



**YERALTI SUYU ÇEKİLMESİNE BAĞLI
ARAZİ SÜBSİDANSI DEĞİŞİMİNİN MATLAB
KULLANILARAK ARAŞTIRILMASI: KONYA
OVASI (KONYA KAPALI HAVZASI) İÇİN
MODELLEME VE TAHMİNE DAYALI
BİR VAKA ÇALIŞMASI**

Ahmed Wedam AHMED

**Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Genel Jeoloji Bilim Dalı
Prof. Dr. Ekrem KALKAN
Dr. Mine ALACALI
2019**

Her hakkı saklıdır.

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YERALTI SUYU ÇEKİLMESİNE BAĞLI ARAZİ SÜBSİDANSI DEĞİŞİMİNİN
MATLAB KULLANILARAK ARAŞTIRILMASI: KONYA OVASI (KONYA
KAPALI HAVZASI) İÇİN MODELLEME VE TAHMİNE DAYALI BİR VAKA
ÇALIŞMASI**

Ahmed Wedam AHMED

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Genel Jeoloji Bilim Dalı**

OLTU-ERZURUM - 2019

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**YERALTI SUYU ÇEKİLMESİNE BAĞLI ARAZİ SÜBSİDANSI DEĞİŞİMİNİN
MATLAB KULLANILARAK ARAŞTIRILMASI: KONYA OVASI (KONYA
KAPALI HAVZASI) İÇİN MODELLEME VE TAHMİNE DAYALI BİR VAKA
ÇALIŞMASI**

Prof. Dr. Ekrem KALKAN danışmanlığında, **Ahmed Wedam AHMED** tarafından hazırlanan bu çalışma 24.07/2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı – Genel Jeoloji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (...5./...5...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ekrem KALKAN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Necmi YARBAŞI

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Babak Karımı GHALEHJOUGH

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özgür BİLİCİ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 25.07/2019 tarih ve 30.08/ nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERALTI SUYU ÇEKİLMESİNE BAĞLI ARAZİ SÜBSİDANSI DEĞİŞİMİNİN MATLAB KULLANILARAK ARAŞTIRILMASI: KONYA OVASI (KONYA KAPALI HAVZASI) İÇİN MODELLEME VE TAHMİNE DAYALI BİR VAKA ÇALIŞMASI

Ahmed Wedam AHMED

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Genel Jeoloji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ekrem KALKAN
Ko-Danışman: Dr. Mine ALACALI

Yeraltından petrol ve su gibi sıvı çekimi, tuz, kömür ya da diğer mineraller için yapılan yeraltı maden işletmeciliği çok yaygın biçimde sübsidansa neden olmaktadır. Yeraltından sıvı çekilmesi durumunda çoğu zaman sübsidansın nedeni, üstteki kayayı destekleyen su basıncının düşmesidir. Dünya yüzeyinin kademeli yerleşmesi ya da çökmesi olarak tanımlanan arazi sübsidansı, yaygın oluşan jeolojik bir tehlikedir. Su çekildiğinde, kayalardan çökmeye neden olur. Arazi çökmesinin olumsuz etkilerinin azaltmak için bazı durumlarda ortamda bulunan yeraltı suyuna ait akış modellemesiyle birlikte zaman ve yükselme arasında değişimin de dikkatle gözlenmesi gerekmektedir. Türkiye’de bulunan Konya Kapalı Havzası’nda (KKH) arazi çökmesi belirgindir Uzun vadeli yeraltı suyu geri çekilmesinin, çökme oranlarının mekansal değişimi üzerindeki etkisini simüle ederken, MODFLOW sayısal yeraltı suyu akış modeli gibi çeşitli yeraltı suyu akış modeller kullanılmaktadır. Ayrıca, GPS, InSAR ve ENVISAT SAR görüntüleri de kullanılmaktadır. Bu araştırma, Konya Kapalı Havzası’nın arazi çöküşünün modellenmesinde ve tahmininde Terzaghi’nin 1D konsolidasyon teorisi yardımıyla MATLAB’ı kullanmaktadır. MATLAB tahmine dayalı analiz, gelecekteki olayları tahmin etmek için geçmiş verileri kullanır. Öngörülen dayanım değerleri aynı inceleme yıllarına ait önceki çalışmalarla teyit edilmiş ve Konya Kapalı Havzası için bir model oluşturulmuştur.

2019, 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Konya Havzası, Arazi Sübsidansı, Yeraltı Suyu Çekimi, MATLAB

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF LAND SUBSIDENCE CHANGING DUE TO GROUNDWATER WITHDRAWAL USING MATLAB: A MODELLING AND PREDICTIVE CASE STUDY FOR KONYA BASIN (KONYA CLOSED BASIN)

Ahmed Wedam AHMED

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering
Division of General Geology

Supervisor: Prof. Dr. Ekrem KALKAN
Co-Supervisor: Mine ALACALI

Land subsidence is a steady settling or sudden collapse of the Earth's surface and is a geological threat that occurs worldwide as a result of withdrawal of fluids, like groundwater and petroleum, and also subsurface mining of salt, and coal. However, this action is mainly due to excessive groundwater withdrawal from certain types of rocks, such as fine-grained sediments. Mitigating the effects of land subsidence requires careful observations on the temporal change of elevation together with other groundwater flow modeling in some cases. In Turkey, land subsidence is prominent with the Konya Closed Basin. In simulating the effect of long-term groundwater withdrawal on the spatial variation of subsidence rates, various groundwater flow model like the MODFLOW numerical groundwater flow models have been used. Also, GPS, InSAR and ENVISAT SAR images have also been used. This research uses MATLAB with the help of Terzaghi's 1D consolidation theory in modeling and predicting the land subsidence of the Konya Closed Basin. In predicting future subsidence occurrence, MATLAB predictive analytics was used was used in evaluating historical data of the area referring the years between 2011-2014. Subsidence values predicted conformed with previous studies of the same time interval regarding the basin and a model for the Konya Closed Basin was generated.

2019, 71 pages

Keywords: Konya Basin, Land Subsidence, Groundwater Withdrawal, MATLAB.

TEŞEKKÜR

Verdikleri ve merhameti için Yüce Allah'a minnettarım.

Bu çalışma için beni yönlendiren, tezimle ilgili her konuda benden samimi desteklerini esirgemeyen, rehberlik eden ve kıymetli vakitlerini ayıran danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ekrem KALKAN'a teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım.

II. danışman hocam Sayın Dr. Mine ALACALI'ya yardım ve destekleri için çok teşekkür ediyorum. Başta Dr. Öğr. Üyesi Necmi YARBAŞI ve Dr. Öğr. Üyesi Özgür BİLİCİ olmak üzere Oltu Yer Bilimleri Fakültesi akademik kadrosuna katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Bölümü'nden Dr. Öğr. Üyesi Ali Ferat BAYRAM'a sağladığı veriler için teşekkür ederim.

Faruk BERBER, Emre KARAKAŞ, Faysal MOHAMMEDGREAD, Foday JORH, Mujeeb OLAMİDE, Sharif HUSİEN ve tüm meslektaşlarıma destekleri için teşekkür ederim.

Özellikle babam Abubakar Bin AHMED ve annem Samira Bin AHMED olmak üzere, sonsuza dek kıymetli aileme minnettarım, Rabiat AHMED, Arafat AHMED, Firdaus AHMED ve Umme-Sulaimi'nin bana verdikleri destek için şükranlarımı sunarım.

İsimler sonsuzdur ve kelimeler asla tüm aile üyelerine ve arkadaşlarıma takdirimi göstermek için yeterli olmamaktadır. Yüce Allah'ın, bu yolculukta benimle birlikte olan herkesi ödüllendirmesini dilerim.

Ahmed Wedam AHMED

Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışma Alanının Konumu.....	3
1.3. Jeolojik Yapı.....	4
1.4. Hidrojeolojik Yapı.....	6
1.5. KKH Arazi Çökmesi	7
2. KURAMSAL TEMELLER	9
2.1. Arazi Çökmesi.....	9
2.2. Arazi Çökmesi Sebepleri.....	11
2.2.1. Madencilik faaliyetlerinin etkisi.....	12
2.2.2. Yeraltı suyu çekilişinin etkisi	14
2.3. Arazi Çökmesinin İzlenmesi	15
2.3.1. GPS ölçme.....	15
2.3.2. Ekstensometre	15
2.3.3. InSAR.....	16
2.4. Arazi Çökmesi Modellemesi.....	18
2.4.1. İstatistiksel Model	23
2.4.2. Fiziksel Model.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM	25
3.1. Konya Kapalı Havzası.....	25

3.2. Veri Hazırlama	25
3.3. Terzaghi Prensibi.....	26
3.4. Birincil Konsolidasyon.....	27
3.5. İkincil Konsolidasyon.....	28
3.6. Terzaghi'nin Konsolidasyon Teorisi.....	29
3.7. Zamanın Fonksiyonu Olarak Çökme	31
3.8. Konsolidasyon Denklemlerinin Uygulanması.....	31
3.9. MATLAB	33
3.9.1. Tahmine dayalı analitik	34
3.9.2. MATLAB ile tahmine dayalı analitik	36
4. BULGULAR	37
4.1. Boşluk Oranı Değişimi.....	37
4.2. Öngörülen çökme (S)	40
4.3. Modelleme.....	42
4.3.1. Zamanın fonksiyonu olarak sübidansın tahmin edilmesi	43
4.3.2. Tahminler için gün cinsinden zamanın belirlenmesi.....	46
4.4. Model Analizi.....	48
5. TARTIŞMA	52
6. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR	55
EKLER.....	61
EK 1.....	61
EK 2.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma kapsamındaki Konya Kapalı Havzasının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2. KKH ve yakın çevresinin jeolojik yapısı.....	5
Şekil 2.1. Çok katmanlı akifer sisteminden su pompalama	12
Şekil 2.2. Arazi çökmesi nedenlerinin gösterimi	13
Şekil 2.3. Dünyada yeraltı suyunun çekilmesi oluşan arazi çökmesi alanlar	16
Şekil 2.4. Venedik Lagünü'nün altında yatan akifer FE modellerinin evrimi	20
Şekil 4.1. $C_c = 0,29$ ($E_i-0,27$) kullanılarak tahmin edilen minimum çökme.....	49
Şekil 4.2. $C_c = 0,43$ ($E_i-0,25$) kullanılarak tahmin edilen minimum çökme.....	50
Şekil 4.3. $C_c = 0,29$ ($E_i-0,27$) kullanılarak öngörülen maksimum çökme	50
Şekil 4.4. $C_c = 0,43$ ($E_i-0,25$) kullanarak öngörülen maksimum çökme.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. KKH konsolidasyon deneyine ait veri kayıt aralıkları	26
Çizelge 4.1. Arazi kuyularda boşluk oranındaki ortalama değişimi.....	38
Çizelge 4.2. 650 m derinlik kullanılarak ölçülen çökme değerleri.....	41



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

MODFLOW	Modular finite-difference flow model	Modüler sonlu fark akış modeli
KCB	Konya Closed Basin	KKH (Konya Kapalı Havza)
SAR	Selected Acquisition Report	Seçilmiş Edinme Raporu
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar	İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar
DInSAR	Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry	Diferansiyel Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi
ENVISAT	Environmental Satellite	Çevresel Uydu
GIS	Geographic Information system	Coğrafi Bilgi Sistemi
GPS	Global Positioning System	Küresel Konumlandırma Sistemi
GNSS	Global Navigation Satellite System	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
IBS1	Interbed-Storage Package 1	Katmanarası-Depolama Paketi 1
IBS2	Interbed-Storage Package 2	Katmanarası-Depolama Paketi 2
WQAT	Water Table Aquifer	Su Tablosu Akifer
FE	Finite Element	Sonlu elemanlar
OCR	Over-consolidation ratio	Aşırı konsolidasyon oranı
1-D	1 Dimension	1 Boyut
2-D	2 Dimension	2 Boyut
3-D	3 Dimension	3 Boyut
σ	Total Stress	Toplam Stres
σ'	Effective Stress	Etkili stres
u	Pore Pressure	Gözenek Basıncı
σ_{zf}	Final Vertical Stress	Son dikey gerilme
σ_{z0}	Initial Vertical Stress	İlk dikey gerilme
σ_{zc}	Pre-Consolidation Stress Of The Soil	Zeminlerin Konsolidasyon Öncesi Stres
Cc	Compression Index	Sıkıştırma İndeksi
Ca	Secondary Compression Index	İkincil sıkıştırma indeksi
δ_c	Settlement Due To Consolidation	Konsolidasyon Nedeniyle Yerleşme
e_o, e_i	Initial Void Ratio	İlk Boşluk Oranı
Δe	Change In Void Ratio	Boşluk Oranındaki Değişim
H	Height Of The Compressible Soil	Sıkıştırılabilir Zemin Yüksekliği
S	Subsidence	Sübsıdans /Çökme/Çöküntü
D	Thickness Of The Original Soil Layer	Orijinal Zemin Katmanının Kalınlığı
cp	Consolidation Constant (Direct Effect)	Konsolidasyon Sabiti (Doğrudan Etki)
cs	Consolidation Constant (Secular Effect)	Konsolidasyon Sabiti (Seküler Etki)
S(t)	Sübsıdans As A Function Of Time (M)	Zamanın bir fonksiyonu olarak Çökme
cm	Centimetre	Santimetre

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Genel Jeoloji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. "Yeraltı Suyu Çekilmesine Bağlı Arazi Sübidansı Değişiminin MATLAB Kullanılarak Araştırılması: Konya Ovası (Konya Kapalı Havzası) İçin Modelleme ve Tahmine Yönelik Bir Vaka Çalışması" isimli çalışma Konya Kapalı Havzası (KKH)'nı kapsamaktadır. KKH'nın yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.

Arazi sübidansı, esas olarak aşırı yeraltı sularının çekilmesi nedeniyle meydana gelmektedir. KKH, Türkiye'de arazi sübidansının gözlemlendiği önemli bölgelerden birisi durumundadır.

MODFLOW sayısal yeraltı suyu akış modeli, sübidans (SUB) paketi ile birlikte, uzun süreli yeraltı suyu çekimlerinin, çökme oranlarının uzamsal varyasyonu üzerindeki etkisini simüle etmek için de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, KKH için yeraltı suyu çekilmesine bağlı arazi sübidansı değişiminin MATLAB kullanılarak araştırılması amaçlanmaktadır.

MATLAB gelecekteki olayları tahmin etmek için geçmiş verileri kullanarak analiz yapabilen bir yöntemdir. Bu tahmin modeli ile mevcut veriler üzerinden, daha sonra ne olacağını tahmin etmek veya en iyi sonuçlara ulaşmak için harekete geçmek mümkün olmaktadır. Çalışmada, Konya Ovası için mevcut veriler kullanılarak MATLAB yardımıyla gelecekte gelişecek arazi sübidansını tahmine dayalı bir modelleme incelemesi yürütülmüştür.



Şekil 1.1. Çalışma kapsamındaki Konya Kapalı Havzasının yer bulduru haritası (Eren 2003; Koçyiğit 2009; Özcan vd. 1990; Üstün vd. 2014)

1.2. Çalışma Alanının Konumu

Bu çalışma, Türkiye'nin en büyük kapalı havzası olan KKH'nı kapsamaktadır. KKH, Türkiye'nin orta kesiminde Orta Anadolu Bölgesinde yer almakta olup, 36°51' ve 39°29' kuzey enlemleri ile 31°36' ve 34°52' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Konya, Aksaray, Karaman ve Niğde illerini içine alan KKH, 55 000 km²'lik yüzey alanı genişliğine sahiptir ve Türkiye'nin en büyük kapalı havzasıdır. KKH etrafındaki dağlar, suyun havzadan denizlere ulaşmasına engel olduğu için dünyada benzerine az rastlanır bir havza özelliği ile kapalı havza niteliğindedir (Üstün vd. 2014; Üstün vd. 2007).

Havza geniş düzlüklere sahip olup, iç kesimlerinde taşkınların getirdiği gösel karbonatlı çökeller bulunmaktadır. Daha derinlere doğru ise karstic boşluklar içeren karbonatlı kayalar yer almaktadır (Bayarı vd. 2004; Yavuz 2010).

Güney-güneybatı istikameti boyunca bir yay şeklinde uzanan Toros dağları havzayı çevrelemektedir. Eski göl yatakları olan ovalık alanlar çevredeki dağlardan akarsular taşıyan alüvyonların birikmesiyle oluşmuşlardır. Günümüzde bu alanlarda büyük ölçüde tarım yapılmakta olup, yükseklikleri 900-1500 m arasında değişmektedir. Toroslar (3.600 m'ye varan yüksekliğe sahip) ve Kapadokya bölgesindeki volkanik dağlar (3.270 m'ye varan yüksekliğe sahip) havzayı besleyen irili ufaklı çok sayıda akarsuyu barındırmaktadır (Roberts 1983; Üstün vd. 2014).

Konya, Ankara, Nevşehir, Aksaray, Niğde, Karaman, Mersin, Antalya ve Isparta illerinin sınırları içerisinde yer alan KKH, Sarayönü- Karapınar istikameti boyunca uzanan Obruk platosu tarafından iki alt havza alanına bölünmektedir. Düze yakın bir topografyanın hakim olduğu havzada; Samsam, Kozanlı, Kulu, Beyşehir, Suğla, Bolluk, Tersakan ve Tuz Gölü ile Ereğli, Eşmekaya ve Hotamış gibi göl ve sazlık alanlar yer almaktadır (Bilgili vd. 2017; Nalbantçılar vd. 2009).

