



## AkwaIbom Eyaleti'ndeki (Nijerya) seçili atık sahalarında özdirenç ve hidrokimyasal veriler kullanılarak katı atıkların yeraltı suyu kalitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi

### *Impact of solid waste on groundwater quality in selected dumpsites in AkwaIbom State, Nigeria using resistivity and hydrochemical data*

Abraham Christopher UDOH<sup>a\*</sup>, Augustine Ifeanyi CHINWUKO<sup>b</sup>, Ajana Godwin ONWUEMESI<sup>b</sup>, Emmanuel Kenekwaku ANAKWUBA<sup>b</sup>, Augustine Oyonga OYONGA<sup>c</sup> ve Ayatu Ojonugwa USMAN<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Akwa Ibom Devlet Üniversitesi, Yerbilimleri Bölümü, Mkpata Enin, Uyo, Nijerya

<sup>b</sup> Nnamdi Azikiwe Üniversitesi, Uygulamalı Jeofizik Bölümü, Awka, Nijerya

<sup>c</sup> Calabar Üniversitesi, Jeoloji Bölümü, Calabar, Nijerya

<sup>d</sup> Alex Ekwueme Federal Üniversitesi, Fizik/Jeoloji/Jeofizik Bölümü, Ndufu-Alike Ikwo, Ebonyi Eyaleti, Nijerya

*Araştırma Makalesi*

#### Anahtar Kelimeler:

Schlumberger dizilimi, DES eğrisi, sızıntı suyu, geçirgenlik, hidrojeolojik risk modeli.

#### ÖZ

Bu çalışma, Nijerya'nın AkwaIbom Eyaleti'ndeki üç ayrı belediye atık sahasındaki katı atıkların yeraltı suyu kalitesi üzerindeki etkisini özdirenç ve hidrokimyasal veriler kullanarak incelemektedir. Schlumberger dizilimi kullanılarak 30 düşey elektrik sondajı ve 10 elektriksel özdirenç tomografi verisi elde edilmiştir. IPI2WIN yazılımı yardımıyla analiz edilen özdirenç verileri, sızıntı suyu parametrelerini tahmin etmek ve modellemek için girdi verileri oluşturmuştur. Alan çevresinden toplanan oniki yeraltı suyu örneği Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) kullanılarak fiziko-kimyasal parametreler açısından analiz edilmiştir. Alan boyunca özdirenç yorumundan hesaplanan sızıntı suyu parametreleri 2-56 m kalınlık, 6,19-24,7 m/günhidrolik iletkenlik, 96,63-1351,18 m<sup>2</sup>/güngeçirgenlik ve 104,36-2948,94 m/gün Aşınabilirlik (erodibilite) değerleri gösterir. Hidrokimyasal analizler, bölgedeki toplam çözünmüş katı maddeler, Kadmiyum ve yüksek elektrik iletkenliğinin yükseltilmiş değerlerini ortaya çıkarır. Sızıntı suyu göç yolları, Uyo ve Oron'da sırasıyla ağırlıklı olarak KB-GD ve KD-GB yönlerinde eğilim göstermektedir. Hidrojeolojik risk modelleri, Oron'da statik su düzeyinin 35 m'de sızıntı sularını çapraz kestiğini, Uyo bölgesinde ise statik su düzeyi ile sızıntı suları arasında 25 m boşluk olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, Oronatık sahalarının yeraltı suyu kalitesini gerçekten kirlettiği ve konut sakinleri için uygun olmadığı sonucuna ulaşmaktadır.

Geliş Tarihi: 03.04.2020

Kabul Tarihi: 12.06.2020

#### Keywords:

Schlumberger array, VES curve, Leachate, Transmissivity, Hydrogeological risk model.

#### ABSTRACT

This study examines the impact of solid waste on groundwater quality around three municipal dumpsites in AkwaIbom State, Nigeria using resistivity and hydrochemical data. Thirty vertical electrical soundings and ten electrical resistivity tomography data were acquired across the area using Schlumberger array. The resistivity data which were analyzed with the aid of IPI2WIN software formed the input data for estimating and modeling leachate parameters. Twelve groundwater samples collected around the area were analyzed for physico-chemical parameters using Atomic Absorption

Atf bilgisi: Udoh, A.C., Chinwuko, A. I., Onwumesi, A. G., Anakwuba, E. K., Oyonga, A. O., Usman, A. O. 2021. Impact of solid waste on groundwater quality in selected dumpsites in AkwaIbom State, Nigeria using resistivity and hydrochemical data. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 164, 237-255.  
<https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.753240>

\*Başvurulacak yazar: Abraham Christopher UDOH, [abrahamudoh@aksu.edu.ng](mailto:abrahamudoh@aksu.edu.ng)

*Spectrometer (AAS). The leachate parameters computed from resistivity interpretation across the area show thickness (2 to 56 m); hydraulic conductivity (6.19 to 24.7 m/day); transmissivity (96.63 to 1351.18 m<sup>2</sup>/day) and erodibility (104.36 to 2948.94 m/day). The hydrochemical analyses reveal elevated values of Total Dissolved Solids, Cadmium and high electrical conductivity within the area. The leachate migration paths trend predominantly in NW-SE and NE-SW directions at Uyo and Oron, respectively. The hydrogeological risk models reveal that the static water level crisscrosses the leachate at 35 m in Oron, while Uyo area has 25 m gap between the leachate and the static water levels. The study concludes that Oron dumpsites really contaminated the groundwater quality and makes it unfit for the dwellers.*

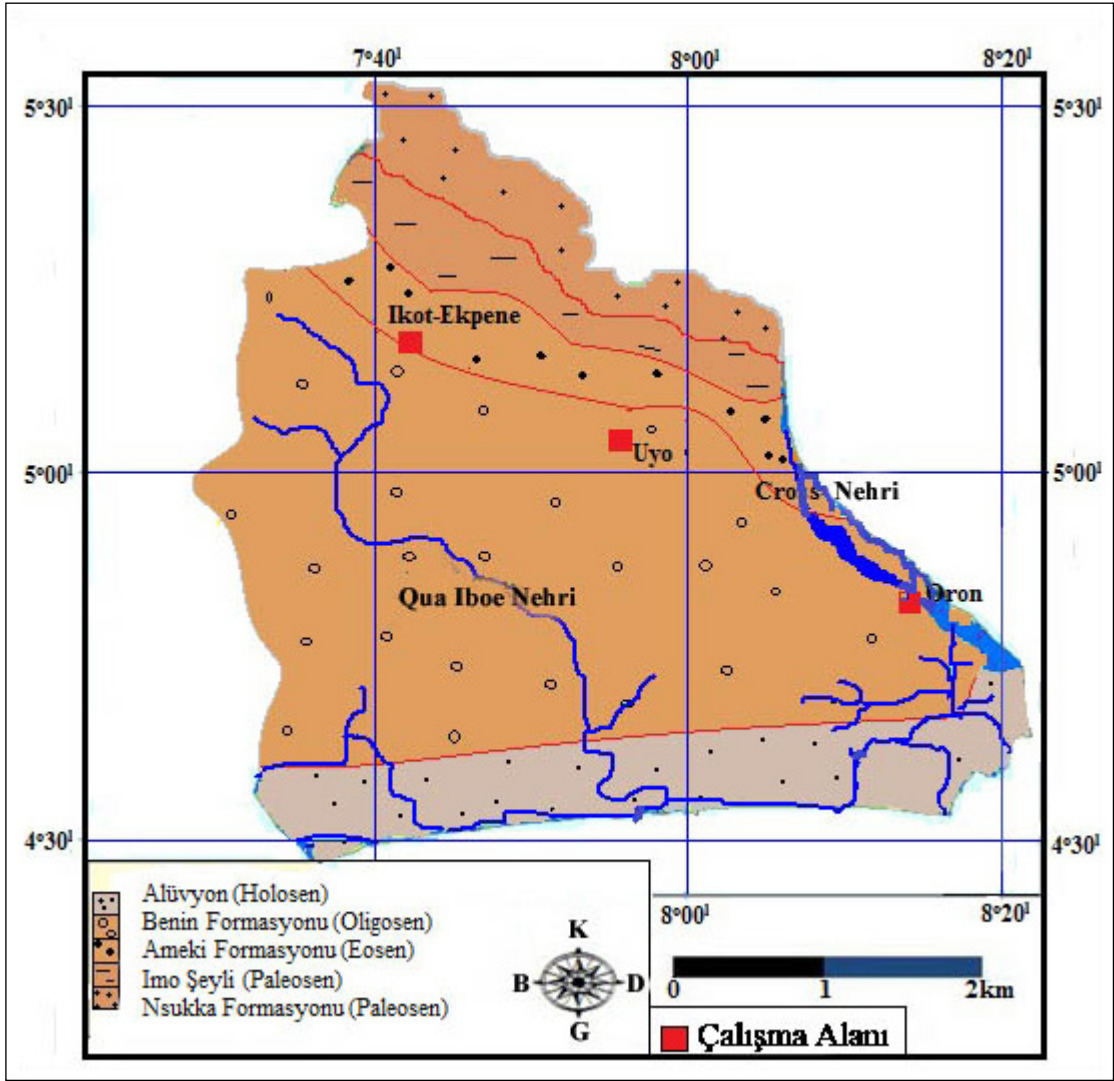
## 1. Giriş

Kentsel katı atıklar (KKA) evsel atıklar, imalathane, işyerleri, hastaneler, pazar yerleri gibi kurumsal alanların zararlı atıkları ile bahçe ve cadde süpürme işlemlerinin artıklarından oluşur (Ogwueleka, 2009). Dahlin vd. (2010) katı atık depolama alanlarının, toprağın hidrolojik bileşiminin açısından yeraltı ve yüzey sularına karşı ciddi bir kirlilik riskinden oluştuğunu belirlemiştir. Christensen vd. (1992)'ne göre katı atık depolama alanlarının yarattığı en önemli yerel çevre sorunu, sızıntı sularının civardaki yüzey ve yeraltı sularına deşarjıdır. Gerçekten de kentsel katı atıklardan kaynaklanan sızıntı, genellikle çok düşük özdirençli yüksek iyon konsantrasyonları ile bağlantılıdır. Bununla paralel olarak Frohlich vd. (2008), Amerika Birleşik Devletleri'nin Western Rhode Island bölgesinde, elektriksel özdirenç yöntemi kullanarak organik atıkların zararlı etkileri üzerine bir araştırma yürütmüştür. Araştırmacılar, bölgedeki atık sahasından kaynaklanan çok sayıda zararlı organik kirlenici bulunduğunu ve bölgedeki akiferleri olumsuz yönde kirlendiğini tespit etmiştir.

Netice itibarıyla bariz nedenlerle çöp dökümü uygun değildir. Çünkü bu durum uçuşan çöplere, kötü kokulara, kemirgen istilasına, çöp taşıma amacıyla atık sahalarına giriş çıkış yapan kamyonların o muhitte oluşturacağı bir kamyon trafiğine, suçluların gizlenebileceği ortamlar oluşmasına ve emlak değerlerinin düşmesine neden olacaktır. Çevre ve halk sağlığı açısından bakıldığında, çöp dökümü ile ilgili meşru endişeler içerisinde muhtemelen en büyüğü, altta bulunan yeraltı suyunun sızıntı suları olarak adlandırılan sıvılar tarafından kirlenmesi potansiyelidir. Her türlü kirlenme, aslında sağlık ve çevre açısından tehlikeli olan kirlenicilerin atık sahalarından yeraltı suyu rezervuarlarına taşındığının bir işareti olabilir.

Genel olarak Nijerya'da atık sahası yönetimi, çöplüklerin veya katı atıkların uygunsuz şekilde boşaltılmasına ek olarak, başarısız bir toplama planı ile kendini göstermektedir. Çalışma alanı da dahil olmak üzere Nijerya'daki şehirlerimizin çoğuna insan akışı nedeniyle, çoğunluğu biyo-bozunur olmayan malzemelerden yapılmış çeşitli tüketim mallarından kaynaklanan katı atık bertarafında artışlar söz konusudur. Dahası, hemen hemen tüm şirketlerin zehirli kimyasalları endüstriyel atıklar şeklinde boşaltıyor olması nedeniyle, gerek yüzey ve gerekse yeraltı sularımız bu yıkıcı çevresel felaketlere karşı güvende değildir. Ayrıca, ilgili hane halkından bizler mütemadiyen ve rastgele bir biçimde arıtılmamış atık sularımızı vidanjörler vasıtasıyla çevredeki farklı su kütleleri içerisine boşaltmakta ve bu yolla Nijerya'daki çok sayıda eyalette su kütlelerini kirlenmekteyiz. Bununla birlikte, daha yüksek verimde tarım ürünleri elde etmek amacıyla kullanılan ancak yeraltı suyu kirliliğine neden olan gübre gibi zehirli bazı tarım kimyasallarının yaygın kullanımı ile daha ciddi bir durum ortaya çıkmaktadır.

