

| | | | |
|---|---|--|---|
|  | SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i> | |  |
| | e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr | | |
| | <u>Geliş/Received</u> 18.11.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 27.03.2018 | <u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.355508 | |

Radyoaktif jeofizik kuyu logu verileri ve rezerv değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesi

Hakan Akgül¹, Eray Yıldırım^{*2}, Hasan Karaaslan³, Can Karavul⁴

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, radyoaktif jeofizik kuyu logu araştırmalarından elde edilen Uranyum, Toryum, Potasyum ve Gamma-Ray verileri ile laboratuvar çalışmaları neticesinde hesaplanan Uranyum rezerv miktarları arasındaki ilişkilerin incelenmesidir. Çalışmada kullanılan veriler Nevşehir ili sınırları içerisinde toplanmış olup, toplam 34 sondaj çalışmasından karot alınarak elde edilmiştir. Bu karot numuneler laboratuvar ortamında incelenerek rezerv miktarının belirlenmesine yönelik fiziksel parametreler elde edilmiştir. Kuyu logu ve laboratuvar verilerine toplamda 38 olmak üzere basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda her bir model için belirleme katsayısı (R^2), standart hata miktarları gibi istatistiksel değerler hesaplanmış ve Uranyum değerinin ve rezerv miktarının kestirimine yönelik olarak ampirik bağıntılar önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uranyum, Jeofizik Kuyu Logu, Spektral Gamma-Ray, Uranyum Rezerv Hesabı, Nadir element

Statistical investigation of the relationship between radioactive geophysical well-log datas and reserve values

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the relationship between the uranium reserve amounts of the laboratory results and Uranium, Thorium, Potassium and Gamma-Ray datas from the geophysical well logs. The data used in the study were collected in the Nevşehir province and obtained by taking cores from 34 drilling works. From the examination of these core samples, the physical parameters for determining the amount of the reserve were obtained. In total, 38 simple and multiple regression analyses were performed with the data of well logs and laboratory. With the regression analyses, the statistical values such as coefficient of determination (R^2), standard error were calculated for each model and the empirical equations were suggested for the estimation of the uranium value and the amount of the reserve.

Keywords: Uranium, Geophysical Well Logs, Spectral Gamma-Ray, Uranium Reserve Calculation, Rare Elements

* Corresponding Author

¹ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, hknkg1_06@hotmail.com

² Bursa Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, eray.yildirim@btu.edu.tr

^{3,4} Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, hkaraaslan@sakarya.edu.tr, karavul@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde enerjiye bağımlılığımız her geçen gün giderek artmakta ve enerji hammaddelerindeki çeşitlilikler ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda enerji hammadde arama yöntemleri günden güne gelişmektedir. Bu yöntemlerden biri olan sondaj kuyusundan alınan jeofizik log araştırmalarının oldukça yüksek tahmin gücüne sahip olması yöntemin geçerliliğini ve uygulama yoğunluğunu arttırmakta ve hammadde aramalarında ön plana çıkartmaktadır. Türkiye’de Uranyum aramaları MTA (Maden Tetkik Arama) tarafından aktif olarak başlatılmış olup, günümüzde de halen devam etmektedir. Özellikle son yıllarda bu aramalar ülkenin enerji ihtiyacından dolayı büyük bir hız kazanmıştır. Yapılması düşünülen nükleer santrallere hammadde sağlamak için başta MTA Genel Müdürlüğü olmak üzere sektörde arama çalışmaları genişletilmiştir.

Uranyum aramaları, oldukça detaylı olarak planlanmakta ve arama çalışmalarında başlıca havadan-karadan prospeksiyon, detaylı jeoloji, sondaj ve akabinde kuyu logu çalışmaları kullanılmaktadır. Türkiye de en önemli Uranyum hammadde yatakları Manisa, Uşak, Yozgat, Çanakkale, Giresun, Aydın, Rize ve Nevşehir illerinde bulunmaktadır. Türkiye’de uranyum aramaları oldukça eski zamanlara dayanmakta olup bu çalışmalara Kaplan 1945 yılında Uşak Eşme bölgesi ve Zeschke 1953 yılında Niğde Bolkardağ mevkiinde yapılan çalışmaları örnek olarak gösterebiliriz [1] [2]. Nevşehir ve çevresinde, Yasak 1958 yılında Orta Anadolu’da havadan radyoaktif mineral arama [3], Çetintürk 1961 yılında Arafa-Göynük-Alacaşar (Nevşehir) bölgelerinde radyoaktif mineral arama [4] ve Uçakcıoğlu 1987 yılında Nevşehir-Gülşehir civarında radyoaktif mineral arama [5] çalışmaları neticesinde muhtemel radyoaktif mineral sahaları tespit etmişlerdir.

Dünya’da gerçekleştirilen uranyum aramalarının birçoğunda jeofizik yöntemler birlikte kullanılarak sonuca gidilse de bu çalışmaların çoğunda kullanılan ana yöntemlerin başında radyoaktivite kuyu logları gelmektedir. Ayrıca kuyu logu çalışmalarında istatistiksel analizler kullanılması verilerin değerlendirilmesinde oldukça fayda sağlamaktadır. Radyoaktif jeofizik kuyu logu ve istatistik çalışmalarına örnek olarak şu çalışmalar gösterilebilir: Mwenifumbo ve diğerleri 2004 yılında Kanada’ da 11 kuyuda loglar almış ve bunları diğer jeofizik yöntemlerle beraber

değerlendirerek cevher bulundurabilecek jeolojik zonları belirlemişlerdir [6]. Asfahani ve diğerleri, 2012 yılında Suriye’de uranyum radyoaktivite zonlarını belirleme amacıyla havadan gamma spektrometrik verisi almışlar ve bu veriye istatistiksel analiz uygulamışlardır [7]. Gaafar 2015 yılında Mısır’da yaptıkları gamma-ray spektrometre ölçümlerini elektromanyetik yöntemlerin sonuçlarıyla beraber değerlendirmiş ve çalışma alanında cevher barındırabilecek kırıklı zonları tespit etmişlerdir [8]. Asfahani ve diğerleri 2016 yılında Suriye’de aldıkları havadan gamma-ray spektrometre verisi ve istatistiksel analiz ile uranyum cevherinin taşınma ve göçünü izlenmişler ve bunları yerel jeoloji ile ilişkilendirmişlerdir [9].