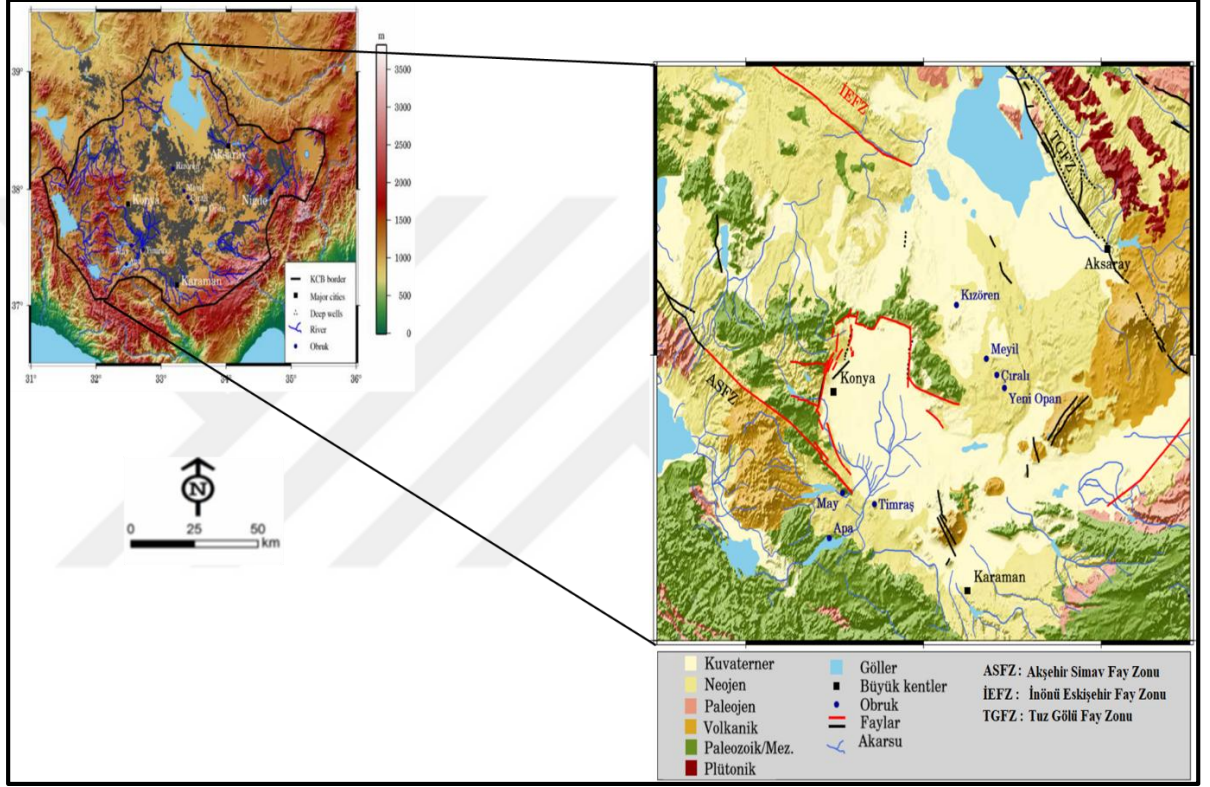
Devlet Meteoroloji Müdürlüğü kayıtlarına göre, KKH'da yıllık ortalama yağış miktarı 287 mm'dir. Havzada yıllık ortalama sıcaklık ise 11°C civarındadır. Karasal iklim tipinin hüküm sürdüğü havzada yaz ayları sıcak ve kurak geçerken, kış ayları soğuk ve yağışlı olmaktadır (Yavuz 2010). KKH'da hüküm süren karasal iklim nedeniyle gece-gündüz ve mevsimsel sıcaklıklar arasında büyük fark bulunmaktadır.

1.3. Jeolojik Yapı

KKH jeolojik olarak, Torid-Anatolid Bloğu (TAB), Sakarya Zonu Bloğu (SZB) ve Kırşehir Masif Bloku (KMB) olarak bilinen üç levhadan oluşmaktadır. TAB, Erken Paleozoyik ile Geç Mesozoyik yaşlı konglomera, kumtaşı ve şeyl gibi elastik kayalardan, metamorfik kayalardan, ofiyolitik kayalardan ve denizel karbonat kökenli dolomit, dolomitik kireçtaşı ile kireçtaşlarından oluşmaktadır. SZB, Triyas ve Jura yaşlı konglomera, kumtaşı ve şeyl gibi elastik kayalarla başlamaktadır. Kretase yaşlı karbonatlar ve Orta-Geç Kretase yaşlı volkaniklerle devam etmektedir. SZB, Jura ve Paleojen yaşlı karbonatlarla son bulmaktadır. KKH'da yer alan üçüncü blok olan KMB ise Kretase yaşlı metamorfikler ve granitik kayalarla karakterize edilmektedir (Bayarı vd. 2009; Okay ve Tüysüz 1999).

TAB ve SZB benzer şekilde konglomerat, şeyl, kumtaşı ve silttaşından oluşan Paleojen serisini içermektedir. Denizel karbonatlar, volkanik-plastikler ve istifin üst kesimine doğru yanal olarak süreksiz evaporitik kayaçlar mevcuttur. Üstündeki Oligo-Miyosen yaşlı kayaları; kıtasal plastikler, tüfler, kireçtaşları, evaporitler ve alçı-şeyl ardışımı ile temsil edilmektedirler. Arazi çökmesi olaylarının yaygın olduğu Neojen yaşlı birimler, Geç Miyosen ile Geç Pliyosen yaşlı litolojilerle temsil edilmektedirler. İstif bazaltik konglomera ile başlamakta olup, özellikle üst kısımlarda marn ile aralanmalı kireçtaşı ve dolomitlerle yukarıya doğru devam etmektedir. Plio-Kuvaterner yaşlı paleo-göl çökelleri ve alüvyal yelpazeler her iki alt havzada geniş alanları kaplamaktadır. KKH'nın önemli bir kısmı Geç Miyosen ile Geç Holosen yaş aralığındaki dönemde oluşmuş volkanik kayaçlar tarafından

örtülmüş durumdadır. KKH ve yakın çevresinin jeolojik ve tektonik yapısı Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. KKH ve yakın çevresinin jeolojik yapısı (Canaslan Comut vd. 2015; Eren 2003; Koçyiğit 2009; Özcan vd. 1990; Üstün vd. 2014)

Türkiye'nin üzerinde bulunduğu kara parçası Avrasya, Afrika ve Arap plakaları arasında devam eden sıkışma rejminin etkisi altındadır. KKH bu sıkışmanın en orta kesiminde yer almasına rağmen kıtasal fay izlerinden uzaklığı sayesinde göreceli olarak daha durağan bir görünüm sergilemektedir (Bayarı vd. 2009; Üstün vd. 2014). Tuz Gölü ve çevresinde Geç Kretase'den günümüz morfolojik gelişimi ve havzanın genel karakterlerini yansıtan çökme davranışları bölgenin tektonik faaliyetleri ile ilişkilidir. Tuz Gölü ve İnönü-Eskişehir Faylarının kontrolündeki jeomorfolojik ve sedimantolojik süreçler ve Pliyo-Kuvaterner

dönemin deformasyon olayları bölgenin bugünkü jeolojik yapısını kazanmasında etkili olmuşlardır (Dirik ve Erol 2000; Özsayın vd. 2013; Üstün vd. 2014).

1.4. Hidrojeolojik Yapı

KKH'deki tüm jeolojik birimler arasında, TAB, SZB ve Neojen birimler ana akiferleri temsil ederken, Paleosen birimler akıtarad sistemleri oluşturmaktadır. İyi gelişmiş karstik yapı, TAB ve Neojen yaşlı birim akiferlerinde gözlenmektedir. Bölgesel yeraltı suyu akışının kavramsal modeline göre, güneydeki Toros Dağları ve kuzeydeki Tuz Gölü KKH'nin ana şarj ve deşarj alanlarını oluşturmaktadır (Şekil 1.2).

Toros Dağları'ndan gelen beslenme kaynakları, dağ ayağı ile güney ovası arasındaki sınırın etrafındaki sığ ve derin akış bileşenlerine ayrılmıştır. Sığ yeraltı suyu Neojen akiferinden Tuz Gölüne doğru akmaktadır. Neojen akiferleri, güney ve güney alt havzalarında, Plio-Kuaterner sedimanlarla kaplanmış, sınırlı olmayan koşullar yüzeyde maruz kaldığı Obruk Platosu'nda kötüleşmiş durumdadır.

Neojen akiferleri çok üretken olduğundan yeraltı suyuna hemen hemen her yerden 50 m ile 250 m derinliğindeki kuyularla kolayca ulaşılabilir. Tipik boşalma hızları 10 ile 70 l/s arasında değişmektedir. Mevcut verilere göre, Neojen akiferindeki yeraltı suyunun radyokarbon yaşı, güneydeki Toros Dağları'nın eteklerinde, kuzeydeki Tuz Gölü yakınında 40.000 yıldan fazladır.

Öte yandan, derin yeraltı suyu TAB ve SZB akiferlerinden akmakta ve daha sonar Tuz Gölü'nde ortaya çıkmaktadır. 1960'ların sonlarında akiferler, sınırlı sayıda yeraltı suyu çıkarma kuyusu nedeniyle neredeyse bozulmamış durumdaydılar. Bölgesel yeraltı suyu akış sisteminin kavramsal hidrojeolojik modeline uygun olarak, o zamanki hidrolik yük dağılımı, güneydeki Toros Dağları'ndan, kuzeydeki Tuz Gölü'ne doğru topoğrafyaya dayalı bir yeraltı suyu akışı olduğunu göstermektedir. Hidrolik yük, dağ gölü boyunca maksimum 1100 m

değerinden Tuz Gölü çevresinde yaklaşık 920 m'ye kadar düşmektedir. Orta Plato boyunca gözlenen hafif bir kafa artışı, Neojen ve TAB karbonatlarının maruz kaldığı bu bölgede orta düzeyde bir şarjın varlığını gösterir. 1960'ların sonlarından bu yana, KKH genelinde yoğun yeraltı suyu kullanımı 1 m/yıl düşüşe neden olmuştur (Bayarı vd. 2009; Özyurt vd. 2018).

1.5. KKH Arazi Çökmesi

Üstün vd. Bir yaptığı çalışmasına göre KKH arazi çökmesi kentsel merkezlerde nüfusun hızlı yükselmesi ve artan sanayi üretimi yeraltı suyunun yaygın şekilde kullanılmasına neden olmuştur. Aşırı yeraltı suyunun kullanılması sonucu ortaya çıkabilecek muhtemel tehlikelerden biri de arazi sıkıntısıdır. Havzadaki yükseklik değişimlerini izlemek için 27 istasyon içeren bir Global Konumlandırma Sistemi (GPS) şebekesinde aralıklarla 10 dönemlik ölçümler gerçekleştirilmiştir. 3-4 aylık GPS analiz sonuçları, yer altı suyu seviyesi gözlemleriyle güçlü bir korelasyona sahiptir ve 2-40 mm/yıl arasında düşey deformasyonları ortaya koymaktadır. Ek olarak, diferansiyel InSAR analizi maksimum 33 mm/yıl çöküntü oranlarını göstermekte ve GPS tahminlerini doğrulamaktadır (Üstün vd. 2015).

Hem İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR)'dan hem de GPS'ten elde edilen dikey deformasyonlar, çoğunlukla şehirleşmiş alanlar ve tarım için kullanılan yeşil alanlar içinde bulunmaktadır. Jeoteknik yöntem ve gözlemler, araziin üst düzeyde kil arazilerin kompaksiyon davranışı yüzey deformasyonları üzerinde anlamlı bir rol oynadığını göstermektedir. Jeodezik ve jeoteknik sonuçlara ek olarak, Google Maps API araçları tarafından desteklenen internet tabanlı GIS platformunda çeşitli jeolojik, hidrojeolojik, meteorolojik veriler toplanarak değerlendirilmiştir. CBS ortamı, mekansal korelasyon analizini kullanarak arazi çökmesi oluşumlarının nedenlerini tespit etmeyi sağlamıştır (Üstün vd. 2015).

GPS ve InSAR gibi jeodezik teknikler Konya alt havzasında 1-4 cm/yıl oranında sonuçlanan önemli bir kara dibi açığa çıkarmaktadır. Hesaplanan miktarların mevsimsellik gibi değişen

çevresel koşullardan kaynaklandığı görülmektedir. Hem GPS hem de InSAR teknikleri, düşük riskli gelişimdeki bu nispeten küçük dalgalanmaları doğrulamaktadır. Öncelikle gözlenmesi gereken hedef bölgeler sulamada yeraltı suyunun fazla kullanıldığı tarım alanları ve insan nüfusunun yoğun olduğu bölgelerdir (Üstün vd. 2014).

KKH alanında yer alan Küçük Köy bölgesinde arazi çökmesine ilişkin, Kalıcı Dağılımlar için Stanford Metod (StaMPS) InSAR teknolojisi kullanılarak yapılan incelemede, kentin üzerindeki 2003-2010 yılları arasında ENV ISAT ASAR verisi ile yılda mm'den cm'ye kadar değişen arazi hareketleri tespit edilmiştir (Canaslan Comut vd. 2015).

KKH'ndaki yeraltı suyu, 1980'lerin başından bu yana yaklaşık 1 m/yıl oranında düşmüştür. Son zamanlarda yapılan GPS gözleminde, KKH'nın güney kesiminde yıllık 22 mm'lik değişim oranları ortaya çıkmıştır. MODFLOW sayısal yeraltı suyu akış modeli, çökme (SUB) paketi ile birleştiğinde, uzun süreli yeraltı suyu soyutlamasının, çökme oranlarının uzamsal değişimi üzerindeki etkisini simüle etmek için kullanılmaktadır. MODFLOW SUB Paketi, hem ince hem de ani arazi sübidansı yaygın olduğu KKH'nın Konya alt havzasındaki su yoğunluğunu simüle etmek için kullanılmaktadır (Özyurt vd. 2018).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Arazi Çökmesi

Dünya yüzeyinin aşamalı olarak çökmesi veya çökmesi olarak tanımlanan arazi çöküşü, dünya çapında meydana gelen jeolijik kökenli doğal olaydır. Bu sorun genellikle yeraltı suyunun tek su kaynağı olduğu yarı kurak bölgelerde ortaya çıkmaktadır. Arazi sübsidansı olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için yeraltı suyu akış modellemesi ile birleştiğinde zamansal değişim konusunda dikkatli gözlemler yapılmasını gerektirmektedir (Özyurt vd. 2018).

Arazi çöküşü olayı, ince taneli sedimanlar gibi belirli kaya türlerinden büyük miktarda yeraltı suyu alındığında meydana gelmektedir. Suyun araziden çekilmesi ile beraber, arazi içerisindeki su basıncı ortadan kalkar, arazi tanlari kendi üzerine düşmeye başlar ve arazi kütlelerinde sıkışma meydana gelir. Arazi tanelerini yukarıda asılı vaziyette tutan su kütlesi tarafından sağlanan boşluk suyu basıncıdır. Yeraltı suyunun aşırı çekilmesine bağlı olarak su çekilmesinin olduğu bölgelerde, akifer sıkışmasının neden olduğu arazi çökmesi gözlenmektedir. Bu durum da meydana getirdiği etkiye bağlı olarak ciddi sosyo-ekonomik sorunlara yol açmaktadır (Caló vd. 2017; Howard Perlman 2018).

Genel olarak, sıkıştırılabilir akifer sistemlerinde arazi çökmesine neden olan yer altı suyunun aşırı pompalamasıdır. Bu tür sistemleri tipik olarak hem akiferler hem de su kütleleri içeren havza dolgulu ve konsolide olmamış alüvyonlu akifer sistemlerini oluşturmaktadır (Galloway ve Burbey 2011).

Aşırı yeraltı suyu pompalaması, üst arazi katmanlarının kurummasını ve sıkıştırmasını sağlamaktadır. Arazi sıkışması, arazi parçacıkları arasında gözenek boyutlarının küçülmesine neden olmakta ve bu da yeraltındaki toprakta su tutma ve iç yapı bakımından kalıcı

değişikliklere sebebiyet vermektedir. Yani, akifer sisteminin toplam depolama kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır (Howard Perlman 2018).

Yeraltı suyu pompalanmasına bağlı olarak gelişen yavaş veya ani göçükler nedeniyle araziin hareketi her zaman can ve mal kaybı tehdidi oluşturmaktadır. Şimdiki ve gelecekteki potansiyel tehlikeler yeraltı suyu kütlesi, arazi gerilmesi, yeraltında araziin sıkıştırılabilirliği, iskelet akifer ve yeraltı suyu akımı arasındaki temel ilişkilere dayandırılan bilgisayar tabanlı modellemeler geliştirilerek değerlendirilmektedir (Özyurt vd. 2018). Bu modellemelerde iki farklı yaklaşım kullanılmakta olup, bunlardan birincisi yeraltı suyu akış teorisine (Jacob 1940, 1950) ve ikincisi ise lineer poroelastisite teorisine dayandırılmaktadır (Biot 1941).

“De Glee” yöntemi ve IMOD yazılımı gibi yazılım programları gibi çeşitli modeller, Bogdanka Kömür Madeni bölgesinde su çekimini de içeren arazi çöküntüsüne ilişkin depresyon konisini ölçmek için kullanılmıştır (Guzy vd. 2018).

Arazi çöküşü tüm dünyada halen devam etmekte olup, Galloway ve Burbey (2011) tarafından yapılan bir değerlendirmeye göre dünyanın farklı yerlerinde değişik çöküntü değerleri ölçülmüştür. Bu değer, 1992-1998 yılları arasında Kolkata, Hindistanda (Chatterjee vd. 2006) 6 mm/yıl ve 2004-2006 yılları arasında Meksiko City, Meksika (Osmanoğlu vd. 2011) 300 mm/yıl'dır.

Caló vd. (2017) tarafından yürütülen çalışmada, 2002-2010 dönemine ait ENVISAT SAR görüntülerinin iki veri kümesini işlemek için Küçük Baseline Alt Kümesi DInSAR tekniğini kullanılmıştır. Çalışma ile arazi deformasyon haritaları üretilmiştir ve yaklaşık 1.200 km²'ye varan geniş bir arazi çökmesi alanı ve bu zaman aralığında 10 cm'ye kadar ulaşan düşey yer değiştirmeler ölçülmüştür. İklimsel, stratigrafik ve piezometrik verilerin yanı sıra arazi örtüsü değişiklik bilgileriyle tamamlanan DInSAR sonuçları, iklim değişikliklerinin ve insan faaliyetlerinin yeraltı sularının tükenmesi ve arazi çöküşü üzerindeki etkisi konusunda daha net iç görüler sağlamıştır.

Güçlü antropojenik baskı altında olan ve su ile ilgili ciddi problemlerle karşı karşıya kalan bu alanlar arazi sıkıntısından büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin merkezinde bulunan Konya ovasının bu kırılğan ortamının, hızlı bir şekilde düzeltilmesi için arazi güvenliğinin oluşmasının anlaşılmasına ve öngörülmesine yardımcı olacak yaklaşımlar araştırılmıştır (Caló vd. 2017).

