle örtüşmektedir. Kalibrasyon için kullanılan K – 7 kuyusunda hesaplanan yük değeri 61,37 m'dir. Bu değer, kuyuda ölçülen maksimum yük değeri göz önünde bulundurulduğunda, ortamı yeterince iyi temsil etmektedir. Model sonucunda oluşan su bütçesi Çizelge 3.1'de, hidrolik yük dağılımı Şekil 3.7'de, piyezometrik basınç dağılımı Şekil 3.8'de bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 İki Boyutlu Ortamda, Kararlı Koşullarda, Doğal Koşullar Sonucunda Oluşan Su Bütçesi

BESLENİM (m³/gün/m)		BOŞALIM (m³/gün/m)	
YAS BÖLÜM HATTI	2.263	YAS BÖLÜM HATTI	0
MELEN ÇAYI'NDAN BESLENİM	0	MELEN ÇAYI'NDAN BOŞALIM	0,324
YAĞIŞTAN BESLENİM	0,668	CUMAYERİ KAYNAĞI	2,606
TOPLAM BESLENİM	2,931	TOPLAM BOŞALIM	2,931
GİREN - ÇIKAN		0	
% TUTARSIZLIK		0	
YÜK GÖZLEMLERİ			
GÖZLEM KUYUSU	GÖZLEMLENEN DEĞER	SİMÜLE EDİLEN DEĞER	FARK
K7	59,5	61,37	-1,87



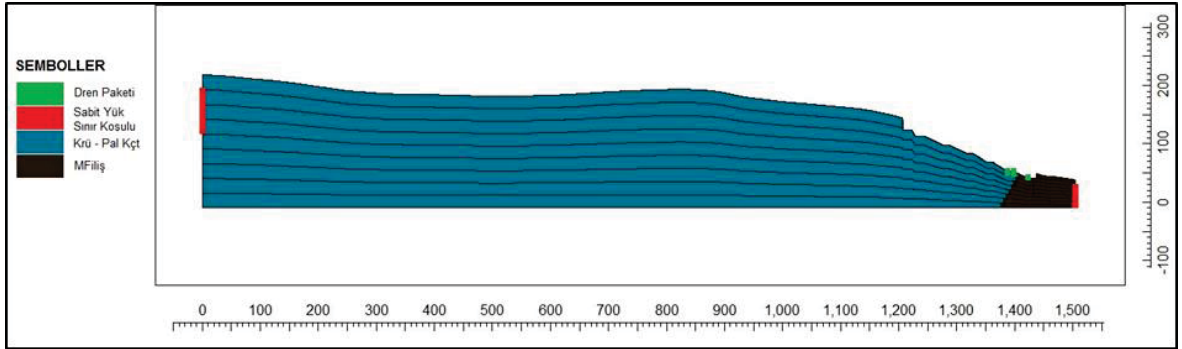
Şekil 3.7 İki Boyutlu Ortamda, Kararlı Koşullarda, Doğal Koşullar Sonucunda Oluşan Hidrolik Yük Dağılımı



Şekil 3.8 İki Boyutlu Ortamda Doğal Koşullarda Oluşan Piyezometrik Basınç Dağılımı

3.2.5. Beton Kaplama Sonucunda Oluşacak Yük Dağılımı ve Piyezometrik Basınç Dağılımı

Beton kaplamanın ve enjeksiyon perdesinin oluşturacağı yük ve piyezometrik basınç dağılımını hesaplamak için, doğal koşullardaki hidrolik yük dağılımından faydalanılarak yeni bir model alanı oluşturulmuştur. Bunun için, 0,40 m kalınlığındaki kaplama sahasında uygulanacak olan şev dizaynına göre topoğrafya yeniden oluşturulmuş ve kaplama sahası akım bariyer paketiyle temsil edilmiştir (Şekil 3.9). Cumayeri Kaynağı da kaplama ile beraber kapatılacağı için, akım bariyer paketiyle gösterilmiştir. Ayrıca, kaplama sahası sınırında yapılacak enjeksiyon perdesi için, perdenin yapılacağı hücreler “Inactive” durumuna getirilmiştir. Perde derinliği 30 m olarak alınmıştır. Bunun dışındaki diğer sınır koşulları aynı bırakılmıştır.



Şekil 3.9 Beton Kaplama ve Perde Enjeksiyonu Sonrasında Oluşan Model Alanı ve Hidrolik Yük Dağılımı

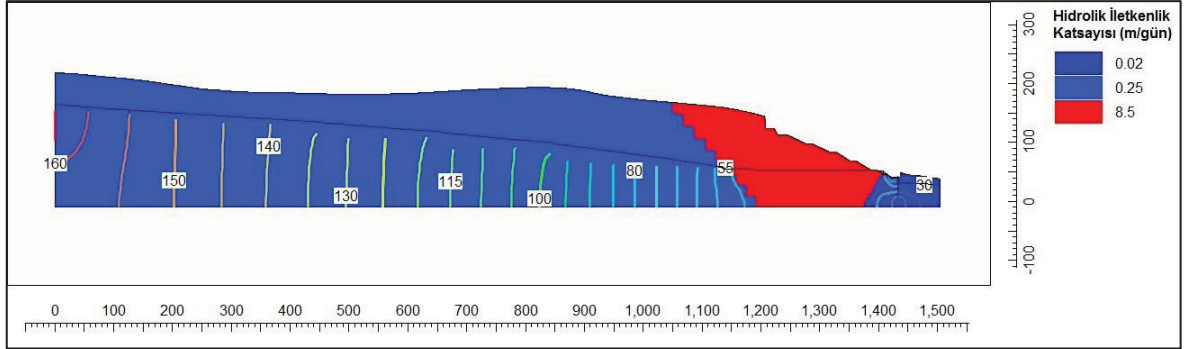
Model sonucuna göre, Cumayeri kaynağının üzerinin beton ile örtülmesinden ötürü, kaplama alanında ciddi derecede yük artışı gözlemlenmektedir. Yeraltısuyu bölüm hattından gerçekleşen katılım, kaplama sahasının hemen üst kotlarında yaklaşık 0,86 m³/gün/m debiyle boşalmaktadır. Hidrolik gradyan, kaplama

basamağındaki drende, kot değeri Cumayeri kaynağıyla benzer kotta olduğu için, ciddi miktarda bir boşalım gözlemlenmemiştir. 40 m basamağında boşalım miktarı ise 1,267 m³/gün/m'dir (Çizelge 3.2). Kalibrasyon için kullanılan K – 7 kodlu kuyuda gözlemlenen yük değeri 53,37 m'ye düşmüştür. Bu çözümle beraber, hidrolik yük ve piyezometrik basınç dağılımına göre (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13) kaplama sahasında herhangi bir kaldırma basıncı tehdidi bulunmamaktadır. Bu çözümle birlikte, kaplama sahasının üst kotlarında ortalama -40 m'lik (yaklaşık olarak -390 kPa) negatif basınç gözlemlenirken, 53 metre basamağından sonra ortalama olarak 10 m'lik (yaklaşık 92 kPa) bir kaldırma basıncı oluşmaktadır. İki değer de, beton kaplamanın sağlıklı bir şekilde uygulanmasına engel teşkil etmemektedir.

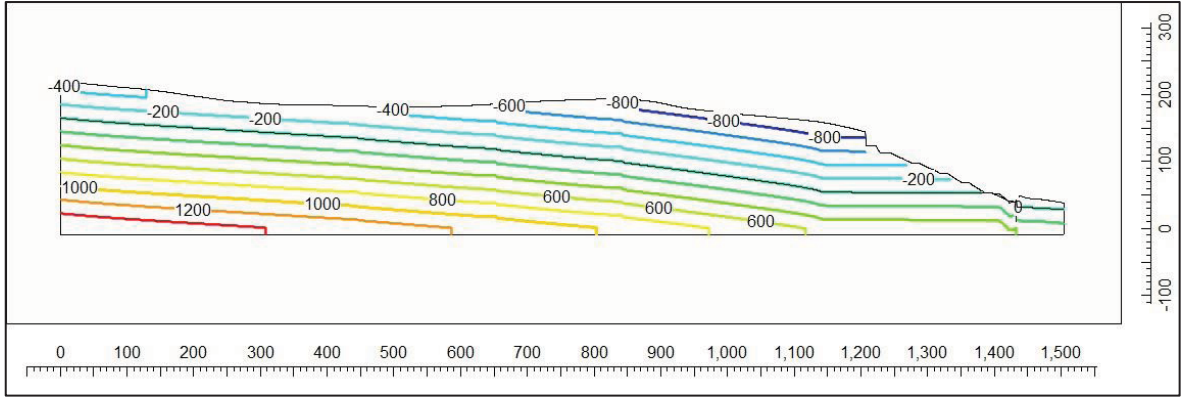


Çizelge 3.2 İki Boyutlu Modelde Kaplama Sonucunda 53 m ve 40 m Kotuna Drenaj Sistemi ile Cumayeri Kaynağına Kaptaj Uygulandıktan Sonra Oluşan Su Bütçesi

BESLENİM (m³/gün/m)		BOŞALIM (m³/gün/m)	
YAS BÖLÜM HATTI	2,323	YAS BÖLÜM HATTI	0
MELEN ÇAYI'NDAN BESLENİM	0	MELEN ÇAYI'NDAN BOŞALIM	0,105
YAĞIŞTAN BESLENİM	0,668	CUMAYERİ KAYNAĞI ve DRENLERDEN BOŞALIM	2,887
TOPLAM GİREN	2,992	TOPLAM ÇIKAN	2,992
GİREN - ÇIKAN		0	
% TUTARSIZLIK		0	
YÜK VE DÜŞÜM GÖZLEMLERİ			
GÖZLEM İSMİ	GÖZLEMLENEN DEĞER	SİMÜLE EDİLEN DEĞER	FARK
K7	59,5	53,68	+5,82
KAYNAK VE DRENAJ KANALLARI			
CUMAYERİ KAYNAĞI		1,137 m³/gün/m	
53 m KOTUNDAKİ DRENAJ KANALI		1,590 m³/gün/m	
40 m KOTUNDAKİ DRENAJ KANALI		0,160 m³/gün/m	



Şekil 3.12 İki Boyutlu Modelde Kaplama Sonucunda 53 m ve 40 m Kotuna Drenaj Sistemi ile Cumayeri Kaynağına Kaptaj Uygulandıktan Sonra Oluşan Hidrolik Yük Dağılımı



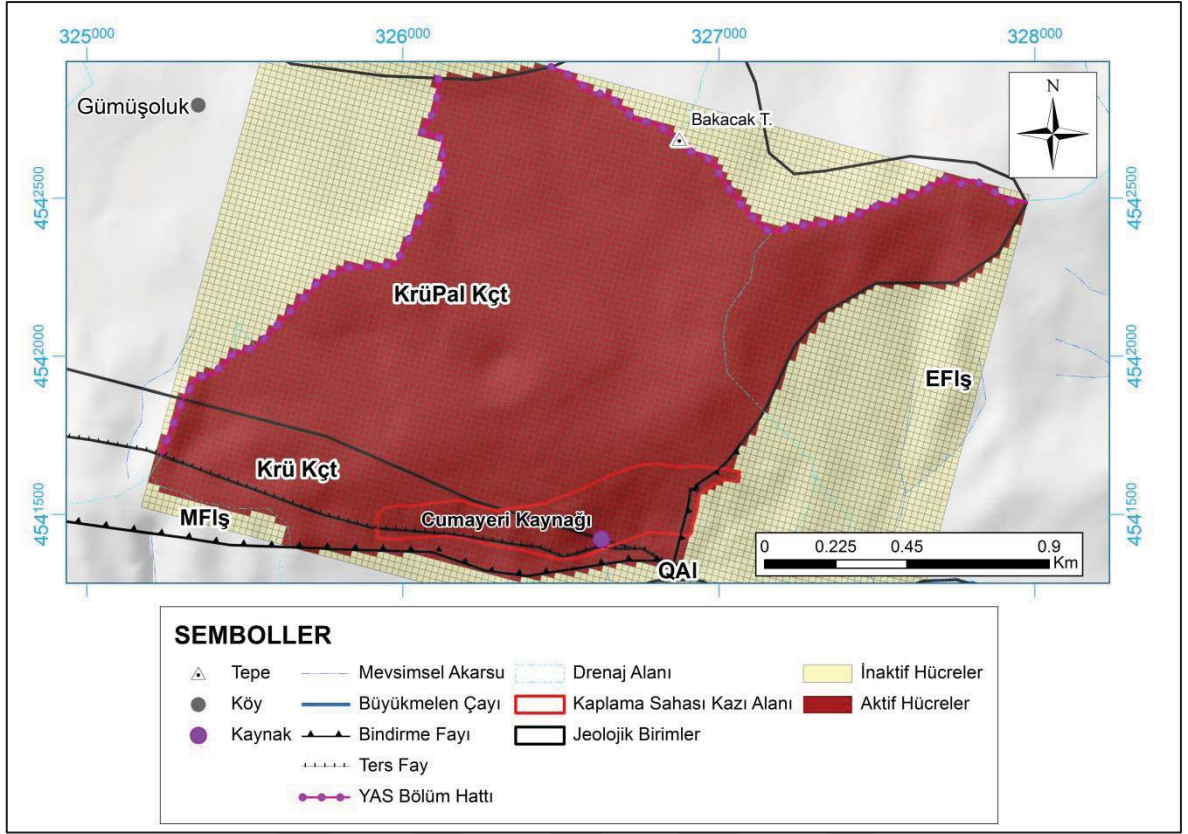
Şekil 3.13 İki Boyutlu Modelde Kaplama Sonucunda 53 m ve 40 m Kotuna Drenaj Sistemi ile Cumayeri Kaynağına Kaptaj Uygulandıktan Sonra Oluşan Piyezometrik Basınç Dağılımı

3.3. Üç Boyutlu Model

Kaplama sahasındaki beslenme ve boşalım ilişkilerinin hidrolik yük ve piyezometrik basınca olan etkisinin incelenmesi amacıyla, Cumayeri kaynağının bulunduğu yerel dolaşım sisteminin üç boyutlu ortamda nümerik modeli yapılmıştır. Bu maksatla ilk etapta doğal koşullardaki yük dağılımı hesaplanmış, daha sonrasında beton kaplama ve perde enjeksiyonunun yük ve piyezometrik basınçta yarattığı etki gözlemlenmiş, en sonunda ise yük ve piyezometrik basıncın azaltılması için denemeler yapılmıştır.