Regresyon analizi, bir araştırma sonrasında elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi matematiksel modellerle belirlemek ve bu modelleri kullanarak çalışma konusuyla ilgili kestirimler yapabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Yöntem gözlenmiş veriye matematiksel modelin uyumunu sağlamak için farklı birçok disiplinde araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Yer bilimlerinde kullanımına örnek olarak deprem tehlike analizi, eğri çakıştırma, veri gruplarını karşılaştırma, geoteknik parametreler için amprik bağıntılar elde etme gibi birçok alan sayılabilir. Utkucu ve diğ. 2005, regresyon analizi ile Düzce depreminin artçı deprem etkinliğini incelemiş ve etkinliğin farklı zaman aralıklarındaki durumlarını kabuktaki gerilmeye ilişkilendirmişlerdir [11]. Sal 2010, ikinci dereceden deprem bölgesinde yer alan Eskişehir ilinde hem sismik hızlardan hem de geoteknik yollardan elde ettikleri parametreleri regresyon analizleri kullanarak karşılaştırmışlardır [12]. Kartal ve diğ. 2014, regresyon analizlerini kullanarak Mersin ilinin deprem tehlike analizleri için bağıntılar geliştirerek tahminlerde bulunmuşlardır [13].

Bu çalışma, Nevşehir İli sınırları içerisinde Uranyum rezervinin tespitine yönelik olarak yapılan kuyu jeofiziği çalışmaları ile laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelenmesi ve ampirik bağıntıların geliştirilmesi üzerine planlanmıştır. Çalışma konusu olan sahanın seçiminde, saha çalışmasının son yıllarda yapılmış olması, sondaj sayısının fazla olması ve aramaların sistematik bir şekilde yapılması gibi nedenler etkili olmuştur. Sahada ve laboratuvarında elde edilen verilere yapılan istatistiksel analizler neticesinde uranyum

kuyu ölçüm değerinin ve uranyum rezerv miktarının kestirimi için modeller oluşturularak en uygun modeller belirlenmiştir.

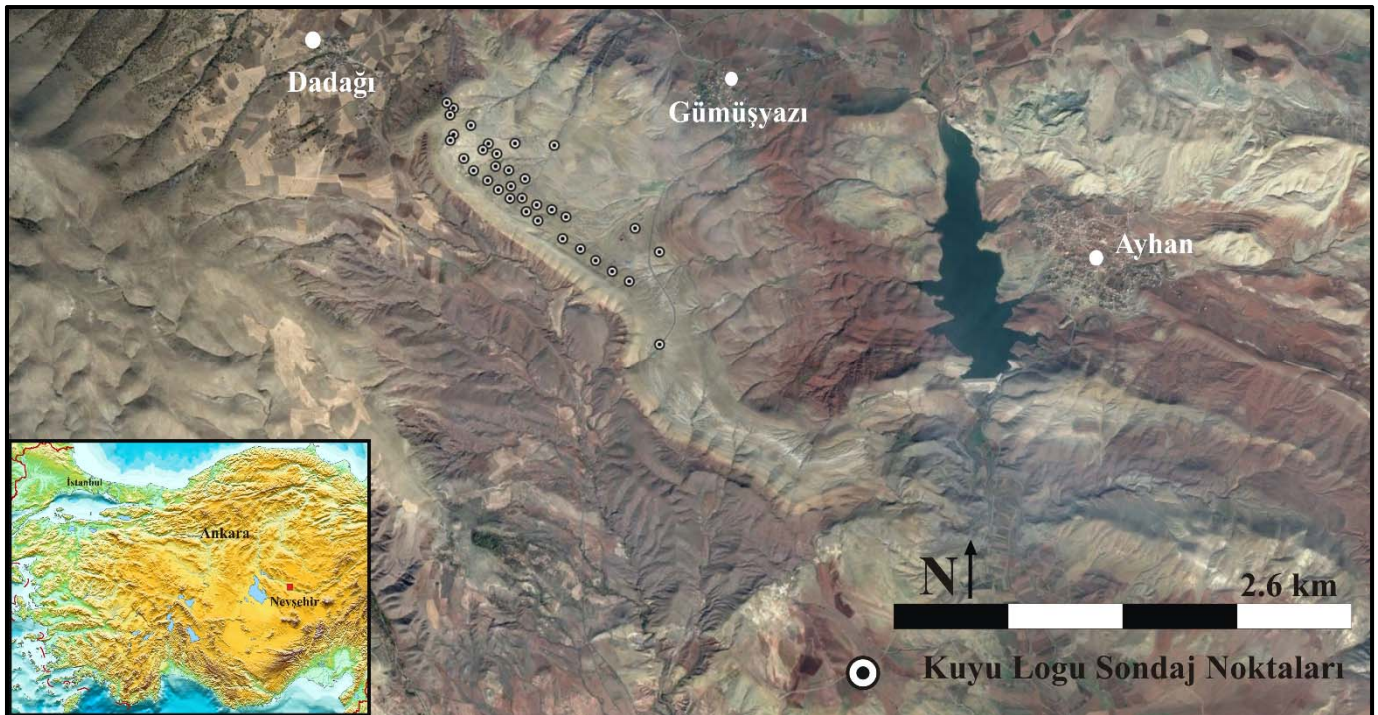
2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ VE TEKTONİĞİ (GEOLOGY AND TECTONICS OF STUDY AREA)

Uranyum rezerv tespitinin yapıldığı ve bu çalışmada kullanılan verilerin elde edildiği çalışma alanı, Nevşehir ili Avanos ilçesi civarında olup yaklaşık 4500 hektarlık bir alana sahiptir. Çalışma alanı Nevşehir il merkezine yaklaşık 24 km uzaklıkta olup Gülşehir ilçesine ise yaklaşık 8 km mesafede bulunmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı ve çevresinde çok yoğun tektonik ve volkanik hareketler meydana gelmiştir. Tektonik olarak bölge, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu ve Bitlis Zagros kenet kuşağından oluşan üç litosferik çarpışma bölgesi ile çevrilidir.