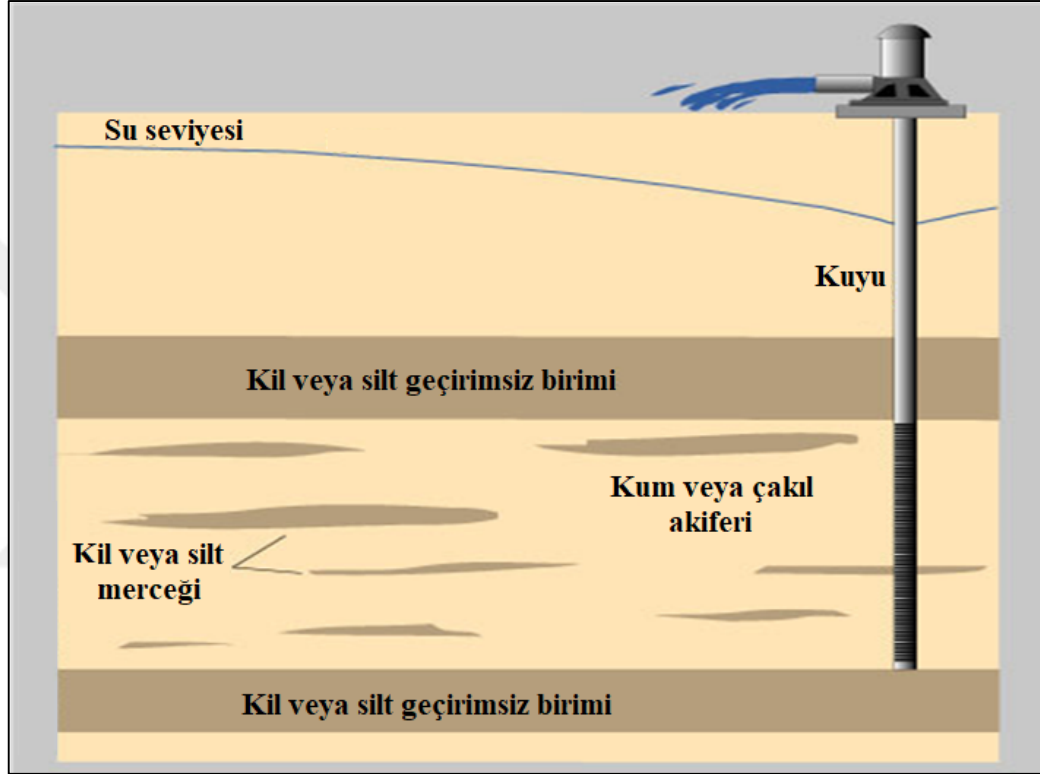
KKH'da yeraltı suyu 1980'lerin başından beri giderek önemli ölçüde azalmaktadır. Son zamanlarda yapılan GPS gözlemleri KKH'nın güneyindeki 22 mm/yıl sıkışma oranlarını ortaya koymaktadır. MODFLOW sayısal yeraltı suyu akış modeli, uzun süreli yeraltı suyu soyutlama oranının mekansal varyasyonuna etkisini simüle etmek için çökme paketi ile birlikte kullanılmıştır (Özyurt vd. 2018).

2.2. Arazi Çökmesi Sebepleri

Arazi çökmesi, yer yüzeyindeki yükselişin yer altında meydana gelen değişikliklerden düşmesi olarak tanımlanmaktadır. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan arazi çökmelerinin yaygın nedenleri yeraltı rezervuarlarından su, petrol ve gaz pompalayarak çekmektir. Akiferlerin fazla üretilmesi, güneybatı Amerika Birleşik Devletleri'ndeki temel çöküş nedenidir ve yeraltı suyu pompalaması arttıkça arazi çökmesi de artmaktadır.

Birçok akiferde, yeraltı suyu kum taneleri ve çakıl taneleri arasındaki gözenek boşluklarından pompalanmaktadır. Bir akiferin içinde ya da yanında kil veya silt yatakları varsa (Şekil 2.1) kum ve çakıldaki düşük su basıncı, kil ve silt yataklarından suyun yavaşça tahliyesine neden olmaktadır. Düşük su basıncı kil ve silt yatakları için destek kaybı meydana getirmektedir. Bu yataklar sıkıştırılabildiğinden inceler ve bu etkilenme sonucu arazi yüzeyinin düşmesi olarak görülen değişimler oluşmaktadır. Örneğin, azaltılmış yeraltı suyu seviyeleri arazi çökmesine neden olmuşsa, akiferin yeraltı suyu orijinal seviyelere dönene kadar yeniden şarj


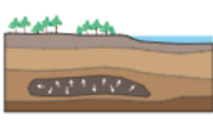
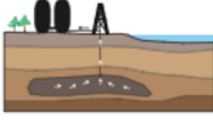
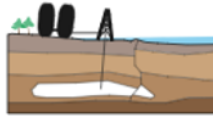





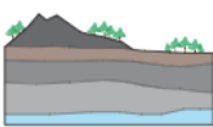
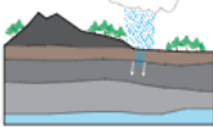
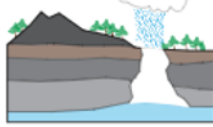

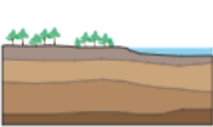
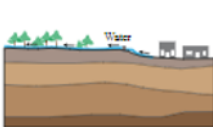
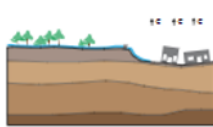
edilmesi, arazi yüzeyinin yükselmesinin kayda değer bir şekilde iyileşmesine yol açmayacaktır.



Şekil 2.1. Çok katmanlı akifer sisteminden su pompalama örneği (Herrera vd. 2007)

2.2.1. Madencilik faaliyetlerinin etkisi

Çeşitli türleri olan yer altı madenciliği faaliyetleri ve "blok mağaracılık" veya "alt seviye mağaracılığı" gibi "mağaracılık" yöntemini kullanan yeraltı faaliyetleri yüzey çökmesine neden olmaktadır (Şekil 2.2). Madencilik kaynaklı çökme olayı, ani bir sütun veya yüzeye yakın yeraltı tüneli çökmesi meydana gelmesi gibi durumlar haricinde, büyüklük, görünüm ve boyut açısından göreceli olarak tahmin edilebilmektedir (Herrera vd. 2012). Madencilik kaynaklı çökme, hemen hemen her zaman cevherli alanın üstündeki yüzeyde lokal alanı kapsar ve etkisi sınırlıdır (Anon. 2012).

		Mevcut Durum	Bozukluk	Bozukluğun Etkisi
Petrol/Doğal Gaz Çıkarma				
Madencilik				
Kireçtaşı Erimesi				
Yeraltı Suyu ile İlişkili				

Şekil 2.2. Arazi çökmesi nedenlerinin gösterimi (Anon. 2018c)

Altlığın dikey büyüklüğü genellikle drenaj durumu dışında (doğal drenaj dahil) sorunlara neden olmamaktadır. Bu durum daha ziyade, doğal çevre, binalar ve altyapıdaki en büyük zararın nedeni olan yüzey sıkıştırıcı ve çekme gerilmeleri, eğrilik, eğim ve yatay yer değiştirmelerdir (Herrera vd. 2007).

Madencilik faaliyeti planlandığı zaman, tüm paydaşların işbirliği içinde olması ile madencilik kaynaklı çöküş başarılı bir şekilde yönetilebilir. Bu başarı, kontrollü bir maden planlaması, önleyici tedbirlerin alınması ve madencilik sonrası onarımların yapılmasıyla gerçekleştirilir.

2.2.2. Yeraltı suyu çekilişinin etkisi

Arazi çökmesi, belki de yeraltı suyu pompalamasının en yaygın ve tehdit edici jeomekanik sonucudur (Şekil 2.2). Muhtemelen deniz, lagün veya deltaya yakın yerlerde bulunan yoğun nüfuslu ve oldukça gelişmiş alanlarda oluşmalı ve tipik olarak oluşan alüvyon, lakrin veya sığ deniz kökenli konsolide olmayan jeolojik havzalardan meydana geldiği takdirde, önemli bir endişe kaynağı olmaktadır. Kuaterner yaşlı birimlerde, özellikle olayın başlangıcında, arazi yerleşimi farkedilmez, ancak daha sonra ciddi hasarlar meydana geldiği zaman keşfedilir. Bu aşamada, ilgili çevresel ve sosyoekonomik etkiyi hafifletmek için etkili iyileştirici önlemler alınması, oldukça pahalı olabilir. Bununla birlikte, son zamanlarda, potansiyel antropojenik arazi çöküşünün tehdit ettiği zararlar ilgili farkındalığımız hem siyasi hem de genel kamu düzeyinde önemli ölçüde artmıştır (Anon. 2018a).

Şangay'da, Kuaterner birimlerin kalınlığı yaklaşık 300 m'dir ve genellikle beş akiferden oluşmaktadır. Arazi taşkınlığının yüzey etüdüleri 1921 yılında başlamıştır ve ölçülen sübvansiyon miktarı Şangay'ın merkez bölgesinde 2-3 m olarak gözlemlenmiştir. Saha verileri, net yeraltı suyu pompalama oranı ile arazi çöküşü oranı arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Şangay'da, arazi çökmesinin önlenmesinde kilit faktör net yeraltı suyu pompalama oranını kontrol etmektir (Chai vd. 2004).

Şekil 2.3'de dünya üzerindeki yeraltı suyu tahliyesi nedeniyle meydana gelen başlıca antropojenik arazi çöküntü olaylarının görüldüğü bölgelerini göstermektedir. Bu bölgeler içerisinde özellikle San Joaquin Vadisi, Kaliforniya, ABD (Galloway ve Riley 1999) ve Mexico City, Meksika (Figueroa-Vega 1984; Ortiz- Zamora ve Ortega- Guerrero 2010) çökme olaylarının en büyük ölçekte meydana geldiği yerlerdir. Bu bölgelerde 10 m'ye varan çökmeler gözlenmektedir. Tüm zamanların en fazla kaydedilen çökme miktarı 14 m'den fazladır ve Wairakei (Yeni Zelanda) jeotermal sahasındaki jeotermal su üretiminden kaynaklanmaktadır (Allis vd. 2009).

2.3. Arazi Çökmesinin İzlenmesi

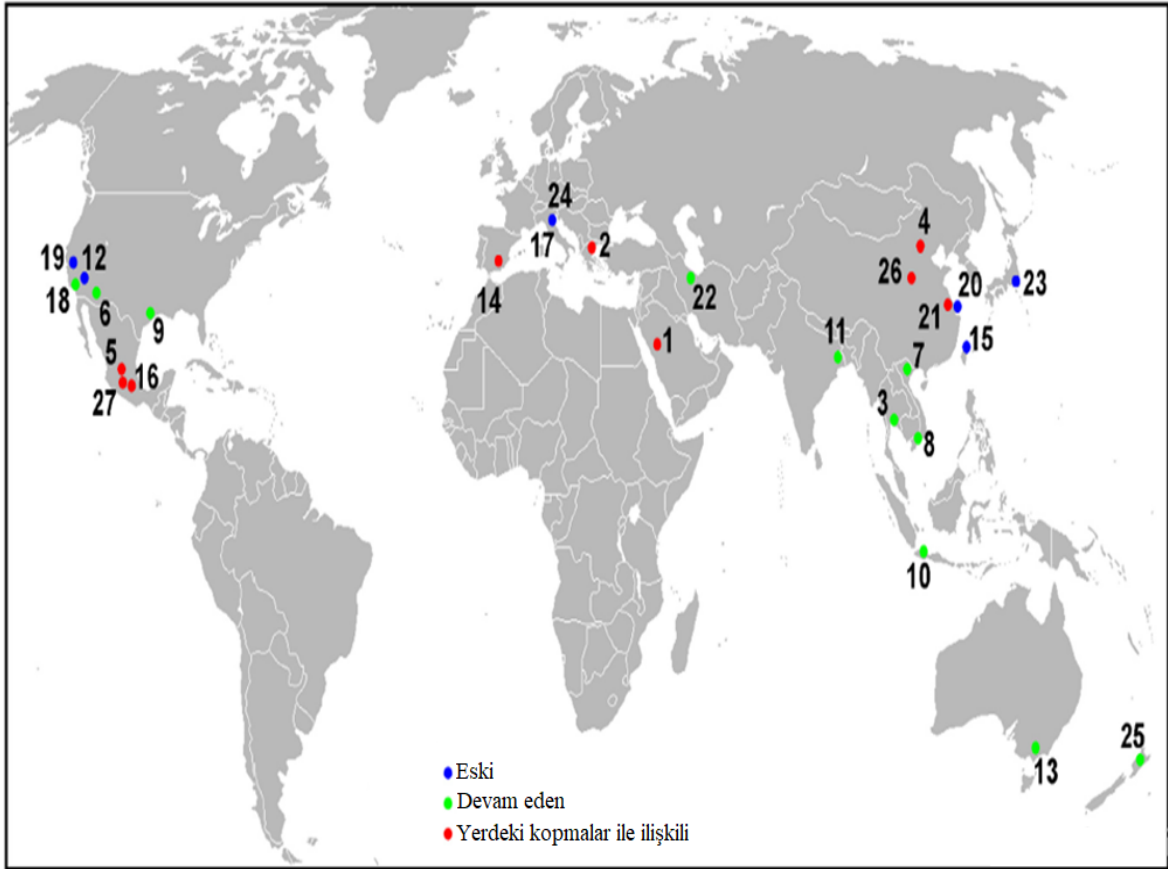
2.3.1. GPS ölçme

Arazi çöküşünü izlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur. En temel yaklaşımlar, geleneksel veya GPS (Global Konumlandırma Sistemi) seviyelemeyle tekrarlanan anketleri kullanmaktadır (Anon. 2018b).

2.3.2. Ekstensometre

Diğer bir yaklaşım, kalıcı sıkıştırma kayıt cihazları veya dikey uzatma ölçerlerin kullanılmasıdır. Bu cihazlar bir kuyu kasasının içinde bir boru veya bir kablo kullanılmaktadır. Kasanın içindeki boru, sıkıştırılabilir çökelti vasıtasıyla arazi yüzeyinden bir derinliğe kadar uzanmaktadır. Kara yüzeyindeki bir masa borunun üstü ile masa arasındaki mesafeyi değiştiren araçları izlemektedir. İç boru ve muhafaza, sıkıştırılabilir çökeltiğin tüm kalınlığından geçerse, cihaz gerçek arazi hassasiyetini ölçebilmektedir.

Hem yeraltı suyu seviyeleri hem de sedimanların sıkışması ölçülürse, gelecekteki çöküntüyü tahmin etmek için kullanılacak özellikleri belirlemek için verilerin analiz edilebilmesi mümkün olmaktadır. Amerika'da bu amaçla geliştirilmiş çok sayıda tesis bulunmakta olup, bunların yaklaşık 19 tanesi Güney Arizona'da yer almaktadır. Ayrıca Kaliforniya, Nevada, New Mexico ve Teksas'ta bu amaçla çalışmalar yürütülmektedir (Anon. 2018b).



1. Wadi Al-Yutamah (Suudi Arabistan), 2. Anthemountas Havzası (Yunanistan), 3. Bangkok (Tayland), 4. Pekin (Çin), 5. Celaya (Meksika), 6. Eloy Havzası (Arizona), 7. Hanoi (Vietnam), 8. Ho Şi Min (Vietnam), 9. Houston (Teksas), 10. Jakarta (Endonezya), 11. Kalküta (Hindistan), 12. Las Vegas (Nevada), 13. Latrobe Vadisi (Avustralya), 14. Lorca (İspanya), 15. Taipei (Tayvan), 16. Mexico City (Meksika), 17. Ravenna (İtalya), 18. San Joaquin Vadisi (Kaliforniya), 19. Santa Clara Vadisi (Kaliforniya), 20. Şangay (Çin), 21. Su-Xi-Chang Bölgesi (Çin), 22. Tahran (İran), 23. Tokyo (Japonya), 24. Venedik (İtalya), 25. Wairakei (Yeni Zelanda), 26. Xian (Çin), 27. Zamora de Hidalgo (Mexico City)

Şekil 2.3. Dünyada yeraltı suyunun çekilmesi nedeniyle oluşan arazi çökmesinin gözlemlendiği alanlar (Guzy vd. 2018)

2.3.3. InSAR

Başka bir çöküntü izleme yöntemi henüz geliştirme ve test aşamasında olan Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) yöntemidir. Bu yöntemle uydulardan bireysel radar görüntüleri karşılaştırılarak interferogramlar elde edilmektedir. En iyi koşullar altında, arazi

yüzeyinde 1 inç veya daha az bir dereceye kadar meydana gelen değişiklikler tespit edilebilmektedir. (Anon. 2018b).

InSAR, daha önce bilinmeyen sübidans alanlarının tespit edilmesine, yerleşim sürecinin dağılımı ve yerleşim sürecinin oranı hakkında bilgi vermektedir. InSAR teknikleri, deformasyon kalıpları hakkında daha fazla bilgi edinilmesine izin vermektedir ve farklı tetikleyici ve koşullandırıcı faktörlerin çökme olayları üzerindeki etkisinin InSAR verilerini bir CBS ortamında birden fazla değişkenle bütünleştirerek analiz edilmesidir. Su çekme işleminden kaynaklanan aşırı gözenekli su basıncı kaybına bağlı son yerleşim aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir:

$$\delta = S \times \Delta h \times D \quad (1)$$

Burada; δ : deformasyon hızı, S: arazi çöküşü, Δh : piezometrik seviye ve D: yumuşak arazi kalınlığıdır (Anon. 2017).

InSAR zaman serisi, farklı havzaların da arazi çökmesi evrimini incelemeye izin vermektedir. Bu konu hakkında bilgi veren bir model farklı alanlarda ve evrimi farklı noktalarından zaman serisini içermektedir. Arazi çökmesi çalışmalarında modelleme son adımdır. Bu çok karmaşık bir görev olabilir ve model kalibre edildikten sonra gelecekteki senaryoları tahmin etmek için kullanılabilir. İspanya'da InSAR verileri model kalibrasyonu ve model validasyonu için kullanılmıştır (Anon. 2017).

Yeraltı suyunu pompalamanın çökmeye neden olduğu bazı bölgelerde, çöküntünün yeraltı suyunun yüzey suyu kaynaklarına gönderilerek durdurulduğu bilinmektedir. Eğer yüzey suyu mevcut değilse, çökme riskini azaltmak için uygun başka yöntemler uygulanmalıdır. Olası önlemler arasında su kullanımının azaltılması ve pompalanmaya yönelik yerlerin belirlenmesi ve geçerliliği en aza indirecek yapay yeniden doldurma işlemleri de yer

almaktadır. Bu stratejileri geliştirmek için yeraltı suyu akış modelleri ile birleştirilmiş optimizasyon modelleri kullanılabilir (Anon. 2018b).

2.4. Arazi Çökmesi Modellemesi

Schiffman vd. (1969) yaptıkları çalışmada, konsolidasyon teorilerinin birinci sınıflamasını (arazi çökmesini) kategorilere ayırarak denemişlerdir. Bunlar;

- a) Tek boyutlu Terzaghi (1923) teorisi,
 - (a1) 1-D difüzyon 1-D dikey konsolidasyonun ardından denklemi ve
 - (a2) 3-D veya 2-D difüzyon denklemin ardından 1-D'yi takip eden konsolidasyon,
- b) Difüzyon denklemine dayanan sözde üç boyutlu konsolidasyon teorisi ve
- c) Birleştirilmiş üç boyutlu konsolidasyon (Biot 1941) teori denklemleridir.

Yukarıdaki modellemelerin her biri farklı bir seviyede yaklaşımları ima etmektedir. Örneğin, kategori (a1) multiaquifer için çok uygundur. Bu şartlar altında bölgesel ölçekte konsolidasyon gerçekleşmekte ve çoğunlukla dikey yönde veya aksine deformasyon, doğal bir adımsayar gibi gerçekleşmekte ve yanıl genişlemeyi önlemektedir. Kategori (b) yukarıda tartışılan bağlanmamış bir yaklaşımdır ve birleştirme pratik ilgi duyulan herhangi bir süre için hem de yatay yönde meydana geldiği uygulamaların büyük bir çoğunluğunda doğrudur. Sonuç olarak, bir birkaç özel konsolidasyon uygulaması, tamamen birleştirilmiş 2 boyutlu veya 3 boyutlu modelin kullanılmasını gerektirebilmektedir. İlgili ortam, yatay boyutla aynı büyüklüktedir (Gambolati vd. 1992).