3.3.1. Model Alanı Sınırları ve Grid Sistemi

Model alanı yaklaşık $2,24 \text{ km}^2$ 'dir. Hücre uzunluğu ve genişliği 20 m alınmıştır. En düşük hücre kalınlığının 5 m olması amacıyla, modelde eşit kalınlıkta 9 tabaka oluşturulmuştur. Bunun sonucunda model 52443 hücreden oluşmuştur (Şekil 3.14). Modelin en üst katmanı, doğal topoğrafyaya eşitlenmiştir. Model tabanı, iki boyutlu modelde olduğu gibi -10 m olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.14 Üç Boyutlu Model Alanı ve Grid Sistemi

3.3.2. Başlangıç Koşulları ve Model Süresi

Model, iki boyutlu modelde olduğu gibi, kararlı akım koşullarında çalıştırılmıştır. Modelde ilksel su seviyesi olarak, sayısal yakınlaştırmayı kolaylaştırmak amacıyla Ekmekçi vd, 2015 [3]'te bahsedilen KA ve K kodlu kuyuların interpolasyonu sonucunda oluşan değerler kullanılmıştır.

3.3.3. Kalibrasyon ve Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı

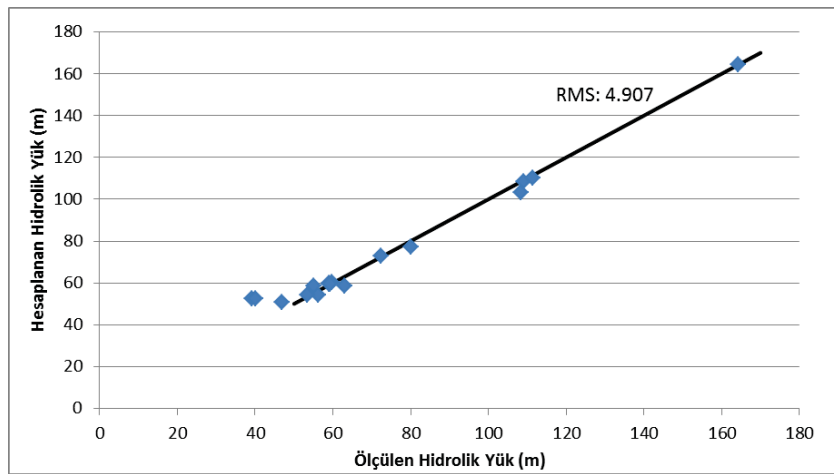
Model alanında dört farklı birim yer almaktadır. Bunlar Yemişliçay ile Akveren formasyonu kireçtaşları ile Çakraz formasyonu filiidir. İki birimde de hidrolik iletkenlik katsayısı olarak, yapılan basınçlı su testleri sonucunda bulunan aritmetik ortalama değerleri kullanılmış olup, bu değerler Akveren ve Yemişliçay formasyonları için 0,23 m/gün, Çakraz ve Kusuri Formasyonları için 0,025 m/gün'dür. Yemişliçay formasyonu ile altında uzanan Çakraz formasyonu arasındaki hidrolik iletkenlik katsayısı farkını yaratmak için, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te yapılan sondaj çalışmalarından faydalanılarak, fay geometrisi oluşturulmuştur.

İlk etapta birimler homojen olarak kabul edilmiş, daha sonrasında kalibrasyon aşamasında hidrolik iletkenlik katsayılarında değişiklikler yapılmıştır. Bunun için, iki

boyutlu modelde kullanılan değerlerden faydalanılmış, kaplama sahasının yapılacağı bölgede hidrolik iletkenlik katsayısı Akveren formasyonu kireçtaşında 8,5 m/gün, Yemişliçay formasyonu kireçtaşında ise 8 m/gün olarak alınmıştır. Kplama sahasının dışında kalan bölgelerde ise hidrolik iletkenlik katsayısı, Akveren formasyonu için 0,40 m/gün'e yükseltilmiş, Yemişliçay formasyonu için 0,20 m/gün'e düşürülmüştür. Ayrıca, filiş birimlerinde hidrolik iletkenlik katsayısı 0,01 m/gün'e düşürülmüş, buna ilaveten, akımın yataylanması için, düşey yönlü hidrolik iletkenlik katsayısı da, yataydakinin onda biri olarak alınmıştır.

Kplama alanındaki hidrolik yük dağılımının gözlemlenen değerlerle uyumluluğunu gözlemlemek amacıyla, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te açılan piyezometrelerde ölçülen su seviyelerinin ortalaması kullanılmıştır. Çizelge 3.3'te de görülebileceği üzere, K – 8 ve K – 8' kodlu kuyular dışında, gözlemlenen hidrolik yükler ile model sonucunda oluşan hidrolik yük değerleri, kuyulardaki uzun dönem ölçümlerin standart sapmaları da göz önünde bulundurulduğunda, modelin yeterince hassas sonuçlar verdiğini göstermektedir. Şekil 3.15'de, gözlem değerleri ile bunlara karşılık gelen simülasyon değerlerinin grafiğinden de görülebileceği üzere, RMS (karelerin ortalamasının karekökü) değerinin 4,907 olması da bunu tasdikler niteliktedir. Şekil 3.16'da gözlemlenen hidrolik yük değerleri ile simülasyon değerleri arasındaki farkların haritalaması gösterilmiştir.

Model tabakalarında hidrolik iletkenlik katsayısı dağılımı Şekil 3.17'de yer almaktadır.



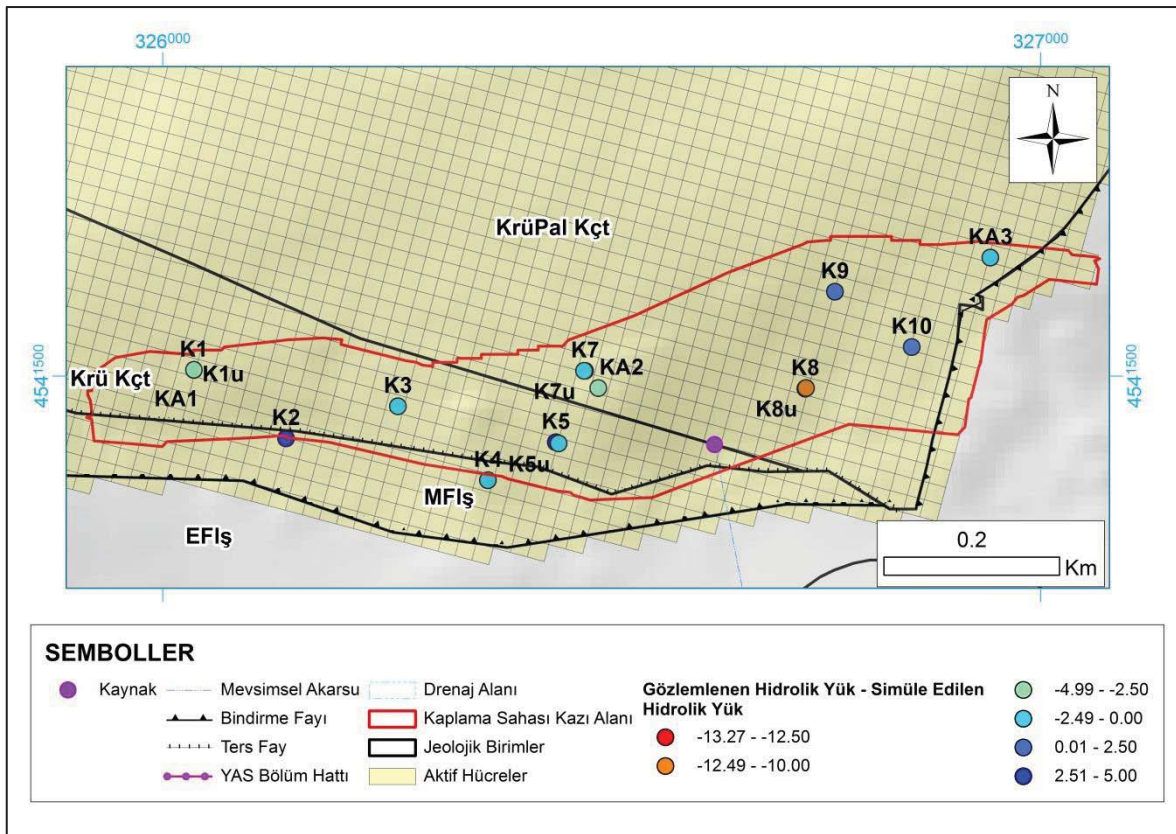
Şekil 3.15 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durumda Gözlem Noktalarında Ölçülen Hidrolik Yük Değerlerine Karşılık Model Sonuçları

Çizelge 3.3 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durumda Gözlem Noktalarında Ölçülen ve Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerleri

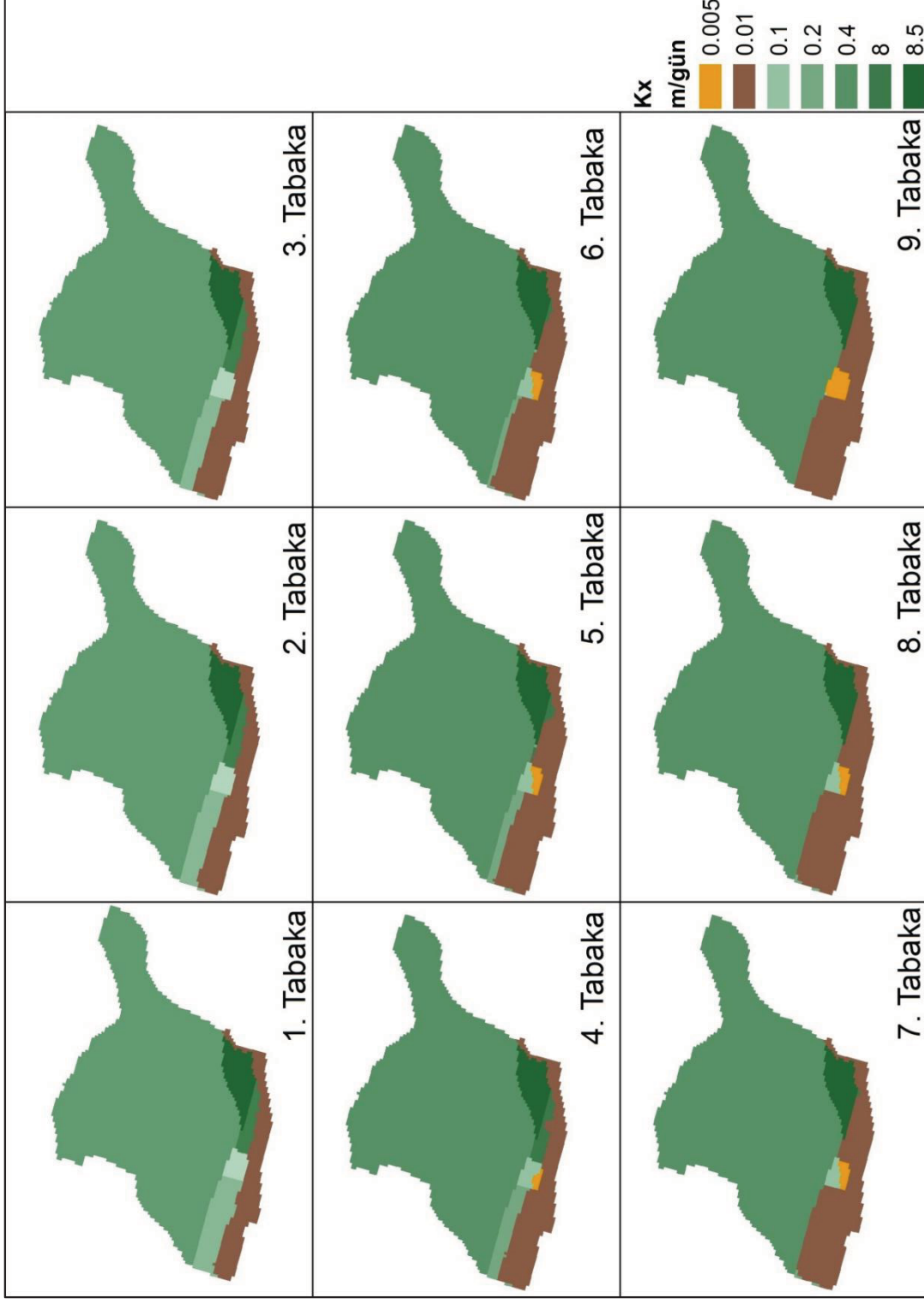
YÜK DEĞERLERİ			
GÖZLEM NOKTASI	ÖLÇÜLEN HİDROLİK YÜK DEĞERİ (m)	MODEL SONUCUNDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	FARK
K1	109.01	108.40	0.61
K1'	111.54	110.16	1.38
K2	80.08	77.25	2.83
K3	72.31	72.66	-0.35
K4	59.66	60.13	-0.47
K5	62.93	58.65	4.28
K5'	59.16	59.72	-0.55
K7	58.97	59.40	-0.42
K7'	59.38	59.44	-0.05
K8	39.13	52.39	-13.26
K8'	40.24	52.35	-12.11
K9	56.26	54.14	2.12
K10	46.99	50.85	-3.86
KA1	108.49	103.38	5.11
KA2	55.14	58.53	-3.39
KA3	53.54	54.24	-0.70
DK1	164.30	164.27	0.03

