



Makale / Research Paper

**Kızıldere Formasyonu (İskenderun-Arsuz/HATAY) Kumtaşlarında
Micro-CT Yöntemiyle Mikroporozite Belirlenmesi**

Melda AVCU^{1a}, Meryem YEŞİLOT KAPLAN^{2b*}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun/Hatay/Türkiye

²İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz

Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay/Türkiye

meryem.yesilotkaplan@iste.edu.tr

Received/Geliş: 24.01.2021

Accepted/Kabul: 25.02.2021

Öz: Bu çalışmanın amacı Arsuz-İskenderun (Hatay) yöresinde gözlemlenen kumtaşlarının mikroporozitesini Micro-CT ve görüntü işleme yöntemleriyle belirlemek ve makro porozite değerleriyle karşılaştırmaktır. Kızıldere formasyonu kumtaşları-kilttaşları ile ardışıklıdır ve evaporitik birimlerden oluşan Haymaseki üyesini üzerlemektedir. Kumtaşlarında bağlayıcı malzeme kalsit çimentodur ve temel kayaya ait ultrabazik-bazik kayaç kırıntıları hakimdir ve litarenit olarak isimlendirilmişlerdir. Micro-CT analizlerine göre kapalı porozite % 4.22, açık porozite % 35.46 ve toplam porozite ise % 38.18'dir. Micro-CT yöntemiyle elde edilen iki boyutlu 188 adet görüntünün işlenmesi ile toplam porozite belirlenmiştir. Açık kod kaynaklı Fiji/Imagej programıyla yapılan analizlerde kumtaşlarında porozite % 20-45 arasında değişmektedir. Kuyu logları porozitesiyle bu değerler karşılaştırılmıştır ve Micro-CT analiz sonuçlarıyla benzer olduğu belirlenmiştir. Görüntü işleme yöntemleri ve Micro-CT yöntemiyle kayaçların porozite değerlerinin hesaplanması diğer yöntemlere göre daha pratik, tahribatsız ve ekonomiktir. Kızıldere formasyonuna ait kumtaşlarının porozite değerleri formasyonun hazne kaya olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Micro-CT; mikroporozite; Kızıldere Formasyonu; görüntü işleme; ImageJ

**Determination of Microporosity in Kizildere Formation Sandstones
by Micro-CT method (Iskenderun-Arsuz / HATAY)**

Abstract: The aim of study is to determine the microporosity of sandstones in Arsuz-Iskenderun (Hatay) region by Micro-CT and image processing methods and to compare the macro porosity. The Kizildere formation is sequenced with sandstones-claystones and overlies the Haymaseki member consisting of evaporitic units. The cement in sandstones is calcite and ultrabasic-basic rock fragments of the basement rock are dominant and are named as litharenite, closed porosity is 4.22%, open porosity is 35.46% and total porosity is 38.18% according to Micro-CT analysis. Porosity in sandstones varies between 20-45% in the analysis with the open source software Fiji / Imagej. These values were compared with the porosity of the well logs and determined to be similar to the Micro-CT analysis results. Calculation of porosity values of rocks with image processing methods and Micro-CT method is more practical, non-destructive and economical than other methods. The porosity values of the sandstones of the Kizildere formation indicate that the formation may be a reservoir rock.

Keywords: Micro-CT; microporosity; Kızıldere Formation; image processing, ImageJ

1. Giriş

Rezervuar kalitesini belirlemede kullanılan parametrelerin başında su saturasyonu, porozite ve permeabilite yer almaktadır. Porozitenin mikroskobik olarak gözlemlenebilen gözenek boyutu ve

Bu makaleye atıf yapmak için

Avcu, M., Yeşilot Kaplan, M., "Kızıldere Formasyonu (İskenderun-Arsuz/HATAY) Kumtaşlarında Micro-CT yöntemiyle Mikroporozite Belirlenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (2); 718-727.

How to cite this article

Avcu, M., Yeşilot Kaplan, M. "Determination of Microporosity in Kizildere Formation Sandstones by Micro-CT method (Iskenderun-Arsuz / HATAY)" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8 (2); 718-727.