Yeraltı suyunun pompalanmasının neden olduğu arazi çökmelerini tahmin etmek için kullanılan ilk modellerin 1-D (Terzaghi 1923) teorisine dayandığı söylenmektedir. Domenico ve Mifflin (1965) ve Lofgren ve Klausling (1969) modelleri bu kategoriye girmektedir. Bununla birlikte, 1960'lı yıllardan bu yana, McNamee ve Gibson (1960), çeşitli sınır koşulları için izotropik gözenekli bir ortamın (Biot 1941) konsolidasyonuna analitik çözümler üretmeye çalışmıştır. Daha sonra, McCann ve Wilts (1951) ilk temel kuralı geliştirmişlerdir.

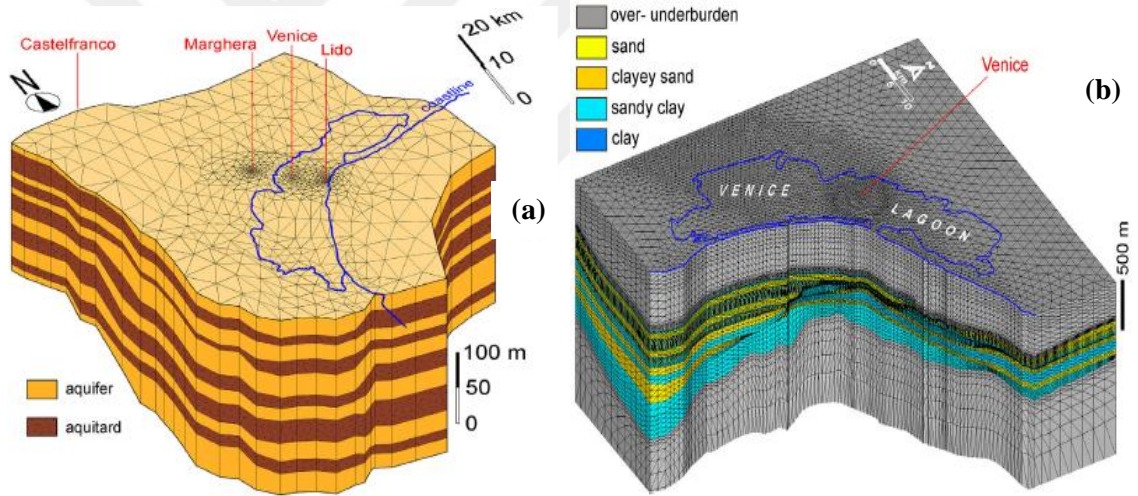
McCann ve Wilts (1951), elastik boşluklar modeli fiziksel ve geometrik gerçeklikten uzak olduğundan gözlemleri eşleştirmede ciddi zorluklarla karşılaşmışlardır. Gerçek fiziksel ortama çok daha yakın olan model Geertsma (1966) tarafından geliştirilen ve poroelastisite teorisine dayanan gerginlik merkezli bir modeldir. Geertsma (1966)'nın oluşturduğu modelde, gerginlik merkezi sınırsızdır ve rezervuarla aynı malzemeden oluşmaktadır.

Arazi çökmesi, Geertsma (1966)'nın ilkel çözümünü tükenmiş rezervuar üzerinde mekanik olarak entegre ederek tahmin edilemeyen bir basınç düşmesine izin vererek tahmin edilmiştir. Geertsma (1966)'nın modeli, hidrokarbon malzemelerinin üretilmesinde arazi çökmesinin öngörülmesi için büyük bir atılımı temsil etmektedir. Asıl sınırlaması, gerçek dünya uygulamalarında nadiren bulunan bir koşul olan rezervuarı içine alan jeomekanik olarak homojen ve izotropik bir yarı-alanın gereksinimidir. Geertsma (1966)'nın homojen çözümünü heterojen bir gerilim merkezine genişleten ile bir iyileşme sağlamış ve McCann ve Wilts (1951)'in sonsuz esnek bir gerginlik merkezi için çözümünün özel bir örneği olduğunu göstermiştir.

Yukarıdaki (a2) kategorisine giren ilk (sayısal) model (Gambolati ve Freeze 1973; Gambolati vd. 1974), 1950'li yıllarda ve 1960'lı yıllarda 300 m kalınlığındaki bir tatlı su akifer sisteminde meydana gelen büyük yeraltı suyu çekilmesiyle Venedik (İtalya)'te meydana gelen arazi çökmesini simüle etmek ve tahmin etmek için kullanılmıştır.

Akış modeli, sonlu elemanlar tarafından çözülen 3-D eksenel simetrik iken, arazi çöküşü modeli referans merkezi olarak şehir merkezi ile 1-D dikey'dir. Pompalama kuyucuklarının beklenen kapanmasının bir sonucu olarak boşaltmada kurtarılamayan kil ve silt sıkıştırması dikkate alınmıştır. Bu, yükleme ve boşaltmada, yani akifer sisteminin boşaltılması ve geri kazanılmasında farklı bir arazi sıkışabilirliğinin kullanılması anlamına gelmektedir. Dört yıl sonra, Lewis ve Schrefler (1978), Venedik (İtalya)'teki aynı simülasyonu tamamen

birleştirilmiş bir konsolidasyon modeliyle tekrarlamıştır. Kendi modellerinde uygulanan farklı parametreler ve sınır koşulları nedeniyle bazı küçük farklılıklar ortaya çıkmıştır. Gambolati ve Freeze (1973) tarafından yapılan öncü modelleme çalışması, daha sofistike yeni modellerin yolunu açmıştır. Helm (1975), geri kazanılabilir ve kurtarılamaz sıkıştırma için farklı sıkıştırılabilirlik değerleri kullanarak sonlu farklar ile çözülen bir çok eksenli sistemin 1-D akifer sıkıştırma modelini geliştirmiştir. Sıkıştırılabilirliğin strese bağlı kalmasına izin veren ikinci bir çalışma (Helm 1976) tarafından yapılmıştır.



Şekil 2.4. Venedik (İtalya) Lagünü'nün altında yatan akifer sistemlerinin jeomekanik davranışlarını simüle etmek için kullanılan kırk yıllık FE modellerinin evrimi; (a) yarı-3 örgü ağının perspektif görünüşü (Teatini vd. 1995) ve (b) tetrahedral ağın aksonometrik görünümü (Teatini vd. 2011)

Sıkıştırma akiferlerinde katmanarası depolama değişiklikleri de Leake (1990) tarafından değerlendirme yapılmıştır. Entegre dikey 1-B çökme denklemi Bear ve Corapcioglu (1981) tarafından sağlanmıştır. Viskozite etkisi ise Corapcioglu ve Brutsaert (1977) tarafından bir akifer modelinde tanıtılmıştır. Gambolati vd. (1991a); Gambolati vd. (1991b); Gambolati vd. (1999); Teatini vd. (2006); Teatini vd. (1995) tarafından Kuzey İtalya'nın çeşitli 3-D bölgesel

ortamlarında yeraltı sularının çekilmesinden kaynaklanan antropojenik arazi çökmelerini tahmin etmek için sonlu modeller uygulanmıştır (Şekil 2.4).

Geçtiğimiz yıllarda arazi çöküşünden güçlü bir şekilde etkilenen ana alanların çoğunluğu için tahmine dayalı sayısal modeller geliştirilmiştir. Meksika'da Mexico City (Ortiz- Zamora ve Ortega- Guerrero 2010), Çin'de Şangay , California'da Central Valley, Houston'da Texas ve Japonya'da Tokyo'da uygulanmıştır (Galloway ve Burbey 2011).

Şu anda, 3 boyutlu jeolojik ve geometrik ortamlarda sıvı çekilmesinden dolayı hem sonlu farklar hem de antropojenik arazi çökmelerini simüle edebilen ve tahmin edebilen sonlu elemanlara dayanan belirli sayıda sayısal kodlar mevcuttur. Kodlar elastik, elastoplastik veya viskoelastoplastik jeo-mekanik kurucu yasalara göre çalışır ve en karmaşık paralel jeoloji ve geometrilerle başa çıkmalarını sağlayan en gelişmiş paralel bilgisayar mimarilerine bile bağlanırlar.

Yeraltı suyunun çekilmesinden dolayı bölgesel ölçekte arazi çökmelerini simüle etmek için en sık kullanılan kodlar, MODFLOW tabanlı IBS1 ve IBS2 paketleri (Interbed Storage Package, sürüm 1) ve SUB-WT'dir (Leake 1990; Leake ve Galloway 2007; Leake ve Prudic 1991). Tüm bu paketler yukarıda tanımlanan (a) kategorisine girmektedir ve Modf DÜŞÜK tabanlı çökme modellerinin özellikleri elde edilmektedir (Galloway ve Burbey 2011).

3-D Biot tabanlı yazılım ile ilgili olarak, son zamanlarda ANSYS ve ABAQUS bilgisayar programları gibi ticari amaçlı sonlu eleman simülatörleri ile gerçekleştirilmiştir (Gambolati ve Teatini 2015).

Kaveh vd. (2008) yapmış olduğu çalışmada, Biot adlı üç boyutlu konsolidasyon teorisine dayanan bir bilgisayar programı çökmenin hesaplanmasında ve ayrıca tahminde olumlu sonuçlar alınmış olduğundan bahsetmektedir. İlk aşamada, önerilen yöntem uzanan daha sonra klasik ve tek boyutlu birleştirme teorisi ile incelenmiştir. Bilgisayar programı WQAT

(Water Table Aquifer) kullanılarak, yeraltı su tablası elde edilebilmekte ve bu yeraltı su tablası araştırma için girdi verileri olarak kullanılabilir. (Gambolati ve Teatini 2015).

Kang ve Li (2015) tarafından sunulan bir makalede, MODFLOW, MODFLOW-SUB'un standart çökme paketi, akifer sisteminin sadece 1-D-düşey yer değiştirmesinin tepkisine karşılık geldiğini varsayarak akifer sistemi sıkıştırmasını ve çökmesini simüle etmektedir. Ayrıca, bir akifer sisteminin bir veya daha fazla pompalama kuyusuna yanıt olarak 3-D hareketi, MODFLOW ve NDIS için yeni akifer sistemi deformasyon paketi kullanılarak değerlendirilmiştir. NDIS kullanarak akifer sistemi 3-D hareketinin simülasyonu, akiferlerin lineer olmayan deformasyon davranışını simüle etmek için bir stres veya hidrolik yüğe bağlı spesifik depolama katsayısı ile gerçekleştirilmiştir. NDIS'in akifer yatay hareketi için sayısal simülasyonu, sızdıran kapalı bir akiferden pompalamaya yanıt olarak yatay hareket için analitik bir çözümle tutarlılık göstermektedir.

Karşılaştırma amacıyla, akifer sisteminin yeraltı suyu pompalamasına cevaben oluşan düşey çökmeleri hem NDIS hem de MODFLOW-SUB modelleri tarafından simüle edilmektedir. Simülasyonların sonuçları, MODFLOW-SUB tarafından simüle edilen arazi çökmesinin, NDIS tarafından simüle edilenden daha büyük ve pompalama hızı ve süresine karşı daha az hassas olduğunu göstermektedir. NDIS simülasyonları ayrıca toplam pompalamanın aynı olması durumunda, tek bir kuyudan pompalamanın, birden fazla kuyudan pompalamaya göre daha fazla arazi hassasiyeti yaratabileceğini göstermektedir (Gambolati ve Teatini 2015).

Yeraltı suyunun aşırı çekilmesinden kaynaklanan antropojenik arazi çökmesi, İtalya'nın Po Nehri deltasının güneyindeki Adriyatik Denizi'ne bakan alçak bir alan olan Emilia-Romagna kıyılarında ciddi ve maliyetli hasarlara neden olmuştur. Hem alanın şekil hem de oluşumun zaman davranışı son 50 yılda yeniden yapılandırılmış ve 2016 yılına kadar bir 3-D FE modeliyle tahmin edilmiştir (Gambolati ve Teatini 2015).

Bununla birlikte, pompalama hızı dağılımı ile ilgili verilerin yetersizliği, yerelde yapılacak derinlemesine incelemelere izin vermemektedir. Akifer/akitard hidrolik iletkenliği ve sıkılaştırılabilirliği yerinde yapılan testler ve laboratuvar testleri ile tahmin edilmiş ve çalışma alanında tarihsel piezometri, arazi sıkıntısı ve çok çekirdekli sistem sıkıştırmasıyla eşleştirilmiş bir yinelemeli prosedür ile kalibre edilmiştir. Hidrolojik ve jeomekanik modeller, neredeyse sürekli bir basınç düşüşünün meydana geldiği 1946-1976 yılları arasında kalibre edilmiş ve 1976-2001 yılları arasında kumlu oluşumlar tarafından önemli bir yeraltı suyu çekme eğrisi nedeniyle genel bir basınç geri kazanımı yaşandığı zaman onaylanmıştır (Gambolati ve Teatini 2015).

Ayrıca, arazi çökmesi tahmininde, istatistiksel modelin ve fiziksel arazi çökme tahmin modelinin oluşturulmasında uluslararası düzeyde çökme tahmini için iki ana yöntemidir; istatistiksel ve fiziksel model (Zhou vd. 2015).

2.4.1. İstatistiksel Model

İstatistiksel model esas olarak bulanık sinir ağına, grey teori ve Poisson döngüsüne dayanmaktadır. Önceki çalışmalar, grey teori modelinin göreceli olarak üniform arazi çökme alanı için uygun olduğunu kanıtlamıştır. Yapay sinir ağı modeli, arazi çökmesinin daha büyük dalgalanma alanı için uygundur. Poisson döngü modeli, arazi çökmesinin uzun vadeli tahminleri için olumlu sonuçlar vermektedir. Pratik uygulamada, arazi çökmesi birçok faktörden etkilenen karmaşık bir süreçtir ve etkileyen faktörler ile karmaşık bir doğrusal olmayan ilişki vardır. Arazi düşme durumunda, tahmin yönteminin doğru seçilmesi ve arazi çökmesi izlemenin tüm verilerinin elde edilmesi zordur. Bu durum tahmin modelinin tahmin doğruluğunun garanti edilmesinin zorluğudur (Zhou vd. 2015).

2.4.2. Fiziksel Model

Fiziksel model su akış modeli ve arazi mekaniği modelini içermektedir. Bu iki modelin birleştirme derecesine göre, iki aşamalı bir modele, kısmen birleştirme modeli ve tamamen birleştirme modeline ayrılabilir (Zhou vd. 2015).

Son yıllarda, her türden çöküntü fenomenini ifade etmek için daha makul olan fiziksel model araştırması hakkında birçok yeni anlayış vardır. Temel olarak şu hususları içermektedir. Akitard gözenek suyu türleri ve sızıntı ve deformasyon mekanizması ile yakından ilgilidir. Gömülü derinlik, sınırlı su içeriğine göre, farklı gömülü derinlikteki akitard deformasyon hesaplama modeli önerilmektedir. Son fiziksel model, her arazi katmanının deformasyonunun sadece sıkıştırılabilirliğe değil, aynı zamanda sadece araziin sıkıştırılabilirliğine bağlı olan önceki modele göre daha rasyonel olan kalınlığa bağlı olduğunu düşünmüştür. Bir zamanlar kumlu arazi deformasyonunun tamamlanmasının, gerilme değişimi esnasında olduğuna inanılıyordu, ancak Suzhou ve Pekin'deki sübvansiyon araştırması, kumlu araziin yapışkan arazi ile benzer bir sürünme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir (Zhou vd. 2015).

Arazi çökmesi sorununu analiz etmek için uygulanan viskoelastik teori, karmaşık deformasyon niteliğinde olan geniş alanlı bir arazi çöküşünün simülasyonu için yeni bir yol sunmaktadır. Yukarıdaki fiziksel modelin mekanizması açık, ancak denklem parametresi çok karmaşık, uygulaması zor ve geliştirmesi nispeten yavaştır (Zhou vd. 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Konya Kapalı Havzası

Konya Kapalı Havzası Anadolu'nun ortasında yer almakta olup kuzeyinde Sakarya ve Kızılırmak Havzaları, doğusunda Kızılırmak ve Seyhan Havzaları, güneyinde Doğu Akdeniz Havzası ve batısında Antalya ve Akarçay Havzaları ile çevrilidir. Havza 53,850 km² alana sahiptir ve 36°51' and 39°29' Kuzey enlemleri ile 31°36' and 34°52' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Havzada yükseklik 900 ile 3534 m arasında değişmektedir. Küresel 200 ekolojik bölge listesinde yer alan havzada Beyşehir ve Tuz Gölleri dışında iki ulusal park, 12 önemli kuş alanı ve 8 önemli bitki alanı bulunmaktadır (Arslan 2018).

Özyurt vd. (2018)'in kavramsal modelinden, Konya Kapalı Havzası'ndaki Neojen akiferinin dibi 650 m yüksekliğe, üst kotu ise Plio-Kuvaterner sedimanlarının kalınlığı ile belirlenir. Model alanı üzerine dağıtılan 24 kuyucuğun litolojik kütükleri, Plio-Kuvaterner sedimanlarının arazi yüzeyinden derinliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Bir gösel kireçtaşı horizonunun karşılaştığı ilk derinlik Neojen akiferinin tepesi olarak kabul edildi. Arazi kotu verileri sayısallaştırılmış topografik haritalardan üretilmiştir. Plio-Quaternary akıtar'dın alan dağılımını belirlemek için en yakın mahalle algoritması kullanılmıştır. Plio-Kuvaterner kalınlığı, yüzeyde Neojen karbonatların maruz kaldığı alanlarda sifıra ayarlanır.

3.2. Veri Hazırlama

Çalışmada Konya Kapalı Havzası'nda yer alan Selçuklu, Meram ve Karatay, yapılan sondaj kuyu konsolidasyon deneyi aylık ortalama uygulanan basınç, oturma miktarı, oturma şişme farkı, numune yüksekliği değişimi, boşluk oranı (e), boşluk oranı değişimi (Δe), basınç artışı değişimi, sıkışma katsayısı, hacimsel sıkışma katsayısı, değerleri Dr. Ali Ferrat Beyram sayisinde verilmiştir ancak bu çalışma için başlangıç boşluk oranı (e_i) ve boşluk oranı değişimi kullanılmıştır. Konya Kapalı Havzası'nda yer alan Selçuklu, Meram ve Karatay

Konya'nın kuzeyinde bulunmaktadır. Tüm bu verilerin kayıt aralıklarına ait bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Konya Kapalı Havzasındaki konsolidasyon deneyine ait veri kayıt aralıkları

Konsolidasyon deneyi alanı adı	Kayıt aralığı
Selçuklu	2011-2014
Meram	2011-2014
Karatay	2011-2014

3.3. Terzaghi Prensibi

Terzaghi Prensibi, bir kayanın gerilmeye maruz kalması durumunda kayanın içindeki gözeneklerin sıvı basıncına karşı direnç gösterdiği olduğunu belirtmektedir (Anon, 2000). Daha spesifik olarak, Terzaghi'nin tek boyutlu konsolidasyon teorisi olarak da bilinen Karl von Terzaghi Prensibi, bir arazie yapılan nicelenebilir tüm değişikliklerin (sıkıştırma, deformasyon, kayma direnci) etkili stresteki değişimin doğrudan bir sonucu olduğunu belirtmektedir. Efektif gerilme, toplam gerilme ve boşluk suyu basıncı arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir:

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2)$$

Burada; σ : toplam gerilme, σ' : efektif gerilme ve u : boşluk suyu basıncı olarak tanımlanmaktadır (Schofield ve Wroth 1968).