AkwaIbom eyaleti özellikle çalışma alanlarının da içerisinde yer aldığı; sırasıyla orta, kuzeybatı ve güneydoğuda yer alan Uyo, Ikot Ekpene ve Oron bölgelerindeki kontrolsüz atık sahalarında doruğa ulaşan kötü atık yönetimi ile ilişkili önemli çevresel sorunlarla karşı karşıyadır (Şekil 1). Atık sahaları, sızıntı suyu birikiminin bir sonucu olarak, yeraltı suyu kalitesi açısından büyük risk teşkil etmektedir. Sızıntı suyu birikiminin yeraltı suyu üzerindeki etkisini anlamak için katman parametreleri ve bölgenin jeolojisi çok önemli olmasına rağmen bu bilgilerin bilinmiyor olması bu çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, çoğunlukla konsolide olmamış jeolojik materyaller üzerinde yer alan çalışma alanı, kesinlikle çöplüklerden yeraltı suyu kütlelerine doğru infiltrasyonave sızmalara zemin oluşturacaktır. Bununla birlikte, hem araziye yeniden kullanma



Şekil 1- Akwa Ibom Eyaleti (Nijerya)'nin jeoloji haritası (Nijerya Jeolojik Araştırmalar Kurumu, 2006).

baskısı hem de kirlenmeyi görüntüleme ile ilgili giderek katılaştıran yasal mevzuat nedeniyle kirlenmiş alanların araştırılmasına giderek daha fazla ihtiyaç duyulması; çalışma alanındaki atık sahalarının incelemek için hızlı, güvenilir ve invaziv olmayan (non-invasive) bir jeofiziksel araştırma yöntemini gerektirmektedir. Bu nedenle çalışma, Akwa Ibom Eyaleti'ndeki seçilmiş atık sahalarında katı atıkların yeraltı suyu kalitesi üzerindeki etkisini özdirenç ve hidrokimyasal yaklaşım kullanarak belirlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmanın kapsamı, yeraltı suyunun fiziko-kimyasal özelliklerini değerlendirmek için hidrokimyasal yöntemlerin yanı sıra düşey elektrik sondajı (DES) ve tomografi kullanılarak elektriksel özdirenç tekniklerinin uygulanmasını içermektedir. Ayrıca, çalışma alanında karşılaşılan kaya

katmanlarının yorumlanması ile çalışma alanındaki atık üretimi, yetersiz atık bertarafı ve arıtımı ile ilgili önemli çevresel zorlukların oluşturulması için Dar Zarrouk parametreleri dahil olmak üzere bazı katman parametrelerinin değerlendirilmesini de içerir.

### 1.1. Çalışma Alanının Yerel Jeolojisi

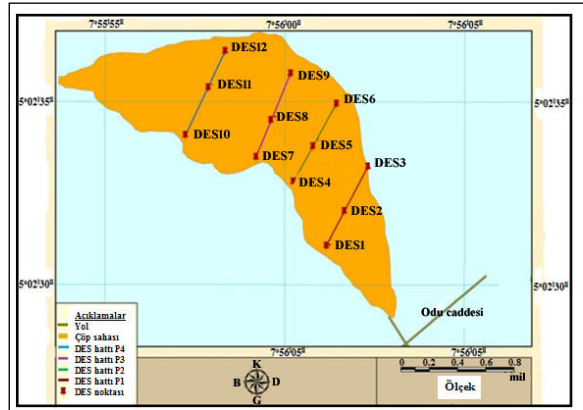
Akwa Ibom eyaleti jeolojik bakımdan Anambra ve Nijer delta havzalarından oluşan iki sedimanter havza içerisinde kalır. Bu nedenle çalışma alanı Mbipom vd. (1996)'ne göre Imo, Ameki ve Benin formasyonları olmak üzere üç ayrı litostratigrafik birim tarafından örtülmektedir (Şekil 1). Paleosen yaşlı Imo formasyonu Ameki formasyonunun üzerinde yer almakta olup; çoğunlukla gri-mavimsi gri renkte

şeyller ile seyrek olarak ara katkılar şeklinde kumtaşı, demirtaşı (ironstone), kireçtaşı ve silttaşı içeren çamurtaşı tabakalarından oluşmaktadır (Mbipom vd., 1996; Nwajide, 2013). Eosen olarak yaşlandırılan Ameki formasyonu çalışma alanında yer alan en yaşlı jeolojik birim olup; Mbipom vd. (1996) tarafından litolojik olarak az miktarda çamurtaşı içeren gevşek tutturulmuş kumtaşları şeklinde tanımlanmıştır. Ameki formasyonunun üzerinde uyumlu olarak, ufak kum boyutundan orta/kaba kum boyutuna kadar taneler içeren kum ve çakıl ardalanmasından oluşan Oligosen yaşlı Benin formasyonu ve sonrasında ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yer almaktadır (Uqba ve Edet, 2004). Edet ve Okereke (2002)'ye göre Benin formasyonu Tersiyer-Güncel yaşlı olup; kum (genellikle taşkın ovası çökellerine ait) ve alüvyal çökellerden oluşan kıtasal malzeme içermektedir. Benin formasyonunun kum üyesinin olgun, kaba tane boyutlu ve silt-kil ara seviyeleri içeren zayıf-orta boylanmalı olduğunu belirtmekte fayda vardır.

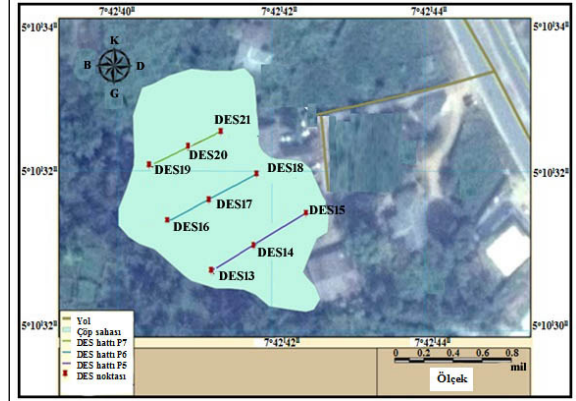
## 2. Yöntem

Çalışma yöntemi, çalışma alanı boyunca 1 ila 150 m arasında değişen akım elektrotu yayılımı ile Schlumberger konfigürasyonu kullanılarak eşit aralıklarla (30 m) yerleştirilmiş ölçüm istasyonları ile profil hatları boyunca otuz düşey elektrik sondajı (DES) verisinin alınmasını içermektedir (Şekil 2). Her bir istasyonun koordinatları, çizelge 1a, b ve c'de gösterildiği gibi Global Pozisyon Belirleme Sistemi (GPS) ekipmanları kullanılarak alınmıştır. Özdirenç ve kalınlık gibi katmanların çeşitli jeoelektrik özelliklerini üretmek için saha verilerinden hesaplanan görünür özdirenç değerlerine karşı akım elektrot aralığını çizmek için bi-logaritmik grafik kullanılmıştır. Bu teknik, Heigold vd. (1979), Niwas ve Singhal (1981), Olofsson vd. (2005), Onwuemesi ve Egboka (2006), Nfor vd. (2007), Oseji ve Ujuanbi (2009), Ezeh (2011), Okafor ve Mamah (2012), Utom vd. (2012), Anakwuba vd. (2014), Chinwuko vd. (2015), Obiora vd. (2016), Amadi vd. (2017), Shaibu vd. (2018), Singh vd. (2018), Adeeko vd. (2019) ve diğer bazı araştırmacılar tarafından yeraltı suyu araştırmalarında işlevsel olarak kullanılmıştır.

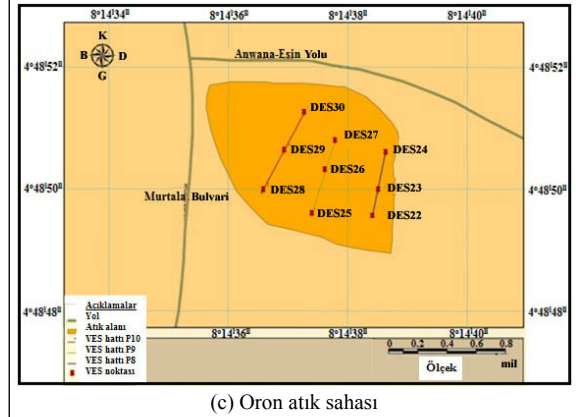
Wunderlich vd. (2018)'ne göre jeoelektrik veriler, özdirenç (elektrik özdirenç tomografisi) açısından yeraltı görüntüleri sağlayan tomografik ters çözüm sürecinde analiz edilebilir. Bu nedenle, elektrik özdirenç tomografisi (EÖT) genellikle



(a) Uyo atık sahası



(b) Ikot Ekpena atık sahası



(c) Oron atık sahası

Şekil 2- Çalışma alanındaki jeofiziksel DES noktalarını ve DES profillerini gösteren harita.

gözlenen görünür özdirenç değerleri ile mükemmel derecede uyumlu olan, farklı yeraltı modelleri ile sonuçlanır. Uygulamada, Schlumberger dizisi gibi bir profil boyunca sabit istasyon aralıklarında çalışan dört noktalı Çoklu Düşey Elektrik Sondajı (ÇDES), Elektriksel Özdirenç Tomografisi (EÖT) ile eşanlamlıdır ve modellendiğinde iki boyutta katmanlı yeraltı özdirenç görüntüleri verir. Bu ölçüm

Çizelge 1- a) Uyo atık sahasındaki DES istasyonlarının koordinatları (DES hattı P1 – P4).

Etiket	Boylam (D)	Enlem (K)
P1VES1	7°56'1.303 <sup>II</sup>	5°2'31.051 <sup>II</sup>
P1VES2	7°56'1.812 <sup>II</sup>	5°2'32.025 <sup>II</sup>
P1VES3	7°56'2.457 <sup>II</sup>	5°2'33.135 <sup>II</sup>
P2VES4	7°56'0.398 <sup>II</sup>	5°2'32.773 <sup>II</sup>
P2VES5	7°56'1.043 <sup>II</sup>	5°2'33.628 <sup>II</sup>
P2VES6	7°56'1.518 <sup>II</sup>	5°2'34.857 <sup>II</sup>
P3VES7	7°55'59.325 <sup>II</sup>	5°2'33.454 <sup>II</sup>
P3VES8	7°55'59.885 <sup>II</sup>	5°2'34.462 <sup>II</sup>
P3VES9	7°56'0.291 <sup>II</sup>	5°2'35.708 <sup>II</sup>
P4VES10	7°55'57.861 <sup>II</sup>	5°2'36.303 <sup>II</sup>
P4VES11	7°55'58.369 <sup>II</sup>	5°2'35.708 <sup>II</sup>
P4VES12	7°55'59.014 <sup>II</sup>	5°2'36.048 <sup>II</sup>

Çizelge 1- b) Ikot Ekpene atık sahasındaki DES istasyonlarının koordinatları (DES hattı P5 – P7).

Etiket	Boylam (D)	Enlem (K)
P5VES13	7°42'41.345 <sup>II</sup>	5°10'30.682 <sup>II</sup>
P5VES14	7°42'41.914 <sup>II</sup>	5°10'30.953 <sup>II</sup>
P5VES15	7°42'42.599 <sup>II</sup>	5°10'31.39 <sup>II</sup>
P6VES16	7°42'40.792 <sup>II</sup>	5°10'31.51 <sup>II</sup>
P6VES17	7°42'41.061 <sup>II</sup>	5°10'31.873 <sup>II</sup>
P6VES18	7°42'41.949 <sup>II</sup>	5°10'31.873 <sup>II</sup>
P7VES19	7°42'41.476 <sup>II</sup>	5°10'31.873 <sup>II</sup>
P7VES20	7°42'41.061 <sup>II</sup>	5°10'32.197 <sup>II</sup>
P7VES21	7°42'41.476 <sup>II</sup>	5°10'32.376 <sup>II</sup>

Çizelge 1- c) Oron atık sahasındaki DES istasyonlarının koordinatları (DES hattı P8 – P10).