3.3.4. Sınır Koşulları

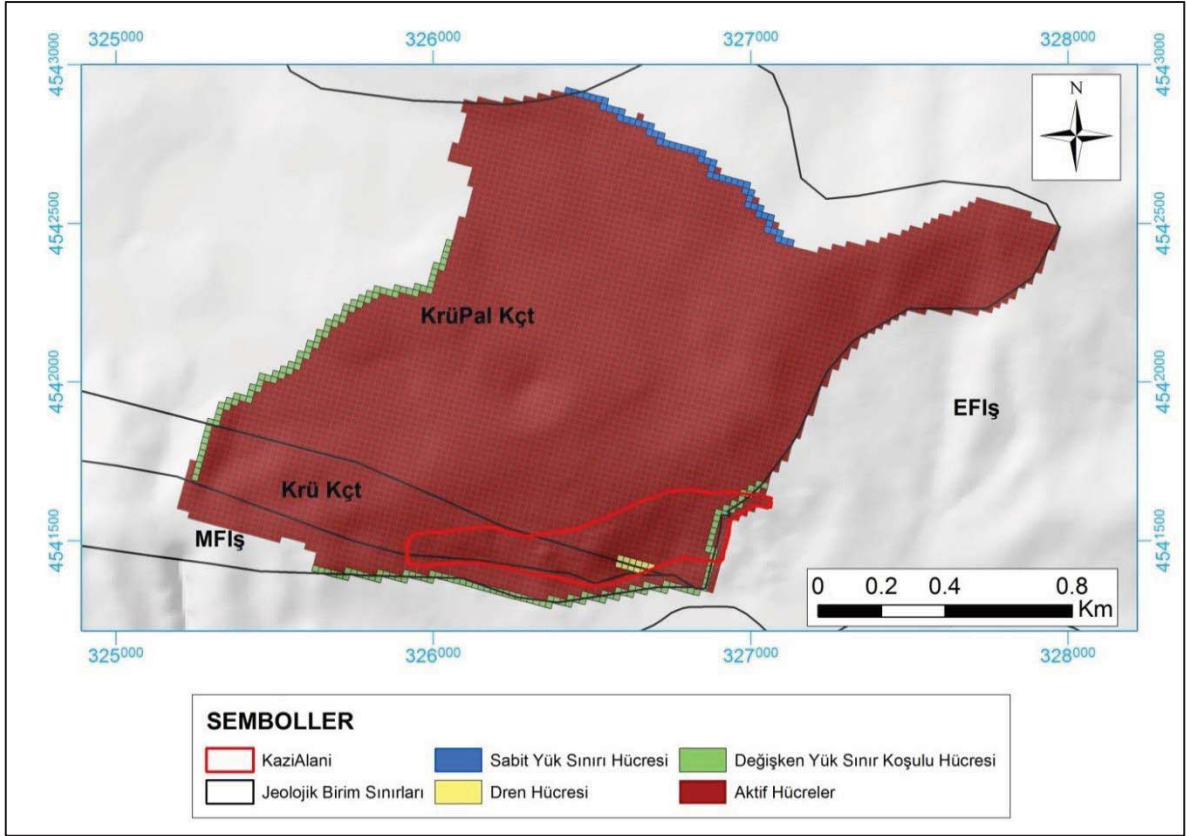
Sınır koşulları olarak, kaplama sahasının kuzeyinde yer alan yeraltısuyu bölüm hattından beslenim sabit yük sınır koşuluyla, havzanın batısındaki yeraltısuyu bölüm hattı, kaplama sahasının doğusunda yer alan Kusuri Formasyonu – Akveren Formasyonu dokanağı ve havzanın güneyinde, Büyük Melen Çayı'na boşalım değişken yük sınırıyla (General Head Boundary), Cumayeri Kaynağı dren paketiyle, yağıştan beslenim ise sabit akım sınır koşuluyla (Recharge) temsil edilmiştir. Sınır koşullarının konumlandırılması Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



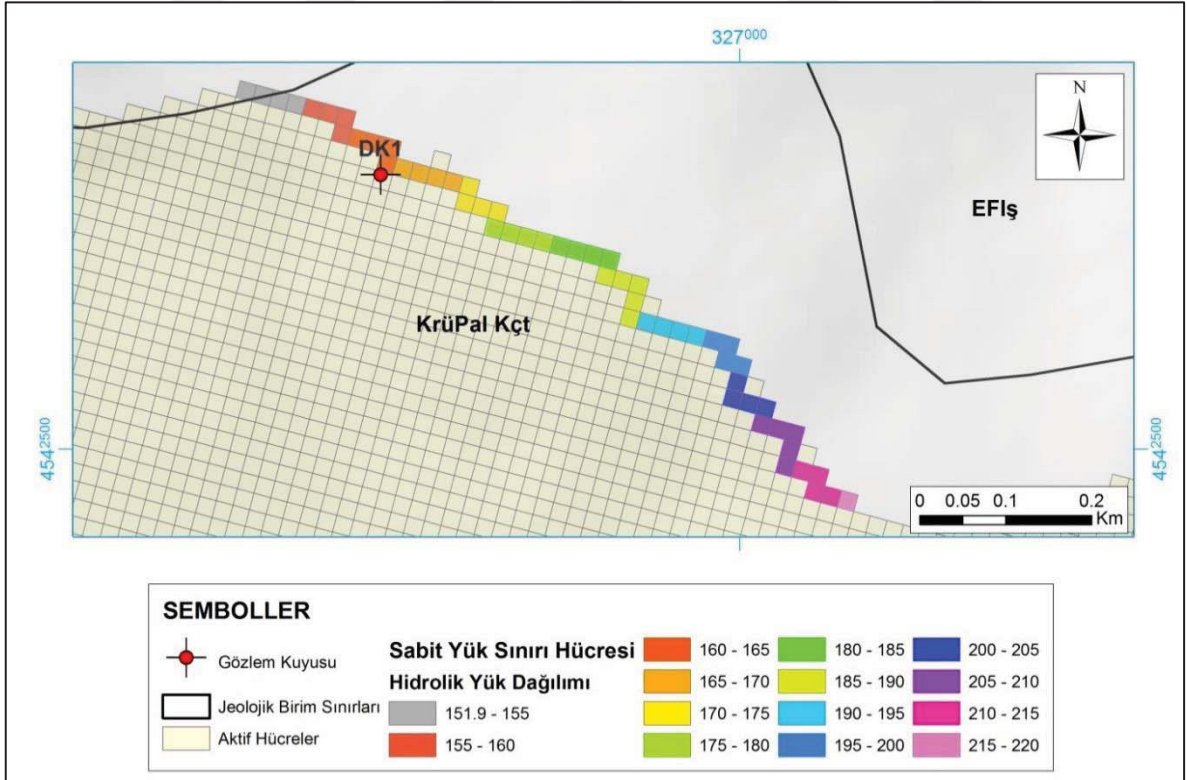
Kaplama sahasının yaklaşık 1250 m kuzeyinde yer alan yeraltısuyu bölüm hattında bulunan DK – 1 kodlu kuyudaki seviye ölçümleri sonucunda, bölge sabit yük sınır koşuluyla temsil edilmiştir. Yeraltısuyu bölüm hattında su seviyesinin homojen olmayacağı, kota bağlı olarak da hidrolik yükün artacağı öngörülmüştür. Bunun için, girilen seviye değerleri, kireçtaşı birimlerinde yer alan kuyulardan ölçülen seviyelerin interpolasyonu sonucunda oluşturulmuştur. İnterpolasyon sonucunda oluşturulan hidrolik yük dağılımı Şekil 3.19'deki gibidir.



Şekil 3.17 Üç Boyutlu Modelde Tabakalara Göre Hidrolik İletkenlik Katsayısı Dağılımı



Şekil 3.18 Model Alanında Sınır Koşullarının Dağılımı



Şekil 3.19 Kaplama Sahasının Kuzeyinde Yer Alan Sabit Yük Sınır Koşulundaki Tanımlanan Hidrolik Yük Dağılımı

Değişken yük sınırı koşulunda, sınır ile yeraltısuyu alışverişi, sınır için tanımlanan iletimlilik katsayısı ile sınır ve model alanı arasındaki yük farkına bağlı olarak çalışmaktadır [17]:

$$QB = CB (HB - h)$$

Burada;

QB, sınır koşulu ile model alanı arasındaki akım miktarı (L^3/T),

CB, sınır koşulundaki iletimlilik katsayısı (L^2/T),

HB, sınır koşulundaki hidrolik yük (L),

h, hücredeki hidrolik yük (L) değeridir.

İletkenlik değeri, hücrenin alanı, sınır koşulu ile model arasındaki akım yolu uzunluğu ve hidrolik iletkenlik katsayısına bağlıdır:

$$CB = KB \times A/L$$

Burada,

CB, sınır koşulundaki iletimlilik katsayısı (L^2/T),

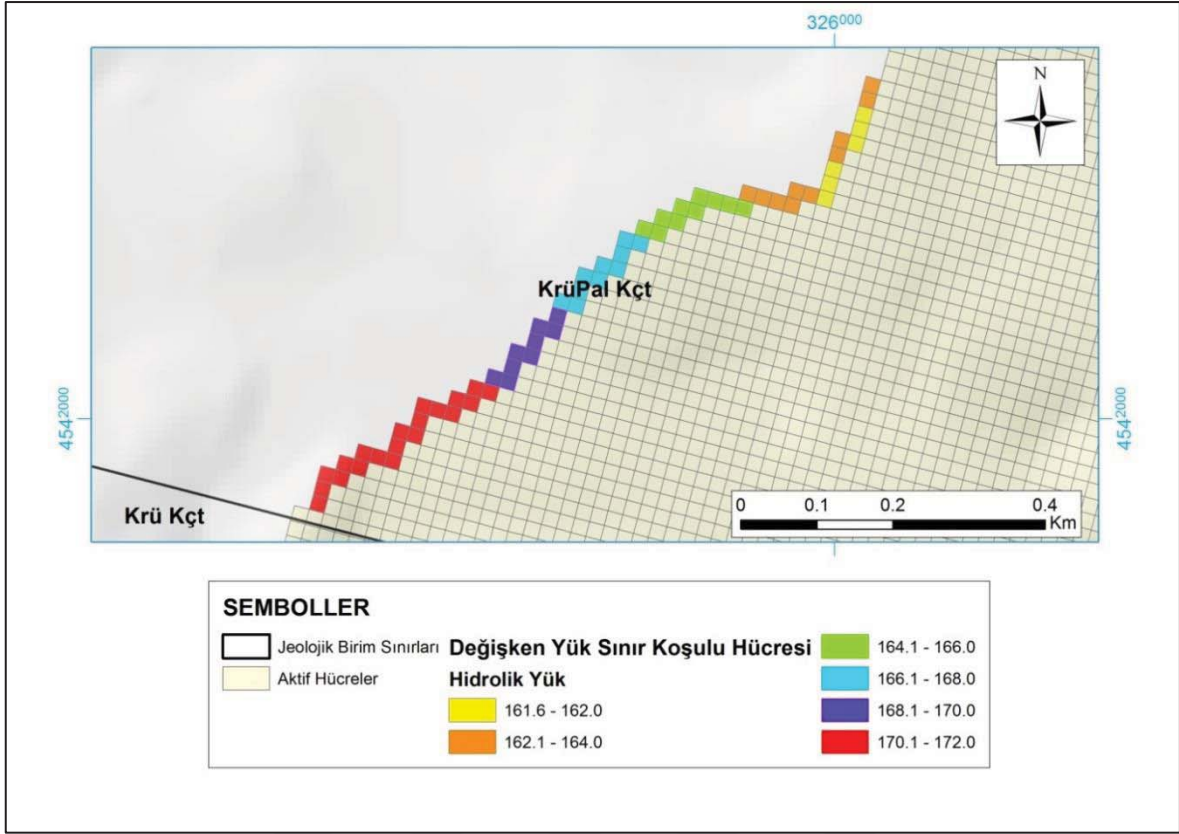
KB, sınır koşulunda tanımlanan hidrolik iletkenlik katsayısı (L/T),

A, sınır koşulunda hücrenin alanı (L^2),

L, sınır koşulu ile model arasındaki akım yolu uzunluğu (L) olarak tanımlanmıştır.

Kaplama sahasının batısında yer alan yeraltısuyu bölüm hattı için iletimlilik katsayısı, akiferlerde tanımlanan hidrolik iletkenlik katsayısıyla eşit alınmıştır. Buna göre, Akveren formasyonunda kalan kısım için iletimlilik değeri, $8 \text{ m}^2/\text{gün}$, Yemişliçay formasyonunda kalan kısım için $4 \text{ m}^2/\text{gün}$, Çakraz formasyonunda kalan kısım için ise $0,20 \text{ m}^2/\text{gün}$ olmuştur. Kalibrasyon esnasında bu değerlerin, kaplama sahasındaki hidrolik yük değerlerini oldukça arttırması sebebiyle iletimlilik değeri Akveren formasyonunda $0,40 \text{ m}^2/\text{gün'e}$, Yemişliçay formasyonunda ise $0,20 \text{ m}^2/\text{gün'e}$ düşürülmüştür. Sınır yük değerleri için kireçtaşı ve filiş biriminde ölçülen değerlerden faydalanılarak bir dağılım elde edilmiştir (Şekil 3.20).