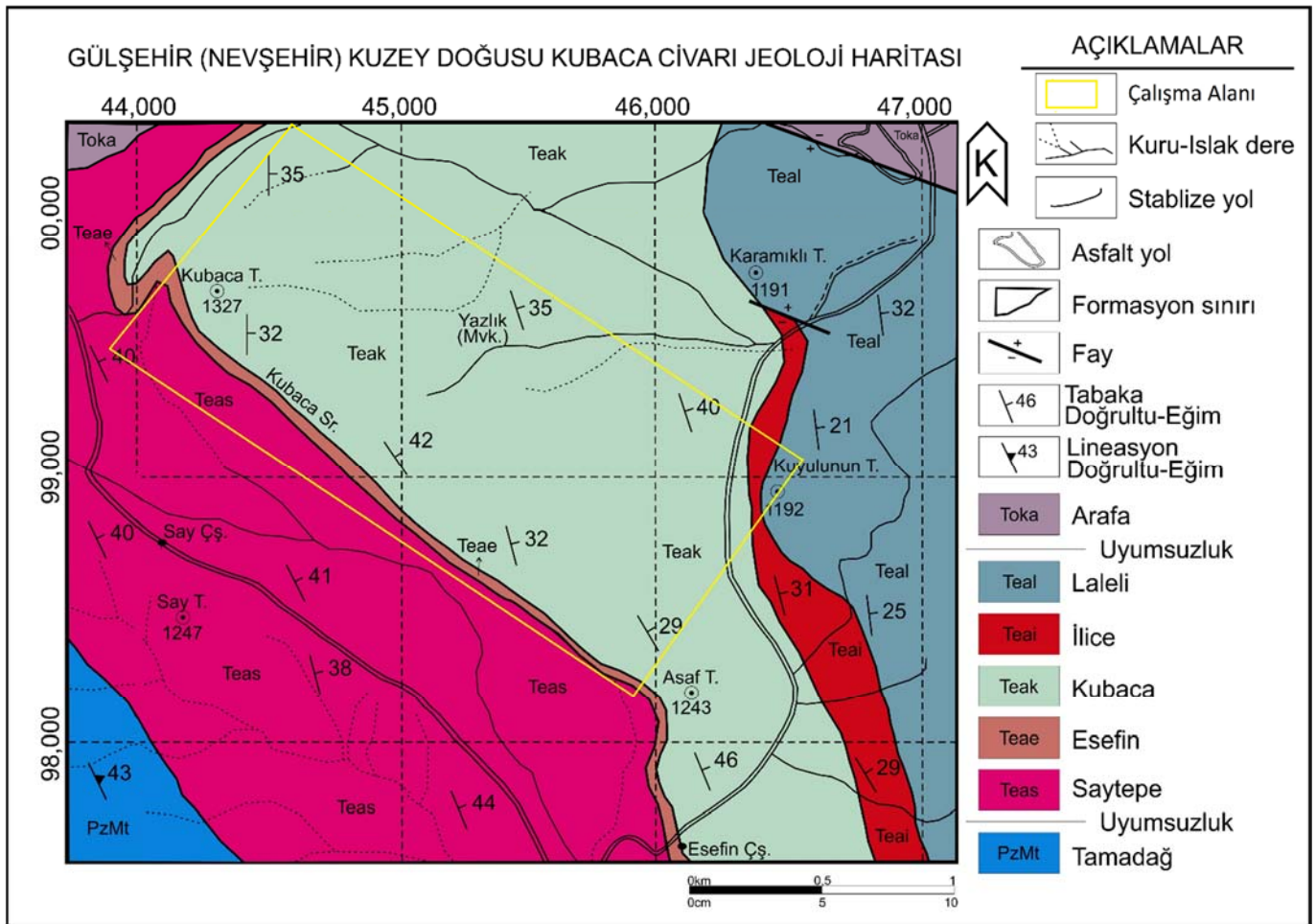
Orta Anadolu volkanik bölgesi, Türkiye'nin en önemli volkanik provenslarından birisi olup KD – GB doğrultulu, genişliği 100-150 km, uzunluğu ise 250 – 300 km arasındadır [14]. Bölge Tuz Gölü Fayı ve Ecemiş Fayı etkisinde kalmış ve bu iki kırık sistemiyle ayrılmıştır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde bahsi geçen tektonik hareketler sonucu çeşitli faylar meydana gelmiştir. Bunlara örnek Derinkuyu Fayı, Gümüşkent Fayı sayılabilir.

Ayrıca bölgede açılma çatlak sistemleri mevcut olup meydana gelen kırık sistemlerinin büyük bir kısmı volkanizma ile oluşan yapıların altında gömülü olarak bulunmaktadır [15] [16].

Çalışma sahasının temel kayaçları olarak nitelendirebileceğimiz birimler Paleozoyik yaşlı olan Tamadağ ve Bozçaldağ Formasyonudur. Tamadağ Formasyonu paleozoyik yaşlı şist, mermer, fillat ve kalkşit ardalanmalarından oluşmakta ve her iki formasyonun da tahmini kalınlığı yaklaşık 350 metre olup bu birimlerin üzerinde Ayhan formasyonu, Altıpınar formasyonu ve Paleosen yaşlı kayaçlar yer almakta, üst birimlerde ise Neojen yaşlı Yüksekli ve Kızılöz formasyonları bulunmaktadır. Alttaki birimlerle uyumsuz olan Ayhan Formasyonu kıyı akarsu ve göl çökellerinden oluşmakta ve Lütisyen öncesi yaşlı olarak kabul edilmektedir. Ayhan formasyonu kırmızı renkte çamurtaşı, kumtaşı ve silttaşı içeren Kızılöz Formasyonu ise Oligosen yaşlı olup Ayhan Formasyonu' nun üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. En üstte ise Üst miyosen yaşlı Yüksekli Formasyonu olup göl ortamı çökellerinden oluşmaktadır [15] [17] [18] [19] [20]. Şekil 2'de çalışma alanının ayrıntılı jeolojik haritası görülmektedir. Şekil 2'de görülen Laleli, İlice, Kubaca, Esefin ve Saytepe üyeleri Ayhan formasyonu içerisinde tanımlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası. (Location maps of the study area.)