Etiket	Boylam (D)	Enlem (K)
P8VES22	7°56'1.303 <sup>II</sup>	5°2'31.051 <sup>II</sup>
P8VES23	7°56'1.812 <sup>II</sup>	5°2'32.025 <sup>II</sup>
P8VES24	7°56'2.457 <sup>II</sup>	5°2'33.135 <sup>II</sup>
P9VES25	7°56'0.398 <sup>II</sup>	5°2'32.773 <sup>II</sup>
P9VES26	7°56'1.043 <sup>II</sup>	5°2'33.628 <sup>II</sup>
P9VES27	7°56'1.518 <sup>II</sup>	5°2'34.857 <sup>II</sup>
P10VES28	7°55'59.325 <sup>II</sup>	5°2'33.454 <sup>II</sup>
P10VES29	7°55'59.885 <sup>II</sup>	5°2'34.462 <sup>II</sup>
P10VES30	7°56'0.291 <sup>II</sup>	5°2'35.708 <sup>II</sup>

türünün avantajı, özdirenç değerlerinin yeraltındaki değişimlerinin yanal ve düşey olarak modellenmesine olanak sağlaması, böylece yeraltının iki boyutlu net özdirenç görüntüsünü vermesidir. Özdirenç verileri, hem yarı akım elektrot aralığına (AB/2) karşı görünür özdirenç değerleri çizerek hem de özdirenç profillemede yeraltı özdirenç görüntülerini veren yapma-kesitler (pseudo-sections) ve özdirenç kesitleri oluşturularak özdirenç verilerinin modellenmesinde oldukça verimli olan IPI2WIN olarak adlandırılan bilgisayar özdirenç yineleme ve ters çözüm yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu yazılım genellikle

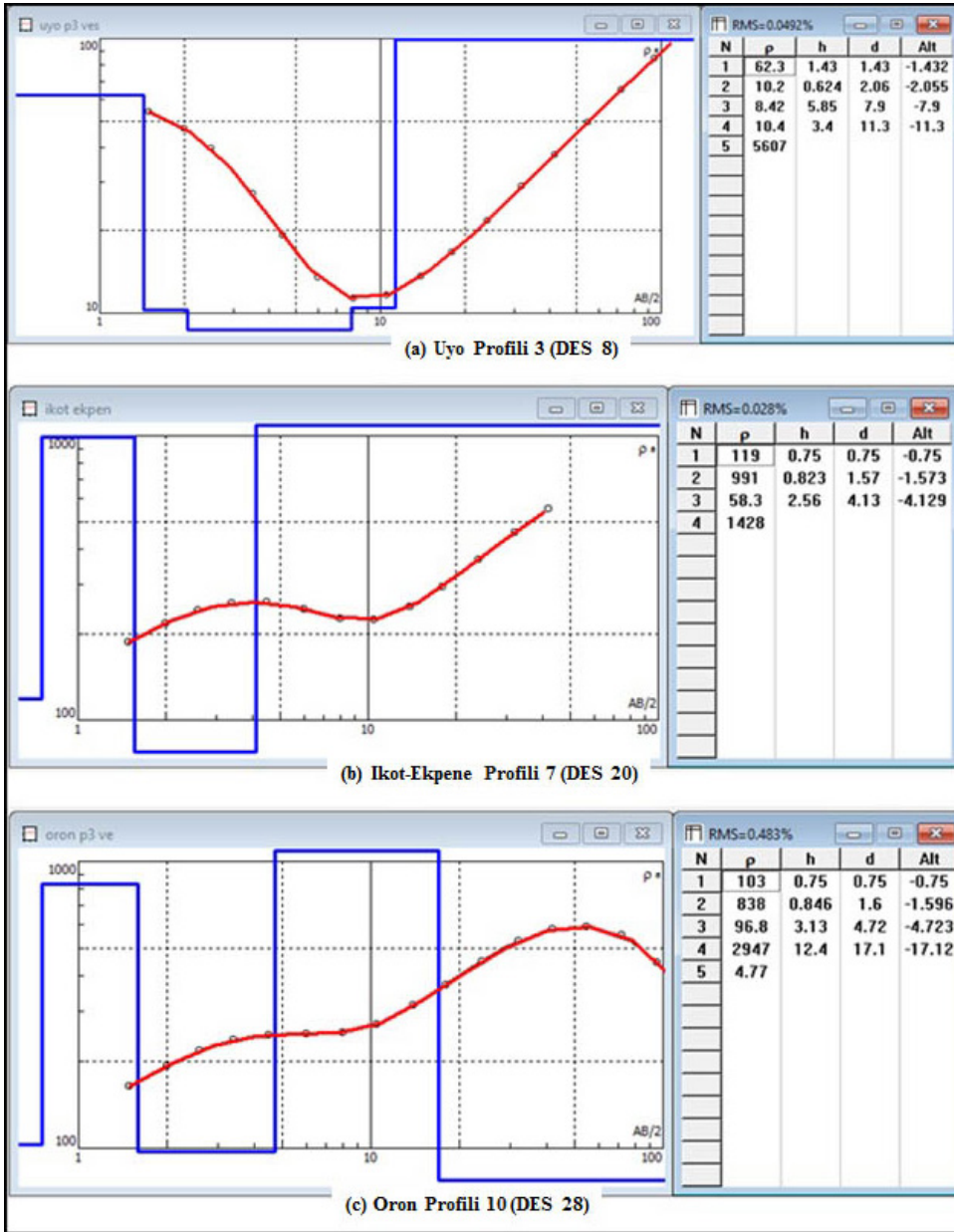
çok sayıdaki benzer araştırmada kullanılmış; yeraltı suyu araştırma ve hassasiyet incelemelerinde oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır. DES sonuçları sızıntı suyu parametrelerini tahmin etmek ve modellemek için girdi verilerini oluşturmuştur. Sızıntı suyu seviyelerinin haritaları, sızıntı suyunun göç yolları tanımlanabilecek şekilde oluşturulmuştur. Sızıntı suyu seviyesi ve yükseklik haritalarının profilleri, bunlarla ilişkili yeraltı suyu risk faktörünü modellemek için ilişkilendirilmiştir.

Hidrokimyasal çalışma, alınan su örneklerinin fiziko-kimyasal ve mikrobiyal özellikler için Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) standart uygulamasına göre yapılan laboratuvar analizlerini içermektedir. Oniki su örneği toplanmış ve kullanılan plastik kaplar alınacak su örnekleri ile üç kez durulanmıştır. Yinelenen örnekler alınmış olup, A ve B olarak etiketlenmiştir. A örneği, metallerin kabın yüzeyine adsorbe edilmesini (tutunmasını) önlemek amacıyla üç damla hidroklorik asit kullanılarak stabilize edilmiştir. Örnek 0,45 mm filtre kağıdı ile süzülüş ve numune katyon analizi için kullanılmıştır. B örneği, anyon mikrobiyal analizlerde kullanılacak olması nedeniyle filtre edilmemiştir. Numuneler, bileşenlerinde herhangi bir değişiklik olmayacak şekilde sıcaklığı korumak üzere buz içeren plastik bir soğutucu kullanılarak korunmuştur. Daha sonra su, analiz yapılmak üzere 24 saat içinde Akwalbom Eyalet su şirketinin Uyo'daki genel merkez laboratuvarına götürülmüştür. Katyon analizi Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) kullanılarak yapılırken, anyonlar ise Ultraviyole (UV) Spektrofotometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Bazı parametreler titrasyon yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sıcaklık, pH ve bulanıklık değerleri sahada, taşınabilir pH metre, bulanıklık ölçer ve civa termometresi kullanılarak yerinde ölçülmüştür.

### 3. Tartışma ve Sonuçlar

#### 3.1. Jeoelektriksel Eğriler

Şekil 2'den seçilen profiller için üretilen jeoelektrik eğrileri sonuçları, şekil 3'te gösterildiği gibi tüm alan boyunca bazı DES eğrileri vermiştir. Uyo ve Oron bölgelerinde üretilen DES eğrileri tipik olarak H ve K eğrileridir (Şekil 3). Bu eğriler, yorumlanan DES eğrilerinin üç veya daha fazla tabakanın çok katmanlı yapıları için sedimanter bir ortamda oldukça yaygın olduğunu gösterir. Uyo özdirenç eğrileri, Anakwuba vd. (2014)'e göre üç ya da daha fazla tabakanın çok

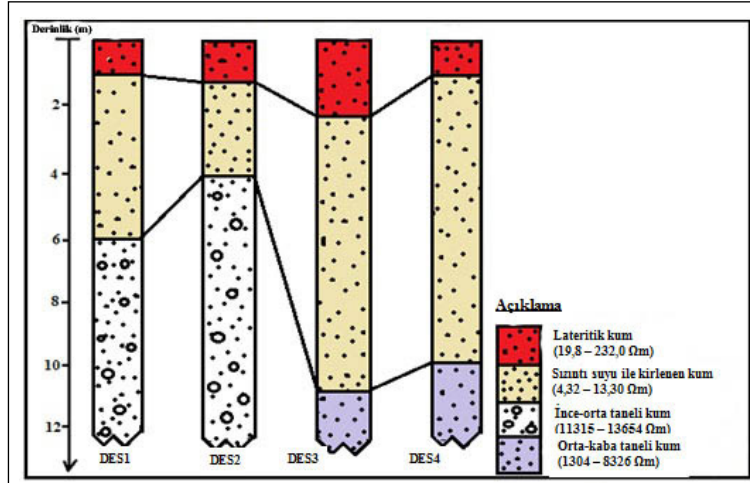


Şekil 3- a) Uyo, b) İkot Ekpene ve c) Oron bölgeleri için bazı DES eğrileri ve hesaplanmış parametreler.

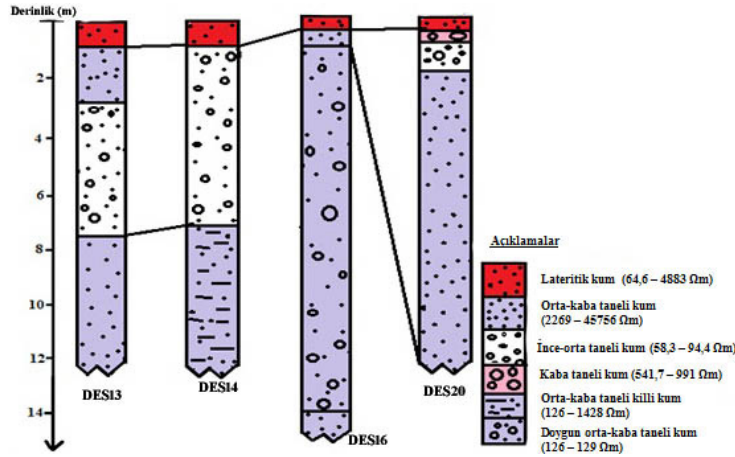
katmanlı yapıları için bir sedimanter ortam içerisinde oldukça yaygın gözlenen tipik H-eğrileri gösterir (Şekil 3). İkotEkpene bölgesinde K ve H eğrileri ile A ve K eğrileri hibrid iken, bir DES istasyonunda yalnızca H eğrisi vardır (Şekil 3b). Oron bölgesi, bir DES istasyonunda A eğrisi ve hibrid bir KHK eğrisi dışında K eğrilerince baskındır (Şekil 3c).

Sonuç olarak, DES yorumlarının çalışma alanı içindeki sondaj verileri ile birlikte sonuçları (Şekil 4) Uyo'nun esas olarak üç katmandan oluştuğunu göstermektedir. Bunlar; üst lateritik kum, sızıntı suyu

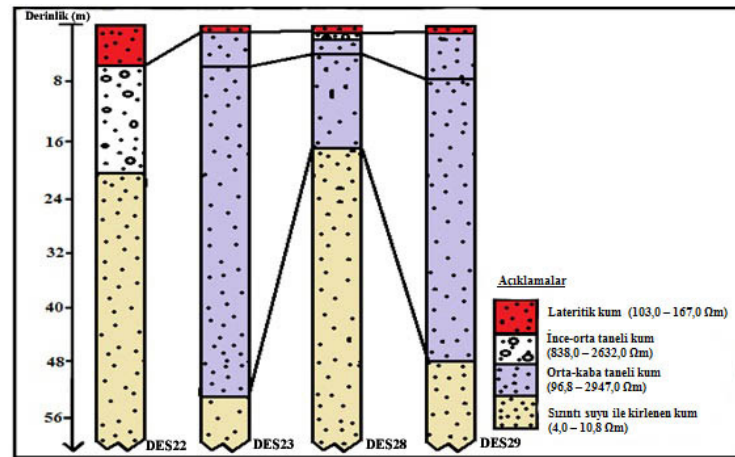
ile kirletilmiş kum ve ufak ila orta taneli kuru kum tabakaları şeklindedir. Önceki ile aynı karakterde beş tabakaya kadar olan bir istasyon bunun istisnasıdır (Şekil 4a, b). Oron'daki beş kattan oluşan bir istasyon dışında İkot Ekpene ve Oron, araştırma derinliğine kadar üç ila dört katlıdır. Şekil 4a Uyo'da litolojik fasiyeslerin kumulateritik örtü (19,80-232,00 Ohm-m), sızıntı suyu tarafından kirletilmiş kum (4,06-20,00 Ohm-m), ufak-orta taneli kuru kum (11315-13654 Ohm-m) ve orta-kaba taneli kum (1304,00-26542,00 Ohm-m) olduğunu ortaya koyan bir DES korelasyonunu göstermektedir. Sızıntı suyu



a) Uyo bölgesinde 1 ve 2 numaralı profil boyunca.



b) İkot Ekpeni bölgesinde 5, 6 ve 7 numaralı profil boyunca.



c) Oron bölgesinde 8, 9 ve 10 numaralı profil boyunca.