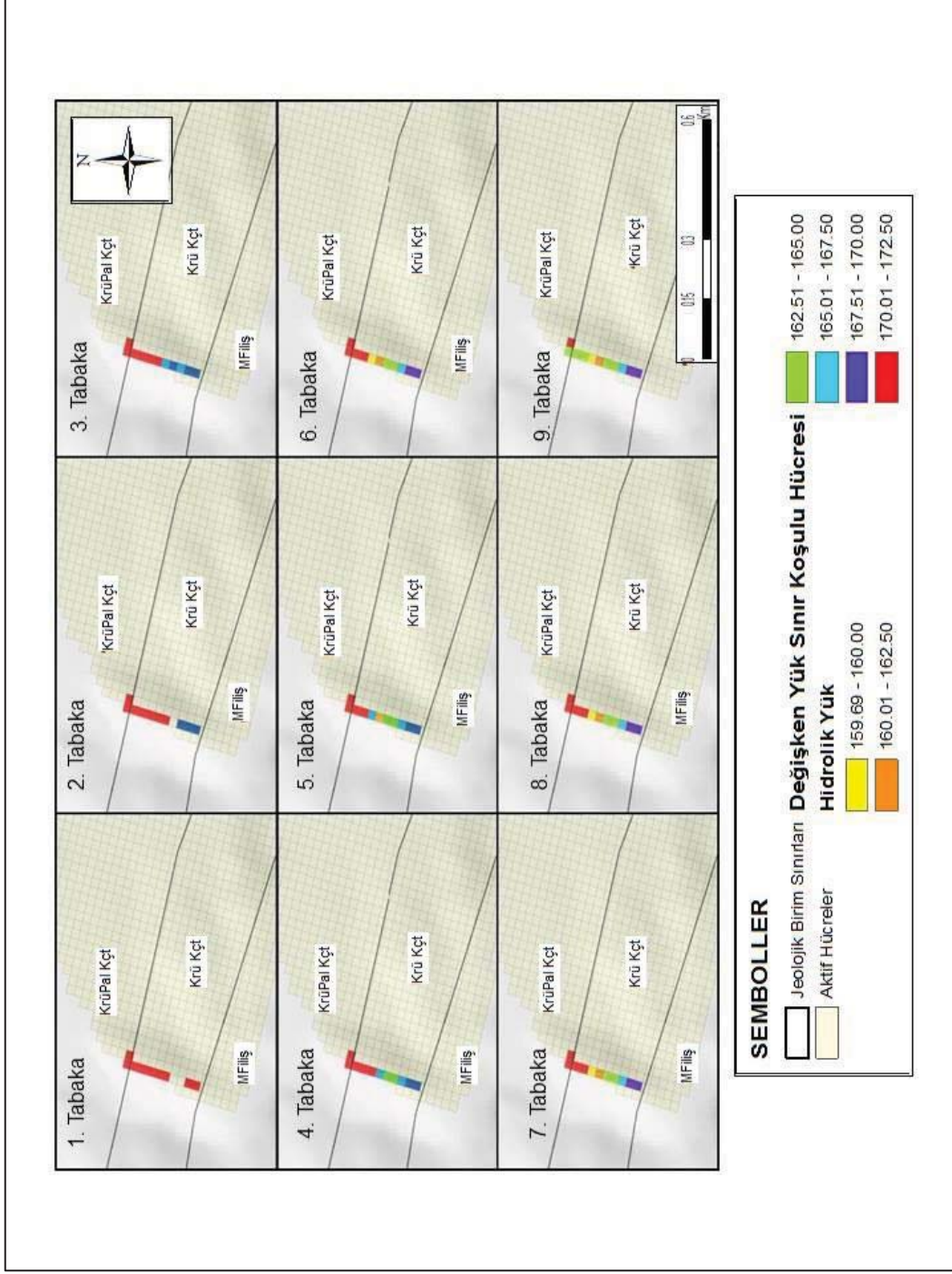
Yemişliçay formasyonu ile altında uzanan Çakraz formasyonu arasındaki hidrolik iletkenlik katsayısı ve sınır koşulunda tanımlanan hidrolik yükler arasındaki farklılık sebebiyle, iki formasyonda da bulunan hücrelerde bu değerler, tabakalar arasında farklılık göstermektedir. Dikkat edileceği üzere, bu hücrelerde, yüzeyden itibaren derinlik arttıkça, tanımlanan hidrolik yük ve iletkenlik azalmaktadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.20 Kaplama Sahasının Batısında Yer Alan Yeraltısuyu Bölüm Hattında, Akveren Formasyonu içinde Kalan Hücrelerde Tanımlanan Hidrolik Yük Dağılımı

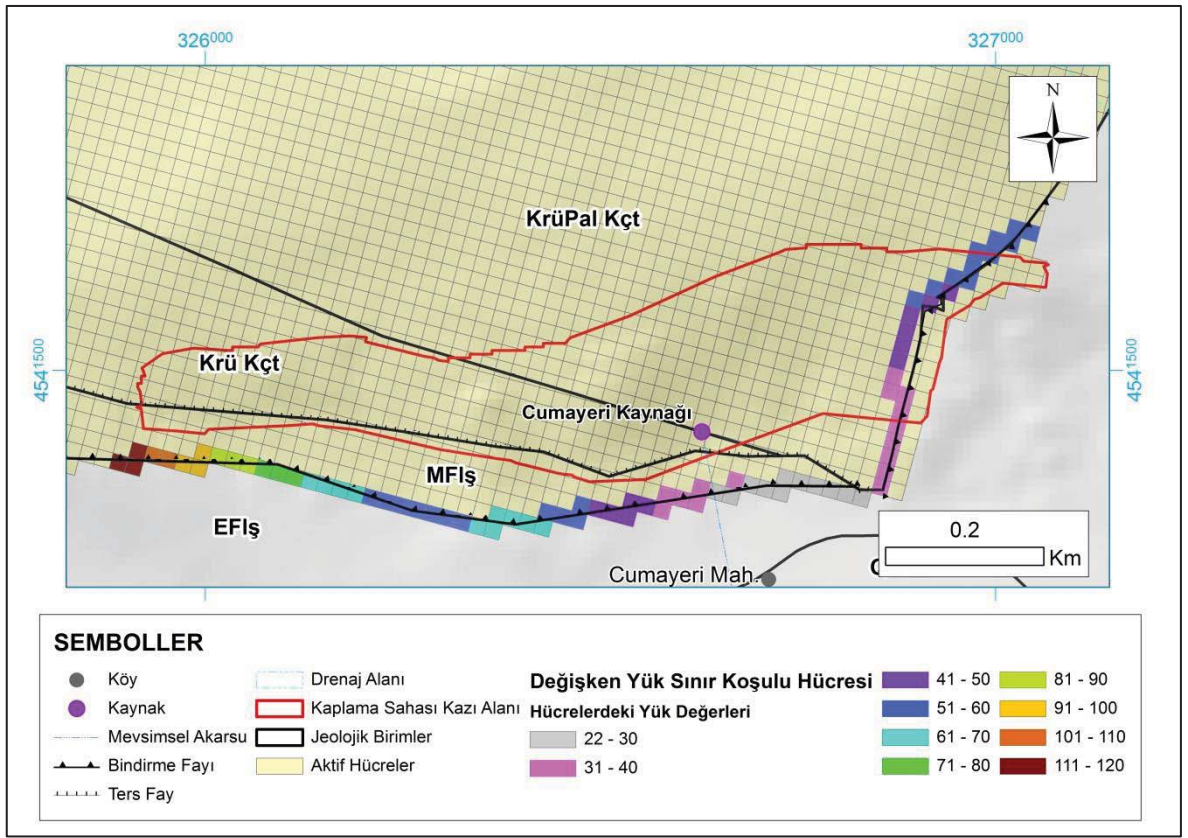
Kaplama sahasının güneyinde, Mesozoyik filiş biriminden Eosen yaşlı Kusuri formasyonu filişine olan boşalım da değişken yük sınır koşuluyla gösterilmiştir. Yük değeri olarak, filiş birimlerinde yer alan test kuyuları ile piyezometrelerde yer alan seviye ölçümleri sonucunda oluşturulan interpolasyon sonucundan faydalanılmıştır. İletimlilik katsayısı, ortamın hidrolik iletkenlik katsayısıyla aynı tutulmuş, dolayısıyla iletkenlik değeri 0,20 m²/gün olarak kabul edilmiştir. Kalibrasyon esnasında Akveren formasyonuna yakın olan hücrelerde, iletimlilik değeri 10 kat arttırılmıştır.

Kusuri formasyonu ile Akveren formasyonu arasında değişken yük sınır koşulu tanımlanmıştır. Yük değeri olarak, kireçtaşı birimlerinde yer alan kuyular, test amaçlı açılan YS – 4, YS – 11, YS – 10 ile KA – 4 ile KA – 7 kodlu piyezometrelerdeki seviye ölçümleri sonucunda oluşturulan interpolasyon sonucundan faydalanılmıştır. İletimlilik katsayısı olarak, Akveren formasyonunun hidrolik iletkenlik katsayısı olan 0,40 m/gün kullanılmıştır. İki sınır koşuluna ait olan hidrolik yük ve iletkenlik haritaları Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de yer almaktadır.



Şekil 3.21 Kaplama Sahasının Batısında Yer Alan Yeraltısını Bölüm Hattında, Yemişçay ve Çakraz Formasyonları İçinde Kalan Hücrelerde Tanımlanan Hidrolik Yük Dağılımı

Kaplama sahasında Yemişliçay formasyonu ile Akveren formasyonu dokanağında yüzeylenen Cumayeri Kaynağı, dren paketiyle temsil edilmiştir. Dokanak boyunca yüzeylendiği ve birden fazla çıkış noktası olduğu göz önünde bulundurularak, Cumayeri Kaynağı, yaklaşık 4000 m²'lik alanda temsil edilmiştir. Sınır koşulu, en üst iki tabakada tanımlanmıştır. Hidrolik yük değeri, topoğrafyayla eşit tutulmuştur. Hidrolik iletkenlik katsayısı, ortamın hidrolik iletkenlik katsayısıyla eşit alınmıştır. Hidrolik iletkenlik katsayısının küçültülmesi sonucunda hesaplanan kaynak debisi azalıp, yeraltısuyu seviyesi artarken, büyütülmesi sonucunda ise herhangi bir fark oluşmamaktadır.

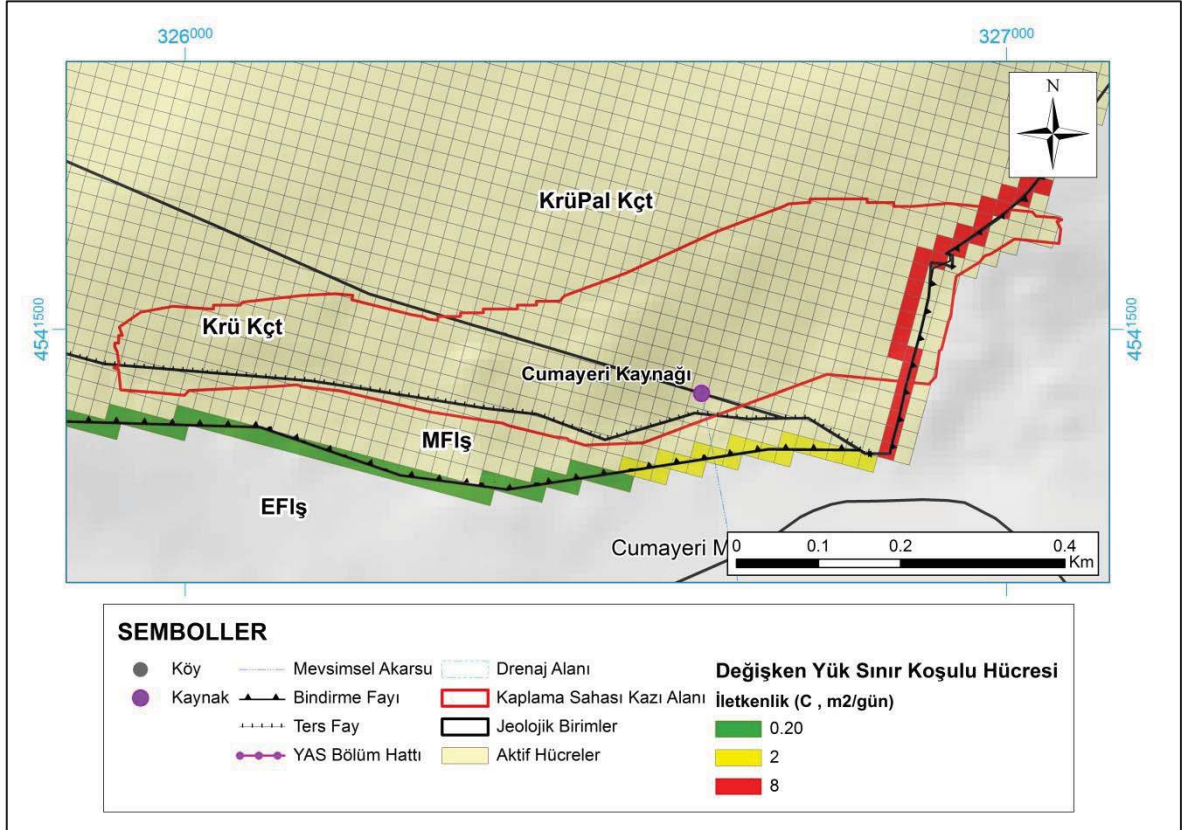


Şekil 3.22 Kaplama Sahasının Güneyi ve Batısında Yer Alan Değişken Yük Sınır Koşullarındaki Tanımlanan Hidrolik Yük Değerleri

3.3.5. Doğal Durumda Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı

Model bahsedilen sınır koşulları ve değerlerle çalıştırıldığında, kaynak boşalım debisi yaklaşık 3303,93 m³/gün (yaklaşık olarak 38,5 l/s) olarak bulunmuştur. Bu değer, ortalama kaynak boşalımını yeterince iyi temsil etmektedir. Akım, havzanın kuzey ve batısından gelip, ağırlıklı olarak Cumayeri Kaynağı ve Akveren Formasyonu – Kusuri formasyonu arasındaki dokanaktan boşalmaktadır. Havzanın güneyinde kalan, Çakraz Formasyonu ile Kusuri formasyonu arasındaki

dokanaktan ciddi bir boşalım gözlemlenmemektedir. Hidrolik yük dağılımına bakıldığında, hidrolik gradyanın Akveren formasyonunda kaplama sahası civarında azalması, beklenildik bir sonuçtur. Kaplama sahasının güneybatısında yeraltı suyu seviyesi yüzeye oldukça yakındır. [3]'te Basıncılı Su Testi amaçlı açılan YS – 12, YS – 5, YS – 8 ve Sf – 1 kuyularda test esnasındaki su seviyeleri karşılaştırıldığında, bu makul bir sonuçtur.