Şekil 2. Çalışma alanı jeolojisi (Geology map of the study area) [21]

3. METOT (METHOD)

Çalışma saha-laboratuvar ve istatistiksel analiz olmak üzere iki aşamalıdır. MTA tarafından yürütülen projede saha çalışmasında ilk etapta detaylı jeolojik araştırmalar yapılarak sahanın genel jeolojisi ortaya konmuş ve jeolojik istif belirlendikten sonra yüzeyden doğal radyoaktif aramalarına yönelik Gamma-Ray spektrometre cihazı kullanılarak jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Jeofizik yöntemin anomali verdiği yerlerde yarma ve karotlu sondaj yapılmasına karar verilmiştir. Sondaj nihai derinliğine ulaştığında sonlandırılıp jeofizik kuyu logu ölçüsüne hazır hale getirildikten sonra Natural Gamma Ray Spektroskopi cihazı bir vinç yardımıyla sondaj kuyusuna, içinde veri akışını sağlayabilecek bir çelik halat vasıtasıyla sarkıtılıp ölçü alınmaktadır. Cihaz yüzey sistemiyle istenilen hızda, istenilen seviyelerde ve istenilen aralıklarda bilgisayar programları (Warrior, Altlogger vb.) aracılığıyla ölçü alınmaktadır. Ölçü başlamadan önce cihaz kalibre edildiği takdirde count, API, %, ppm vs değerlerini alma olanağını sunabilmektedir. Cihazın kalibrasyonu

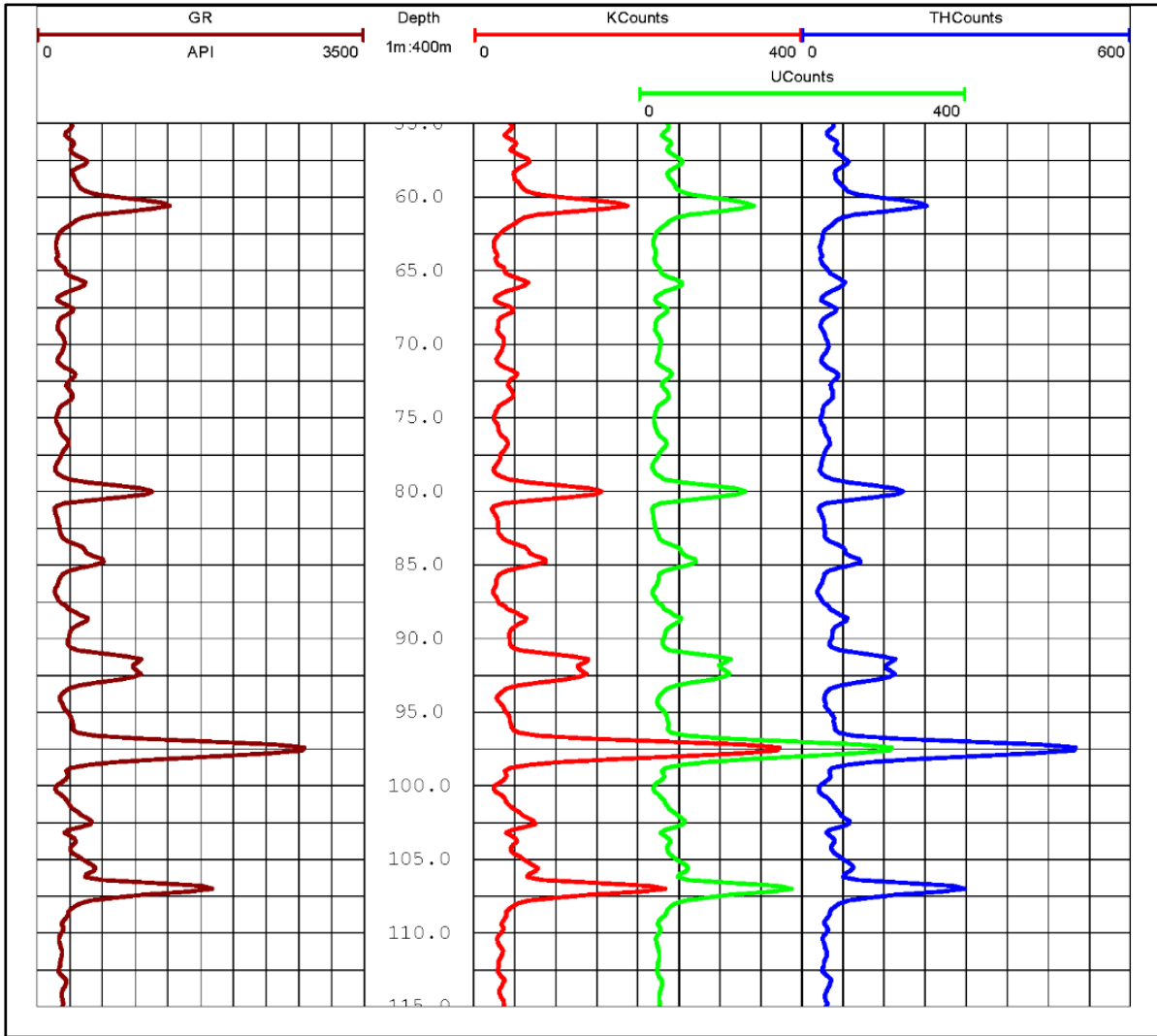
için hemen hemen her ölçü öncesinde sahada özel olarak hazırlanmış belirli aralıklarla yarı ömrü ve fiziksel parametreleri bilinen radyoaktif kaynaklar yerleştirilmiş bir kuyudan kalibre edilmesi gerekmektedir. MTA arama sondajı yaptığından dolayı bu iş hem maddi bir yükümlülük hem de zaman kaybı getireceğinden dolayı, veri görünür bir değer olan count cinsinden alınmaktadır. Alınan ölçüler dijital ortamda bir bilgisayar programı (Wellcad) kullanılarak işlenip kullanılmaya hazır hale getirilmektedir. Elde ettiğimiz ölçü ışığında radyoaktif element seviyeleri belirlenir.