Şekil 4- DES sonuçlarının (öz direnç-derinlik parametrelerinden) birleştirilmesiyle elde edilen elektriksel öz direnç kesitleri.

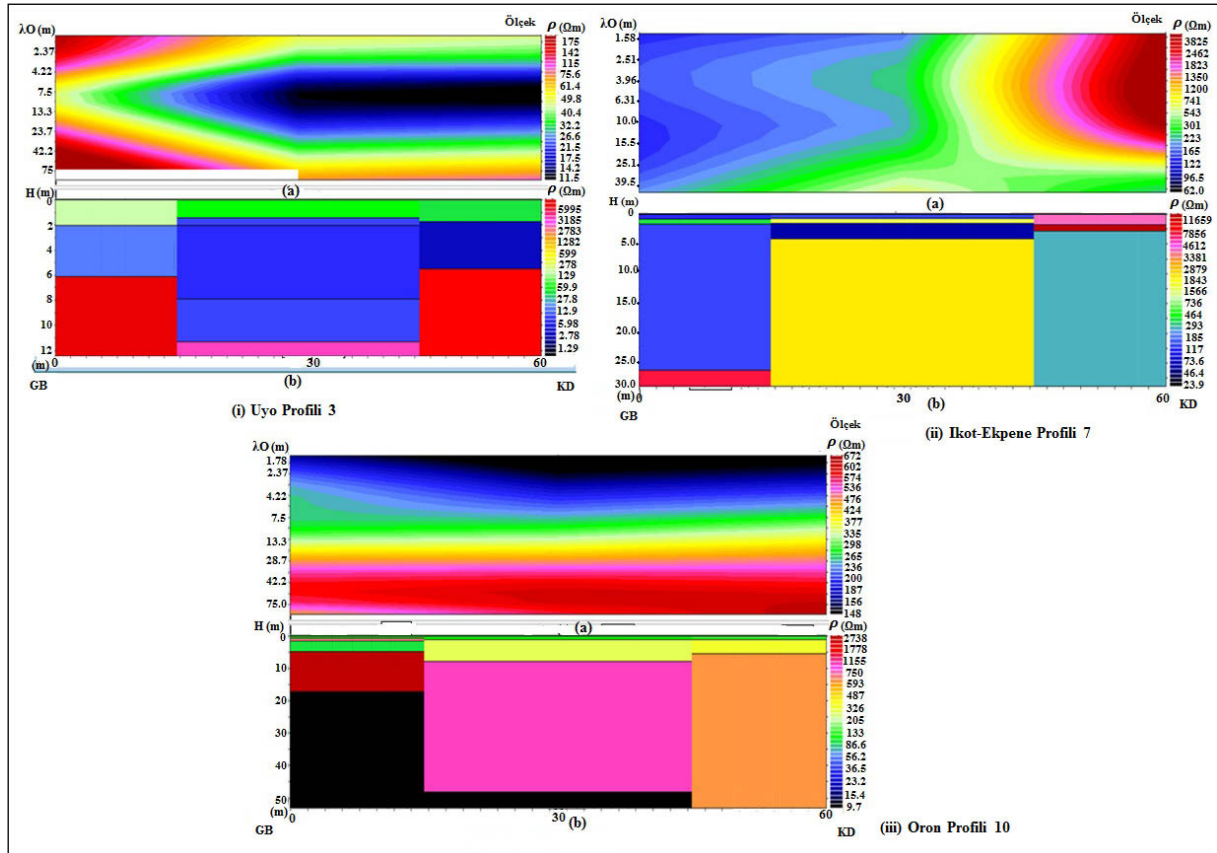
ile kirletilmiş kum birimlerini örten ince lateritik kum birimleri, çalışma alanının serbest bir bölgede olduğunu ve sızıntı sularının yüzeyden aşağıya doğru hareket etme olasılığının olduğunu gösterir. Dahası, şekil 4 Ikot Ekpene'deki DES korelasyonu litolojik fasiyeslerin kumlu lateritik örtü (64,60-3733,00 ohm-m), orta-kaba taneli kum (126-24849 ohm-m), ufak-orta taneli kuru kum (58,30-94,90 ohm-m) olduğunu göstermektedir. Orta-kaba taneli kum birimlerini örten ince lateritik kum birimleri, çalışma alanının daha çok serbest bir bölge olduğunu gösterir.

Ayrıca, Oron'daki DES korelasyonu göz önüne alındığında, litolojik fasiyesler kumlu lateritik örtü (103-167,00 Ohm-m), ufak-orta taneli kuru kum (838 - 2632 Ohm-m), orta ila kaba taneli kum (96,80-2947,00 Ohm -m) ve sızıntı suyu tarafından kirletilmiş kumdur (4,77-19,00 Ohm-m). Sızıntı suyu tarafından kirletilmiş kum birimlerini örten kalın kum birimleri, çalışma alanının serbest bir bölgede olduğunu ve sızıntı suyunun yeraltına doğru akma olasılığı olduğunu gösterir.

Genel olarak tanımlanmış bu katmanlar, bölgenin tamamını kaplayan Benin formasyonunun bazı karakteristik özelliklerini sergiler. Bu nedenle profilin tamamı özdirenç özelliklerine göre değişen bileşimin kumlarını göstermektedir. Buna paralel olarak Mbipom vd. (1996) çalışma alanının, Nijerya'nın sedimanter sahalarında kaldığını ve Benin formasyonu olarak bilinen Nijer deltası sedimanter istifinin Tersiyer yaşlı kıyı düzlüğü kumları tarafından örtüldüğünü ortaya koymuştur. Benin formasyonuna ait kum üyesinin olgun, kaba taneli ve silt-kil ara seviyeleri içeren zayıf boylanmalı olduğunu belirtmekte fayda olacaktır. Ugbaja ve Edet (2004)'de ayrıca Benin formasyonunun ufak ila orta/kaba boyutlu kumlar ile çakılların ardalanan bir istifinden oluştuğunu vurgulamıştır.

### 3.2. Jeoelektriksel Tomografi

Uygulamada, çalışma alanı içinde üretilen yapma-kesitlerin yorumlanması, şekil 5'te gösterildiği gibi yeraltının görünür özdirenç değerlerindeki değişimi gösteren renk kodlarına dayanmaktadır.



Şekil 5- a) Uyo, b) Ikot Ekpene ve c) Oron bölgeleri için bazı jeoelektriksel tomografiler.



Bu şekil incelendiğinde siyah rengin, mavi renk kodu tarafından izlenen çok düşük görünür özdirenç değerini temsil ederken; yeşil renk kodunun, yüksek görünür özdirenç değerli sarı kod tarafından izlenen orta görünür özdirenç değerini temsil ettiği sonucuna varılmaktadır. Yüksek özdirenç değerleri kırmızı renk kodu tarafından temsil edilmektedir. Bu yorumlar, şekil 4'te halihazırda yorumlanmış sızıntıya meyilli bölgelerle uyumludur. Şekil 5'te kirlenmeye açık alanlar siyah ve açık mavi renk sorguclar (plume) şeklinde belirlenmiş anormal derecede düşük görünür özdirenç değerlerine sahipken; yeşil, sarı ve kırmızı renk kodlarına sahip alanlar kirlenmeye karşı az hassas veya hiç hassas olmayan alanları temsil etmektedir. Şekil 5'te görülen belirgin eğilim, çalışma alanı boyunca KD-GB doğrultusundadır.

Buna ek olarak, Uyo atık sahasının özdirenç yapma kesitleri (pseudocross-section) 1, 2, 3 no'lu DES'leri temsil eden üç blok gösterir ve her birinin üç katmanı vardır (Şekil 5a). Uyo atık sahasındaki ikinci katmanların düşük özdirenç değer aralıkları (4,06 – 10,40  $\Omega\text{m}$ ), ikinci katmanların egemen olarak sızıntı suyu ile kirlenmiş bölgeler olduğunu göstermektedir. Uyo atık sahasındaki sızıntı suyu sorguclarının

kalınlığı 4 ila 8 metre arasında değişmektedir. Uyo atık sahasında oluşturulan yapma kesit, sorgucun yeraltında 30 metreden daha fazla bir mesafeye karşılık gelecek şekilde, DES 1'den DES 2'nin biraz ötesine geçtiğini göstermektedir. Bu arada, İkot Ekpene'de özdirenç tomografisi şekil 5b'de gösterilmektedir. Şekil, İkot Ekpene alanı içindeki direnç değerlerinin 58,3  $\Omega\text{m}$  ile sızıntı suyu sorgucunun izine rastlanmayan ve/veya çok az etkisi olan İkot Ekpeneatik sahasına ait değerlerin üzerindeki bir değer arasında değiştiğini göstermektedir. Öte yandan, Oron atık sahasındaki özdirenç tomografisi, DES 9 ve DES 10 arasında çok belirgin olan sızıntı suyu sorgucunu ifade etmektedir (Şekil 5c). Katman 3'te, Oron atık sahasındaki sızıntı suyu ile kirlenmiş bölge olarak yorumlanan 4,28-10,8  $\Omega\text{m}$ 'lik çok düşük özdirenç değerleri vardır.

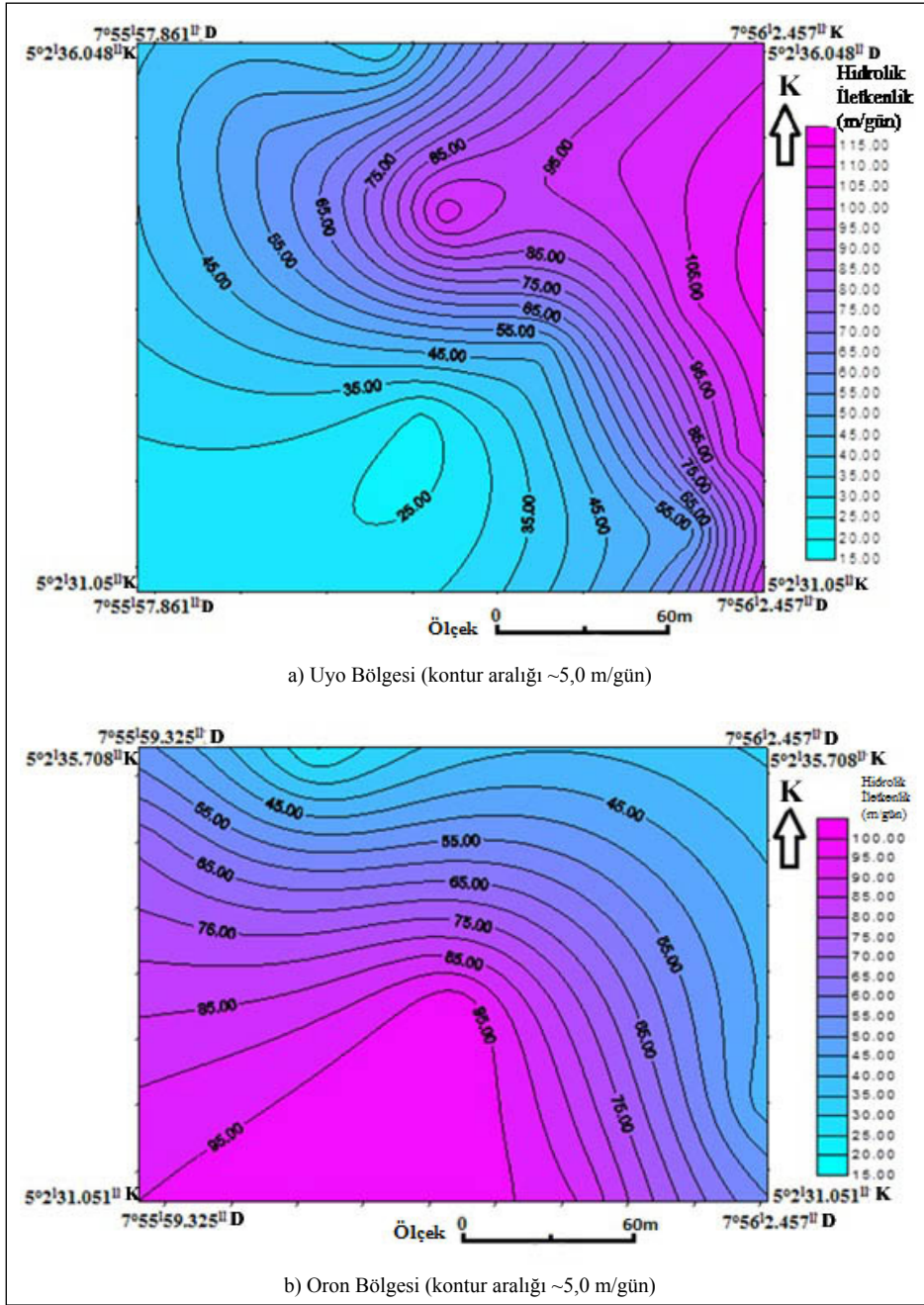
### 3.3. Sızıntı Suyu Parametrelerinin Hesaplanması

Uygulamada Da-Zarrouk, hidrolik iletkenlik ve geçirgenlik parametreleri hesaplanmış olup, çizelge 2'de sunulmuştur. İlave olarak hidrolik iletkenlik, geçirgenlik ve aşınabilirlik dağılım haritaları şekil 6, 7 ve 8'de gösterilmektedir. Bu çizelge incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılabılır;

Çizelge 2- Çalışma alanı için hesaplanmış sızıntı suyu parametreleri.