ORCID ID: ^a0000-0002-2567-2247, ^b0000-0001-8900-8823

Micro-CT yöntemi ile, mikron boyutta yüksek çözünürlükte üç boyutlu görüntü elde edilmektedir ve birçok disiplinde kullanılmaktadır. Örneklerde tahribata yol açmamasının yanı sıra çok küçük örneklerde (~1 cm) petrografik özelliklerin belirlenmesinde ayrıntılı sonuçlar verebilmektedir. Kayaçların porozitesi ve porozite ağlarını belirlemek üzere tüm yönlerden görüntü elde etmek mümkündür ve böylece özellikle petrol alanında rezervuarda sıvı hareket yönü gibi önemli bilgiler hakkında yorum yapılmasını sağlamaktadır. Kumtaşlarında yapılan porozite çalışmaları; porozite [6-11], gözenek boğazı [12-14] porozite ağlarının [15-18] belirlenmesidir. Kumtaşlarında gözenek morfolojinin görüntü işleme yöntemiyle belirlenmesi yöntemi dış morfolojisi ve sınıflamaları alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır [19,20].

Bu çalışmada Kızıldere kumtaşları kullanılmış ve çalışma alanı Şekil 1’de verilmiştir. Çalışmada amaç rezervuar olabilecek kumtaşlarının mikroporozite değerini belirlenmesi ve bu amaç için Micro-CT yöntemiyle elde edilmiş olan iki boyutlu görüntüler üzerinde görüntü işleme programını kullanılmasıdır. Elde edilen sonuçlar kuyu logları porozite değerleri ile de karşılaştırılarak yöntemin güvenilirliği araştırılmıştır.

2. Genel Jeoloji

Çalışma alanında gözlemlenen litostratigrafik birimler Şekil 2’de verilmiştir. Stratigrafik kesite göre yaşlıdan gence sıralanınca, Kızıldağ ofiyoliti, Kalecik, Horu, Kızıldere, Haymaseki, Aktepe ve Erzincan formasyonları ile en üstte alüvyonlar bulunmaktadır.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	LİTOLOJİ	FORMASYON	
					KUV.
SENOZOYİK	TERSİYER	PLİYOSEN	ÜST	ALÜVYON	
			ALT	ERZİN FM. Uyumsuzluk	
		MİYOSEN	ÜST		AKTEPE FM.
					HAYMASEKİ FM.
			ORTA		KIZILDERE FM.
					HORU FM.
ALT		KALECİK FM. Uyumsuzluk			
PRE-MİYOSEN			TEMEL KAYA		

Şekil 2. İskenderun ve çevresinin stratigrafik kesiti

Miyosen öncesi temel kaya niteliğinde bölgede yaygın olarak bulunan Kızıldağ ofiyoliti bulunmaktadır. Alt-Miyosen yaşlı Kalecik formasyonu temel kaya üzerine uyumsuz gelmektedir ve

formasyon iri tanelerle karakterize edilmektedir. Üzerinde Üst-Miyosen yaşlı ve resifal özellikli Horu formasyonu uyumlu olarak bulunmaktadır. Kumtaşı- kiltası ardışımı ve en üstte evaporitik özellikler gösteren Haymaseki üyesi bulunan Kızıldere formasyonu Orta-Üst Miyosen’de çökelmiştir. Evaporitik birimler Messiniyen regresyonu veya “tuzluluk krizi” olarak bilinen Akdeniz’in kapanması ile çökelmişlerdir. Formasyon sığ denizel-karasal Aktepe formasyonunu ile Erzin Formasyonunu ve alüvyonları üzerlemektedir [21-26].

3. Materyal ve Metot

Kızıldere formasyonuna ait kumtaşlarında ilk olarak petrografik incelemeler gerçekleştirilmiş ve İstanbul Teknik Üniversitesi laboratuvarında ince kesitler hazırlanmıştır. Bu ince kesitlerde çimento türü, fosil içeriği, tane türü, tane boyu, tane şekli gibi gözlemlenebilen tüm özellikler belirlenmiştir. Taneler arası porozite ölçümlerinde sık kullanılan yöntemlere alternatif olarak diş hekimliğinde kullanımı fazla olan Micro-CT yöntemiyle porozite belirlenmiştir. ODTÜ Biyomalzeme ve Doku Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde Micro-CT yöntemiyle porozite oranı, porozite boyutlarını belirlemek mikron boyutta düzenli aralıklarla üzere 2D (iki boyutlu) ve 3D (üç boyutlu) görüntüler elde edilmiştir. Üç boyutlu görüntü elde etmek için kullanılan örneğin yükseklik-en-boy olarak 45x25x26 mm boyutlarındadır. Mikro-CT de elde edilmiş olan porozitenin belirlenebileceği iki boyutlu görüntüler açık kodlu işleme programında Fiji-ImageJ programında işlenmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Arazi Gözlemleri

Kızıldere formasyonu (Orta-Üst Miyosen) Hatay’da bulunan olası petrol sisteminde iki farklı kayaç tipiyle yer almaktadır.