Şekil 3.23 Kaplama Sahasının Güneyi ve Batısında Yer Alan Değişken Yük Sınır Koşullarındaki Tanımlanan İletkenlik Değerleri

Çizelge 3.4'te model sonucunda oluşan su bütçesi yer almaktadır. Model alanındaki ve kaplama sahasındaki hidrolik yük dağılımı Ek – 2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.4 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Koşullarda Oluşan Su Bütçesi

Beslenim (m³/gün)		Boşalım (m³/gün)	
SABİT YÜK SINIR KOŞULU	7489.71	SABİT YÜK SINIR KOŞULU	1318.12
YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	1755.60	YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	5647.33
YAĞIŞTAN SÜZÜLME	1024.08	CUMAYERİ KAYNAĞI	3303.93
TOPLAM GİRDİ	10269.39	TOPLAM ÇIKTI	10269.38

Piyezometrik basınç dağılımına bakıldığında, doğal topoğrafyaya eşit olan, dolayısıyla beton kaplamaya direkt olarak etki edecek kaldırma basıncının olduğu birinci tabakada, ortalama olarak 35 m'lik, yani yaklaşık olarak 343 kPa'lık bir negatif basınç söz konusudur (Şekil 3.24).

Cumayeri Kaynağı civarında ve kaplama sahasının güneybatısında kalan küçük bir alanda, yeraltısuyu seviyesinin yüzeye çok yakın olmasından veya eşit olmasından ötürü yaklaşık 5 m'lik bir kaldırma basıncı mevcuttur. Model tabanına doğru, piyezometrik basınç 60 m ile 110 m (588 kPa ile 1080 kPa) arasında değişmektedir (Ek - 2). Ayrıca, Şekil 3.25'te görülebileceği üzere, piyezometrik basınç dağılımı, iki boyutlu modeldeki dağılımla hemen hemen aynıdır.

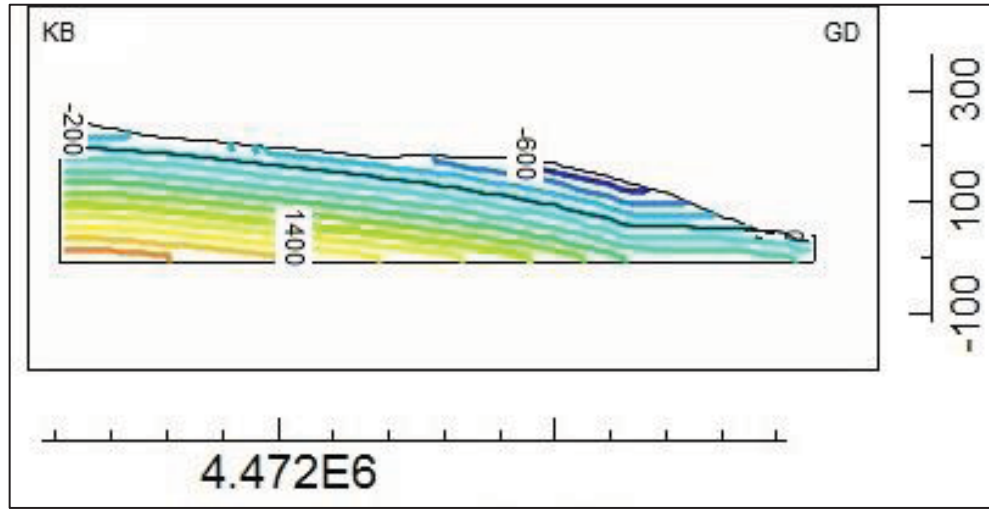
3.3.6. Beton Kaplama ve Perde Enjeksiyonu Sonrasında Oluşan Model Alanı İle Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı

Beton kaplama sahasında, kaplama ve perde enjeksiyonu sonrasında oluşacak hidrolik yük ve piyezometrik dağılım için model alanı yeniden oluşturulmuştur. Bunun için, topoğrafya, kaplama sahasındaki şev dizaynına göre yeniden şekillendirilmiş, en üste beton kaplamanın kalınlığı olan 40 cm kalınlığında bir tabaka eklenmiş ve bu yeni tabakada kaplama sahasının olduğu hücreler geçirimsiz duruma getirilmiştir. Bu eklenen tabaka, doğal koşullarda hidrolik yük dağılımını göstermek için çalıştırılan modeldeki en üst tabakanın bölünmesiyle oluşturulmuştur. Böylelikle, diğer tabakalarda hücre geometrisinde ve hidrolik iletkenlik katsayısında değişiklik olmaması hedeflenmiştir.

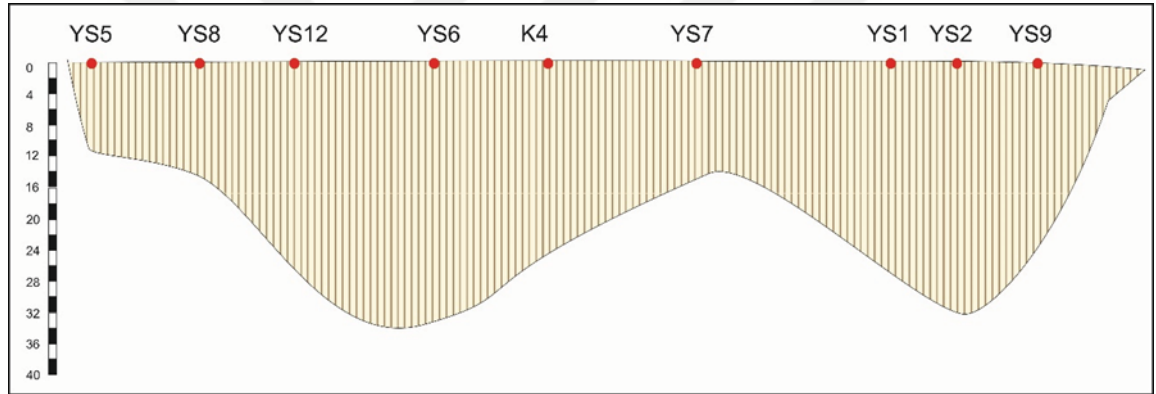
Yapılan bu değişikliklere ilaveten, kaplama sahasının güneyindeki ve doğusundaki enjeksiyon perdesine göre geçirimsiz hücreler oluşturulmuştur. Güneydeki

enjeksiyon perdesinin derinliği için [3]'te hazırlanan dizayn kullanılırken (Şekil 3.26), doğudaki enjeksiyon perdesi için yine aynı raporda belirtildiği gibi, perde derinliği 25 m olarak kabul edilmiştir. Böylece tabaka sayısı 10'a yükselirken, geçirimli hücre sayısı 57507 olmuştur. Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de hücrelerin tabakalara göre dağılımı sırasıyla 1/15000'lik ve 1/5000'lik ölçeklerde görülebilmektedir.

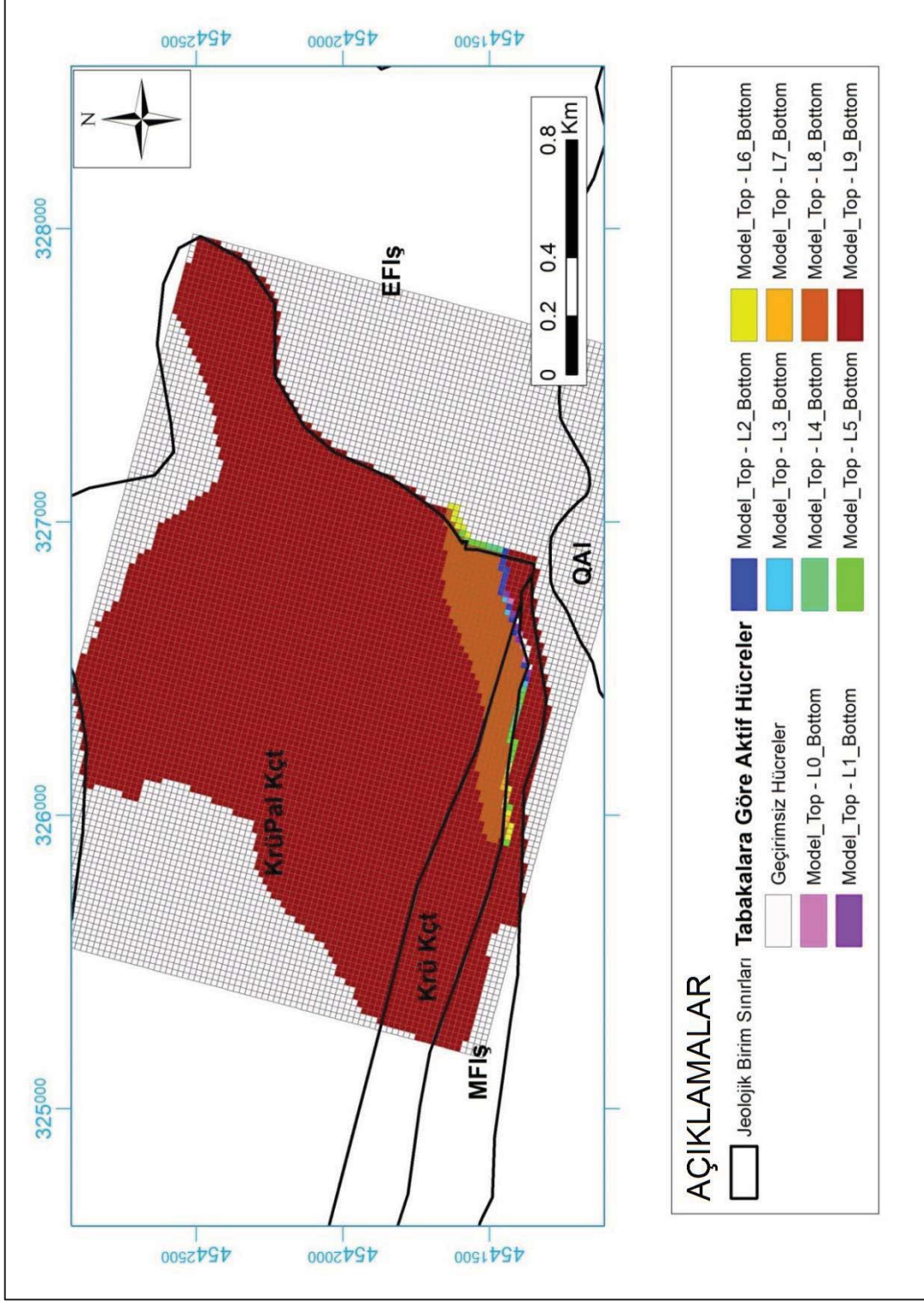




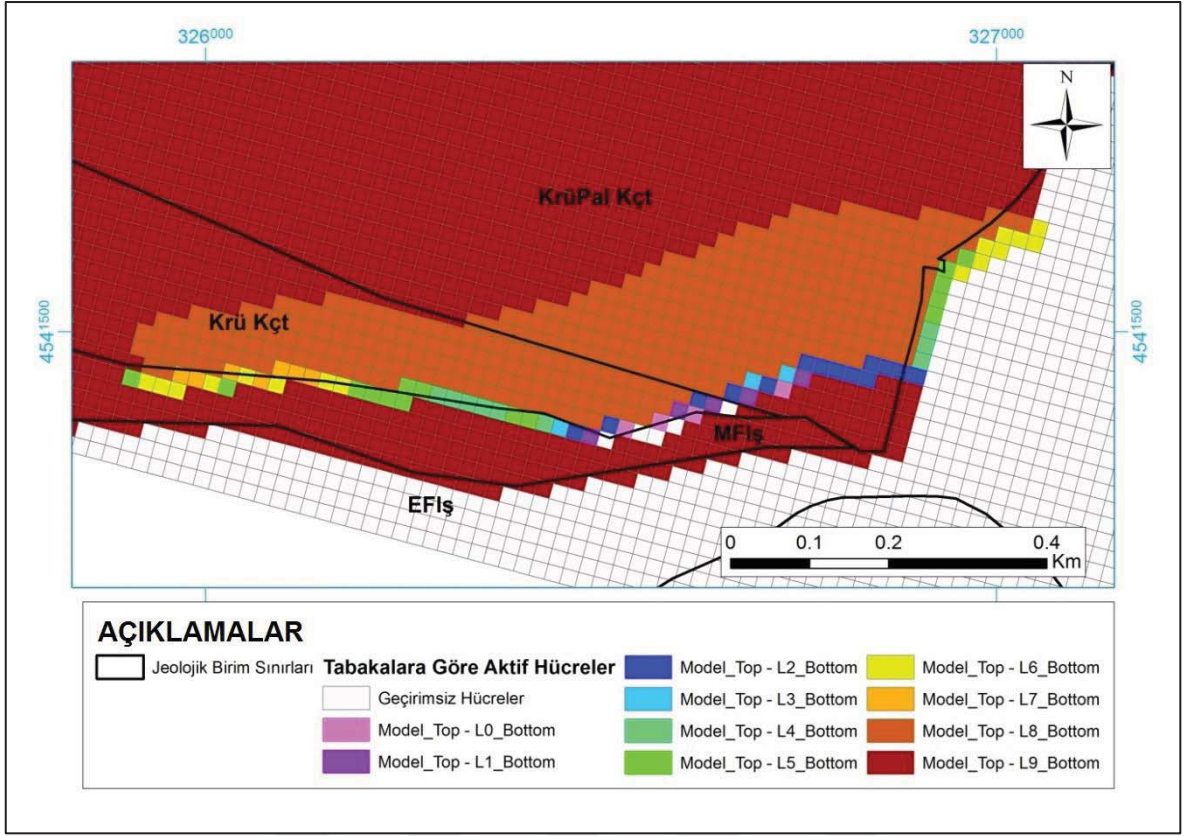
Şekil 3.25 Üç Boyutlu Modelde, Kaplama Sahasında, Kararlı Akım Koşullarında, Doğal Durum Sonucunda Oluşan Piyezometrik Basınç Dağılımının KD – GB Eksenli Görüntüsü



Şekil 3.26 Beton Kaplama Sahası Güney Sınırında Oluşturulması Tasarlanan Dikiş Perdesinin Sınır Boyu Derinliği ([3] 'ten alıntıdır)



Şekil 3.27 1/15000'lük Ölçekte, Beton Kaplama Sonrası Durumun İncelenmesi İçin Yapılan Kararlı Akım Modelinde Tabakalara Göre Hücre Dağılımı



Şekil 3.28 1/5000'lik Ölçekte, Beton Kaplama Sonrası Durumun İncelenmesi İçin Yapılan Kararlı Akım Modelinde Tabakalara Göre Kaplama Alanındaki Hücrelerin Dağılımı

Cumayeri kaynağının üzeri betonla örtüleceği için, dren paketi iptal edilmiştir. Bunun haricinde sınır koşullarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Model belirtilen koşullar altında yeniden çalıştırıldığında, yeraltısu seviyesinde ortalama 7 m'lik bir yükselme oluşmuştur. Su bölüm hatlarından gelen yeraltısu besleniminin, Kusuri formasyonu – Akveren formasyonu dokanağından tahliye olması, iki boyutlu modellere göre yeraltısu seviyesindeki yükselmenin ve piyezometrik basıncın çok daha düşük olmasının sebebidir (Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6). Şekil 3.29'da da görülebileceği üzere, kaplama sonrasında özellikle kireçtaşıda yer alan kuyularda hidrolik yük değeri ciddi miktarda artış göstermektedir.