Atık sahası/ Profil	DES Noktası	$\rho_1$ ( $\Omega\text{m}$ )	h (m)	S (mhom)	T (m-Ohm)	C (mho)	$\kappa_1$ (m/gün)	$\tau_1$ (m <sup>2</sup> /gün)	$\kappa_1$ (m/gün)
UYO	1	11.4	4.95	0.434	56.430	0.088	39.914	197.574	399.209
P1	2	8.26	2.85	0.345	23.541	0.121	53.908	153.637	756.404
	3	13.3	8.32	0.626	110.656	0.075	34.568	287.606	283.822
	4	6.32	8.69	1.375	54.921	0.158	69.200	601.345	1206.177
	5	4.11	4.36	1.061	17.920	0.243	103.378	450.727	2871.435
P2	6	4.32	9.23	2.137	39.874	0.231	98.682	910.837	2509.543
	7	20	4.09	0.205	81.800	0.050	23.626	96.632	134.529
	8	9.67	3.29	0.340	31.814	0.103	46.537	153.108	523.124
P3	9	4.06	3.78	0.931	15.347	0.246	104.565	395.255	2948.936
	10	4.21	4.18	0.993	17.598	0.238	101.085	422.537	2241.645
	11	8.42	22.2	2.637	186.924	0.119	52.952	1175.523	474.803
P4	12	4.32	9.25	2.141	39.960	0.231	98.682	912.810	2503.604
	22	6.36	58.6	9.214	372.696	0.157	68.794	4031.307	865.329
	23	19	26.8	1.411	509.200	0.053	24.784	664.220	104.355
P8	25	4.26	55.2	12.958	235.152	0.235	99.978	5518.792	1877.523
	28	4.77	62.9	13.187	300.033	0.210	89.969	5659.075	1508.921
	29	10.8	31.9	2.954	344.520	0.093	41.979	1339.119	310.953
P10	29	10.8	31.9	2.954	344.520	0.093	41.979	1339.119	310.953
Ortalama		8.45	18.86	3.115	143.434	0.156	67.800	1351.183	1265.901

Anahtar semboller:  $\rho_1$  = Sızıntı suyu özdirenç; h= Sızıntı suyu kalınlığı; S=Uzunlamasına iletkenlik; T = Enine direnç; C=iletkenlik;  $\kappa_1$  = Sızıntı suyunun hidrolik iletkenliği;  $\tau_1$  = Sızıntı suyu geçirgenliği;  $\kappa_1$  = Sızıntı suyu aşınabilirliği.



Şekil 6- a) Uyo ve b) Oron bölgeleri boyunca hidrolik iletkenliği gösteren dağılım haritası.

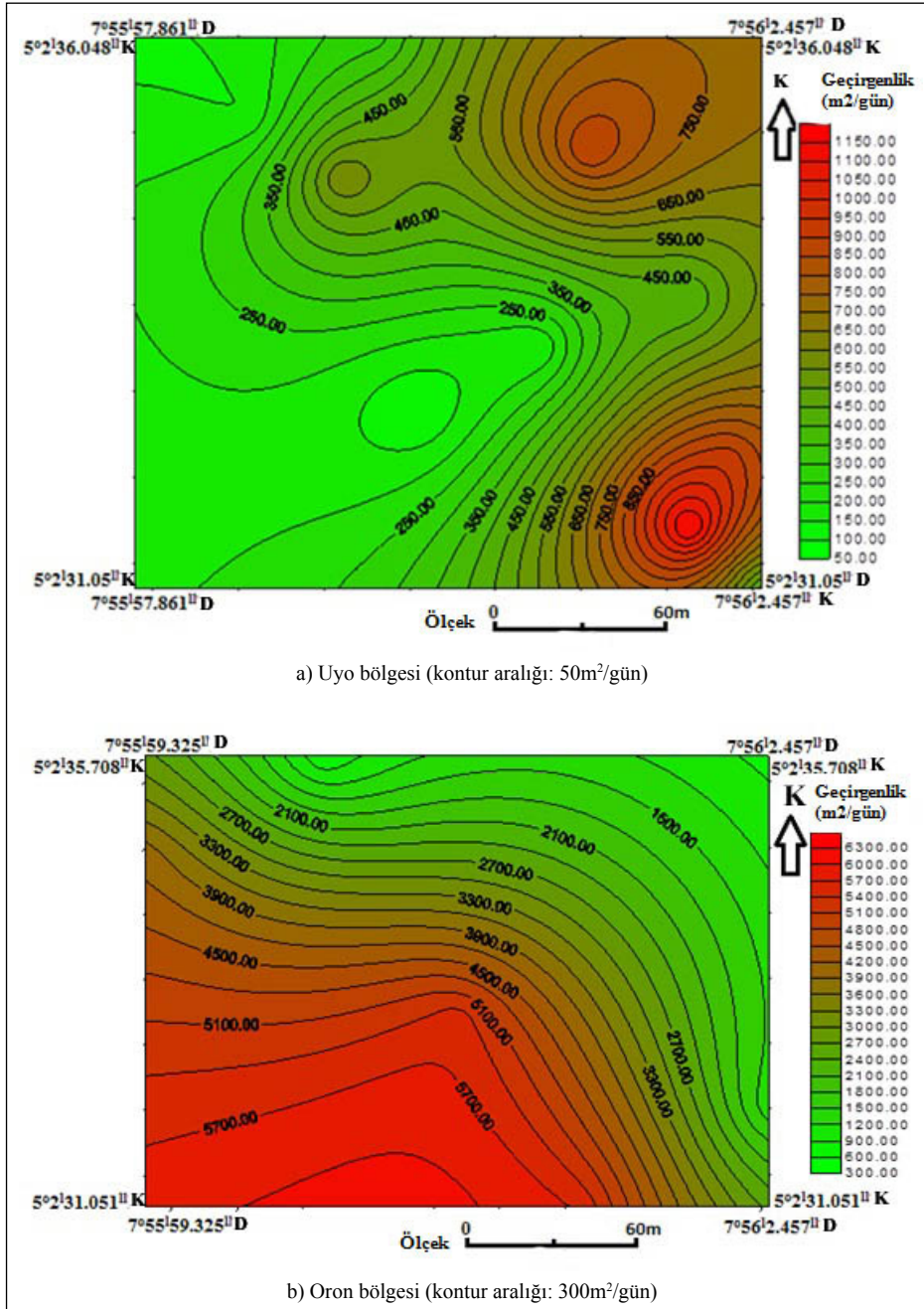
### 3.3.1. Da-Zarrouk Parametreleri

Hesaplanan sızıntı suyu Da-Zarrouk parametreleri yorumlanan DES verilerinden (Çizelge 2) elde edilmiş olup, çalışma alanı içinde çeşitli parametrelerin değerlerinin düşükten yükseğe değiştiğini göstermektedir. Uyo atık sahası için sızıntı suyu öz direnci 4,06-20,00  $\Omega$ m arasında, sızıntı suyu kalınlığı 2,85-22,20 m arasında ve uzunlaşmasına

iletkenlik (longitudinal conductance) ise 0,205-2,637 ohm-m arasında değişmektedir.

### 3.3.2. Hidrolik İletkenlik

Sızıntı suyu tabakasının ( $K_1$ ) hidrolik iletkenliği, sızıntı suyu veya su gibi herhangi bir sıvının zemin malzemeleri veya katmanları içindeki boşluklar veya çatlaklardan geçebilme kolaylığı olarak tanımlanabilir.



Şekil 7- a) Uyo ve b) Oron bölgeleri boyunca geçirgenliği gösteren dağılım haritası.

Bu parametre üç ana faktöre bağlıdır. Bunlar, kaya biriminin içsel geçirgenliği (intrinsic permeability), kaya birimi içindeki doygunluk derecesi ve sızıntı suyu gibi sıvının viskozitesi ile birlikte yoğunluktur. Matematiksel olarak, saha boyunca sızıntı suyu tabakasının hidrolik iletkenliği ( $K_1$ ) Heigold vd. (1979) tarafından oluşturulan 1. eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte;

$$K = 386.40R_{rw}^{-0.93283} \quad (1)$$

iken  $K$  = Hidrolik iletkenlik;  $R_{rw}$  = Katmanın görünüm öz direncini temsil etmektedir.

Uyo atık sahasında sızıntı suyu biriminin hidrolik iletkenliği (Çizelge 2) 23,63 m/gün ila 104,56 m/gün arasında değişmektedir. Üretilen hidrolik iletkenlik dağılım haritası, haritanın batı kesiminde

(Şekil 6a) sızıntı suyu biriminin nispeten düşük hidrolik iletkenliğe sahip olduğunu (23,63-65,00 m/gün); doğudaki pembemsi renkli kesimin ise sızıntı suyu ünitesinin nispeten daha yüksek hidrolik iletkenliğine (70-104,56 m/gün) karşılık geldiğini ortaya koymaktadır. Oron atık sahasında (Şekil 6b), kuzeydoğu bölgesi sızıntı suyu biriminin nispeten daha düşük hidrolik iletkenliğine (24,78 - 68,79 m/gün) sahipken; güneybatı kısımdaki pembemsi renk sızıntı suyu biriminin nispeten daha yüksek hidrolik iletkenliğine karşılık gelir (70 - 99,98 m/gün). Genel olarak bu verilerden birkaçı, Ekwe ve Opara (2012) tarafından elde edilen ve Güneydoğu Nijerya'da yer alan Owerri ve çevresindeki DES verilerinden sızıntı suyu sorgucu için yapılan yorumlarla, bölgenin hidrolik iletkenliği ile iyi şekilde karşılaştırılmıştır.

### 3.3.3. Geçirgenlik

Sızıntı suyunun geçirgenliği doğrudan hidrolik iletkenlik ile ilgili bir özellik olup; belirli kalınlıktaki sızıntı suyu gibi bir sıvının, sıvı iletme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Matematiksel olarak, saha boyunca sızıntı suyu tabakasının ( $T_L$ ) geçirgenliği, Niwas ve Singhal (1981) tarafından oluşturulan ve aşağıda verilen 2. eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır;

$$T_L = K_L h_L \quad (2)$$

Bu eşitlikte  $K_L$ = Sızıntı suyu geçirgenliğini,  $K_L$ = Sızıntı suyunun hidrolik iletkenliğini ve  $h_L$ = Sızıntı suyu kalınlığını ifade etmektedir.

Sonuç olarak, DES sonuçlarından hesaplanan sızıntı suyu geçirgenliği ( $T_L$ ) Uyo'da 96,63 ila 1175,52 m<sup>2</sup>/gün arasında değişirken (Çizelge 2 ve şekil 7a); Oron bölgesinde bu değerler 664,22 ila 5659,08 m<sup>2</sup> / gün arasında değişmektedir (Çizelge 2 ve şekil 7b). Bu değerlerden bazıları, Ekwe ve Opara (2012) tarafından Güneydoğu Nijerya'da yer alan Owerri ve çevresindeki yorumlanmış DES verilerinden sızıntı suyu sorgucu için elde edilen, bölgenin hidrolik iletkenliği ile iyi şekilde karşılaştırılmıştır. Burada, sahanın geçirgenlik değerinin 51,39 ila 5659,08 m<sup>2</sup>/gün arasında değiştiği sonucu elde edilmektedir. Şekil 7, geçirgenliğin çalışma alanı içindeki dağılımını açıkça göstermektedir.