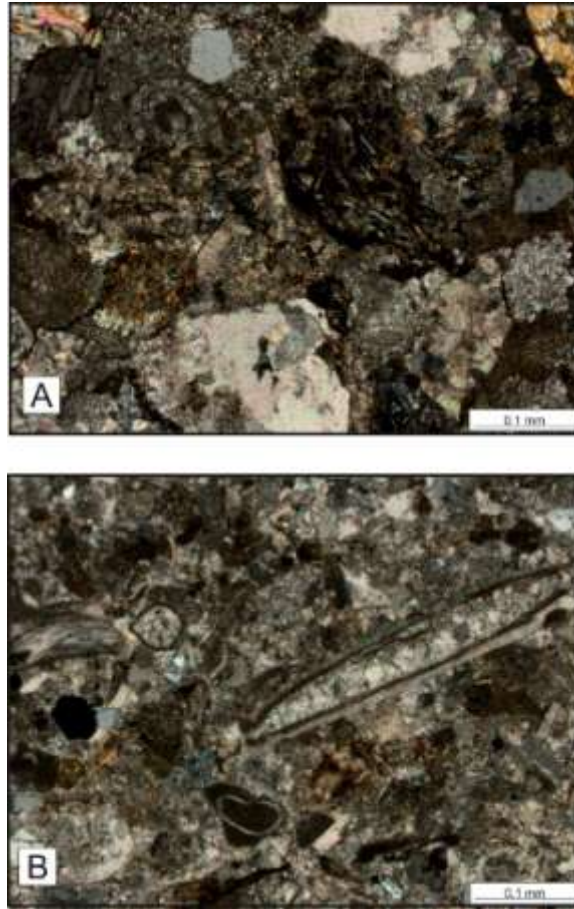
Şekil 3. Kumtaşı-kiltası ardışımının (Kızıldere Formasyonu) arazi görünümleri; A) orta tabakalı kumtaşlarının ince tabakalı kiltaları ile ardışımı, B) kumtaşlarında gözlemlenen çatlaklar

Kumtaşı-kiltaşı ardışımında kiltaları kaynak kaya özelliklerini göstermekteyken, kumtaşları ise rezervuar (hazne) kaya için uygundur. İnce-orta tabakalı kiltalarının gri-koyu gri renkte olması organik malzemece zengin olduğundan kaynaklanmaktadır ve tabaka kalınlıkları 2-30 cm arasında değişmektedir [Şekil 3-A; 27]. Kiltalarıyla ardışımlı bulunan kumtaşları ise kiltalarından daha açık gri renklindedir hatta yer yer sarı renkli kumtaşları da bulunmaktadır. Kalınlıkları kiltalarına nispeten daha fazladır ve orta-kalın (10-50 cm) tabakalıdır. Kumtaşlarında birbirini dik kesen çatlaklar bulunmaktadır (Şekil 3-B). Kiltası-kumtaşı ardışımı ince tabakalı jips tabakalarını üzerlemektedir. Jips tabakalarında ise yer yer marnlar ile ardışım gözlenmiştir. Marnlarda gözle görülebilecek büyüklükte bitki kalıntıları bulunmaktadır.

4.2. Petrografi

Kızıldere formasyonu karakteristik olarak kumtaşı-kiltaşı ardışımı ile tanımlanabilir. Bu kırıntılı kayaçlarda en fazla önce çökelmiş birimlerden kaynaklanan ultrabazik-bazik kayaç kırıntıları bulunmaktadır (Şekil 4-A). Gerek kayaç kırıntıları olsun gerekse feldspat ve kuvars olsun tüm kırıntıların boyları değişkenlik göstermektedir. Ortalama 120-200µm büyüklüğünde olan tanelerin boyutları 20 µm ila 200 µm arasında değişmektedir.