Kaplama sahasının üst kotlarında piyezometrik basınçta ciddi bir artış gözlemlenmezken, sahanın güney sınırında ve 53 m basamağı ve altında kaldırma basıncı yaklaşık 30 m'lik bir kaldırma basıncı (yaklaşık olarak 295 kPa) gözlemlenmiştir (Şekil 3.30). Bu basınç, kalınlığı 40 cm olan beton kaplamanın

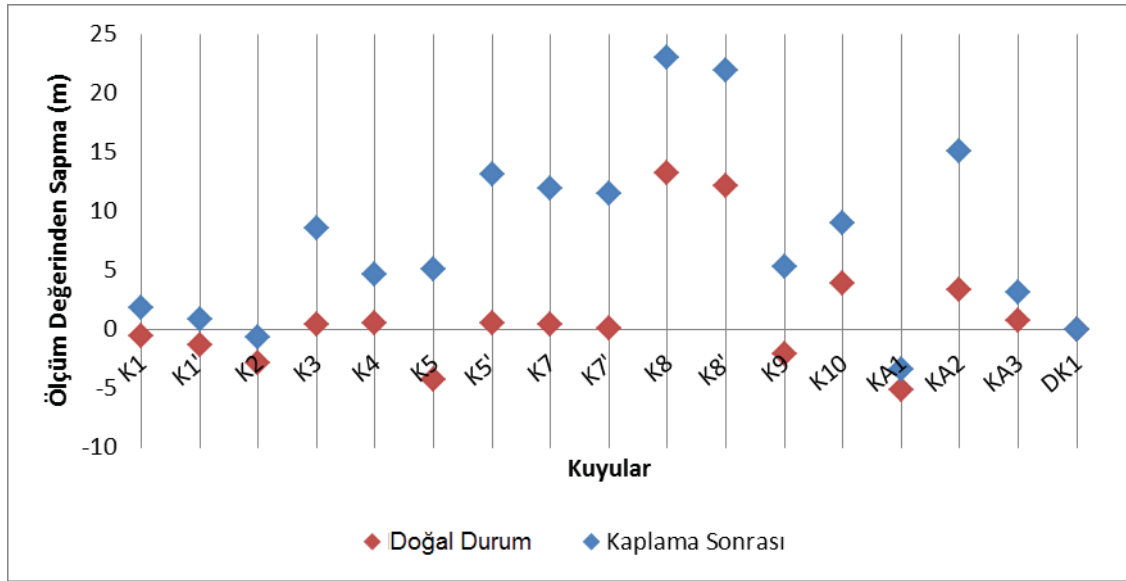
sağlığı için risk teşkil etmektedir. Ek – 3'te her bir tabaka için hesaplanan hidrolik yük ve piyezometrik basınç değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.5 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Kaplama Sonrası Koşullarda Oluşan Su Bütçesi

Beslenim (m ³ /gün)		Boşalım (m ³ /gün)	
SABİT YÜK SINIR KOŞULU	7170.8848	SABİT YÜK SINIR KOŞULU	1262.4652
YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	1593.2312	YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	8518.7148
YAĞIŞTAN SÜZÜLME	1017.0642		
TOPLAM GİRDİ	9781.18	TOPLAM ÇIKTI	9781.18

Çizelge 3.6 Üç Boyutlu Ortamda, Kararlı Akım Koşullarında, Kaplama Sonrasında Gözlem Noktalarında Ölçülen ve Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerleri

YÜK DEĞERLERİ					
GÖZLEM NOKTASI	ÖLÇÜLEN HİDROLİK YÜK DEĞERİ (m)	DOĞAL DURUMDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	FARK	KAZI DURUMUNDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	FARK
K1	109.01	108.40	-0.61	110.87	1.87
K1'	111.54	110.16	-1.38	112.39	0.85
K2	80.08	77.25	-2.83	79.35	-0.73
K3	72.31	72.66	0.35	80.86	8.55
K4	59.66	60.13	0.47	64.34	4.68
K5	62.93	58.65	-4.28	67.98	5.05
K5'	59.16	59.72	0.55	72.32	13.15
K7	58.97	59.40	0.42	70.86	11.89
K7'	59.38	59.44	0.05	70.91	11.53
K8	39.13	52.39	13.26	62.19	23.06
K8'	40.24	52.35	12.11	62.15	21.90
K9	56.26	54.14	-2.12	61.50	5.24
K10	46.99	50.85	3.86	56.03	9.03
KA1	108.49	103.38	-5.11	105.12	-3.37
KA2	55.14	58.53	3.39	70.25	15.11
KA3	53.54	54.24	0.70	56.70	3.16
DK1	164.30	164.27	-0.03	164.25	-0.05

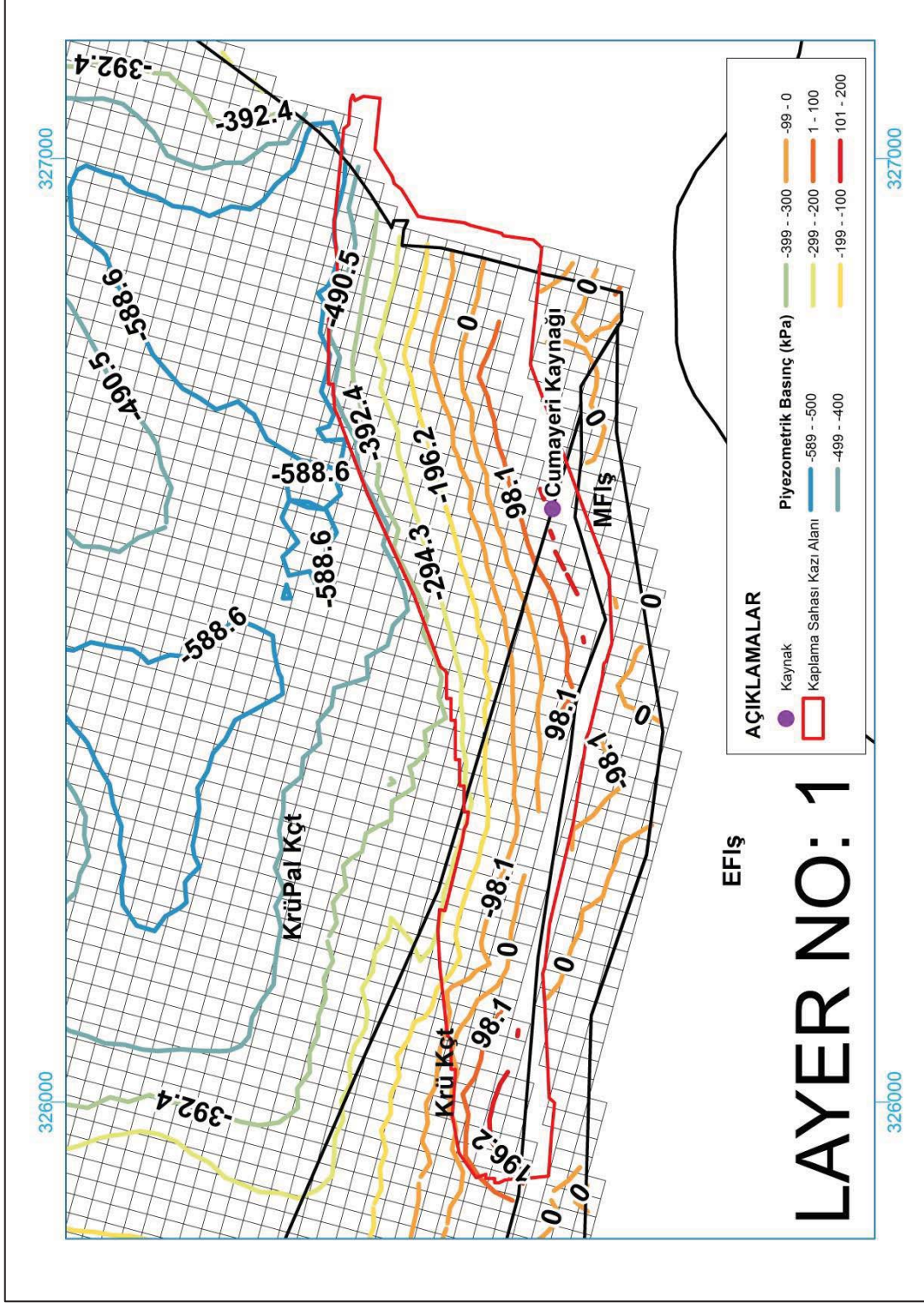


Şekil 3.29 Kuyularda Doğal Durumda Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerleriyle Kaplama Sonrasındaki Durum İçin Simüle Edilen Hidrolik Yük Değerlerinin Kıyaslanması

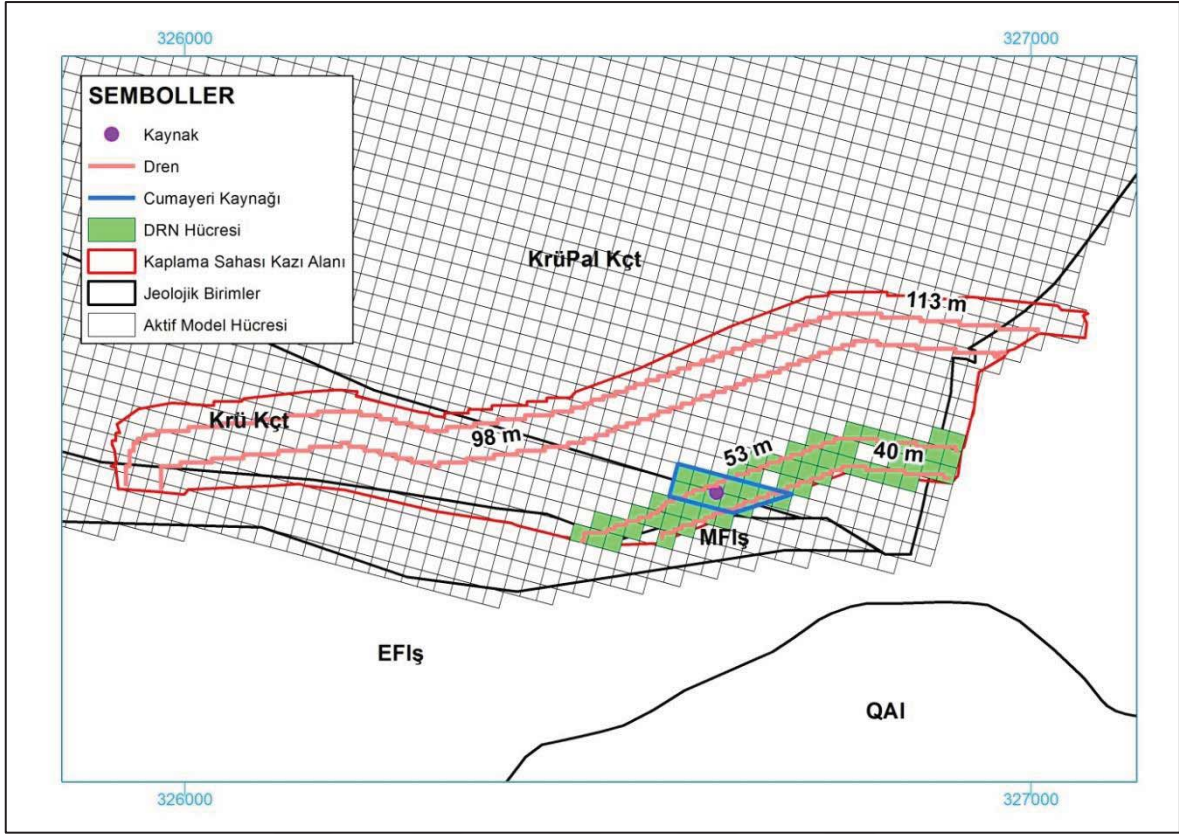
3.3.7. Drenaj Kanalları ve Kaptaj Sonucunda Oluşacak Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı

Kaplama sahasında oluşacak olan kaldırma basıncını önlemek amacıyla, [3]'te belirtildiği gibi, 40 m ve 53 m basamaklarına zemin kotunun 2 m altına drenler, DRN sınır paketiyle yerleştirilmiştir (Şekil 3.31). Dren sisteminde kullanılan sedimanın hidrolik iletkenlik katsayısı olarak 1 m/gün olarak alınmıştır.

Üç boyutlu model, bu koşullar altında yeniden çalıştırılmıştır. Buna göre, kaptajla Cumayeri kaynağından 1939 m³/gün boşalım gerçekleşmektedir (Çizelge 3.7). İki boyutlu modele göre en büyük fark, boşalımın 40 m yerine 53 m kotundaki drenden gerçekleşmesidir. Bunun sebebi, 40 m kotunda yer alan hücrelerin çoğunun, enjeksiyon perdesi sonucunda inaktif olarak tanımlanan hücrelerde yer almasıdır. 53 metre kotundaki drende yaklaşık 1663 m³/gün boşalım gerçekleşmiştir. Kuyularda simüle edilen hidrolik yük değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. 40 ve 53 m kotlarında drenaj sistemi modele aktarılmasına rağmen, kaplama alanındaki piyezometrik basıncı azaltmakta yeterli olmamaktadır. Kaplama sahasının batısında, Çakraz formasyonunun yüzeylendiği bölümde basınç yaklaşık 150 kPa (13,5 m) civarındadır (Şekil 3.32). Yeraltısuyu seviyesinin bahsedilen bölgede kazı planından daha yüksek olması, beton kaplama için risk teşkil etmektedir.