Terzaghi Prensibi birtakım varsayımlar üzerine kurulmuştur. Bu varsayımlar aşağıdaki şekilde özetlenmektedir.

- Arazi homojendir (kompozisyon boyunca homojen) ve izotropiktir (her yönde aynı fiziksel özelliği gösterir)

- Arazi tamamen doymuştur (su içeriği çok yüksek olduğu için sıfır hava boşluğu),
- Katı parçacıklar ve su sıkıştırılmaz
- Sıkıştırma ve akış tek boyutludur
- Arazideki gerilmeler nispeten küçüktür
- Darcy Yasası tüm hidrolik gradyanlar için geçerlidir
- Geçirgenlik katsayısı ve hacim sıkıştırılabilirlik katsayısı işlem boyunca sabit kalır
- Boşluk oranı ile efektif gerilme arasında zamandan bağımsız olarak benzersiz bir ilişki vardır (Schofield ve Wroth 1968).

3.4. Birincil Konsolidasyon

Bu yöntem, birleştirmenin yalnızca bir boyutta gerçekleştiğini varsaymaktadır. Laboratuvar verileri, efektif gerilme ekseninin logaritmik bir ölçekte olduğu efektif gerilmeye karşı gerilime veya boşluk oranının bir grafiğini oluşturmak için kullanılmaktadır. Grafiğin eğimi, sıkıştırma endeksi veya yeniden sıkıştırma endeksi olarak ifade edilmektedir. Normal konsolide bir araziin konsolidasyon oturmasını aşağıdaki denklem yardımıyla belirlemek mümkündür.

$$\delta_c = \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \left(\frac{\sigma'_{zf}}{\sigma'_{z0}} \right) \quad (3)$$

Burada; δ_c : konsolidasyondan dolayı yerleşme, C_c : sıkıştırma indeksi, e_o : ilk boşluk oranı, H : sıkıştırılabilir araziin yüksekliği, σ'_{zf} : nihai düşey gerilme ve σ'_{z0} : ilk düşey gerilme değerini ifade etmektedir.

Son efektif gerilmenin yeniden konsolidasyon gerilmesinden daha az olduğu konsolide arazilerde kullanım için C_c , C_r (yeniden sıkıştırma endeksi) ile değiştirilebilir. Nihai efektif gerilme yeniden birleştirme gerilmesinden daha büyük olduğunda, iki denklem birleştirme

işlemlerinin hem yeniden sıkıştırma bölümünü hem de saf sıkıştırma bölümünü aşağıdaki şekilde modellemek için birlikte kullanılmalıdır

$$\delta_c = \frac{C_r}{1 + e_o} H \log \left(\frac{\sigma'_{zc}}{\sigma'_{z0}} \right) + \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \left(\frac{\sigma'_{zf}}{\sigma'_{zc}} \right) \quad (4)$$

Burada; σ'_{zc} : araziin konsolidasyon gerilmesidir (Schofield ve Wroth 1968).

3.5. İkincil Konsolidasyon

İkincil konsolidasyon, birincil konsolidasyondan sonra meydana gelen araziin sıkıştırılması olayıdır. Hidrostatik basıncın düşmesinden sonra bile, araziin bir miktar daha sıkışması yavaş oranda gerçekleşmektedir. Bu ikincil sıkıştırma olarak bilinmektedir. Kumda, ikincil ortak baskıdan kaynaklanan yerleşim ihmal edilebilir, ancak turbada çok önemlidir. İkincil sıkıştırma nedeniyle, temas noktaları arasındaki yüksek viskoziteli suyun bir kısmı dışarı atılmaktadır. İkincil konsolidasyon aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$S_s = \frac{H_0}{1 + e_o} C_a \log \left(\frac{t}{t_{95}} \right) \quad (5)$$

Burada; H_0 : birleştirme ortamının yüksekliği, e_o : ilk boşluk oranı, C_a : ikincil sıkıştırma indeksi, t : konsolidasyondan sonraki sürenin uzunluğu, t_{95} : % 95 konsolidasyona ulaşmak için gereken süredir (Schofield ve Wroth 1968).

Konsolidasyonun oluşma süresi tahmin edilebilir. Bazen konsolidasyon yıllar süren zaman diliminde gerçekleşebilmektedir. Bu özellikle doymuş killerde doğrudur, çünkü hidrolik iletkenlikleri son derece düşüktür ve bu durum suyun araziin drenajı için çok uzun zaman almasına neden olmaktadır. Drenaj meydana gelirken, gözenek suyu basıncı normalden daha

yüksektir çünkü uygulanan gerilmenin bir kısmını taşımaktadır. Zaman faktörü aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$T_v = \frac{c_v * t}{(H_{dr})^2} \quad (6)$$

Burada; T_v : zaman faktörü, H_{dr} : konsolidasyon sırasında ortalama en uzun boşaltma yolu, T : ölçüm zamanı ve C_v : log metodu kullanılarak bulunan birleştirme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayıda aşağıdaki bağıntı;

$$C_v = \frac{T_{50} * H_{dr}^2}{t_{50}} \quad (7)$$

veya root yöntemiyle ile hesaplanmaktadır.

$$C_v = \frac{T_{95} * H_{dr}^2}{t_{95}} \quad (8)$$

Burada; t_{50} : % 50 deformasyon (konsolidasyon) zamanı ve t_{95} : % 95 deformasyon (konsolidasyon) zamanı ($T_{95}=1.129$, $T_{50}=0.197$) (Schofield ve Wroth 1968).

3.6. Terzaghi'nin Konsolidasyon Teorisi

Su tablası indirilirse veya arazi yüzeyine bir yük (örneğin bir dolgu) yerleştirilirse, arazi profilindeki taneler arası basınç artar. Arazi basıncındaki bu artıştan kaynaklanan çökme, Terzaghi tarafından geliştirilen klasik arazi mekaniği teorisi ile tanımlanabilmektedir (Terzaghi vd. 1967). Bu teori aşağıda verilen varsayımlara dayanmaktadır. Bu varsayımlar:

- Arazi homojen ve suya tamamen doymuştur

- Katılar ve su sıkıştırılmaz ve
- Konsolidasyon sürecinde hidrolik iletkenlik sabittir

Terzaghi, taneler arası basınçtaki artış ile boşluk oranı arasında bir ilişki bulunduğunu ifade etmektedir.

$$e_u = e_i - C_c * \ln \frac{P_i + \Delta p_i}{P_i} \quad (9)$$

Burada; e_u : nihai boşluk oranı (nihai gözenek hacmi ve katıların hacmi arasındaki oran), e_i : başlangıç boşluk oranı (başlangıçtaki gözenek hacmi ile katı madde hacmi arasındaki oran), C_c : sıkıştırma indeksi, p_i : su tablasının yüklenmesinden ve/veya indirilmesinden önce, dikkate alınan arazi katmanındaki ortalama tanecikler arası basınç ve Δp_i : yüklenmeden sonra ortalama moleküler basınçtaki artış ve/veya su tablasının düşürülmesini ifade etmektedir.

Basınçtaki artış, yüzeydeki harici bir yükten veya su tablasının düşmesinden kaynaklanabilir. Katılar sıkıştırılmaz olduklarından ve hiçbir katman kaybolmadığından, çöküntü yalnızca boşluk hacmindeki bir azalmaya bağlanabilir.

$$S = \frac{e_i - e_u}{e_i + 1} * D \quad (10)$$

Burada; S: sübsidans (m) ve D: orijinal arazi tabakasının kalınlığı (m)'dir.

Daha sonra, moleküller arası basıncın bir fonksiyonu olarak çökme, bağıntı 9, bağıntı 10'da yerine kullanılarak şu şekilde ifade edilir:

$$S = \frac{1}{c} \ln \left(\frac{P_i + \Delta p_i}{P_i} \right) * D \quad (11)$$

Burada; c: sıkıştırma sabitidir. Sıkıştırma sabiti c'nin değeri, arazi tipine bağlıdır.

3.7. Zamanın Fonksiyonu Olarak Çökme

Yukarıdaki denklemler zaman faktörünü dikkate almaz. Onlarda, tanecikler arası basınçtaki bir artışın anlık bir çöküntü ile sonuçlandığı varsayılmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu varsayım kumlu araziler için geçerlidir, ancak kil veya turba araziler için çöküntü uzun süre devam edecektir. Keverling Buisman (1940), bu araziler için, çökmenin zamanın logaritması ile orantılı olarak ilerlediğini göstermiştir. Koppejan (1948) Terzaghi ve Keverling Buisman'ın bulduğu ilişkileri bir denklemde birleştirmiştir.

$$S = \left[\left(\frac{1}{c_p} + \frac{1}{c_s} \log t \right) \ln \left(\frac{P_i + \Delta p_i}{P_i} \right) \right] \times D \quad (12)$$

Burada; S: zamanın bir fonksiyonu olarak çökme (m), c_p : konsolidasyon sabiti (doğrudan/direkt etki), c_s : konsolidasyon sabiti (seküler etki) ve t: su kaynağının yüklenmesinden veya indirilmesinden bu yana geçen süre (gün)'dir. Konsolidasyon sabitleri, sırasıyla, çökmenin doğrudan ve sürekli etkisini temsil etmektedir. Doğrudan etki, yük artışından sonraki ilk gün meydana gelen çökmenin bir kısmıdır. Sürekli etki, fazla suyun arazi profilinden boşaltılırken meydana gelen çökmenin bir kısmını temsil etmektedir. Bu, düşük hidrolik iletkenlikleri nedeniyle, özellikle killi arazilerde çok yavaş bir işlemdir. Sürekli etki, çökmelerin süresiz olarak devam etmesine neden olacaktır (De Glopper ve Ritzema 2006).

3.8. Konsolidasyon Denklemlerinin Uygulanması

Konsolidasyon teorisini uygularken, birçok problemle karşı karşıya kalınmaktadır. Sadece konsolidasyon sabitlerinin değil, aynı zamanda toplam basınç ve hidrolik basınçların belirlenmesinde de zorluklar ortaya çıkmaktadır (De Glopper ve Ritzema 2006).

Konsolidasyon sabitlerini belirlemek için küçük bozulmamış arazi örnekleri kullanılmaktadır. Numuneler bir halka içinde (yükseklik: 20 mm, çap: 64 mm) tutulur ve bir

konsolidasyon ünitesine yerleştirilir. Bu aparatla, numunenin üstü ve altı, fazla suyun yüklendikten ve sıkıştırıldıktan sonra numuneden akmasını sağlamak için gözenekli plakalarla sınırlandırılır. Uygulanan yük, adım adım artırılır ve alt kısım her adımdan sonra ölçülür. Dayanaklık, uygulanan yük ve zaman arasındaki ilişkiden konsolidasyon sabitleri elde edilmiştir (De Glopper ve Ritzema 2006).

Konsolidasyon sabitlerinin hesaplanmasının alternatif bir yolu Hollanda'da başarılı olmuştur. Bu yöntemle, konsolidasyon sabitleri başlangıçtaki gözeneklilikten tahmin edilmektedir. Çünkü bu yöntemde net korelasyonlar oluşturulmuştur.

Bu yöntemin avantajları;

- Islak kütle yoğunluğunu hesaplamak için ihtiyaç duyulan aynı veriler kullanılabilir (toplam basıncı hesaplamak için gereklidir),
- Örnekleme daha az karmaşıktır, çünkü örselenmiş numuneler kullanılabilir. Yumuşak arazi katmanlarında basit bir el burgu seti, 10 m derinliğe kadar numune alabilir ve
- Numune hacmi, bir konsolidometrede kullanılan 25-30 kat daha büyük olan yaklaşık 1.500-2.000 cm³ daha geniştir.

Böylece çalışılan arazii daha iyi temsil ederler ve genel bir kural olarak, 2 ila 4 m arayla en az beş delik almak ve bunları her bir arazi katmanı için bir numunede birleştirmek gerekmektedir. Numune toplama ve analiz etme maliyeti oldukça düşüktür. Geleneksel yöntemin maliyetinin sadece % 10 ile % 25'i olduğu tahmin edilmektedir (De Glopper ve Ritzema 2006).

Toplam basıncı belirlemek için, ıslak kütle yoğunluğunu bilmek ve ıslak kütle yoğunluğunu elde etmek için, altta yatan arazi tabakalarından arazi örnekleri almak gerekmektedir. Bu örneklerin alınması zor olabilir çünkü alan kolayca erişilebilir olmayabilir ve daha derin katmanlardan örneklerin alınması ağır arazi örnekleme ekipmanı gerektirebilir. Bununla

birlikte, daha önce açıklandığı gibi, ıslak kütle yoğunluğunu elde etmek, birleştirme sabitlerinin temsili değerlerini elde etmekten çok daha kolaydır.

Hidrolik basıncın belirlenmesi de sorunlu olabilir. Çoğu zaman, ardışık arazi tabakalarının hidrolik iletkenliğindeki farklılıklar nedeniyle hidrolik basıncın dağılımı hidrostatik değildir. Yeni alınan arazi örneklerinin çoğu yüksek gözenekliliğe sahip olmasına rağmen, hidrolik iletkenlikleri genellikle gözeneklerin çaplarının küçük olması (birkaç mikron) nedeniyle oldukça düşüktür (0,1 ila 10 mm/gün). Hidrolik basıncın arazi profilinde dağılımını sağlamak için, kişinin çeşitli derinliklerde piezometreler yerleştirmesi ve okumalarını uzun bir süre boyunca kaydetmesi gerekmektedir (De Glopper ve Ritzema 2006).

3.9. MATLAB

Matrix Laboratuvarı'nın kısaltması olan MATLAB, aslen Cleve Moler tarafından geliştirilen sayısal bir bilgisayar ortamı ve programlama dilidir (Heslop 2012).

MATLAB, genel olarak matematiksel denklemlerin çözümü, veri işleme ve veri gösterimi için geliştirilmiş bir programdır. MATLAB, MATrix LABoratory'nin kısaltmasıdır ve oldukça optimize edilmiş bir sayısal hesaplama ve matris işleme paketidir. Sayısal problem modelleri geliştirmek, büyük veri kümelerinde matematiksel işlemler yapmak, bir, iki, üç veya dört boyutta veri yerleştirmek ve eşzamanlı denklemleri çözmek için mükemmel bir araçtır (Hilley 2017).

MATLAB programlanabilir olduğundan, yapabilecekleri görevlerde sınırlı olan belirli yazılım paketlerini kullanmaya gerek kalmadan bilimsel verileri işleyebileceğimiz bir ortam sağlamaktadır. Günlük bilimsel çalışmanız için MATLAB kullanmanın üç ana avantajı vardır (Heslop 2012).

Bunlar:

- MATLAB yorumlanmış bir dildir ve tam kod setlerini derlemeye gerek kalmadan bir dizi komut aracılığıyla adım adım çalışabileceğimiz anlamına gelmektedir
- MATLAB binlerce farklı veri işleme yöntemine hızlı erişim sağlayan dahili işlevlere dayanmaktadır
- MATLAB verilerinizi işlendiği gibi çeşitli şekillerde görüntülemenizi sağlayan çok yönlü grafik kütüphaneleri içermektedir (Heslop 2012).

Genel olarak, MATLAB sayısal bir araç olarak geliştirilmiştir ve bu yüzden sembolik işlemlerden ziyade gerçek sayılarla en iyi şekilde çalışmaktadır. Bununla birlikte, MATLAB'ın bazı versiyonları (örneğin SOLARIS versiyonu) denklemlerin sembolik çözümlerini, sembolik entegrasyonunu, farklılaşmayı ve sembolik denklemlerin azaltılmasını yapabilmektedir. IRIX (Silicon Graphics incorporated) sürümü bir anda birçok sembolik operasyonlar yapabilmektedir. Kısacası, iki ya da daha fazla değişken arasında bir ilişki olduğunu düşündüğünüz bir denklem yazabilir ve sonuçlarınızı grafik olarak elde etmek için MATLAB kullanılacak en iyi araçtır (Hilley 2017).

3.9.1. Tahmine dayalı analitik

Tahmine dayalı analitik, gelecekteki olayları tahmin etmek için geçmiş verileri kullanmaktadır. Genel olarak, geçmiş veriler önemli eğilimleri yakalayan matematiksel bir model oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu öngörücü model daha sonra ne olacağını tahmin etmek ya da en iyi sonuçları almak için gereken eylemleri önermek için mevcut verilerde kullanılmaktadır. Tahmini analizler, özellikle büyük veri ve otomatik öğrenmesi alanlarında, destek teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir (Anon. 2019c).

Tahmine dayalı analitik, verilere dayalı tahminler yapmak için veri analitiğini kullanma işlemidir. Bu süreç, gelecekteki olayları tahmin etmek için öngörücü bir model oluşturmak

için analiz, istatistik ve otomatik öğrenme teknikleriyle birlikte verileri kullanmaktadır (Anon. 2019c).

Tahmine dayalı analitik, bir iş hedefi ile başlamaktadır. İsrafi azaltmak, zaman kazanmak veya maliyetleri azaltmak için verileri kullanmaktadır. Süreç heterojen, genellikle büyük veri kümelerini, daha az malzeme atığı, daha az stok ve spesifikasyonlara uyan imal edilmiş ürün gibi bu amaca ulaşmayı desteklemek için net, eyleme dönüştürülebilir sonuçlar üretebilecek modellere dönüştürmektedir (Anon. 2019c).

Tahmini modellerin hayati bir endüstri uygulaması, enerji talebini tahmin etmek için enerji yükü tahminiyle ilgilidir. Bu durumda, enerji üreticileri, şebeke operatörleri ve tüccarlar, elektrik yüklerini yönetmek için kararlar almak üzere doğru enerji yükü tahminlerine ihtiyaç duyarlar. Büyük miktarlarda veri mevcuttur ve tahmine dayalı analitik kullanarak, şebeke operatörleri bu bilgiyi harekete geçirilebilir içgörülere dönüştürebilirler (Anon. 2019c).

Tahmini modelleme, bir olayı veya sonucu tahmin etmek için matematiksel ve hesaplama yöntemlerini kullanır. Bu modeller, model girdilerinde yapılan değişikliklere dayanarak gelecekteki bir durumda veya zamanda bir sonuç tahmin eder. Yinelemeli bir işlem kullanarak, bir eğitim veri seti kullanarak modeli geliştirir ve sonra tahminler yapmanın doğruluğunu belirlemek için test eder ve doğrulanır. En etkili modeli bulmak için farklı makine öğrenme yaklaşımları denenebilir (Willingham 2019).