Kalsit çimento ile bağlanmış olan kumtaşları “litarenit” olarak isimlendirilmiştir. Kayaç kırıntıları kumtaşını oluşturan diğer ana bileşenlerden (kuvars ve feldspat taneleri) oransal olarak daha fazladır. Taneler köşeli ve farklı boyutta tanelerin bir arada bulunmasından dolayı da boylanma kötüdür (Şekil 4-B). Sığ denizel ortamı temsil eden biyoklastların da yer yer bolluğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. Kızıldere Formasyonu kumtaşlarında gözlemlenen; (A) kayaç kırıntılarının, (B) biyoklastların mikroskop görüntüsü (polarize ışık)

4.3. Micro-CT Görüntüleri ve Porozite

Micro-CT yöntemi ile elde edilmiş olan açık, kapalı ve toplam porozite yüzdeleri Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre kapalı porozite % 4.22, açık porozite % 35.46 ve toplam porozite ise % 38, 18 olarak belirlenmiştir. Birbiriyle bağlantısı olmayan gözeneklere kapalı porozite, bağlantılı olan gözeneklere ise açık porozite tanımlaması yapılmaktadır.

Tablo 1. Micro-CT analiz sonucu elde edilmiş porozite (gözeneklilik) değerleri

Özellik	Kısaltma	Sonuçlar
Obje sayısı	Obj.N	2692
Kapalı gözenek sayısı	Po.N (cl)	222097
Kapalı gözenek hacmi	Po.V (cl)	66.32706090 mm ³
Kapalı gözenek yüzeyi	Po.S (cl)	4938 62913662 mm ²
Kapalı gözeneklilik	Po (cl)	% 4.22378743
Açık gözenek hacmi	Po.V (op)	862.82156329 mm ³
Açık porozite	Po (op)	% 35.46118674
Toplam gözenek boşluk hacmi	Po.V (tot)	929 14862419 mm ³
Toplam gözeneklilik	Po (tot)	% 38.18716902
Bağlantı	Conn	45478
Bağlantı yoğunluğu	Conn.Dn	1869101612, 1/mm ³

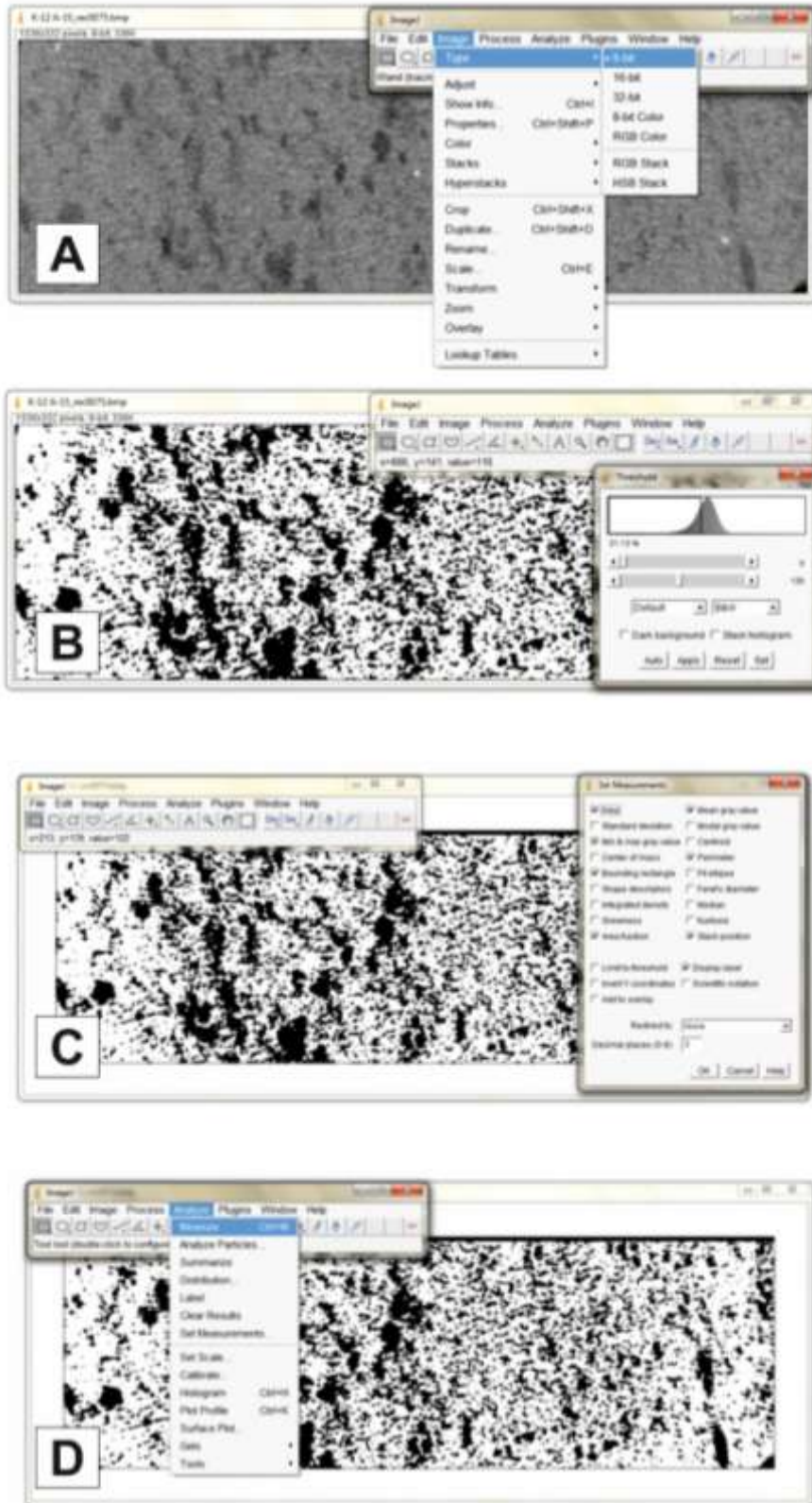
4.4. Görüntü İşleme ile Porozitenin Belirlenmesi