Şekil 3.30 Beton Kaplama Alanında, Kararlı Akım Koşullarında, Kaplama Sonrasında Betona Direkt Olarak Etki Edecek Piyezometrik Basıncın Dağılımı



Şekil 3.31 40 ve 53 m kotlarında yer alan drenaj kanallarının yansıtıldığı DRN hücreleri

Çizelge 3.7 Kaplama Sahasındaki Piyezometrik Basıncın 40 m ve 53 m Kotlarındaki Drenlerle ve Cumayeri Kaynağının Kaptaja Alınmasıyla Oluşan Yeraltısuyu Bütçesi

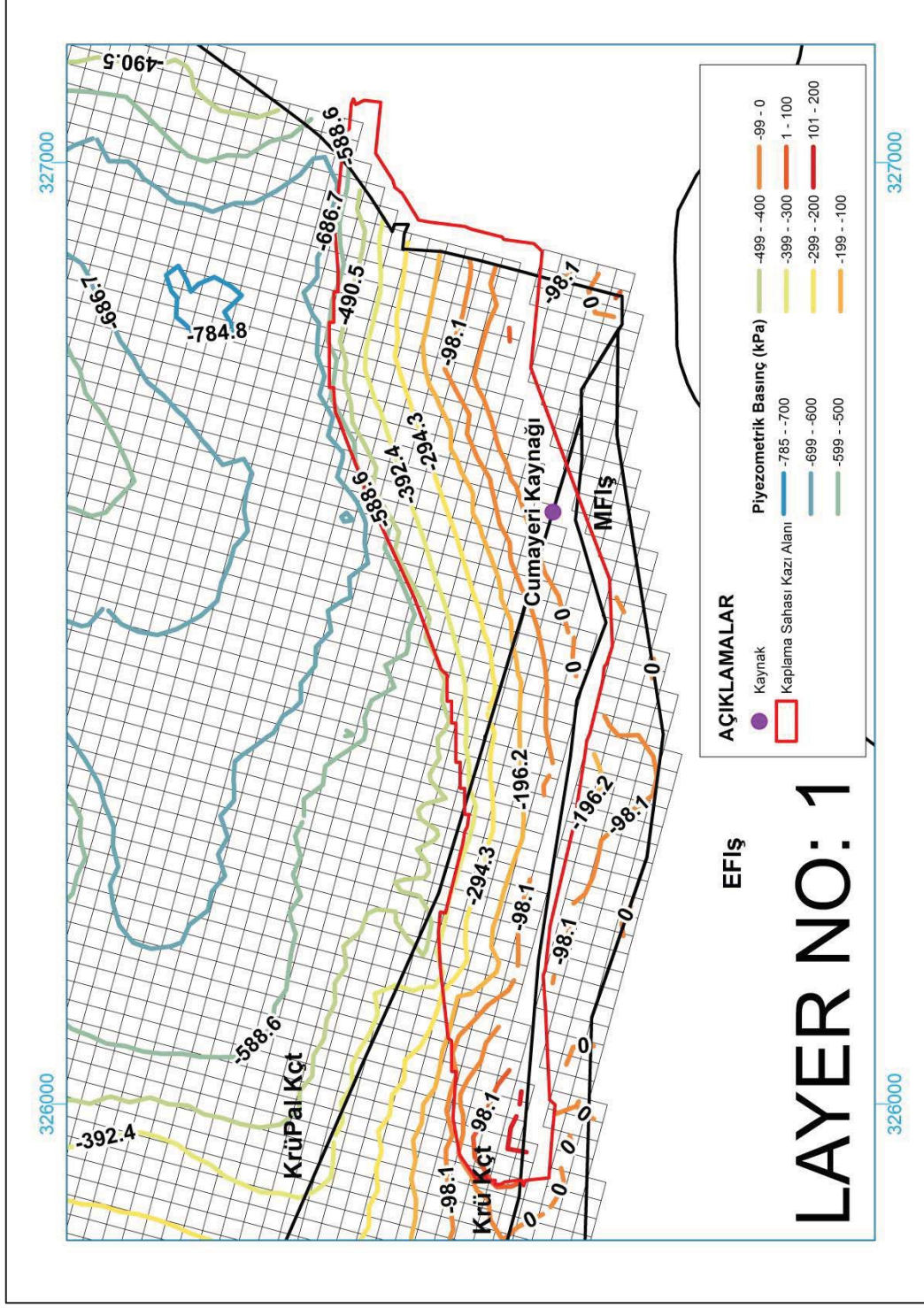
Beslenim (m ³ /gün)		Boşalım (m ³ /gün)	
SABİT YÜK SINIR KOŞULU	7214.24	SABİT YÜK SINIR KOŞULU	1233.49
YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	1854.29	YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	5249.74
YAĞIŞTAN SÜZÜLME	1017.06	CUMAYERİ KAYN. KAPTAJI	1939.03
		40 m BASAMAĞI	0.00
		53 m BASAMAĞI	1663.34
TOPLAM GİRDİ	10085.60	TOPLAM ÇIKTI	10085.61

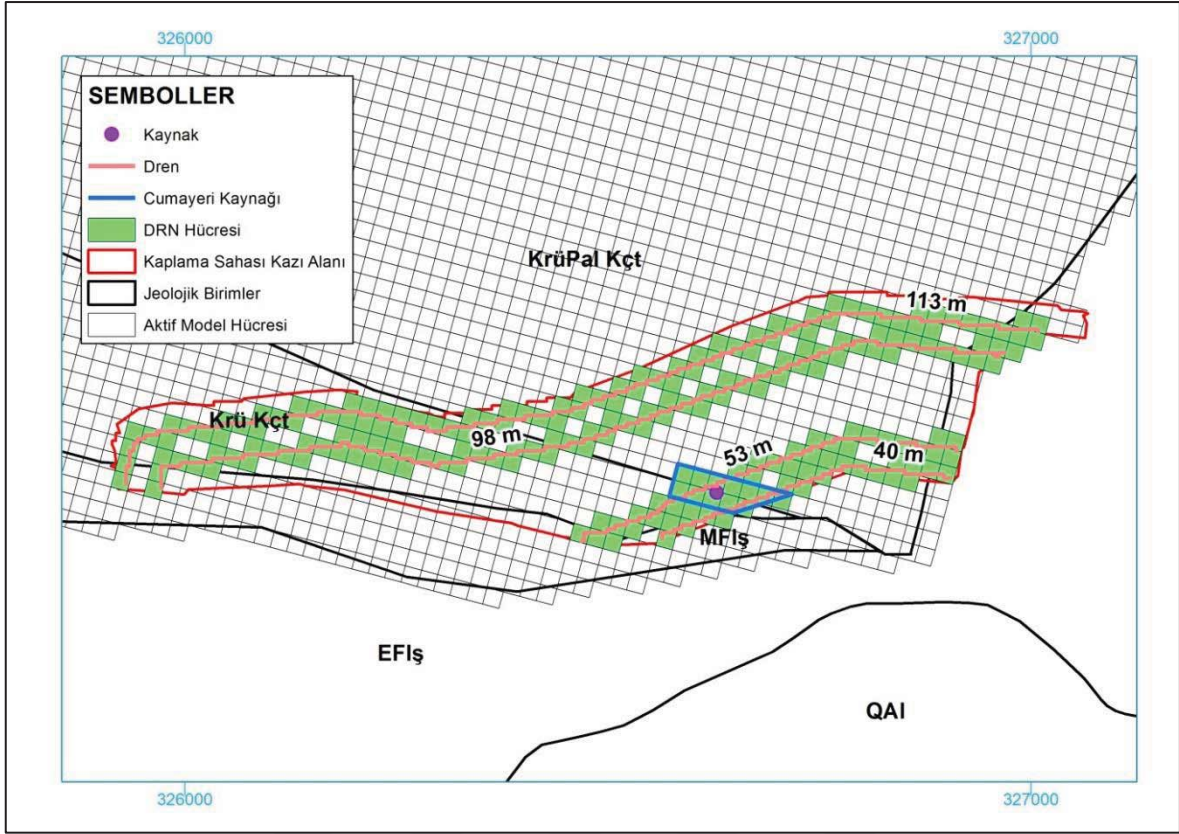
Çizelge 3.8 Kaplama Sahasındaki Piyezometrik Basıncın 40 M Ve 53 M Kotlarındaki Drenlerle Ve Cumayeri Kaynağının Kaptaja Alınmasıyla Gözlem Kuyularında Hesaplanan Hidrolik Yük Değerleri

YÜK DEĞERLERİ					
GÖZLEM NOKTASI	ÖLÇÜLEN HİDROLİK YÜK DEĞERİ (m)	DOĞAL DURUMDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	KAZI DURUMUNDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	KAPTAJ ve DRENLERLE TAHLİYE DURUMUNDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	KAZI DURUMUNA GÖRE FARK
K1	109.01	108.40	110.87	109.30	1.57
K1'	111.54	110.16	112.39	112.01	0.38
K2	80.08	77.25	79.35	75.72	3.63
K3	72.31	72.66	80.86	71.75	9.11
K4	59.66	60.13	64.34	59.35	4.99
K5	62.93	58.65	67.98	58.19	9.79
K5'	59.16	59.72	72.32	58.48	13.83
K7	58.97	59.40	70.86	58.46	12.40
K7'	59.38	59.44	70.91	58.45	12.46
K8	39.13	52.39	62.19	52.07	10.12
K8'	40.24	52.35	62.15	51.97	10.18
K9	56.26	54.14	61.50	53.53	7.97
K10	46.99	50.85	56.03	50.20	5.83
KA1	108.49	103.38	105.12	103.74	1.38
KA2	55.14	58.53	70.25	57.56	12.69
KA3	53.54	54.24	56.70	53.29	3.41
DK1	164.30	164.27	164.25	164.23	0.02

Kaplama sahasının batısındaki piyezometrik basıncı ortadan kaldırmak için, 98 m ve 113 m kotlarında yer alan basamaklarda da drenaj sistemi uygulanmıştır. Bu basamaklarda da, 40 ve 53 m basamaklarında olduğu gibi, yüzeyin 2 m altına DRN paketi yerleştirilmiştir. Bu hücrelerde de hidrolik iletkenlik katsayısı olarak 1 m/gün olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.33).

Uygulama sonucunda, 98 ve 133 m basamaklarında ciddi bir boşalım gerçekleşmemesine rağmen (sırasıyla 14,80 ve 23,02 m³/gün) (Çizelge 3.9), kaplama sahasının kuzeybatısında yer alan bölgede hidrolik yükün azalmasından ötürü (Çizelge 3.10), kaplama sahasına etki eden piyezometrik basınç 2,5 m civarına inmiştir (Şekil 3.34).





Şekil 3.33 Kaplama Sahasında Oluşacak Kaldırma Basıncının Önlenmesinin Hesaplanması
Amacıyla 40, 53, 98 ve 113 m basamaklarına yerleştirilen DRN hücreleri

Çizelge 3.9 40, 53, 98 ve 113 m kotlarına yerleştirilen drenler sonucunda oluşan su bütçesi tablosu

Beslenim (m ³ /gün)		Boşalım (m ³ /gün)	
SABİT YÜK SINIR KOŞULU	7216.6924	SABİT YÜK SINIR KOŞULU	1231.9202
YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	1864.1833	YÜKE BAĞIMLI SINIR KOŞULU	5240.5083
YAĞIŞTAN SÜZÜLME	1017.06	CUMAYERİ KAYN. KAPTAJI	1931.04
		40 m BASAMAĞI	0.00
		53 m BASAMAĞI	1656.65
		98 m BASAMAĞI	14.80
		113 m BASAMAĞI	23.02
TOPLAM GİRDİ	10097.95	TOPLAM ÇIKTI	10097.95

Çizelge 3.10 40, 53, 98 ve 113 m Kotlarında Dren Uygulandıktan Sonra Gözlem Kuyularında Hesaplanan Hidrolik Yük Değerleri

YÜK DEĞERLERİ				
GÖZLEM NOKTASI	ÖLÇÜLEN HİDROLİK YÜK DEĞERİ (m)	KAPTAJ ve 40 ve 53 m KOTUNDAKİ DRENLERLE TAHLİYE DURUMUNDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	KAPTAJ ve 40, 53, 98 ve 113 m KOTUNDAKİ DRENLERLE TAHLİYE DURUMUNDA SİMÜLE EDİLEN DEĞER (m)	DRENAJ SİSTEMLERİ ARASINDAKİ FARK
K1	109.01	109.30	108.69	0.62
K1'	111.54	112.01	106.49	5.52
K2	80.08	75.72	75.14	0.58
K3	72.31	71.75	71.62	0.13
K4	59.66	59.35	59.31	0.04
K5	62.93	58.19	58.15	0.04
K5'	59.16	58.48	58.42	0.07
K7	58.97	58.46	58.42	0.04
K7'	59.38	58.45	58.41	0.04
K8	39.13	52.07	52.06	0.01
K8'	40.24	51.97	51.96	0.01
K9	56.26	53.53	53.52	0.01
K10	46.99	50.20	50.19	0.01
KA1	108.49	103.74	102.31	1.43
KA2	55.14	57.56	57.53	0.04
KA3	53.54	53.29	53.29	0.00
DK1	164.30	164.23	164.23	0.00

4. DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul'un içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere Sakarya – Düzce sınırında yer alan Büyük Melen Çayı üzerine inşa edilen Melen Barajı'nın göl alanında bulunan ve barajda depolanacak su miktarı için risk teşkil eden karstik birimler incelenmiş, bu birimlerin göl alanında miktar açısından yaratacağı riskin ortadan kaldırılması için yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuştur.

Çalışma sahasında Akveren ve Yemişliçay formasyonları, karstik özellikleri sebebiyle göl alanında su kaçaklarına sebep olacaktır. Bu sorunu önlemek amacıyla yapılacak beton kaplama ise, kaplama alanında yer alan Cumayeri kaynağının oluşturacağı kaldırma basıncı sebebiyle risk altındadır. Önceki çalışmalar kapsamında yapılan kavramsal ve nümerik modeller incelenerek, kaldırma basıncının yaratacağı riski gidermek amacıyla, kaplama alanındaki piyezometrik basınç dağılımının üç boyutlu modelle ortaya konulması, çalışmanın amacını oluşturmuştur.