Belirlenen seviyelerden alınan numuneler ve yarma işleminden alınan numuneler laboratuvar koşullarında analiz edilmiş ve rezerv hesabı yapılmıştır. MTA tarafından yürütülen Nevşehir-Yeşilöz uranyum projesinde, toplam ilerlemesi 6060,20 m olan 34 adet karotlu sondaj gerçekleştirilmiştir. Bu karotlu sondajlardan ve yapılan altı adet yarmadan 327 adet kimyasal amaçlı numune, 3 adet minerolojik-petrografik amaçlı, 2 adet XRF (X-Ray Floresans) spektrometre amaçlı, 4 adet XRD (X-Ray Difraktometresi) amaçlı numune olmak üzere 336

adet numune alımı gerçekleştirilmiştir. Sondaj kuyularında ayrıca toplam 5955,80 m Spektral Gamma-Ray ölçümü ve alınan karotların detaylı jeolojik determinasyonları yapılmıştır. Sahalarda toplam 70 m³ hacimli altı adet yarma gerçekleştirilmiştir. Bu sahalarda toplam 326 noktada Gamma Ray Spektrometre ölçümü yapılmıştır.

Kuyu logu, açılan sondaj kuyularının derinliğin fonksiyonu olarak bir takım fiziksel özelliklerin (gözeneklilik, yoğunluk, doygunluk, eğim kalınlık, litoloji vs.) çeşitli aletlerle ölçülerek kuyu veya kuyu çevresinde bulunan formasyonlar için bilgi toplanması olarak tarif edilebilir. Teknolojinin gelişmesiyle kuyu içi ve çevresi için çok çeşitli kimyasal ve fiziksel özellikler (radyoaktivite, öz direnç, ses dalgası, kuyu çapı, zemin veya kaya birimlerin mühendislik

özellikleri vb.) ölçülebilmektedir. Kuyu log çalışmalarında alınan bu ölçülerin bazıları borulu bazıları da çıplak kuyulardan alınmaktadır. Çalışma sahasında borulu kuyularda toplamda 34 adet Spektral Gamma-Ray (GR) ölçüsü alınmıştır. Ölçüler kuyu tabanından yüzeye doğru 2 m/s hızıyla alınmaya çalışılmıştır. Alınan veriler proses yapılarak Şekil 3’de örnek görsel olarak verilmiştir. Şekilde Gamma Ray (GR), Uranyum (UCount)), Toryum (THCount) ve Potasyum (KCount) üste anlatılan cihaz yardımıyla alınmaktadır. Cihazın çalışma prensibi, formasyondan gelen gama ışınlarını enerjilerine göre ayırarak formasyondaki potasyum (K), uranyum (U), toryum (Th) ve toplam gamma (GR) miktarları ölçer. Formasyonda bulunan potasyum, toryum ve uranyum gibi radyoaktif elementlerin yayımladıkları Gama ışınlarının enerjisi, o elementlerin saptanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3. İnceleme alanında alınmış kuyu logu örneği [21]. Kahverengi çizgi Gamma-Ray (GR), kırmızı Potasyum (K Counts) değerini, yeşil Uranyum (U Counts) değerini ve mavi renk ise Toryum (TH Counts) değerini göstermektedir. Ayrıca düşey yönde değişen sayısal değerler derinliği, yatay yönde değişen değerler de ölçü skalasını göstermektedir. (Well-log example from the study area. The brown line shows Gamma-Ray (GR), red line shows Potassium (K Counts) value, green line shows Uranium (U Counts) value and blue line shows Thorium (TH Counts). Also the values in the vertical direction shows depth and the horizontal values shows the measurement scale.)

4. VERİLER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ (ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DATA)

Bu çalışmada radyoaktif jeofizik kuyu logu ölçümlerinden elde edilen uranyum, toryum, gamma-ray ölçüm verileri ile karot numunelerinden elde edilen kalınlık ve uranyum rezerv miktarı verileri kullanılmıştır. Bu veriler arasındaki ilişkiler bir belirli fonksiyon ile tanımlanacak nitelikte değildir. Buna rağmen ilgili veriler arasında fonksiyonel olmayan bir bağıntının çıkarılması uygulama da oldukça faydalı olabilmektedir. Bu bağıntı sayesinde var olan veya sonradan elde edilebilecek verileri kullanarak bağımlı değişkenleri tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Bu tahmin neticesinde elde edilen değer gerçek değeri kesin olarak sağlamamasına karşın en yakın tahmin değerini sunmaktadır. Bu çalışmada ilgili veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkileri kullanarak uranyum ve uranyum rezerv miktarı ile ilgili kestirimler ya da tahminler yapabilmek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi ile veriler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlenmekte ve aralarında ilişki bulunuyor ise regresyon denklemi elde edilmektedir. Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin matematiksel bir model ile açıklanması işlemidir. Bu model regresyon modeli olarak isimlendirilmektedir. Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon analizleri ile incelemek mümkündür. Bu çalışmada ilgili değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal regresyon analizleri ile irdelenmiştir. Doğrusal regresyon analizini basit regresyon analizi (bir bağımlı ve bir bağımsız değişken) ve çoklu regresyon analizi (bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişken) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Regresyon analizinde bağımsız değişken sayısının bir tane olması halinde basit regresyon analizi yapılabilmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler grafik üzerinde birer nokta şeklinde gösterilerek serpilme diyagramları oluşturulmaktadır. Genellikle bağımlı değişken Y, bağımsız değişken ise X ile ifade edilmekte ve serpilme diyagramı, düşey eksen Y, yatay eksen ise X alınarak çizilmektedir. Bağımlı değişken regresyon modelinde tahmin edilen değişken olup açıklanan değişkendir. Bağımsız değişken ise açıklayıcı değişken olup bağımlı değişkenin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bağımlı

değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon modeli Denklem 1’de verilmiştir. Çoklu regresyon basit regresyona çok benzemekte olup aralarındaki temel fark bağımsız değişken sayısının çoklu regresyonda birden fazla olmasıdır. Çoklu regresyon için regresyon modeli Denklem 2’de görülmektedir.