### 3.3.4. Aşınabilirlik (Erodibilite)

Aşınabilirlik, toprak ve kaya gibi zemin malzemelerinin erozyona karşı doğal akma veya

direnç gösterememesi olarak tanımlanabilir. Yüksek aşınabilirlik, erozyonal süreçler tarafından uygulanan aynı miktardaki işin, daha büyük miktardaki malzemenin kaldırılmasına yol açtığı anlamına gelir. Bu nedenle çalışma alanı içerisindeki örtü tabakalarının aşınabilirliği, Freeze ve Cherry (1979)'a göre 3 no'lu denklem kullanılarak hesaplanmıştır;

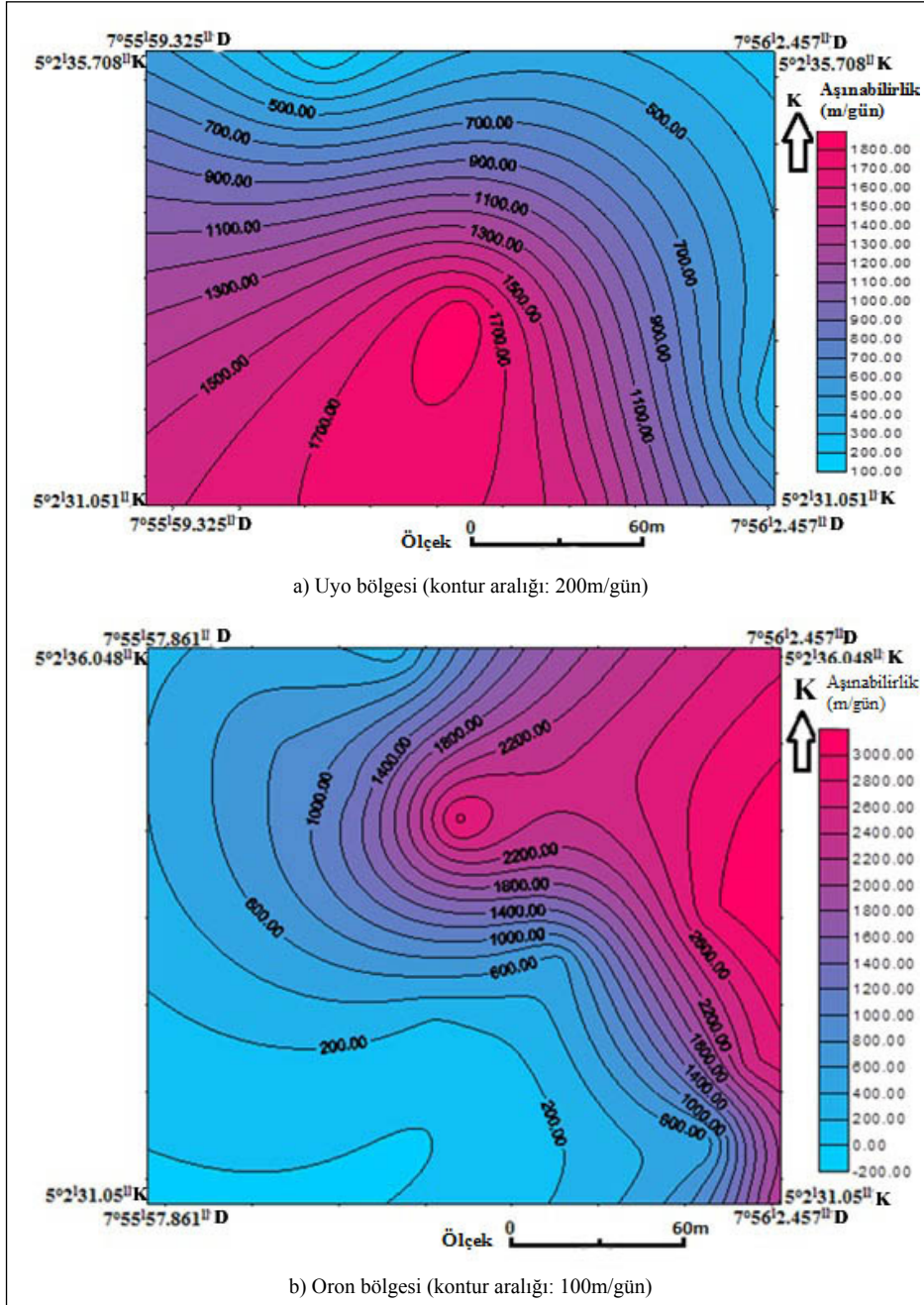
$$K_z = \frac{b}{\left[ \sum_{i=1}^m (b_i / K_i) \right]} \quad (3)$$

Burada,  $K_L$ = her bir litolojik tabaka içerisindeki aşınabilirlik ya da paralel akmayı,  $K_i$ = her bir tabaka kalınlığındaki hidrolik iletkenliği,  $b_i$ = her bir tabaka kalınlığını;  $b$  = İstifin toplam kalınlığını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, bölgedeki aşınabilirlik değerinin Uyo bölgesinde 134,53 ile 2948,94 m/gün arasında olduğunu; aynı değerlerin Oron bölgesinde ise 104,36 ile 1877,52 m/gün arasında olduğunu göstermektedir (Çizelge 2). Çalışma alanı boyunca sızıntı suyu aşınabilirlik dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 8). Uyo bölgesinde (Şekil 8a), göreceli yüksek aşınabilirlik (1400 ila 2948,94 m/gün) ve göreceli orta aşınabilirlik (134,53 ila 1206,18 m/gün) bölgeleri olmak üzere iki farklı bölge yorumlanmıştır. Ayrıca Oron bölgesinde (Şekil 8b), bir göreceli yüksek aşınabilirlik bölgesi (900-1877,52 m/gün) ile bir de göreceli orta aşınabilirlik bölgesi (104,36-865,33 m/gün) olmak üzere iki ayrı bölge yorumlanmıştır. Uyo bölgesinde 1404,44 m/gün ve Oron bölgesinde 933,42 m/gün ortalama sızıntı suyu birimi aşınabilirliği dikkate alındığında, çalışma alanı sızıntı suyu birimlerinin aşınabilirliği göreceli yüksek aşınabilir olarak sınırlandırılabilir. Bu, mevcut jeolojik malzemelerin doğası gereği, alan içindeki malzemenin uzaklaştırılma oranının oldukça yüksek olduğu anlamına gelir.

### 3.4. Hidrojeokimyasal Özellikler

Hidrojeokimyasal analizler, atık sahalarını çevreleyen sondaj kuyularından alınan az sayıdaki su örneğinin (Çizelge 3) yükseltilmiş Toplam Çözünmüş Katı Madde, indirgenmiş pH ve yüksek elektrik iletkenliği sergilediğini ortaya koymaktadır. Ağır metallerden Kadmiyum izin verilen sınırın önemli ölçüde üzerindedir (Numune DS3 ve DS4). Atık sahası, çalışma sırasında çok az etkiyle de olsa zarar görmektedir. Asidik pH, henüz ortaya çıkmamış olan



Şekil 8- a) Uyo ve b) Oron bölgeleri boyunca aşınabilirliği gösteren dağılım haritası.

durumların bir göstergesidir. Hem asidik pH hem de yüksek Kadmiyum oranı, yeraltı suyu ile ilgili bir şeylerin yanlış gittiğinin işaretleridir. Yeraltı suyuna Kadmiyum ekleyen birçok antropojenik etki vardır. Hidrojeokimyasal analiz sonuçları, çalışma alanı içerisinde elde edilen pH değerlerinin (3,7-5,8) insan tüketimi için kabul edilebilir 6,5-8,5 sınırları içinde olmadığını da ortaya koymaktadır. Aslında Edet

(2017), çalışma alanında elde edilen bu düşük pH değerlerinin, çürüyen bitkilerden üretilen humik asidin bir sonucu olabileceğini vurgulamıştır. Ayrıca, analiz sonucu DS3 ve DS4 örneklerinde yüksek miktarda çözülmüş oksijen olduğunu göstermektedir. Bu durum belki de çizelge 3'te gösterildiği gibi ortamdaki yüksek mikrobiyal aktiviteye bağlı olabilir.

Çizelge 3- Çalışma alanındaki hidrojeokimyasal analiz sonuçları.

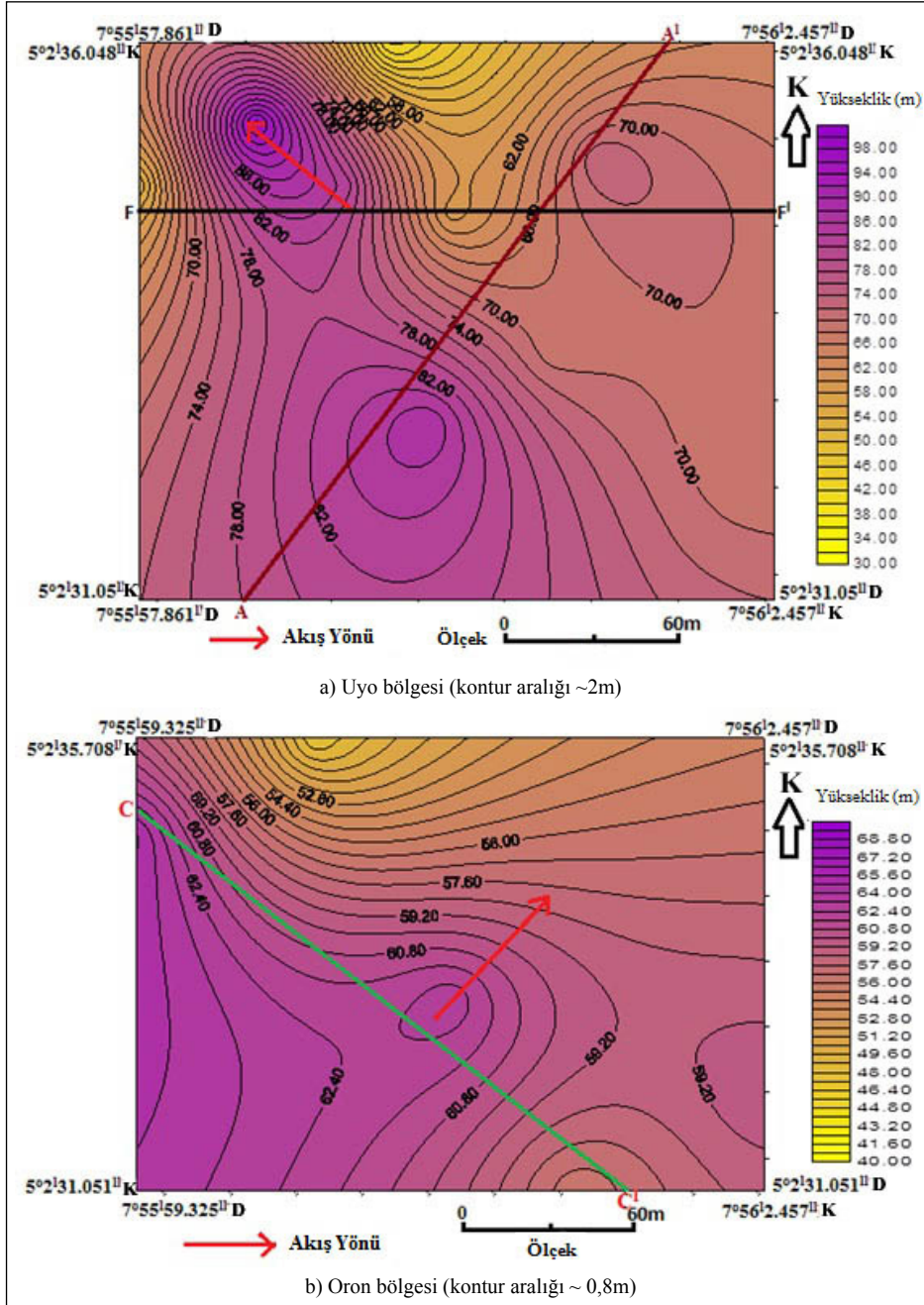
Parametreler	66 Udo St. (DS1)	H. Garden (DS2)	64 Udo St. (DS3)	58 Udo St. (DS4)	68 Udo St. (DS5)	NSDWQ	DSÖ (2017)
Görünüş	Temiz	Temiz	Temiz	Temiz	Temiz	Temiz	
Renk (HU)	5	5	5	5		15	
Koku	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	
Sıcaklık °c	27.7	31	29.4	29.2	22.7	Yerel	
pH	5	5.8	3.93	3.7	3.82	6.5-8.5	6.5-8.5
Bulanıklık (NTU)	1.03	20.1	0.5	0	1.17	5`	
Demir (Fe <sup>3+</sup> )mg/l	0.07	0.08	BD	0.16	0.25	0.3	0.3
Tuz %	0.9	1.3	0	0.1	0.1	0.5	
Elektrik iletkenliği µs/cm	1813	2059	40	131.4	231	1000	1000
Toplam çözülmüş katı madde mg/l	857	1242	16.4	79.3	110.1	500	1000
Artık klor (d <sub>2</sub> ) mg/l	----	-----	-----	-----	-----	0.2-0.25	
Mangan mg/l	0.08	0.08	0.035	0	BD	-	0.4
Nitratlar (No <sub>3</sub> ) mg/l	0.027	0.336	0.06	-0.02(BD)	0.4	50	50
Nitrit (No <sub>2</sub> ) mg/l	0.018	0.018	0.006	0.001	0.013	0.2	3
Amonyak (NH <sub>3</sub> ) mg/l	0.07	0.04	0	0	0	0	0.2
Fosfat (po <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) mg/l	0.033	0.001	0.025	0.043	0.006	3.5	
Asılı katı madde mg/l	0.4	2.4	8	15	BD	10	
Toplam silika (SiO <sub>2</sub> ) mg/l	-----	-----	0.029	0.002	0.035	17	
Sülfat (SO <sub>4</sub> ) mg/l	11.2	11.2	5	3	5	1000	500
Toplam sertlik mg/l	72	34	36	46	32	500	
Kalsiyum sertliği (Ca <sup>2+</sup> ) mg/l	70	82	14	20	30	75	
Magnezyum sertliği mg/l	2	BD	BD	BD	BD	0.2	
Asitlik mg/l	0.8	0.48	0.04	0.64	0.08	4.5-8.2	
Toplam alkalinite mg/l	13.2	15.6	4.8	4.88	24	100-200	
Klorür (Cl <sup>-</sup> ) mg/l	0.83	0.78	0.6	0.1	0	250	
Metil alkalinite mg/l	13.2	15.6	4.8		2.4	100-200	
Alüminyum (Al <sup>3+</sup> ) mg/l	-----	-----	0.01	0.04	0	0.2	0.1-0.2
Selenyum (Se) mg/l	-----	-----	0.101	0.04	0	-	0.01
Krom (Cr)	0.002	0	0	0.01	0.01	0.05	0.05
Kadmiyum (Cd <sup>2+</sup> ) mg/l	0	0	1	1	0.004	0.003	0.003
Bakır (Cu)mg/l	0.813	0.824	0.17	0.12	0.17	1	2.0
Siyanür (CN) mg/l	-----	-----	0.005	0	0.006	0.01	0.17
Kurşun (Pb <sup>2+</sup> ) mg/l	0.0007	0.0007	0.6	0	0.003	0.01	0.01
Arsenik (As) mg/l	-----	-----	0.03			0.01	0.01
Baryum (Ba <sup>2+</sup> ) mg/l	-----	-----	7	7	BD	0.7	0.7
Çözülmüş Oksijen (O <sub>2</sub> ) mg/l	0.77	0.78	43.4	10.8	1.2	1.0-5.0	