Petrol aramaları başta olmak üzere yer bilimlerinde porozitenin bilinmesi formasyon tanımlamalarında ve kritik kararlar aşamasında gereklidir. Karot analizleri ve kuyu logları ile yapılan porozite ölçüm ve hesaplamalarına gelişen teknoloji ile birlikte yenileri de eklenmiştir. Bunlardan biri de Micro-CT ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntülerinin değerlendirilmesi ile porozitenin belirlenmesidir. Birçok disiplinde görüntü işleme gün geçtikçe gelişmekte olup yer bilimlerinde de amaca yönelik paket programlar kullanılmaktadır. Fiji/Imagej programı açık kodlu olup gerek biyolojik çalışmalarda gerekse yer bilimlerinde kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Bu çalışmada Fiji/Imagej programının diğer programlara göre daha kullanışlı olduğuna karar verilmiş ve önceki çalışmalarda da özellikle SEM ve petrografik görüntülerin işlenmesinde gerçek değerlerden sapmanın düşük olduğu tespit edilmiştir.

Porozitenin görüntü işleme ile hesaplanması, kayacım SEM, Micro-CT ve ince kesit görüntülerindeki renk değişimlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. İnce kesit görüntülerinde renklerin kontrolü için normal ışıpta elde edilmiş görüntüler tercih edilmektedir. Öte yandan SEM ve Micro-CT gibi diğer petrografik yöntemlerdeki görüntüler gri tonlamalı olduğundan görüntü işleme yöntemine daha uygundur. Porozite hesaplamasında öncelik görüntünün 8 bit (2⁸, 256) olası değere dönüştürülmesidir (Image/Type/8-bit; Şekil 5-A). Bu dönüştürme sonrasında değerler 1 ile 256 arasında değişmektedir.

Elde edilen görüntüde “görüntü eşikleme” işlemi yapılarak porozite ile diğer bileşenlerin birbirinden ayrılacağı ikili (binary) görüntü elde edilmektedir (Şekil 5-B). İkili görüntü (binary), görüntünün siyah ve beyaz olarak dönüştürülmesine olanak verir. İkili görüntülerde eşik değeri baz alınarak parlaklık değişimlerine göre değerler oluşmaktadır. Eşik değer üstü ve altı renk değerleri 0 ve 255’tir. Görüntü parlaklıkları böylece sadece iki değere indirgenir.