Öncelikle, önceki çalışmalardan faydalanılarak, çalışma alanındaki jeolojik yapı ile oluşturulan kavramsal akım modelleri, çalışmanın altlığını oluşturmuştur. Buna göre, beton kaplama sahasının kuzeyinde ve batısında bulunan, yüzey su bölüm hatlarıyla çakışan yeraltısuyu bölüm hatları, beton kaplama alanının çevresindeki yerel dolaşım sistemini kontrol etmektedir. Yeraltısuyu bölüm hatlarının yanı sıra, beton kaplama sahasının doğusunda yer alan Kusuri formasyonunun filiş birimleri, model alanının sınırlarını oluşturmuştur.

Çalışma alanında yer alan Cumayeri Kaynağı ile Demiraçma kaynağının [1]'de yer alan kaynak debisi ölçümleri kullanılarak ve kaynakların çekilme eğrileri yeniden yorumlanarak, yerel dolaşım sistemi yeniden değerlendirilmiştir. Buna göre, kaynaklarda yağışlı dönemlerde tercihli akım yoluna bağlı olarak, kurak dönemde ise kırık – çatlaklardan boşalım gerçekleştiği çıkarımı yapılmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen yağış ve sıcaklık verilerinden faydalanılarak, havzanın su bilançosu oluşturulmuştur. Uzun yıllar yağış değerleri kullanılarak çalışma alanındaki buharlaşma – terleme ve yüzeysel akış değerleri hesaplanmış ve havzanın su bilançosu oluşturulmuştur. Buna göre, bölgedeki yağışın yaklaşık %15'i yeraltısuyuna katılmaktadır.

Çalışma alanındaki hidrolik parametrelerin dağılımını sağlamak için, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te gerçekleştirilen basınçlı su testleri ile yine aynı çalışmada gerçekleştirilen yeraltısuyu seviye ölçümleri yeniden yorumlanmıştır. Hidrolik iletkenlik katsayısı değeri kireçtaşı birimleri için 0,23 m/gün, filiş birimleri için ise ortalama 0,047 m/gün olarak hesaplanmıştır. Kireçtaşı birimlerinde yüzeyden itibaren ilk 20 metrede hidrolik iletkenlik katsayısının yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Filiş birimlerinde ise heterojenitenin daha düşük olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Mevcut bilgiler ışığında, hem 2 boyutlu, hem de 3 boyutlu modeller yapılmıştır. Modeller, hem ölçüm periyodunun kısıtlı olması, hem yeraltısuyu seviye ölçümleri ile kaynak debi ölçümlerinin farklı zamanlarda gerçekleştirilmesi, hem de sahada belirlenen etkin bir depolama katsayısının olmamasından ötürü kararlı akım koşullarına göre gerçekleştirilmiştir. Hem 2 boyutlu modelde, hem de 3 boyutlu modelde sırasıyla doğal durum, kazı ve kaplama sonrası durum ve kaplama sahasındaki kaldırma basıncını azaltmak amacıyla Cumayeri kaynağına yapılacak olan kaptaj ile 40 m ve 53 m basamaklarına yapılacak drenaj sistemi sonrasındaki durum işlenmiştir.

2 boyutlu modelde, Ekmekçi vd, 2015 [3]'te gerçekleştirilen 2 boyutlu sonlu elemanlar modeli referans alınarak, yüzey su bölüm hattından beton kaplama sahasının alt sınırına kadar olan kısım modellenmiştir. Kalibrasyon aşamasında, beton kaplama sahasına yakın olan bölgede hidrolik iletkenlik katsayısı artırılmış, böylelikle referans olarak kabul edilen modelde homojen olarak kabul edilen kireçtaşı birimi, heterojen olarak modele aktarılmıştır. Kaplama ve enjeksiyon perdesi yapıldıktan sonra, model sonucuna göre, çok yüksek büyüklüklerde kaldırma basıncı oluşacağı görülmüştür. Referans çalışmada da gerçekleştirilen, “53 m ve 40 m kotundaki basamaklara, topoğrafyanın 2 metre altına drenlerin işlenmesi ve Cumayeri kaynağının kaptaja alınması” sonucunda, Cumayeri kaynağındaki boşalımın bir kısmının 53 m basamağında gerçekleştiği, hidrolik yük ve piyezometrik basınç dağılımının ise kaplama öncesindeki doğal duruma oldukça benzediği sonucuna varılmıştır.

Yapılan 2 boyutlu modeller ve önceki çalışmalarda gerçekleştirilen kavramsallaştırmalar sonucunda, kaplama sahasının 3 boyutlu nümerik modeli gerçekleştirilmiştir. Sınır koşulları belirlenirken DSİ, 1992[5] ile Ekmekçi, vd,

2015[3]'te gerçekleştirilen çalışmalardan faydalanılmıştır. Kalibrasyon aşamasında, kaplama alanındaki piyezometre kuyularında ölçülen seviyelerin ortalaması ile Cumayeri kaynağında ölçülmüş olan akım değlerlerinin ortalaması kullanılmıştır.

Kaplama ve enjeksiyon sonrasında oluşacak hidrolik yük dağılımının modellenmesi için, en üste beton kaplamanın kalınlığı olan 40 cm kalınlığında bir tabaka eklenmiş ve bu yeni tabakada kaplama sahasının olduğu hücreler geçirimsiz duruma getirilmiştir. Ayrıca [3]'te tasarlanan enjeksiyon perdesinden faydalanılmıştır. Model sonucunda, kaplama alanında ortalama 7 m'lik bir seviye farkı oluşmuş, 53 m ve daha düşük kotlardaki basamaklarda beton kaplamanın sağlığını riske atacak bir kaldırma basıncı oluşmuştur. 2 boyutlu nümerik modele göre en büyük farklılık, kaplama sahasının doğusunda bulunan filiş – kireçtaşı dokanağındaki boşalımdır.

Kaplama sonrasında, “53 m ve 40 m kotundaki basamaklara, topoğrafinin 2 metre altına drenlerin işlenmesi ve Cumayeri kaynağının kaptaja alınması” [3] modele yansıtıldığında, kaptajla Cumayeri kaynağından 1939 m³/gün boşalım gerçekleşmiştir. 40 m kotunda yer alan hücrelerin çoğunun, enjeksiyon perdesi sonucunda inaktif olarak tanımlanan hücrelerde yer aldığından ötürü, bu kottaki drenaj sisteminde herhangi bir boşalım gerçekleşmemiştir. 53 metre kotundaki drende yaklaşık 1663 m³/gün boşalım gerçekleşmiştir. Ancak, 40 ve 53 m kotlarında uygulanan drenaj sistemi, modele göre yeterli gelmemiştir.

Kaplama sahasının batısındaki kaldırma basıncını düşürmek için, 98 ve 113 m kotlarındaki basamaklara da drenaj sınır koşulu uygulanmıştır. Bu basamaklarda model sonucunda ciddi bir boşalım olmamasına rağmen, piyezometrik basınç uygun bir seviyeye getirilmiştir.

Uygulanan model sonuçları, kullanılan varsayımlar ve kavramsal modelin uygulanması sonucunda oluşmuştur. Kavramsal modeldeki değişiklikler model sonuçlarını değiştirebilmektedir.

Çalışmada modelleme için kabul edilen varsayımlardan kaynaklı hata paylarının modeli etkilemiş olabileceği düşünülmektedir. Bölgedeki karst yapısı hakkında yeterince bilgi bulunmaması, heterojenitenin yeterince yansıtılamaması hakkındaki en önemli problemdir. Ayrıca, alışma alanında hidrolik iletkenlik katsayısının

kararsız akım koşullarına göre sınanması durumunda, modelin hassasiyeti de artacaktır. Bunun dışında, çözüm olarak kullanılan drenaj kanallarında kullanılacak çakıl zarfının hidrolik iletkenlik katsayısı da, hassasiyeti etkileyen bir diğer etmendir. Kalibrasyon aşamasında hassasiyeti etkileyen en büyük etmen ise, uzun dönem seviye ölçümlerinin olmamasıdır.



KAYNAKÇA

- [1] D. X. B. Müdürlüğü, “BÜYÜK İSTANBUL İÇMESUYU İLMERHALE PROJESİ MELEN SİSTEMİ BÜYÜK MELEN BARAJI PLANLAMA AŞAMASI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ RAPORU,” 1997.
- [2] D. X. B. Müdürlüğü, “Melen Barajı İnşaatı Projeler Cilt:3/1,” İstanbul, 2011.
- [3] M. Ekmekçi and N. E. Kalaycıoğlu, “MELEN BARAJI GÖL ALANI SOL SAHİL BETON KAPLAMA SAHASINDA SIZDIRMAZLIK AMAÇLI TASARIMIN HİDROJEOLJİK YAPI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ PROJESİ SONUÇ RAPORU,” 2015.
- [4] M. Ekmekçi, N. E. Kalaycıoğlu, Ş. Açikel, O. Namkhai, and S. B. Akman, “NUMERICAL SIMULATION OF UPLIFT PRESSURE AND RELIEF DRAINS AT A DAM RESERVOIR,” *Enviromental Eng. Geol.*, no. 6, 2017.
- [5] A. KAPLAN, “İSTANBUL İÇMESUYU- PROJESİ BÜYÜK MELEN BARAJI YERALTISUYU İZLEME DENEYİ RAPORU,” ANKARA, 1992.
- [6] DSİ Genel Müdürlüğü, “MELEN BARAJI TEKNİK GEZİ RAPORU,” ANKARA, 2013.
- [7] C. W. Thornthwaite, “American Geographical Society An Approach toward a Rational Classification of Climate Author (s): C . W . Thornthwaite Published by: American Geographical Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/210739>,” vol. 38, no. 1, pp. 55–94, 1948.
- [8] K. J. Lim, B. A. Engel, S. Muthukrishnan, and J. Harbor, “Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology,” *J. Am. Water Resour. Assoc.*, vol. 42, no. 3, pp. 629–643, 2006.
- [9] Z. Özer, *Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar*. ANKARA: TARIM ORMAN VE KÖYİŞLERİ BAKANLIĞI, 1990.
- [10] A. C. Housby, “Routine interpretation of the lugeon water-test,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 15, no. 6, p. 141, 1978.
- [11] R. L. O. Timothy R. Roeper, William G. Soukup, “The Applicability of The Lugeon Method of Packer Test Analysis to Hydrogeologic Investigations,”

pp. 661–671, 1992.

- [12] C. Quiñones-Rozo, “LUGEON TEST INTERPRETATION, REVISITED,” *Interpret. A J. Bible Theol.*, pp. 405–414, 2000.
- [13] M. Ekmekçi, “BASINÇLI SU TESTLERİ VE KAYA AKİFER ORTAMLARININ KARAKTERİZASYONUNDA KULLANIM OLANAKLARI,” 2011.
- [14] M. Lugeon, “Barrages et géologie,” *Bull. Tech. la Suisse Rom.*, vol. 58, 1932.
- [15] W. Hydrogeologic, “AquiferTest 2014.” 2014.
- [16] P. T. Milanovic, *Karst Hydrogeology*. Colorado: Water Resources Publications, 1981.
- [17] A. W. Harbaugh, “MODFLOW-2005 , The U . S . Geological Survey Modular Ground-Water Model — the Ground-Water Flow Process MODFLOW-2005 , The U . S . Geological Survey Modular Ground-Water Model — the Ground-Water Flow Process,” in *Book 6. Modeling techniques*, Virginia: U.S.G.S., 2005.

EKLER

EK – 1 Basıncılı Su Testlerinin Derinlik – Geçirgenlik Grafikleri (CD Olarak verilmiştir)

EK – 2 Üç Boyutlu Modelde, Doğal Durumda Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı (CD Olarak verilmiştir)

EK – 3 Üç Boyutlu Modelde, Kazı ve Beton Kaplama Sonrasında Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı (CD Olarak verilmiştir)

EK – 4 Üç Boyutlu Modelde, 40 m ve 53 m Kotunda Yer Alan Drenaj Kanalları ve Kaynak Kaptajı Sonrasında Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı (CD Olarak verilmiştir)

EK – 5 Üç Boyutlu Modelde, 40 m, 53 m, 98 m ve 113 m Kotunda Yer Alan Drenaj Kanalları ve Kaynak Kaptajı Sonrasında Hidrolik Yük ve Piyezometrik Basınç Dağılımı (CD Olarak verilmiştir)

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri:

Ad-Soyad: Necati Erdem Kalaycıoğlu

Doğum Yeri: Ankara

Medeni Hali: Bekâr

E-posta adresi: necatierdemkalaycioglu@gmail.com

Adresi: 100. Yıl Mahallesi, Kuleli Caddesi, 4/3, Çankaya/ANKARA

Eğitim:

Lise: (2004-2007) Özel Büyük Lise

Lisans: (2007-2013) Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil:

İngilizce: İyi

Tecrübe:

2017 - : Hidrojeoloji Mühendisi, Fugro SIAL Yerbilimleri Müşavirlik Mühendislik Ltd. Şti.

2015 – 2016: Hidrojeoloji Mühendisi, Hacettepe Mineral Teknolojileri Ltd. Şti.

2014 – 2015: Hidrojeoloji Mühendisi, Ecetur – Yöntaş Adi Ortaklığı A.Ş.

Deneyim Alanları:

Hidrojeoloji, Akifer Testleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çevresel İzotoplar, Sondaj

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi:

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar:

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar:

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ (HİDROJEOLOJİ) MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 07/07/2018

Tez Başlığı / Konusu: Melen Baraj Gölü (Sakarya) Sol Sahilde Yüzeyleyen Karbonatlı Kayaç Alanında Hidrojeolojik Yapının Olası Su Kayaçları Açısından İncelenmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 111 sayfalık kısmına ilişkin 07/07/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

7/7/2018

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Necati Erdem KALAYCIOĞLU

Öğrenci No: N13125682

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Hidrojeoloji Mühendisliği

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Levent TEZCAN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)