Anahtar semboller: DS = Atık sahasına yakın sondaj kuyularından alınan su örnekleri; BD= Tespit limiti altında.

### 3.5. Yükseklik ve Sızıntı Suyu Düzey Haritaları

Uyo ve Oron atık sahalarının yükseklik haritaları (Şekil 9), sızıntı suyu düzey haritaları ile etkili korelasyon amacıyla üretilmiştir. Yine de Uyo ve Oron atık sahalarındaki sızıntı suyu seviyeleri, veri toplama sırasında elde edilen yüzey yüksekliklerinden

sızıntı suyu katmanına kadar ki derinliklerin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Uyo bölgesinde (Şekil 10a), sızıntı suyu sorgucunun akış yönü ağırlıklı olarak KB-GD yönündedir ve bu yön, hidrojeolojik olarak bölgedeki baskın yeraltı suyu akış yönüdür. Ayrıca, sızıntı suyu seviyesinin kalınlığı bölgede bu akış yönü boyunca artar. Oron bölgesindeki sızıntı suyu

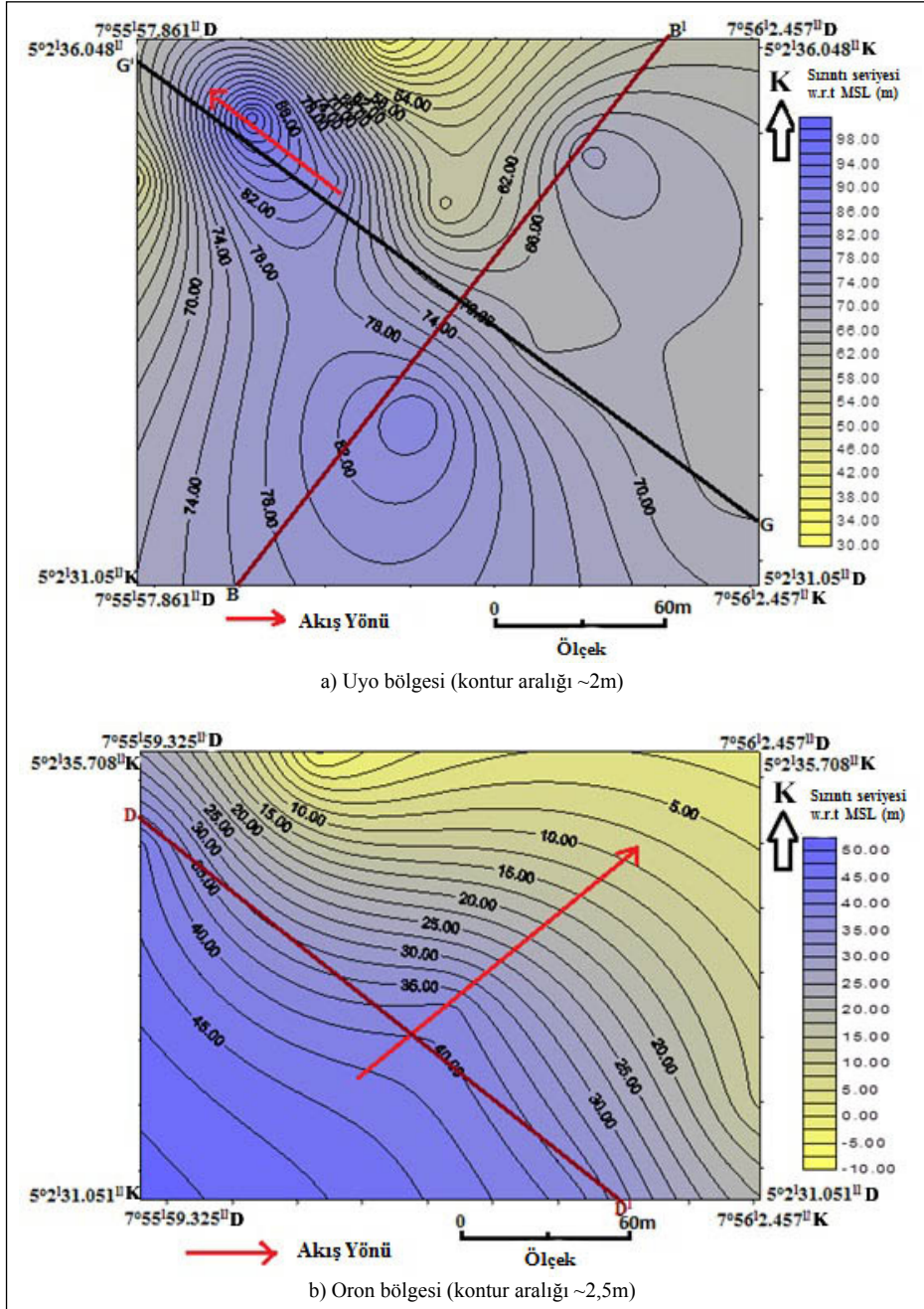


Şekil 9- a) Uyo ve b) Oron bölgeleri boyunca yüksekliği gösteren dağılım haritası.

sorgucunun akış yönü (Şekil 10b) ağırlıklı olarak KD-GB yönündedir ve hidrojeolojik olarak, alanın yeraltı suyu akış yönünde bu yöndür. Dolayısıyla sızıntı suyu seviyesinin kalınlığı, bu alanda bu akış yönü boyunca artar. Ayrıca, Uyo'daki G-G<sup>1</sup> ve Oron'daki H-H<sup>1</sup>enine kesitleri, akış yönündeki dip ve pik noktalarını ortaya çıkarabilmek amacıyla akış yönü boyunca alınmıştır (Şekil 11).

### 3.6. Sızıntı Suyu Düzeyi ile İlişkili Hidrojeolojik Risk Çıkarımı

Sırasıyla Uyo ve Oron bölgelerinde hem yükseklik haritasında (Şekil 9) hem de sızıntı suyu düzey haritasında (Şekil 10) farklı enine kesitler alınmıştır. Uyo bölgesinde, şekil 8a'daki A-A<sup>1</sup> ve şekil 9a'daki B-B<sup>1</sup> profilleri, bu alanda elde edilebilen yeraltı suyu risk faktörünün tahmin etmek amacıyla üst üste

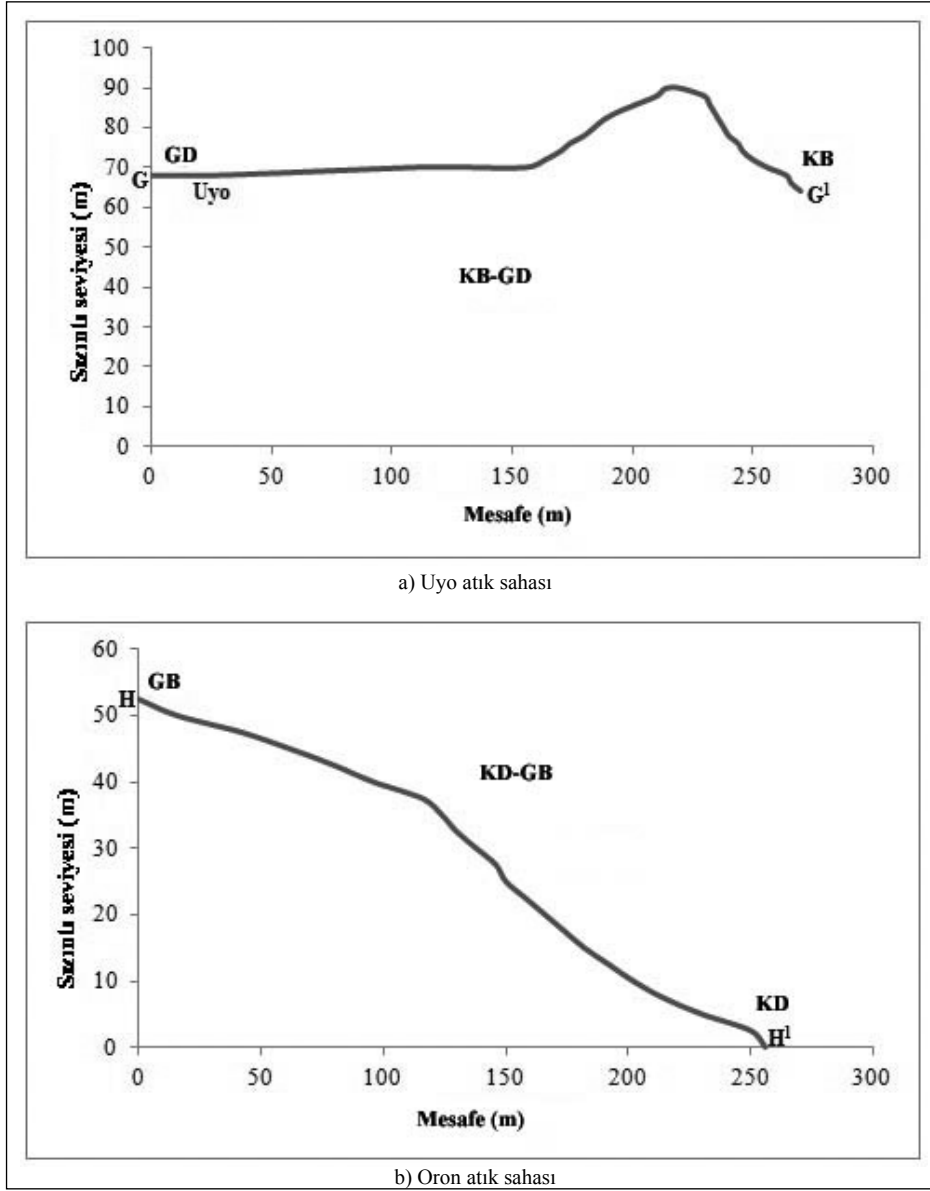


Şekil 10- a) Uyo ve b) Oron bölgeleri boyunca sızıntı suyu düzeyini gösteren dağılım haritası.

bindirilmiştir (Şekil 12). Şekil 12'dan, sızıntı suyu seviyesi ile topoğrafya arasında yakın bir eşleşme olduğu sonucuna varabiliriz. Bu da bize topoğrafyanın, sızıntı suyu düzeyinin konfigürasyonunu kontrol ettiğini göstermektedir (Şekil 12a). Ayrıca, sızıntı suyu dip seviyesinin derinliği ve statik su seviyelerinin sırasıyla 65 m ve 38 m olması nedeniyle sızıntı suyu seviyesi ile Uyo bölgesindeki ortalama statik su

seviyesi arasındaki boşluk 25m'dir (Şekil 12a). Bu, sızıntı suyunun (kirlenme) düşey hareketinin yavaş olacağı; böylece, kirleticileri akifere ulaşmadan çıkaracak fiziksel (filtrasyon), kimyasal ve biyokimyasal süreçlere olanak sağlayacağı anlamına gelir. Ayrıca, hidrokimyasal analize göre Uyo'daki bazı gösterge parametreleri çok düşük olup, atık sahasından çok fazla kirlenme göstermeyebilir.