$$Y = B_0 + B_1X \quad (1)$$

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots B_kX_k \quad (2)$$

Burada, Y bağımlı değişkeni, X değerleri ise bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. B_0 değeri sabit olup $X=0$ olduğunda Y’nin aldığı değeri (Regresyon doğrusunun Y eksenini kestiği başlangıç değeri) ve $B_1, B_2, B_3, \dots, B_k$ değerleri ise tahmin değişkenlerinin katsayılarını göstermektedir.

Oluşturulan regresyon denkleminin ne derece iyi bir tahminleyici olduğunu belirlilik katsayısı (R^2) ile ifade edilmektedir. Yani regresyon modellerinde bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanma derecesinin bir göstergesidir. Belirlilik katsayısı 0 ile 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$) arasında değerler almaktadır. $R^2 = 1$ olduğunda bağımlı değişkenin bağımsız değişken(ler) tarafından açıklanabileceği, $R^2 = 0$ olduğunda ise bağımlı değişkenin bağımsız değişken(ler) tarafından açıklanamayacağı kabul edilmektedir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada uranyum ve uranyum rezerv miktarlarının tahminine yönelik olarak tekli (basit regresyon) ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Uranyum ve uranyum rezerv değerleri bağımlı değişken olarak alınmıştır. Uranyum değerinin tahminine yönelik olarak oluşturulan regresyon modellerinde bağımsız değişken olarak GR, K ve Th değerleri, uranyum rezerv miktarının tahminine yönelik olarak oluşturulan regresyon modellerinde ise GR, K, Th, U ve D (kalınlık) değerleri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler belirli bir fonksiyon ile tanımlanacak özellik göstermemektedir. Buna karşın Şekil 3’te de görüleceği üzere birbirleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Regresyon analizi kullanılarak elde edilen modeller ile bu veriler

arasındaki ilişkiyi tanımlayabilecek bir bağıntı çıkartılmaya çalışılmıştır. Kuyu logu verilerinden elde edilen uranyum değerinin tahminine yönelik olarak Tablo 1’de görüleceği üzere bağımsız değişkenler için tüm kombinasyonlar denenerek toplam 7 model oluşturulmuştur. Her bir model için R^2 değeri ve standart hata değeri bulunmuştur. 1. modelde R^2 değeri 0,79 ve standart hata değeri 32,57 olarak bulunmuştur. Buna karşın diğer modellerde R^2 değeri 0,984 ile 0,997 arasında ve standart hata değeri ise 3,90 ile 9,01 arasında bulunmuştur.

Uranyum rezerv miktarının tahminine yönelik olarak bağımsız değişkenlerden 30 kombinasyon oluşturulmuştur (Tablo 2). Uranyum değerinin tahmininde kurulan modellerde olduğu gibi rezerv miktarının tahminine yönelik oluşturulan modellerin R^2 ve standart hata miktarları hesaplanmıştır. R^2 değeri 0,22 ile 0,68 arasında değiştiği görülmektedir. Standart hata miktarı ise 0,60 ile 0,94 arasında değişmektedir.

Tablo 1 ve 2’de tanımlanan girdi parametreleri bağımsız değişkenleri tanımlamakta ve her model için bağımsız değişkenlerin katsayıları (B_1 , B_2 , B_3 , B_4 ve B_5) ve Y eksenini kesen sabit değerler (B_0) görülmektedir. Regresyon analizi ile bulunmuş katsayılar Denklem 1 veya 2’ de yerlerine konulduğunda modeller için ampirik denklemler elde edilmektedir.

Uranyum değerinin kestirimi için oluşturulan regresyon modellerinin oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Tablo 1’de görüleceği

üzere R^2 değerlerinin 1’e yakın çıkması, uranyum değerinin GR, K ve Th değişkenleri ile açıklanabileceğini göstermektedir. Bu modeller arasında GR bağımsız değişkenli model diğerlerine nazaran R^2 değeri (0,79) nispeten daha düşük ve standart hata miktarı (32,57) daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre; K değeri ve Th değeri uranyum değerinin açıklanmasında ve tahmin edilmesinde kısmen daha kullanışlıdır. Uranyum değerinin tahmininde diğer 6 modelin R^2 değeri 0,98’in üzerinde ve standart hata miktarı ise daha düşüktür. Uranyum rezerv miktarının kestirimine yönelik olarak toplam 30 regresyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan 30 regresyon modeli içerisinde 15 modelin R^2 değeri 0,50’in üzerinde ve 10 modelin ise R^2 değeri 0,60’in üzerinde çıktığı görülmektedir (Tablo 2). Modeller içerisinde en yüksek R^2 değerlerine sahip olan modeller ($R^2 = 0,68$) 25. model (girdiler; GR, Th, K ve D), 27. model (girdiler; GR, K, U ve D) ve 30. modeldir (girdiler; GR, K, Th, U ve D). Aynı zamanda bu üç modelinde standart hata miktarları (0,60) aynı sonucu vermektedir. Tek bağımsız değişkenden oluşan modellerin R^2 değerleri oldukça düşük ve standart hata miktarları yüksektir. Tek bağımsız değişkenli modellerden GR girdili model diğerlerine (Th, K ve U) nazaran biraz daha iyi uranyum rezerv miktarını açıklayıcı gözükmektedir. Kalınlık değerinin bağımsız değişken olarak kullanıldığı modellerde istatistiksel sonuçlar daha iyi çıkmıştır. Bu durum, uranyum rezerv miktarı ile D (kalınlık) arasında oldukça kuvvetli ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Uranyum değerinin kestirimine yönelik oluşturulan regresyon modelleri (Regression models for estimating uranium value)