Örnekler arasında, havayolu trafik hacmini öngörmek veya yüke karşı motor hızının doğrusal bir regresyon modeline dayanarak yakıt verimliliğini tahmin etmek için zaman serisi regresyon modelleri ve prognostikler için kalan faydalı ömür tahmin modelleri bulunur (Anon. 2019a)

3.9.2. MATLAB ile tahmine dayalı analitik

Günümüzde, bilinçli kararlar almak için iş ve mühendislik verilerinin değerini açığa çıkarmak üzere, öngörücü analitik uygulamaları geliştiren ekipler giderek daha fazla MATLAB kullanmaya yönelmişlerdir (Anon. 2019b).

MATLAB araçlarını ve fonksiyonlarını kullanarak mühendislik, bilimsel ve saha verilerinin yanı sıra işletme ve işlem verileriyle öngörücü analitik uygulamalar gerçekleştirmek mümkündür. MATLAB ile tahmine dayalı uygulamalar, büyük ölçekli üretim sistemlerine ve gömülü sistemlere uyumlu bir şekilde kullanılmaktadır (Anon. 2019c).

Öngörüşel analitik için MATLAB kullanımının haklı gerekçeleri vardır. Bu gerekçeleri şu şekilde özetlemek mümkündür:

- MATLAB analitiği hem işletme hem de mühendislik verileriyle çalışır. MATLAB sensör, görüntü, video, telemetri, ikili ve diğer gerçek zamanlı formatlar için yerel desteğe sahiptir (McGarrity 2019)
- MATLAB, mühendislerin veri bilimini kendilerinin yapmasını sağlar. Alan uzmanlarınızın makine bilimi, derin öğrenme, istatistik, optimizasyon, sinyal analizi ve görüntü işleme yapmalarına yardımcı olacak güçlü araçlarla veri bilimini yapmalarını sağlar (Willingham 2019)
- MATLAB analitiği gömülü sistemlerde çalışır. MATLAB kodundan taşınabilir C ve C ++ kodu oluşturarak gömülü platformlarda çalışmak için analitik geliştirir (McGarrity 2019).

4. BULGULAR

KKH'da yeraltı suyu çekilmesine bağlı arazi sübsidansı değişiminin MATLAB kullanılarak araştırılması amacıyla yürütölen bu çalışmada, incelenen alanı, 2011-2014 yılları arasında değerlendirmeye tabi tutulmuştur, çünkü bu zaman aralığı analiz için elde edilebilecek özellikte veriler içermektedir. Arazi çökmesi, inceleme alanındaki sondaj kuyularında yapılan konsolidasyon testinin sonuçları kullanılarak 2011, 2012, 2013 ve 2014 yılları için hesaplanmıştır. Veriler Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Faköltesi Öğretim Üyesi Dr. Ali Ferat Bayram'dan temin edilmiştir. Elde edilecek arazi çökme değerinin hesaplamalarında şu yol takip edilmiştir.

İlk aşamada, arazi oluşum durumu için bilinen boşluk oranı değerleri kullanılarak boşluk oranındaki değişiklikler elde edilmiştir. Bu veriler laboratuvar çalışmalarından belirlenmiş verilerdir. Bu metod ile, incelenen yıllar içindeki 42 kuyuyu içeren test sahasının her biri için boşluk oranındaki ortalama değişiklik belirlenmiştir.

İkinci aşamada, başlangıçtaki boşluk oranı e_i , denklem 10'da ihtiyaç duyulan her bir kuyu testinde, arazi çökmesi olan düşey deformasyon değişim seviyesinin hesaplanmasında da kullanılmıştır.

Son olarak, boşluk oranındaki değişiklik ve bilinen her bir kuyu test bölgesi için başlangıç boşluk oranı da elde edilmiştir. Daha sonra yeraltı suyu çekimi ile ilgili alanın kalınlığı tespit edilmiş ve çökme miktarı hesaplanmıştır.

4.1. Boşluk Oranı Değişimi

Mevcut verilerden her kuyudaki boşluk oranındaki ortalama değişim miktarı hesaplanmış ve izelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Arazi konsolidasyon testi sırasında çeşitli kuyularda boşluk oranındaki ortalama değişimi

Selçuklu Sondaj Kuyu No	Başlangıç Bosluk Oranı (ei)	Boşluk Artışı Değişimi Oranı (Δe)	Meram Sondaj Kuyu No	Başlangıç Bosluk Oranı (ei)	Boşluk Artışı Değişimi Oranı (Δe)	Karatay Sondaj Kuyu No	Başlangıç Bosluk Oranı (ei)	Boşluk Artışı Değişimi Oranı (Δe)
SL1	0.882	0.047	MR1	0.493	0.023	KR1	1.043	0.022
SL2	0.830	0.021	MR2	0.708	0.026	KR2	1.130	0.053
SL3	1.003	0.028	MR3	1.844	0.059	KR3	0.976	0.039
SL4	1.003	0.028	MR4	0.671	0.027	KR4	0.749	0.025
SL5	0.882	0.047	MR5	0.775	0.010	KR5	0.605	0.016
SL6	0.624	0.015	MR6	0.750	0.028	KR6	0.961	0.027
SL7	0.345	0.011	MR7	0.850	0.018	KR7	0.703	0.014
SL8	0.699	0.032	MR8	0.693	0.025	KR8	1.158	0.030
SL9	0.744	0.013	MR9	0.725	0.021	KR9	0.922	0.031
SL10	0.678	0.021	MR10	0.742	0.025	KR10	0.626	0.025
SL11	0.726	0.026	MR11	0.663	0.020	KR11	0.992	0.026
SL12	0.726	0.026	MR12	0.695	0.013	KR12	0.661	0.014
			MR13	0.617	0.018	KR13	1.304	0.041
			MR14	0.741	0.018	KR14	0.591	0.019
			MR15	0.678	0.024	KR15	0.701	0.014

Çizelge 4.1 incelendiğinde, Selçuklu bölgesinde minimum başlangıç boşluk oranı SL7'de 0,345 iken maksimum başlangıç boşluk oranı ise SL3 ve SL4'te 1,003 olduğu görülmektedir. İlk boşluk oranı için medyan değeri 0,735 ve alandaki ortalama 0,762'dir.

Selçuklu kuyularının boşluk oranındaki bireysel ortalama değişimi incelendiğinde, minimum değer SL7'de 0,011 ve maksimum değer SL1 ve SL5'te 0,047 olarak gözlenmiştir. Selçuklu Bölgesindeki boşluk oranı ortalama değişimin medyan değeri 0,026'dır.

Meram Bölgesinde, minimum başlangıç boşluk oranı MR1'de 0,493 iken maksimum başlangıç boşluk oranı, MR3'te 1,844 olduğu gözlenmektedir. Meram Bölgesinde başlangıçtaki boşluk oranı için medyan değer 0,708 ve alandaki ortalaması 0,776'dır.

Meram Bölgesi kuyuları için boşluk oranındaki bireysel ortalama değişim değerlerine bakıldığında, minimum değer MR5'te 0,010 ve maksimum değer MR3'te 0,059 olarak elde edilmiştir. Meram Bölgesi kuyularında boşluk oranındaki ortalama değişimin medyan değeri 0,023 ve onun ortalaması 0,023'tür.

Karatay Bölgesinde KR14'de minimum başlangıç boşluk oranının 0,591 iken maksimum başlangıç boşluk oranı ise KR13'te 1,304 olduğu görülmektedir. Karatay Bölgesindeki ilk boşluk oranı için medyan değeri 0,922 olup, genel ortalaması 0,875'dir.

Karatay Bölgesindeki kuyu test sahaları için boşluk oranındaki bireysel ortalama değişimin incelenmesinde, minimum değer KR7, KR12, KR15'de 0,014, ve maksimum değer KR2'de 0,053 olarak izlenmektedir. Karatay Bölgesinde boşluk oranındaki ortalama değişimin medyanı 0,025 ve ortalaması ise 0,026'dır.

Son olarak, verileri kullanılan 42 alan olan, Selçuklu Bölgesi, Meram Bölgesi ve Karatay Bölgesi kuyularındaki kuyu test sonuçları için, genel minimum başlangıç boşluk oranının Selçuklu Bölgesindeki SL7'de 0,345 iken, genel maksimum başlangıç boşluk oranı Meram

Bölgesindeki MR3'te 1,844 olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde kullanılan tüm 42 kuyu için başlangıç boşluk oranı medyanı 0,734 ve genel ortalama 0,807'dir.

Selçuklu Bölgesi, Meram Bölgesi ve Karatay Bölgesi kuyularındaki kuyu test sahaları için boşluk oranındaki bireysel ortalama değişim incelendiğinde, minimum değer 0,010 ile MR5'te gözlenirken, maksimum değer 0,059 ile MR3'te gözlenmektedir. Çalışma alanı için boşluk oranındaki ortalama değişimin medyanının değeri 0,025 ve genel ortalama değer 0,025 olduğu görülmektedir.

4.2. Öngörülen çökme (S)

Etkili kalınlığı belirlemek için başlangıç kalınlığı 50 m kabul edilerek 50 m aralıklarla test edilerek 1.100 m'ye kadar varan bir derinlik için çökme miktarındaki değişim değerleri hesaplanmıştır. Ancak, bu çalışmada değerlendirme 650 m kalınlığa odaklanılarak yürütülmüştür çünkü, literatürde Neojen yaşlı birimlerin en derin bulunma yeri olan akiferin tabanındaki 650 m kalınlığı referans olarak kullanılmıştır (Özyurt vd., 2018). Üst sınır ise Plio-Kuvaterner yaşlı sedimentlerin kalınlığı ile belirlenmektedir. Plio-Kuvaterner kalınlığı, Neojen yaşlı birimlerin yüzeyde mostra verdiği alanlarda kalınlık sıfır olarak kabul edilmektedir.

KKH için çökme miktarı hesaplamasında denklem 10 kullanılarak akiferin derinliği 650 m'deki değerler elde edilmiştir. Selçuklu Bölgesi kuyu verileri için yapılan MATLAB analizi sonucu elde edilen farklı derinlikler için MATLAB görüntüleri 12 kuyular için Ek 1'de ve elde edilen değerler ise Selçuklu, Meram ve Karatay sondaj kuyuya ait konsolidasyon kuyu testi için ölçülen çökme değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 650 m derinlik kullanılarak 42 kuyuya ait konsolidasyon kuyu testi için ölçülen çökme değerleri

Selçuklu Sondaj Kuyu No	Ölçülen Sübsidans (cm)	Meram Sondaj Kuyu No	Ölçülen Sübsidans (cm)	Karatay Sondaj Kuyu No	Ölçülen Sübsidans (cm)
SL1	16.2327	MR1	10.1005	KR1	7.1268
SL2	7.3169	MR2	10.0468	KR2	13.9155
SL3	8.9566	MR3	13.4388	KR3	12.9605
SL4	8.9566	MR4	10.5027	KR4	9.3654
SL5	16.2327	MR5	3.8085	KR5	6.4798
SL6	6.1638	MR6	10.2514	KR6	9.0158
SL7	5.4126	MR7	6.1771	KR7	5.4198
SL8	12.2425	ER8	9.5216	KR8	9.0361
SL9	4.7706	MR9	7.8377	KR9	10.4162
SL10	7.9797	MR10	9.403	KR10	9.8339
SL11	9.9421	MR11	7.6609	KR11	8.5492
SL12	9.9421	MR12	5.1386	KR12	5.5569
		MR13	7.2356	KR13	11.454
		MR14	6.7949	KR14	7.599
		MR15	9.4517	KR15	5.1969

Şekillerin (Ek 1) sol tarafında yer alan sütunda çökme için MATLAB hesaplamasını ve sağdaki hesaplardan sonra elde edilen çökme sonuçlarını göstermektedir. Analiz sonuçlarından, akiferin derinliği arttıkça her bir kuyudaki çökme miktarında arttığı açık bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi Selçuklu Bölgesinde, minimum çökmenin SL9’da 4,77 cm ve maksimum çökmenin ise SL1 ve SL5’te 16,23 cm olacağı tahmin edilmektedir. Çökme değeri tahmininde, Selçuklu Bölgesindeki kuyuların medyan çökmesinin yaklaşık 8.96 cm ve ortalama 9.51 cm olduğu tahmin elde edilmiştir.

Meram Bölgesinde, MR5’te minimum çökmenin 3,81 cm iken maksimum çökmenin MR3’te 13,44 cm olduğu tahmin edilmektedir. Meram kuyu sahalarındaki medyan çökmenin yaklaşık 9,40 cm ve ortalama 8,49 cm olacağı öngörülmektedir.

Karatay Bölgesinde, KR15’te minimum çökmenin 5,20 cm ve maksimum çökmenin KR2’de 13,92 cm olacağını tahmini sonucuna varılmıştır. Karatay Bölgesi kuyu sahalarındaki medyan çökme yaklaşık 9,02 cm ve ortalama 8,80 cm olacağı tahmini belirlenmiştir.

Son olarak, Selçuklu Bölgesi, Meram Bölgesi ve Karatay Bölgesini içine alan saha için yapılan değerlendirmede, minimum çökmenin Meram Bölgesindeki MR5’te 3,81 cm elde edilirken, maksimum çöküşün 16,23 cm ile Selçuklu Bölgesindeki SL1 ve SL5’te meydana geleceği görülmektedir. İncelenen tüm alan için medyan çökme yaklaşık 8,99 cm iken ortalama 8,89 cm’dir.

4.3. Modelleme

Belli bir dönem için yapılan çökme miktarı hesaplamalarından bilinen dönem için bir model geliştirerek gelecekteki oluşuma yönelik bir öngöründe bulunmaya yardımcı olacaktır.

4.3.1. Zamanın fonksiyonu olarak sübidansın tahmin edilmesi

Denklem 12 kullanılarak,

$$S = \left(\left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log t \right) \ln \left(\frac{P_i + \Delta p_i}{P_i} \right) * \right) D$$

zamana bağlı olarak çökme miktarı hesaplama işlemleri yapılmıştır. Ancak, konsolidasyon sabitleri C_p ve C_s , ilk basınç ve gözenek basıncında değişiklik hesaplamaları yapmak için gerekli olacaktır.

Çalışma alanı için elde edilen verilerde boşluk oranındaki değişim ve başlangıç boşluk oranlarındaki değerler mevcut olup, ilk basınç (p_i) ve gözenek basıncındaki değişim (Δp_i) bilinmemektedir. Bu nedenle, bilinmeyen bu değerler (p_i ve Δp_i) yerine, başlangıç boşluk oranı e_i ve değişim boşluk oranı Δe_i arasındaki ilişki kullanılmıştır.

Denklem 10

$$S = \frac{e_i - e_u}{e_i + 1} * D \quad (i)$$

ve denklem 11

$$S = \frac{1}{c} \ln \left(\frac{P_i + \Delta p_i}{P_i} \right) * D \quad (ii)$$

arasındaki ilişkiden eşitlenerek,

$$\frac{1}{c} \ln \left(\frac{P_i + \Delta p_i}{P_i} \right) * D = \frac{e_i - e_u}{e_i + 1} * D \quad (iii)$$

$$\ln\left(\frac{P_i+\Delta p_i}{P_i}\right) = \frac{\Delta e * c}{e_i+1} \quad (\text{iv})$$

denklemi elde edilmiştir. Burada, denklem (iv)'de, c yerinde, denklem (v)'den $\frac{Cc}{e_i+1}$ kullanılmıştır.

$$c = \left(\frac{Cc}{e_i+1}\right) \quad (\text{v})$$

Buradan denklem (iv) şöyle olmuştur.

$$\ln\left(\frac{P_i+\Delta p_i}{P_i}\right) = \frac{\Delta e}{e_i+1} * \frac{Cc}{e_i+1} \quad (\text{vi})$$

$$\ln\left(\frac{P_i+\Delta p_i}{P_i}\right) = \frac{\Delta e * Cc}{(e_i+1)^2} \quad (\text{vii})$$

Son olarak, denkelem (vii) eşitliği sayesinde, denklem 12'daki bilinmeyen $\ln\left(\frac{P_i+\Delta p_i}{P_i}\right)$ yerine

$\frac{\Delta e * Cc}{(e_i+1)^2}$ koyarak denklem 13 elde edilmiştir.

$$S = \left(\left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log t \right) * \left(\frac{\Delta e * Cc}{(e_i+1)^2} \right) * \right) D \quad (13)$$

Modelleme için denklem 13 kullanılmaktadır, ancak önce C_c , C_p ve C_s parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Habibbeygi vd. (2017), yaptığı bir araştırmada, C_c 'nin belirlenmesinde aşağıdaki yöntemlere dikkat çekmiştir.

$$C_c = 0.007 (w_L-7)$$

$$C_c = 0.007 (w_L-10); \text{ Remold Killer için}$$

$$C_c = 0.009 (w_L-10); \text{ Rahatsız Killer için}$$

$$C_c = 0.29 (e_0 - 0.27) \quad (14)$$

$$C_c = 0.43 (e_0 - 0.25) \quad (15)$$

$$C_c = 0.02 + 0.014I_p$$

$$C_c = 0.01(w_0 - 5)$$

$$C_c = 0.51_p G_s$$

$$C_c = 0.015(w_L - 19)$$

$$C_c = 0.01(w_0 - 7.55)$$

$$C_c = 0.2237e_L$$

Burada; C_c : sıkıştırma indeksini, w_L : sıvı sınırını, e_0 : başlangıç boşluk oranını, I_p : plastisite indeksini; w_0 : başlangıçta veya yerinde su muhtevasını, G_s : özgül ağırlığını ve e_L : sıvı limitindeki boşluk oranını ifade etmektedir.

Analiz için, başlangıç boşluk oranı e_0 değerleri mevcut olduğundan ilgili denklemler olan Hough (1957) tarafından $C_c = 0,29 (e_0 - 0,27)$ ve $C_c = 0.43 (e_0 - 0.25)$ Cozzolino (1961) tarafından kullanılmıştır. Sıkıştırma endekslerini hesaplamak için öngörülen hem minimum hem de maksimum çökme için kuyuların özellikleri kullanılmıştır. Sıkıştırılabilirlik endeksi belirlendikten sonra konsolidasyon sabitleri belirlenmiştir.

2011 - 2014 yılları arasında 4 yıllık (yaklaşık 1461 gün) bir sürede çalışma yapılmıştır. Bu dönem boyunca öngörülen minimum çöküntü seviyelerinin minimum kullanılarak, sıkışma indeksinin ve konsolidasyon sabitlerinin belirlenmesinde kuyuların özellikleri (e_0 ve ortalama değerleri) kullanılmıştır.

C_p ve C_s tayini için denklem 13'ten iki denklem üretilmiştir. Bu işlem, geoteknik özellikleri bir denklem için minimum çökme ve diğeri de maksimum çökme parametresi ve değerlerine ayarlayarak yapılmıştır.