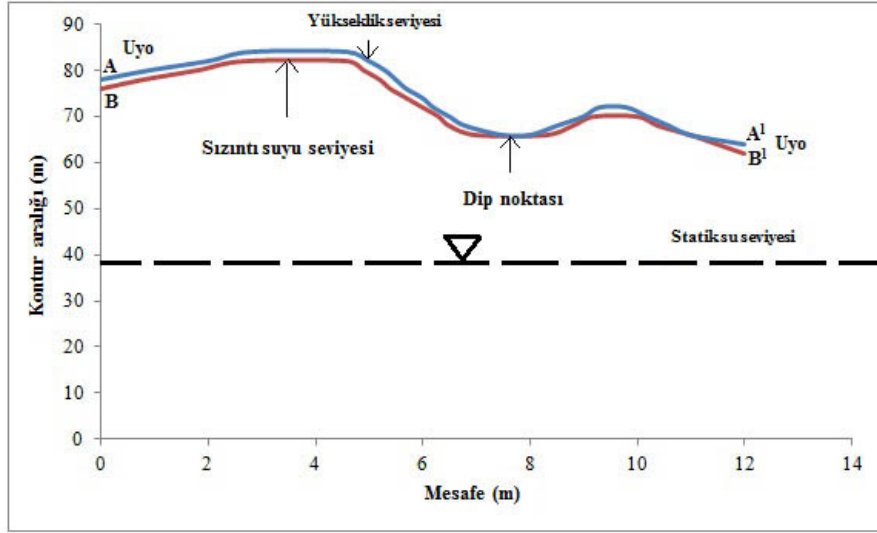
Şekil 11- a) Uyo ve b) Oron bölgeleri boyunca sızıntı suyu akış yönünü gösteren enine kesit.

Ayrıca Oron bölgesinde, şekil 9b'deki C-C<sup>1</sup> ve şekil 10b'deki D-D<sup>1</sup> profilleri de yine, bu alanda elde edilebilen yeraltı suyu risk faktörünün tahmin etmek amacıyla üst üste bindirilmiştir (Şekil 12b). Şekil 12b'den hareketle sızıntı suyu düzeyi ile topografya arasında, topoğrafyanın sızıntı suyu düzeyinin konfigürasyonunu kontrol ettiğine işaret eden yakın bir ilişki olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Ayrıca şekil 12b, statik su seviyesinin 35 m düzeyinde sızıntı suyu seviyesi yüzeyini çaprazlamasına geçecek şekilde kesişen bir model göstermektedir. Bu, sızıntı suyu dip seviyesinin yeraltı su seviyesinin ötesinde olduğu, bu durumda yeraltı suyunu zaten kirlettiği anlamına

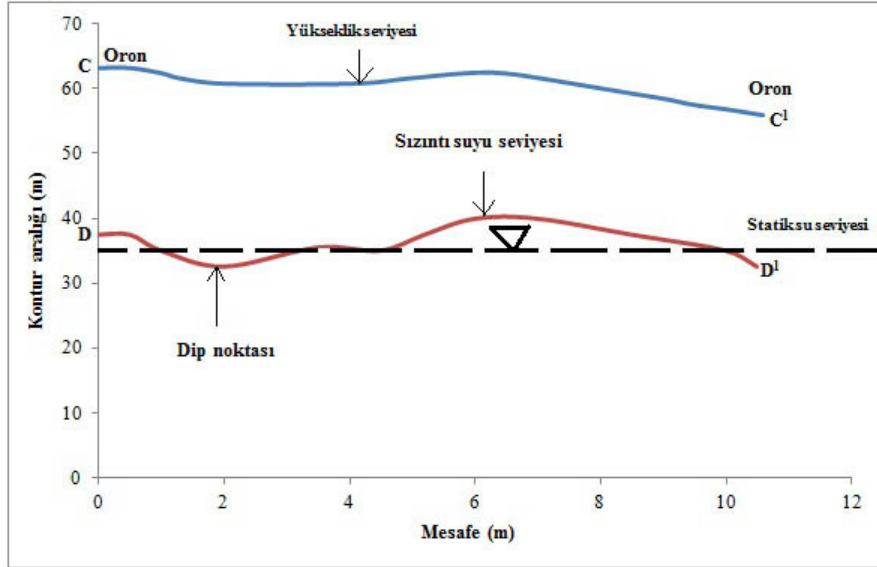
gelmektedir ki bu durum bölgedeki su kullanıcıları için oldukça risklidir. Bunlara ek olarak, Oron bölgesindeki hidrokimyasal analizin bazı gösterge parametreleri önemli ölçüde yüksek olup; bölge sakinleri için yeraltı suyunu uygunsuz hale getirmenin dışında, atık sahası içerisinde yeraltı suyunun büyük ölçüde kirletildiğine de işaret edebilir.

### 3. Sonuçlar

Hesaplanan sonuç ve modeller, katı atıkların yeraltı suyu kalitesi üzerindeki etkisini belirlemede öz direnç ve hidrokimyasal yöntemlerin faydalarını



Şekil 12- a) Uyo atık sahasında sızıntı suyu düzeyinin risk modeli.



Şekil 12- b) Oron atık sahasında sızıntı suyu düzeyinin risk modeli.

göstermiştir. Uyo atık sahasından gelen sızıntı suyu, yeraltı suyu kalitesini ciddi olarak kirleten ve böylece yeraltı suyunu bölge sakinleri için uygunsuz hale getiren Oron atık sahasına kıyasla, yeraltı suyu kalitesi üzerinde önemsiz bir etkiye sahiptir.

### Katkı Belirtme

Akwalbom Eyaleti Çevre Bakanlığı, Eyalet Atık Yönetim Kurulu ve Ikot Ekpene Club'a bu araştırmanın verilerinin toplanması konusunda sağladıkları izinler için teşekkür ederiz.

### Değnilen Belgeler

- Adeeko, T.O., Samson, D.O., Umar, M. 2019. Geophysical Survey of Basement Complex Terrain Using Electrical Resistivity Method for Groundwater Potential. World News of Natural Sciences (WNOFNS) 23(1), 154-165.
- Amadi, S.C., Onwumesi, A.G., Anakwuba, E.K., Chinwuko, A.I., Okeke, H.C. 2017. Estimation of Aquifer Hydraulic Characteristics from Surface Geo-Electrical Sounding of Affa And Environs Southeastern, Nigeria. IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics 5(4), 14-25.
- Anakwuba, E.K., Nwokeabia, C.N., Chinwuko, A.I., Onyekwelu, C.U. 2014. Hydrogeophysical assessment of some parts of Anambra basin, Nigeria. International Journal of Advanced Geosciences 2(2), 72-81.

- Chinwuko, A.I., Anakwuba, E.K., Okeke, H.C., Usman, A.O., Ovwasa, M.O., Okoye, I. F. 2015. Geo-electric Investigation for Groundwater Potential in Awka Anambra State, Nigeria. *International Journal of Science for Global Sustainability* 1 (1), 85-95.
- Christensen, T.H., Cossu, R., Stegmann, R. 1992. *Landfill of waste*. Elsevier Science publisher Ltd, England, 656p.
- Dahlin, T., Rosqvist, H., Leroux, V. 2010. Resistivity – IP mapping for landfill applications. *First Break* 28(8), 101-105.
- Edet, A.E. 2017. Hydrogeology and groundwater evaluation of a shallow coastal aquifer, southern AkwaIbom State, Nigeria. *Springer Open* 7(5), 2397-2412.
- Edet, A.E., Okereke, C.S. 2002. Delineation of shallow groundwater aquifers in the Coastal plain sands of Calabar area (Southern Nigeria) using surface resistivity and hydrogeological data. *Journal of African Earth Sciences* 35(3), 433-443.
- Ekwe, A.C., Opara, A.I. 2012. Aquifer Transmissivity from Surface Geo-electrical Data: A Case Study of Owerri and Environs, Southeastern Nigeria. *Journal Geological Society of India* 80, 123-128.
- Ezeh, C.C. 2011. Geoelectrical studies for estimating aquifer hydraulic properties in Enugu State, Nigeria. *International Journal of the Physical Sciences* 6(14), 3319-3329.
- Freeze, R.A., Cherry J.A. 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 604 pp.
- Frohlich, R.K., Barosh, P.J., Boving, T.B. 2008. Investigating changes of electrical characteristics of the saturated zone affected by hazardous organic waste. *Journal of Applied Geophysics* 64(1), 25-36.
- Heigold, P.C., Gilkeson, R.H., Cartwright, K., Reed, P.C. 1979. Aquifer transmissivity from surficial electrical methods. *Groundwater* 17(4), 338-345.
- Mbipom, E.M., Okwueze, E.E., Onwuegbuche, A.A. 1996. Estimation of transmissivity using VES data from the Mbaise area of Nigeria. *Nigerian Journal of Physics* 85, 28-32.
- Nfor, B. N., Olobaniyi, S. B., Ogala, J. E. 2007. Extent and distribution of groundwater resources in parts of Anambra state Southeastern, Nigeria. Department of geology, Delta State University Abraka, Delta State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental* 11(2), 215 – 221.
- Nigerian Geological Survey Agency, 2006, *Geological Map of Nigeria*, 1:2 million scale.
- Nigerian Standard for Drinking Water Quality. 2015. A Unit of Nigerian Industrial Standard (NIS)- Guidelines for drinking water uses, Abuja, Nigeria, 28p.
- Niwas, S., Singhal D.C. 1981. Aquifer transmissivity of porous media from Dar-Zarrouk parameters in porous media. *Journal of Hydrology* 82, 143-153.
- Nwajide, C. S. 2013. *Geology of Nigeria's Sedimentary Basins*. CSS Bookshop Limited, 347p.
- Obiora, D.N., Ibuot, J.C., George, N.J. 2016. Evaluation of aquifer potential, geoelectric and hydraulic parameters in Ezza North, Southeastern Nigeria, using geoelectric sounding. *Int. Journ Environ Sci Technol* 13, 435-444.
- Ogwueleka, T. 2009. Municipal solid waste characteristics and management in Nigeria. *Iran Journal of Environmental Health, Science and Engineering* 6(3), 173-180.
- Okafor, P., Mamah, L.I. 2012. Integration of geophysical techniques for groundwater potential investigation in Katsina-Ala, Benue State, Nigeria. *The Pacific Journal of Science and Technology* 13(2), 463-474.
- Olofsson, B., Jernberg, H., Rosenqvist, A. 2005. Tracing leachates of waste sites using geophysical and geochemical modelling. *Environmental Geology* 49(5), 720-732.
- Onwumesi, A.G., Egboka, B.C.E. 2006. 2-D Polynomial curve fitting techniques on watertable, and hydraulic gradients estimations in parts of Anambra basin, Southeastern Nigeria. *Natural and Applied Sci. Journal* 7(2), 6-13.
- Oseji, J.O., Ujuanbi, O. 2009. Hydrogeological investigation of groundwater potential in Emu Kingdom, Ndokwa land of Delta State, Nigeria. *International Journal of Physical Sciences* 4(5), 275-284.
- Shaibu, I., Udensi, E. E., Chinwuko, A.I., Usman, D. A., Adetona, A. A., Omale, M.E. 2018. Geophysical Investigation of Groundwater Potential in Millennium City Housing Estate Kaduna, Nigeria using Electrical Resistivity Method. *Kada Journal of Physics* 2(1), 14-22.
- Singh, A., Sharma, S.P., Akca, I., Baranwal, V.C. (2018). Fuzzy constrained Lp-norm inversion of direct current resistivity data. *Geophysics* 83(1), E11-E24.
- Ugbaja, A.N., Edet, A.E. 2004. Groundwater pollution near shallow waste dumps in Southern Calabar, South-eastern Nigeria. *Global Journal of Geological Sciences* 2(2), 199-206.
- Utom, A.U., Odoh, B. I., Okoro, A.U. 2012. Estimation of Aquifer Transmissivity Using Dar Zarrouk Parameters Derived from Surface Resistivity Measurements: A Case History from Parts of Enugu Town (Nigeria). *Journal of Water Resource and Protection* 4, 993-1000.
- Wunderlich, T., Fischer, P., Wilken, D., Hadler, H., Erkul, E., Mecking, R., Gunther, T., Heinzmann, M., Vott, A., Rabbel, W. 2018. Constraining electric resistivity tomography by direct push electric conductivity logs and vibracores: An exemplary study of the Fiume Morto silted riverbed (Ostia Antica, Western Italy). *Geophysics* 83(3), B87-B103.