| Model | Girdi parametreleri | Regresyon katsayıları | | | | R^2 | Standart Hata |
|-------|---------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| | | B_0 | B_1 | B_2 | B_3 | | |
| 1 | GR | -59,52 | 0,12 | | | 0,790 | 32,57 |
| 2 | K | 0,93 | 0,81 | | | 0,994 | 5,52 |
| 3 | Th | 23,18 | 0,55 | | | 0,984 | 9,01 |
| 4 | GR K | -3,19 | 0,01 | 0,78 | | 0,995 | 5,30 |
| 5 | GR Th | 2,24 | 0,03 | 0,46 | | 0,995 | 5,04 |
| 6 | K Th | 5,70 | 0,63 | 0,12 | | 0,995 | 5,10 |
| 7 | GR K Th | 0,33 | 0,02 | 0,37 | 0,25 | 0,997 | 3,90 |

Tablo 2. Uranyum rezerv miktarının kestirimine yönelik olarak Regresyon modelleri (Regression models for estimating the amount of uranium reserves)

| Model | Girdi parametreleri | | | | | Regresyon katsayıları | | | | | R ² | Standart | |
|-------|---------------------|----|----|----|---|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | | | | | | B ₀ | B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₄ | | B ₅ | Hata |
| 1 | GR | | | | | -0,24 | 0,001 | | | | 0,32 | 0,86 | |
| 2 | K | | | | | 0,51 | 0,005 | | | | 0,22 | 0,92 | |
| 3 | U | | | | | 0,50 | 0,007 | | | | 0,23 | 0,92 | |
| 4 | Th | | | | | 0,69 | 0,003 | | | | 0,20 | 0,94 | |
| 5 | GR | K | | | | -0,34 | 0,001 | -0,001 | | | 0,32 | 0,86 | |
| 6 | GR | U | | | | -0,33 | 0,001 | -0,001 | | | 0,32 | 0,86 | |
| 7 | GR | Th | | | | -0,35 | 0,001 | -0,001 | | | 0,32 | 0,86 | |
| 8 | GR | D | | | | -1,00 | 0,001 | 1,779 | | | 0,64 | 0,63 | |
| 9 | K | U | | | | 0,49 | -0,013 | 0,023 | | | 0,24 | 0,92 | |
| 10 | K | Th | | | | 0,10 | 0,021 | -0,011 | | | 0,26 | 0,91 | |
| 11 | K | D | | | | -0,41 | 0,003 | 1,832 | | | 0,55 | 0,70 | |
| 12 | U | Th | | | | -0,16 | 0,037 | -0,017 | | | 0,30 | 0,88 | |
| 13 | U | D | | | | -0,43 | 0,004 | 1,827 | | | 0,56 | 0,70 | |
| 14 | Th | D | | | | -0,32 | 0,002 | 1,866 | | | 0,54 | 0,71 | |
| 15 | GR | K | U | | | -0,32 | 0,001 | -0,006 | 0,006 | | 0,33 | 0,87 | |
| 16 | GR | K | Th | | | -0,35 | 0,001 | -0,001 | -0,001 | | 0,32 | 0,87 | |
| 17 | GR | K | D | | | -1,32 | 0,001 | -0,002 | 1,848 | | 0,66 | 0,61 | |
| 18 | K | U | Th | | | -0,14 | -0,006 | 0,043 | -0,016 | | 0,30 | 0,88 | |
| 19 | K | U | D | | | -0,48 | -0,026 | 0,036 | 1,899 | | 0,59 | 0,68 | |
| 20 | U | Th | D | | | -0,10 | 0,031 | -0,015 | 1,794 | | 0,61 | 0,66 | |
| 21 | GR | U | Th | | | -0,37 | 0,001 | 0,008 | -0,004 | | 0,33 | 0,87 | |
| 22 | GR | Th | D | | | -1,32 | 0,001 | -0,002 | 1,848 | | 0,66 | 0,61 | |
| 23 | D | K | Th | | | -0,66 | 1,791 | 0,014 | -0,007 | | 0,57 | 0,69 | |
| 24 | D | U | GR | | | -1,32 | 1,858 | -0,005 | 0,001 | | 0,66 | 0,61 | |
| 25 | GR | Th | K | D | | -1,29 | 0,002 | 0,006 | -0,015 | 1,923 | 0,68 | 0,60 | |
| 26 | GR | K | Th | U | | -0,35 | 0,001 | 0,005 | 0,014 | -0,004 | 0,33 | 0,87 | |
| 27 | GR | K | U | D | | -1,31 | 0,001 | -0,019 | 0,019 | 1,909 | 0,68 | 0,60 | |
| 28 | K | U | Th | D | | -0,97 | -0,019 | 0,052 | -0,013 | 1,851 | 0,63 | 0,64 | |
| 29 | U | Th | D | GR | | -1,31 | -0,008 | 0,002 | 1,863 | 0,002 | 0,66 | 0,61 | |
| 30 | GR | K | U | Th | D | -1,29 | 0,002 | -0,019 | 0,013 | 0,003 | 1,922 | 0,68 | 0,60 |