Yani;

$$S_{min} = \left(\left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log 1461 \right) * \left(\frac{\Delta e * C_c}{(e_i + 1)^2} \right) * \right) D \quad \text{minimum çökme denklemi} \quad (16)$$

$$S_{max} = \left(\left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log 1461 \right) * \left(\frac{\Delta e * C_c}{(e_i + 1)^2} \right) * \right) D \quad \text{maksimum çökme denklemi} \quad (17)$$

$C_c = 0.29 (e_0 - 0.27)$ kullanılarak C_p ve C_s için aşağıdaki yaklaşımlar elde edilmiştir;

$$C_p = -5.56647 \times 10^{-5}$$

$$C_s = 1.76063 \times 10^{-4}$$

Ayrıca $C_c = 0.43 (e_0 - 0.25)$ kullanılarak C_p ve elde edilen C_s ;

$$C_p = 5.839 \times 10^{-5}$$

$$C_s = -1.849 \times 10^{-4}$$

4.3.2. Tahminler için gün cinsinden zamanın belirlenmesi

Son olarak, C_p ve C_s 'ler konsolidasyon sabitleri ve sıkıştırılabilirlik endeksi C_c değerleri bilindiğine göre, t , zamanın bir fonksiyonu olarak kullanılarak parçacıkların gün içindeki düşey konsolidasyonu, 30 yıllık bir süre (yaklaşık 10950 gün) için bir sübsidans tahmin edilmiştir.

Pratik olarak arazi parçacıklarının tamamen birleştirilemesi mümkün değildir çünkü, parçacıkların birleştirilemesi sonsuz bir harekettir. Tahminde kullanılan C_c , C_p ve C_s , öngörülen arazi çökmesi için elde edilen değerler gerçekçi olmadığı için konsolidasyon sabitleri üzerindeki hesaplamalarında daha fazla araştırma yapılmıştır.

De Gloopper ve Ritzema (2006)'nın makalelerinde doğrudan etki, c_p , yük artışından sonraki ilk gün meydana gelen çöküşün bir kısmıdır ve c_p ve c_s 'nin yükün boyutundan bağımsız olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ancak c_p , seçilen zaman diliminde (bir gün) seküler etki, fazla su arazi profilinden boşaltılırken meydana gelen çökmenin bir kısmını temsil

etmektedir. Bu, düşük hidrolik iletkenlikleri nedeniyle, özellikle killi arazilerde çok yavaş bir işlemdir. Seküler etki, çöküntülerin süresiz olarak devam etmesine neden olacaktır.

Bu nedenle, $C_p = 1$ kullanarak ve aynı anda hem denklem 16 hem de denklem 17'de iki C_c denklemini kullanarak;

$C_s = 0,292$ ve $C_s = 0,471$ sırasıyla 14 ve 15 her iki C_c denklem için elde edilen minimum çökme değeridir. Ayrıca, $C_s = 0,3347$ ve $C_s = 0,5301$, sırasıyla 14 ve 15 her iki C_c denklem için elde edilen maksimum çökme değeri olacaktır.

Denklem 16 ve 17'deki tüm parametreler bilindikten sonra, sübidans değerleri, bireysel geoteknik parametreler kullanılarak 30 yıllık bir süre boyunca tahmin edilmiştir. EK 2'de MATLAB döngü oluşumunu 365 ila 10950 günlerinde 365 gün aralığında 30 yıl boyunca göstermektedir.

Karşılaştırma nedeniyle iki sıkıştırma endeksi denklemini kullanarak hem minimum hem de maksimum çöküntüdeki zaman periyodundaki tahminler MATLAB bilgisayar programının yardımıyla Ek 2'de verilmiştir.

4.4. Model Analizi

Dikey konsolidasyon seviyesi hesaplanabilmesi için MATLAB yazılımı üzerinde yapılan yinelemelerden; 14 ve 15 no'lu denklemler için Cc sıkıştırma endeksi için her iki denklem uygulanmaktadır. Her iki minimum ve maksimum arazi sübidansı, kullanılan iki sıkıştırma endeksi arasında anlamlı bir fark yoktur.

Bu, her iki Cc denklemini kullanarak minimum ve maksimum çöküntüye bağımlılık t-testinden onaylanmıştır. Tüm minimum ve maksimum sübidans değerlerin p değerlerinin 0,05'ten 0,4 daha büyük olduğu ve kullanılan iki Cc denklemini arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

Gözlemlenecek minimum ve maksimum çöküntü grafiği çizilmiştir ve güçlü bir R^2 değeri elde etmek için genel bir regresyon analizi yapılmıştır. Yani, doğrusal regresyon, üstel regresyon, logaritmik regresyon, polinom regresyon ve güç regresyonu kullanılmıştır. Logaritmik regresyonlar, her iki Cc vakasında da minimum ve maksimum çöküntü için $R^2=1$ olarak sonuçlanırken, diğer regresyon analizinde R^2 değerlerinin 1'den az olduğu görülmüştür. Bu nedenle, minimum seviyedeki sübidans seviyesinin hesaplanmasında logaritmik regresyon için üretilen modeli aşağıdaki denklemlerdir:

$$S(t) = 0,4787 \ln(t) + 3,146 \text{ veya}$$

$$S(t) = 0,4550 \ln(t) + 3,1781$$

Aynı şekilde, maksimum çöküntü seviyesinin hesaplanmasında, logaritmik bir regresyon için üretilen modeli aşağıdaki denklemlerdir.

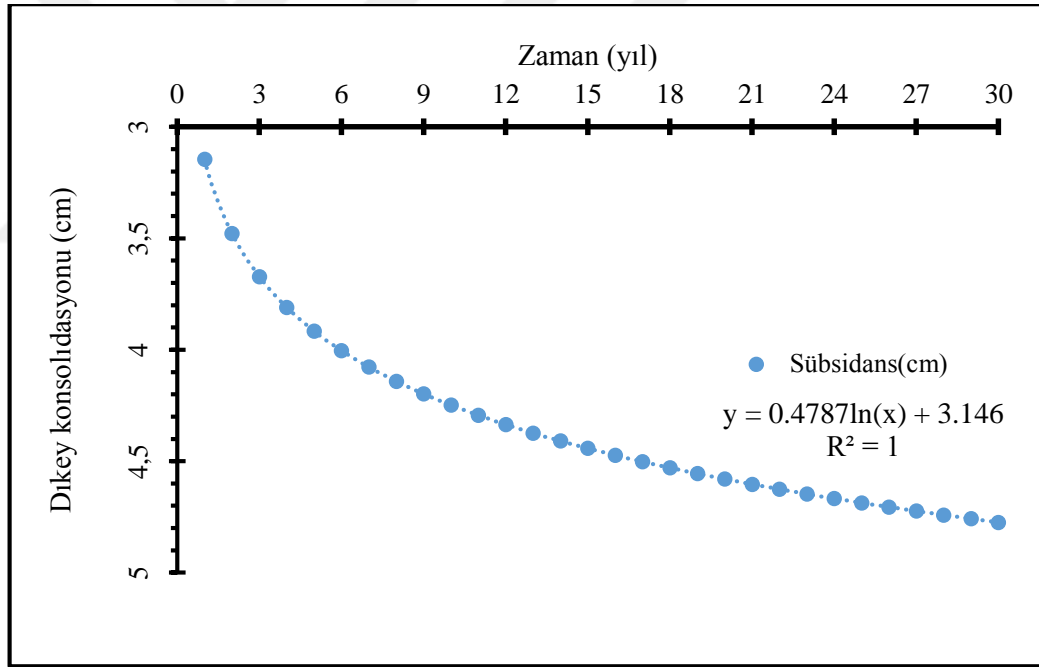
$$S(t) = 2,0145 \ln(t) + 13,438 \text{ veya}$$

$$S(t) = 1,9079 \ln(t) + 13,585$$

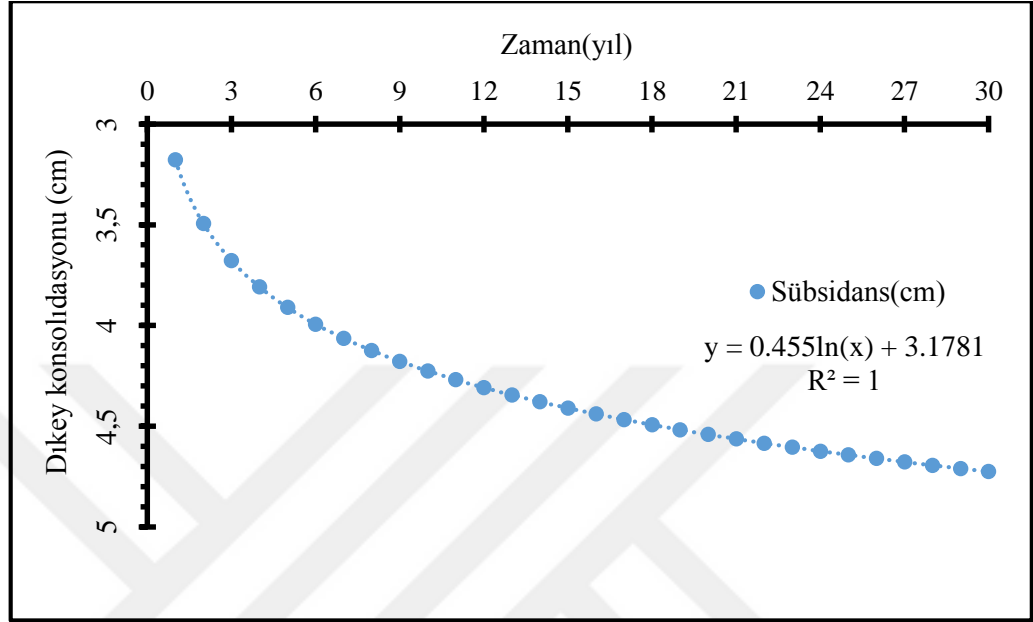
Burada; S: cm cinsinden tahmin edilecek arazi çökmesi ve t: yıl cinsinden düşey konsolidasyonun gerçekleşeceği süredir.

Modelleme denklemi türetmek için süre, yıl yerine gün olarak kabul edilmektedir. Elde edilen modelleme denklemini kullanmak için zaman fonksiyonu yıl cinsinden elde edilmiştir.

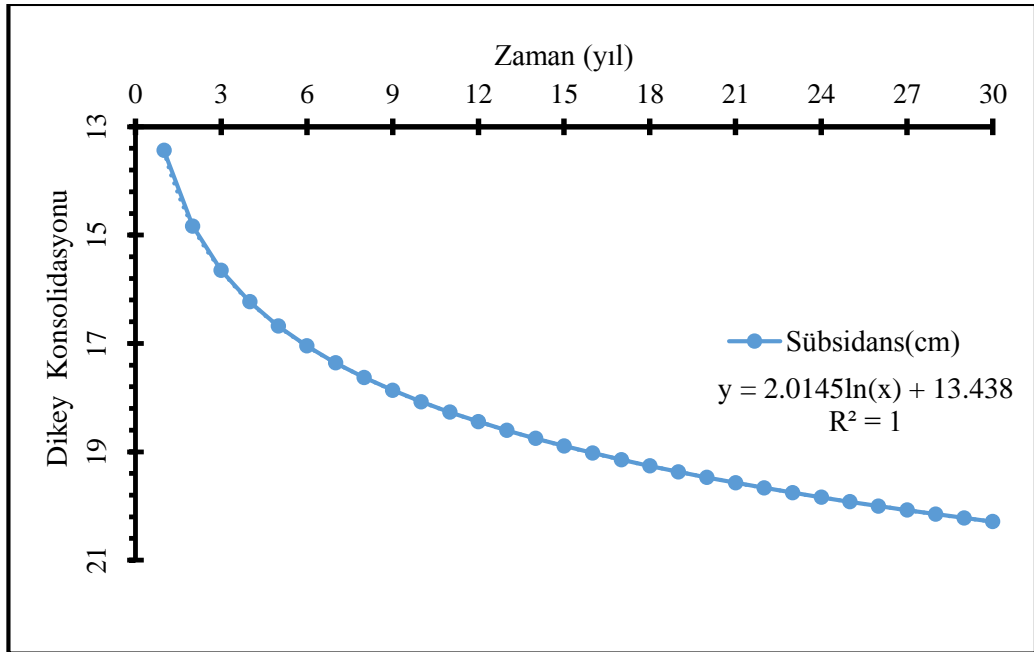
Şekil 4.1'den Şekil 4.4'e kadar periyot süresi boyunca meydana gelen öngörülen düşey konsolidasyon seviyesi (sübsidansı) grafiksel olarak gösterilmektedir.



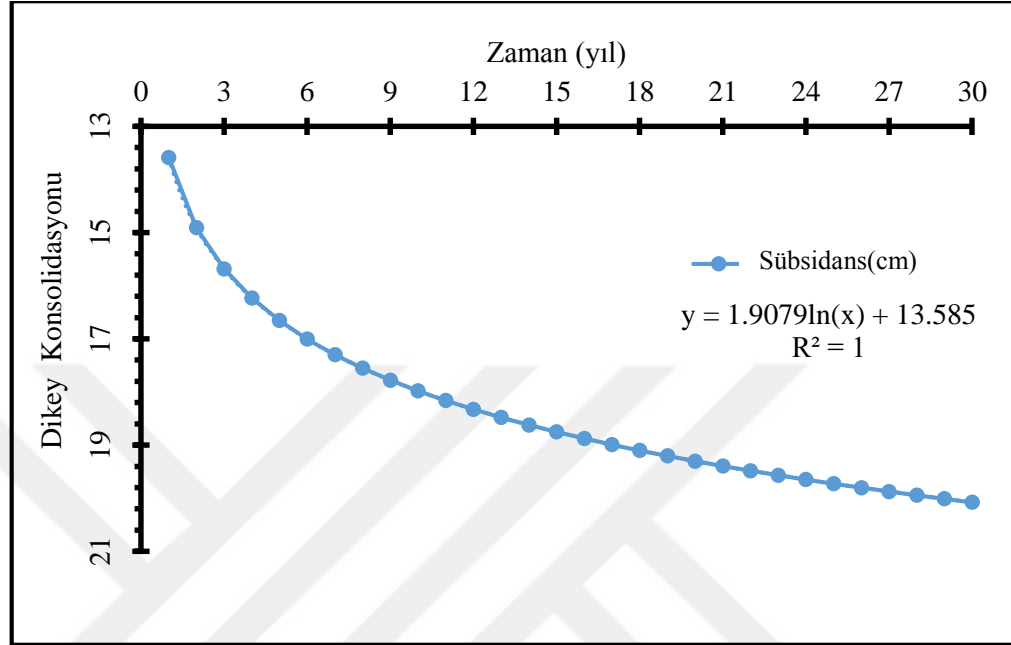
Şekil 4.1. $C_c = 0,29$ ($E_i - 0,27$) kullanılarak tahmin edilen minimum çökme



Şekil 4.2. $C_c = 0,43$ ($E_i-0,25$) kullanılarak tahmin edilen minimum çökme



Şekil 4.3. $C_c = 0,29$ ($E_i-0,27$) kullanılarak öngörülen maksimum çökme



Şekil 4.4. $C_c = 0,43$ ($E_i-0,25$) kullanarak öngörülen maksimum çökme

Şekil 4.1'den Şekil 4.4'e kadar, tüm vakalarda yıllar geçtikçe, tahmin edilen çökme miktarının arttığı gözlenmektedir. Her şeyden önce, başlangıçtaki çökmelerde yıllık bir artış vardır, ancak zamanla, istikrarlı bir artış olmakta ve bu artış daha sonra yavaşlamaktadır. Her yılın minimum sübsidansdaki ortalama değişim 0,05 cm/yıl, her yılın maksimum sübsidansdaki ortalama değişim 0,23 cm/yıl olarak gözlenmektedir.

5. TARTIŞMA

Veriler ve elde edilen çökme sonuçları 2011-2014 yılları arasında olduğu için önceki araştırma çalışmalarında Üstün vd., (2013) ve Üstün vd., (2015) tarafından elde edilen çökme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda, Üstün vd., (2013) çalışmalarında GPS yardımı ile elde edilen arazi çökmesi sonuçları, 0,2 cm ila 4 cm/yıl arasında değer almaktadır. Üstün vd., (2015) çalışmalarında GPS + InSAR metod ile veri analizi için 1 cm ila 4 cm /yıl elde edilen arazi çökmesi sonuçları elde etmişlerdir.

Yıllar için verilen aralıkta, 4 yıllık bir sürede bilinen ve incelenen çalışmalara göre ve Üstün vd., (2015)'nin minimum çökmenin dönemde 4 cm (yani, $\frac{1\text{ cm}}{\text{yıl}} * 4\text{ yıl}$) ve maksimum çökmenin dönemde 16 cm (yani, $\frac{4\text{ cm}}{\text{yıl}} * 4\text{ yıl}$) maksimum aralıkta olduğu varsayılmaktadır.

Ayrıca, ENVISAT uydu'dan elde edilen veriler, Konya şehir merkezinin üzerindeki 2003-2010 yıllar arasındaki ENVISAT verileriyle, GNSS ölçümleriyle karşılaştırıldığında, GPS istasyonlardan birinin tahmini deformasyon maksimum oranının yaklaşık 2 cm/yıl olacağını tahmin edilmektedir (Canaslan vd., 2015). Ayrıca, çalışılan yıllar ile birlikte, bize maksimum 16 cm'lik düşey bir deformasyon veya konsolidasyonla sonuçlanan 8 yıllık bir çalışma süresi vermektedir.

Bu çalışmada Terzaghi'nin 1D konsolidasyon denkleminin kullanılmasıyla yukarıdaki değerler teyit edilmiş ve MATLAB bilgisayar programının kullanılması ile en az 3,81 cm ila en fazla 16,23 cm arasında değişen bir arazi çökme seviyesi tahmin edilmiştir. MATLAB kullanılarak yapılan hesaplamalar göre, 650 m derinlik daha gerçekçi değerler üretmiştir. Elde edilen sonuçlar, Özyurt vd., (2018) tarafından kullanılan kavramsal modelleme sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Bu, 4 yıllık aynı dönem için elde edilen bir (yani 2011-2014 yılları) analizin sonucudur ve bu, yaklaşık olarak Üstün vd., (2015)'in 1,00 cm/yıl ile 4,00 cm/yıl ile uyumlu olarak 0,95 cm/yıl ile 4,06 cm/yıl aralığında bir çökme oranı ile sonuçlanmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Terzaghi'nin 1D konsolidasyon denkleminin kullanılmasıyla ve MATLAB bilgisayar programının yardımıyla KKH'daki; Selçuklu Bölgesi, Meram Bölgesi ve Karatay Bölgesi konsolidasyon deneylerinden elde edilen verilere göre, minimum sübsidans 3,81 cm iken maksimum sübsidans ise 16,23 cm'dir. Yani 3,81 cm ve 16,23 cm arasında değişen bir arazi çökme seviyesi tahmin edilmiştir. Bu yaklaşık olarak 0,95 cm/yıl ile 4,06 cm/yıl aralığında bir çökme oranını sonuçlamıştır.