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, radyoaktif kuyu logu ve laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen verileri kullanarak uranyum kuyu logu değerinin ve uranyum rezerv miktarının kestirimine yönelik basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Uranyum kuyu logu değerinin kestirimine yönelik olarak Gamma-Ray, Toryum ve Potasyum kuyu logu verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler ile her kombinasyonda oluşturulan regresyon modellerinden Gamma-Ray bağımsız değişkenli modelin iyi, diğer modellerin ise oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna göre uranyum kuyu logu değeri değerinin kestirimi için Tablo 1’de görülen regresyon modellerinin hepsi kullanılabilir. Uranyum rezerv miktarının kestirimine yönelik olarak Toryum, Gamma-Ray, Uranyum, Potasyum ve kalınlık değerleri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Bu değişkenler için her kombinasyon denenerek toplamda 30 regresyon modeli oluşturulmuştur (Tablo 2). Bu modellerin R^2 değerleri 0,22 ile 0,68 arasında değişmektedir. R^2 değeri 0,50’nin altında olan regresyon modellerinin uranyum rezerv miktarının kestiriminde kullanılması hatalı kestirim sonuçlara neden olabilir. Uranyum rezerv miktarının kestiriminde en iyi sonuçları Tablo 2’de görülen 25. (Bağımsız değişkenler; Gamma-Ray, Toryum, Potasyum ve kalınlık), 27. (Bağımsız değişkenler; Gamma-Ray, Potasyum, Uranyum ve kalınlık) ve 30. (Bağımsız değişkenler; Gamma-Ray, Potasyum, Uranyum, Toryum ve kalınlık) modeller vermiştir. Uranyum rezerv miktarının kestiriminde en etkili parametrenin kalınlık olduğu görülmüştür. Bu çalışmada regresyon analizi ile elde edilen ampirik formüllerin, çalışma alanı veya benzer oluşum, jeolojik yapı ve özelliklere sahip sahalarda kullanılması daha uygundur.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmada, MTA (Maden Tetkik Arama) genel müdürlüğü tarafından desteklenen 2012-33-13-09, 2013-33-13-21 “Nevşehir Avanos Uranyum Ruhsat Etütleri.” projeler kapsamında elde edilen veriler kullanılmıştır. Verilerin kullanılmasına izin veren MTA genel müdürlüğü tüm çalışanlarına ve proje ekibine çok teşekkür ederiz.

REFERENCES

- [1] H. Kaplan, “Uşak Eşme Bölgesi Jeolojisi Uranyum Zuhurları Hakkında Rapor Rap. No. 9545,” MTA, Ankara, 1945.
- [2] G. Zeschke, “Bolkardağ Madeninde Uranyum Prospeksiyonu Rap. No. 2213,” MTA, Ankara, 1953.
- [3] N. Yasak, “Keskin-Yozgat-Avanos-Aksaray-Ulukışla-Kırşehir civarı uçak etüdü Rap.No. 8475,” MTA, Ankara, 1958.
- [4] İ. Çetintürk, “Arafa-Göynük-Alacaşar-Ulukışla bölgeleri radyoaktivite etüdü Rap. No. 3170,” MTA, Ankara, 1968.
- [5] S. Uçakçioğlu, “Nevşehir-Gülşehir ve civarı uranyum aramaları raparı Rap No. 8453,” MTA, Ankara, 1987.
- [6] C. Mwenifumbo, B. Elliott, C. Jefferson, G. Bernius ve K. Pflug, “Physical rock properties from the Athabasca Group:designing geophysical exploration models for unconformity uranium deposits,” *Journal of Applied Geophysics*, no. 55, pp. 117-135, 2004.
- [7] J. Asfahani, R. Al-Hent ve M. Aissa, “Radioactive and geological analysis of airborne gamma spectrometric data for locating favorable traps for uranium prospecting in the Syrian desert (Arae-1), Syria,” *Applied Radiation and Isotopes*, no. 70, pp. 2317-2327, 2012.
- [8] İ. Gaafar, “Application of gamma ray spectrometric measurements and VLF-EM data for tracing vein type uranium mineralization, El-Sela area, South Eastern Desert, Egypt,” *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, no. 4, pp. 266-282, 2015.
- [9] J. Asfahani, R. Al-Hent ve M. Aissa, “Uranium remobilization and migration evaluation through aerial spectrometric gamma technique in Syrian Desert (Area-1), Syria,” *Applied Radiation and Isotopes*, no. 107, pp. 278-292, 2016.
- [10] S. Öztürk, “İstatistiksel Regresyon Yöntemlerinin Farklı Veri Gruplarına Uygulanması Üzerine Bir Analiz,” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, no. 2, pp. 55-57, 2012.

- [11] M. Utkucu, C. Çetin, Ö. Alptekin, “12 Kasım 1999 Düzce depremi artçı depremlerinden hesaplanan b ve p değerlerinin uzaysal ve zamansal dağılımı ve gelecekteki sismik tehlike açısından değerlendirmeler, “ *Yerbilimleri (Earth Sciences)*, no. 26, pp. 75-91, 2005.
- [12] Z. Sal, Makaslama Dalga Hizi ile Konik Penetrasyon Testisonucu Hesaplanan Geoteknik Parametreler Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Ankara Üniversitesi Müh. Fakültesi, 2010.
- [13] R. F. Kartal, T. Kılıç, F. T. Kadiroğlu, “Olasılık Ve İstatistik Yöntemler İle Mersin İlinin Sismik Tehlikesinin Tahmini, “ 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 11-14 Ekim 2011.
- [14] F. Aydın, “Kapadokya Volkanik Kompleksinin Gelişimi ve Volkanizmanın Bölge Üzerindeki Etkileri,” *1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, Nevşehir, 30 Ekim–1 Kasım 2009.
- [15] G. Pasquare, S. Poli, L. Vezzoli ve A. Zanchi, “Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey,” *Tectonophysics*, no. 146, pp. 217-230, 1988.
- [16] V. Toprak ve M. Göncüoğlu, “Tectonic control on the development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian volcanic province, Turkey,” *Geological Journal*, no. 28, pp. 357-369, 1993.
- [17] G. Pasquare, “Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia,” *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei*, no. 9, pp. 53-204, 1968.
- [18] İ. Seymen, Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, 1981.
- [19] E. Atabey, N. Tarhan, H. Yusufoglu ve M. Canpolat, “Hacıbektaş, Gülşehir, Kalaba (Nevşehir)- Himmetdede (Kayseri) arasının jeolojisi MTA Rap. No 8523,” MTA, Ankara, 1988.
- [20] E. Atabey, “MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kayseri H-19 Paftası,” MTA, Ankara, 1989.
- [21] MTA Genel Müdürlüğü, “Nevşehir Avanos Uranyum Ruhsat Etütleri,” Proje No 2012-33-13-09, 2013-33-13-21, MTA, Ankara, 2016.