Geçmişteki sübsidans, sıkışma indeksi ve konsolidasyon sabitleri ile çalışma alanı için öngörülen ve oluşturulan model uygulandığında, 2011 yılından itibaren 30 yıl sonra minimum çökme değerlerinin yaklaşık 5 cm düşey deformasyon olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca, maksimum arazi çöküntüsünün, yeraltı suyu çekilmesinin suyun akifere yeniden şarj oranı ile aynı olduğu varsayılarak 20 cm düşey deformasyon olduğu tahmin edilmektedir.

Elde edilen modelleme ile, minimum sübsidans seviyesinin tahmin edilebilmesi için aşağıdaki bağıntılar üretilmiştir:

$$S(t) = 0,4787 \ln(t) + 3,146 \text{ veya}$$

$$S(t) = 0,4550 \ln(t) + 3,1781$$

Aynı zamanda, elde edilen modelleme ile maksimum sübsidans seviyesinin tahmin edilebilmesi için aşağıdaki bağıntılar üretilmiştir:

$$S(t) = 2,0145 \ln(t) + 13,438 \text{ veya}$$

$$S(t) = 1,9079 \ln(t) + 13,585$$

Daha iyi bir çöküntü sonuçları elde edebilmesi için arazinin üç boyutlu yapısının gösterilmesi gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi için KKH alanının gözeneklilik, nem içeriği, sıkıştırılabilirlik endeksi ve alanın etkili stresi verilerinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Son olarak, konsolidasyon sabitleri de ölçülmeli ve laboratuvar deneylerinden tanımlanmalıdır. Sonuçlar daha sonra çalışma alanının belirli bir süre için arazi çökmesi eğilimini tahmin etmek için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Allis, R., Bromley, C., ve Currie, S., 2009. Update on subsidence at the Wairakei–Tauhara geothermal system, New Zealand. *Geothermics*, 38(1), 169-180.
- Anon., 2012. Graduated Guidelines for Residential Construction. [http://www.minesub.nsw.gov.au/SiteFiles/minesubnswgovau/Graduated_Guideline_New_South_Wales_Volume_1" \(PDF\). Retrieved 2012-11-19. Accessed: 25.03.19.](http://www.minesub.nsw.gov.au/SiteFiles/minesubnswgovau/Graduated_Guideline_New_South_Wales_Volume_1_(PDF).Retrieved_2012-11-19)
- Anon., 2017. Study of land subsidence due to groundwater withdrawal using SAR interferometry in Spain: past and present experiences Madrid 14th November 2017. Accessed: 18.07.18.
- Anon., 2018a. AGU Water Resources Research doi:10.1002/2014WR016841
- Anon., 2018b. Land Subsidence From Ground-Water Pumping. <https://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside>. S. A. Leake U.S. Geological Survey. Accessed: 18.07.18.
- Anon., 2018c. Mpetty1-Own work. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14698311>. Accessed: 12.07.18.
- Anon., 2019a. Linear and Non Linear Regression. <https://www.mathworks.com/help/curvefit/linear-and-nonlinear-regression.html>. Accessed: 25.03.19.
- Anon., 2019b. Modeling and Prediction. <https://www.mathworks.com/help/textanalytics/text-data-modeling.html>. Accessed: 25.03.19.
- Anon., 2019c. Predictive Analytics. <https://www.mathworks.com/discovery/predictive-analytics.html>. Accessed: 25.03.19.
- Arslan, O., 2018. Prediction of Evaporation Values of Konya Closed Basin via Developed Empirical Formula. *International Scientific Vocational Studies Journal*, 2(1), 29-38.
- Bayari, C. S., Ozyurt, N. N., ve Kilani, S., 2004. Konya Gölün'nden Konya Çölü'ne: Karbon-14 yaşları ışığında Konya Kapalı Havzası yeraltı sularının geleceği. *Yeraltı Suyunun Kullanımı, Problemler ve Çözüm Yolları*. 1. Yeraltı Suları Sempozyumu, 23-24 Aralık 2004, 19-28.
- Bayari, C. S., Ozyurt, N. N., ve Kilani, S., 2009. Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya Closed Basin, central Anatolia, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 17(2), 347-365.
- Bear, J., ve Corapcioglu, M. Y., 1981. Mathematical model for regional land subsidence due to pumping: Integrated aquifer subsidence equations for vertical and horizontal displacements. *Water Resources Research*, 17(4), 947-958.
- Bilgili, B. C., Erşahin, S., Dikmen, Ü., ve Karahan, G., 2017. Konya Kapalı Havzasında Farklı Arazi Örtülerinde Net Birincil Üretimin Jeostatistiksel Analizi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi* 3(1), 14-22.

- Biot, M. A., 1941. General theory of three-dimensional consolidation. *Journal of Applied Physics*, 12(2), 155–164. doi:10.1063/1.1712886
- Caló, F., Notti, D., Galve, J., Abdikan, S., Görüm, T., Pepe, A., ve Balik Şanlı, F., 2017. Dinsar-based detection of land subsidence and correlation with groundwater depletion in konya plain, turkey. *Remote Sensing*, 9(1), 83.
- Canaslan Comut, F., Lazecky, M., Ustun, A., ve Yalvack, S., 2015. Land Subsidence Detection in Agricultural Areas of Konya Closed Basin by PS-InSAR and GNSS Observations. Paper presented at the FRINGE 2015.
- Chai, J.-C., Shen, S.-L., Zhu, H.-H., ve Zhang, X.-L., 2004. Land subsidence due to groundwater drawdown in Shanghai. *Geotechnique*, 54(2), 143-147.
- Chatterjee, R. S., Fruneau, B., Rudant, J. P., Roy, P. S., Frison, P. L., Lakhera, R. C., ve Saha, R., 2006. Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990s as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (DInSAR) technique. *Remote Sensing of Environment*, 102(1–2), 176–185. doi:10.1016/j.rse.2006.02.006.
- Corapcioglu, M. Y., ve Brutsaert, W., 1977. Viscoelastic aquifer model applied to subsidence due to pumping. *Water Resources Research*, 13(3), 597-604.
- Cozzolino, V., 1961. Statistical forecasting of compression index, . 5th international conference on soil mechanics and foundation engineering, University Press of France, Paris, 51-53.
- De Glopper, R. J., ve Ritzema, H. P., 2006. Land subsidence. In *Drainage Principles and Applications* (Vol. 16, pp. 477-512): ILRI.
- Dirik, K., ve Erol, O., 2000. Tuz gölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi Orta Anadolu Türkiye. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı (5)*, 27-44.
- Domenico, P., ve Mifflin, M., 1965. Water from low- permeability sediments and land subsidence. *Water Resources Research*, 1(4), 563-576.
- Eren, Y., 2003. Konya Bölgesinin Depremselliği. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı (5)*, 85-98.
- Figuroa-Vega, G. E., 1984. Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal. *Studies Reports in Hydrology Case history No. 9.8*, Mexico, DF, Mexico, 40, 217-232.
- Galloway, D., ve Burbey, T. J., 2011. Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. . *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459–1486. doi:10.1007/s10040-011-0775-5
- Galloway, D., ve Riley, F. S., 1999. San Joaquin Valley, California. Land subsidence in the United States: US Geological Survey Circular, 1182, 23-34.
- Gambolati, G., 1972. A three-dimensional model to compute land subsidence. *Hydrological Sciences Journal*, 17(2), 219-226.

- Gambolati, G., ve Freeze, R. A., 1973. Mathematical simulation of the subsidence of Venice: 1. Theory. *Water Resources Research*, 9(3), 721-733.
- Gambolati, G., Gatto, P., ve Freeze, R. A., 1974. Mathematical simulation of the subsidence of Venice: 2. Results. *Water Resources Research*, 10(3), 563-577.
- Gambolati, G., Ricceri, G., Bertoni, W., Brighenti, G., ve Vuillermin, E., 1991a. Mathematical simulation of the subsidence of Ravenna. *Water Resources Research*, 27(11), 2899-2918.
- Gambolati, G., Ricceri, G., Bertoni, W., Brighenti, G., ve Vuillermin, E., 1991b. Numerical analysis of land subsidence at Ravenna due to water withdrawal and gas removal. Paper presented at the The 4 th International Symposium on Land Subsidence, Houston, TX, USA, 05/12-17/91.
- Gambolati, G., Sartoretto, F., ve Florian, P., 1992. An orthogonal accelerated deflation technique for large symmetric eigenproblems. *Computer methods in applied mechanics engineering*, 94(1), 13-23.
- Gambolati, G., ve Teatini, P., 2015. Geomechanics of subsurface water withdrawal and injection. *Water Resources Research*, 51(6), 3922-3955.
- Gambolati, G., Teatini, P., Tomasi, L., ve Gonella, M., 1999. Coastline regression of the Romagna region, Italy, due to natural and anthropogenic land subsidence and sea level rise. *Water Resources Research*, 35(1), 163-184.
- Geertsma, J., 1966. Problems of rock mechanics in petroleum production engineering. Paper presented at the 1st ISRM Congress.
- Guzy, A., Ahmed, A. W., ve Malinowska, A., 2018. Spatio-Temporal Distribution of Land Subsidence and Water Drop Caused by Underground Exploitation of Mineral Resources. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*, 18, 467-476.
- Habibbeygi, F., Nikraz, H., ve Verheyde, F., 2017. Determination of the compression index of reconstituted clays using intrinsic concept and normalized void ratio. *International Journal of GEOMATE*, 13(39), 54-60.
- Helm, D. C., 1975. One- dimensional simulation of aquifer system compaction near Pixley, California: 1. Constant parameters. *Water Resources Research*, 11(3), 465-478.
- Helm, D. C., 1976. One- dimensional simulation of aquifer system compaction near Pixley, California: 2. Stress- Dependent Parameters. *Water Resources Research*, 12(3), 375-391.
- Herrera, G., Fernández, M. Á., Tomás, R., González-Nicieza, C., López-Sánchez, J. M., ve Vigil, A. Á., 2012. Forensic analysis of buildings affected by mining subsidence based on Differential Interferometry (Part III). *Engineering Failure Analysis*, 24, 67-76.

- Herrera, G., Tomás, R., López-Sánchez, J. M., Delgado, J., Mallorqui, J. J., Duque, S., ve Mulas, J., 2007. Advanced DInSAR analysis on mining areas: La Union case study (Murcia, SE Spain). *Engineering Geology*, 90(3-4), 148-159.
- Heslop, D., 2012. An Introduction to MATLAB for Geoscientists In (pp. 161).
- Hilley, G., 2017. Using Matlab For Geological Applications. <http://arrowsmith510.asu.edu/matlab/MatLabBook.html>. Accessed: 25.03.19
- Hough, B. K., 1957. *Basic soils engineering*. New York: Ronald Press.
- Howard Perlman, U., 2018. Land subsidence, USGS Water Science School. Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/earthgwlandsubside.html>. 18.06.18
- Jacob, C. E., 1940. On the flow of water in an elastic artesian aquifer. American Geophysical Union.
- Jacob, C. E., 1950. Flow of ground water. In: Rouse H (ed), *Engineering hydraulics. Proceedings of the Fourth Hydraulics Conference*, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, IW.
- Kang, D., ve Li, J., 2015. 3-D land subsidence simulation using the NDIS package for MODFLOW. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 372, 437-442.
- Kaveh, A., Hassani, B., Shojaee, S., ve Tavakkoli, S. M., 2008. Structural topology optimization using ant colony methodology. *Engineering Structures*, 30(9), 2559-2565.
- Keverling Buisman, A. S., 1940. *Grondmechanica, new. Kloppe, J.: "Toegepaste Mechanica, Deel IV," Delft, The Netherlands*, 70, 110.
- Koçyiğit, A., 2009. Konya Bölgesinin Depremselliği: 10-11 Eylül 2009 Konya depremlerinin kaynağı ve yapılması gerekenler. *TUJK Deformasyon Analizi Çalıştayı*, 11-13 Kasım 2009. Konya.
- Koppejan, A. W., 1948. A formula combining the Terzaghi load compression relationship and the Buisman secular time effect. *Proc. 2nd ICSMFE, Rotterdam*, 3, 32-37.
- Leake, S., 1990. Interbed storage changes and compaction in models of regional groundwater flow. *Water Resources Research*, 26(9), 1939-1950.
- Leake, S., ve Galloway, D. L., 2007. MODFLOW Ground-Water Model-User Guide to the Subsidence and Aquifer-System Compaction Package (SUB-WT) for Water-Table Aquifers (2328-7055). Retrieved from
- Leake, S., ve Prudic, D. E., 1991. Documentation of a computer program to simulate aquifer-system compaction using the modular finite-difference ground-water flow model. US Department of the Interior, US Geological Survey Report, USA.
- Lewis, R. W., ve Schrefler, B., 1978. A fully coupled consolidation model of the subsidence of Venice. *Water Resources Research*, 14(2), 223-230.
- Lofgren, B. E., ve Klausning, R. L., 1969. Land subsidence due to ground-water withdrawal, Tulare-Wasco area, California (Vol. 437): US Government Printing Office.

- McCann, G. D., ve Wilts, C. H., 1951. A mathematical analysis of the subsidence in the Long Beach-San Pedro Area.
- McGarrity, S., 2019. Publishing MATLAB Code from The Editor. Retrieved from <https://www.mathworks.com/videos/publishing-matlab-code-from-the-editor-101570.html>. 25.03.19
- McNamee, J. O. H. N., ve Gibson, R. E., 1960. Displacement functions and linear transforms applied to diffusion through porous elastic media. *The Quarterly Journal of Mechanics Applied Mathematics*, 13(1), 98-111.
- Nalbantçılar, M. T., Arık, F., ve Diken, A., 2009. Konya Kapalı Havzası'nın Mevcut Sorunları ve Çözüm Önerileri. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Haber Bülteni*, 78-81.
- Okay, A., ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B, Jolivet L, Horvath F, Seranne M (eds.) *The Mediterranean basins: tertiary extensions within the Alpine Orogen*. *Geological Society*(156), 475–515. doi:10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22
- Ortiz- Zamora, D., ve Ortega- Guerrero, A., 2010. Evolution of long- term land subsidence near Mexico City: Review, field investigations, and predictive simulations. *Water Resources Research*, 46(1).
- Osmanoğlu, B., Dixon, T. H., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E., ve Jiang, Y., 2011. Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR. *International Journal of Applied Earth Observation*, 13(1), 1–12. doi:10.1016/j.jag.2010.05.009.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Sentürk, K., Uysal, S., ve Işık, A., 1990. Konya-Kadınhanı-İlgin dolayının temel jeolojisi. *Teknik Rapor: Rapor No: 9535, MTA, Ankara*.
- Özsayın, E., Çiner, T. A., Rojay, B., Dirik, R. K., Melnick, D., Ferná'ndez-Blanco, D., Bertotti, G., Schildgen, T. F., Garcin, Y., Strecker, M. R., ve Sudo, M., 2013. Plio-Quaternary extensional tectonics of the Central Anatolian Plateau: a case study from the Tuz Gölü Basin, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 22, 691-714.
- Özyurt, N. N., Avcı, P., ve Bayarı, C. S., 2018. Using Groundwater Flow Modelling for Investigation of Land Subsidence in the Konya Closed Basin (Turkey). In *Handbook of Research on Trends and Digital Advances in Engineering Geology* (pp. 569-590): IGI Global.
- Roberts, N., 1983. Age, palaeoenvironments, and climatic significance of late Pleistocene Konya Lake, Turkey. *Quaternary research*, 19(2), 154-171.
- Schiffman, R. L., Chen, A., ve Jordan, J. C., 1969. An analysis of consolidation theories. *Journal of Soil Mechanics. Foundations Div*.
- Schofield, A., ve Wroth, P., 1968. *Critical state soil mechanics* (Vol. 310): McGraw-Hill London.

- Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., ve Gonella, M., 2006. Groundwater pumping and land subsidence in the Emilia- Romagna coastland, Italy: Modeling the past occurrence and the future trend. *Water Resources Research*, 42(1).
- Teatini, P., Gambolati, G., ve Tosi, L., 1995. New three-dimensional nonlinear model of the subsidence at Venice. *International Association of Hydrological Sciences, Publication(234)*, 353-361.
- Teatini, P., Tosi, L., ve Strozzi, T., 2011. Quantitative evidence that compaction of Holocene sediments drives the present land subsidence of the Po Delta, Italy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B8).
- Terzaghi, K., 1923. The calculation of the permittivity of the tone from the course of the hydrodynamic phenomena of tension. *Meeting reports of the Academy of Sciences in Vienna, Mathematical-Scientific Class, Division Ila*, 132 (3-4), 125-138.
- Terzaghi, K., Peck, R., ve Mesri, G., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- Üstün, A., Özkan, İ., Bildirici, İ. Ö., Tuşat, E., Üstüntaş, T., Eren, Y., ve Özdemir, A., 2014. Konya Kapalı Havzasında Zemin Çökmelerinin Jeodezik Yöntemlerle İzlenmesi ve Nedenlerinin Araştırılması. TÜBİTAK Proje No: 110Y121.
- Üstün, A., Tuşat, E., ve Abbak, R. A., 2007. Konya Kapalı Havzasında Yeraltı Suyu Çekilmesi ve Olası Sonuçlarının Jeodezik Yöntemlerle İzlenmesi. 3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24-26 Ekim 2007, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Üstün, A., Tuşat, E., Yalvaç, S., Özkan, İ., Eren, Y., Özdemir, A., Bildirici, İ. Ö., Üstüntaş, T., Kırtıloğlu, O. S., ve Mesutoğlu, M., 2015. Land subsidence in Konya Closed Basin and its spatio-temporal detection by GPS and DInSAR. *Environmental Earth Sciences*, 73(10), 6691-6703.
- Willingham, D., 2019. Predictive Modeling Using Machine Learning - A Mining Case Study. MathWorks. Retrieved from <https://www.mathworks.com/videos/predictive-modeling-using-machine-learning-a-mining-case-study-95582.html>. 25.03.19
- Yavuz, S., 2010. Konya-Karapınar Havzası Karstik Özelliklerinin Belirlenmesinde Hidrojeolojik Parametrelerin Kullanılması. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Zhou, A., Li, Z., Yin, C., ve Yuan, Y., 2015. State-of-the-art in the Study of Urban Land Subsidence. Paper presented at the 3rd International Conference on Management Science, Education Technology, Arts, Social Science and Economics.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmed Wedam AHMED, 5 Nisan 1994 Gana'da doğmuştur. 2015 yılında Gana'nın Tarkwa şehrinde, Maden ve Teknoloji Üniversitesi, Maden Kaynakları ve Teknolojileri Fakültesi, Petrol Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Mezun olduktan sonra, Nestle Central and West Africa şirketinde Teknik Departman ile bir yıl boyunca Operasyon ve Endüstriyel performans müdürü asistanı olarak görev yaptı. 2016 yılında Türkiye Cumhuriyeti tarafından yabancı uyruklular için sağlanan Devlet Bursu kapsamında, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Genel Jeoloji Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.