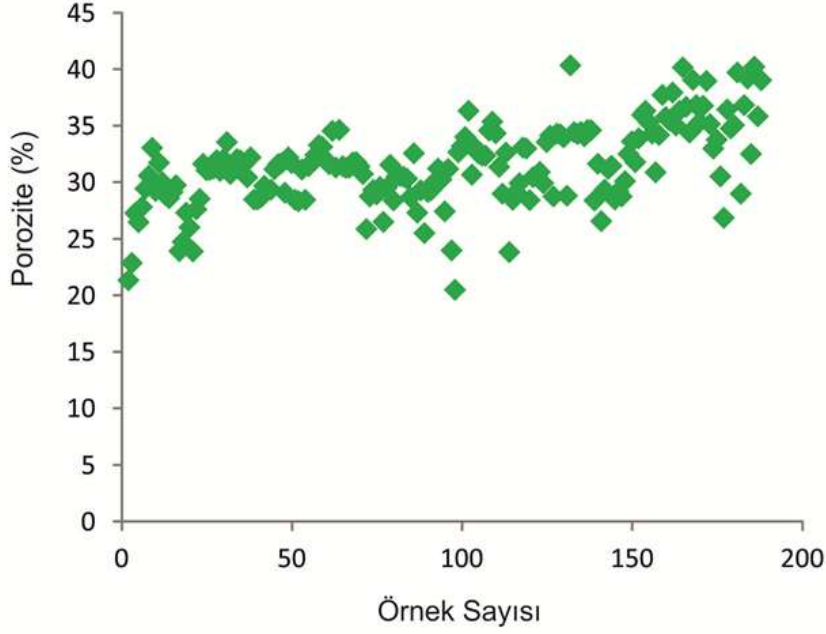
Fiji/Imagej programında ölçülebilecek parametreler çeşitlidir ve bu parametrelerin listesine Analyze/Set Measurements komutu ile ulaşılabilmektedir (Şekil 5-C). Alansal olarak porozite



Şekil 5. (A) Gri tonlama değerlerine dönüştürülen görüntü, (B) Görüntünün ayarlarının ölçüm yapılmaya uygun olması amacıyla düzenlenmesi, (C) Çalışmanın amacına bağlı olarak ölçüm parametrelerinin belirlenmesi, (D) Renk farklılığı ile porozite belirlemek amacıyla Analyze/Measure komutunun açılması

hesaplanacağından ve oransal bir değere ulaşılacağından özellikle ‐Alan Fraksiyonu‐ ve ‐Area‐ parametrelerinin programda seçilmiş olması gerekmektedir. Bu işlemlerden sonra sonuçlar program tarafından görüntülenmektedir (Şekil 5-D).

Bu çalışma kapsamında Micro-CT yöntemiyle elde edilen iki boyutlu 188 adet görüntü işlenmiştir. Bu görüntülerin açık kodlu Fiji/ImageJ programı ile işlenmesi ile elde edilen porozite % 20-45 arasında değişmektedir ve ortalama 31.45 hesaplanmıştır ve sonuçları grafiği Şekil 6’ da verilmiştir.



Şekil 6. Kızıldere kumtaşlarında görüntü işleme yöntemiyle belirlenen porozite değerleri

4.5. Kuyu Loglarıyla Belirlenen Porozite Değerleri

Permeabilite ve porozite, rezervuar karakterizasyonu için en temel ve kritik parametrelerdir ve sıvı akışı ve depolama kapasitesi ile yakından ilişkilidir. Rezervuar geçirgenliğinin ve porozitenin doğru ölçümü veya tahmini büyük önem taşımaktadır. Rezervuar kayanın permeabilite ve porozitesini belirleme yöntemleri, karot ölçümleri ve kuyu loglarıdır. Ancak, doğrudan ölçümler genellikle pahalı, zaman alıcı ve rezervuar aralığının yalnızca bir kısmı ile sınırlıdır.

Kızıldere formasyonu kumtaşlarına ait log ölçümlerinin değerlendirilmesi Öztürk [28] tarafından sıkılanma faktörü göz ardı edilerek % 40 hesaplanmış ve formasyon porozitesinin bölgede güneybatı kuzeydoğu yönünde arttığını belirtmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada İskenderun-Arsuz (HATAY) yörelerinde bulunan Kızıldere formasyonu kumtaşlarının porozitesi belirlenmiştir. Hazne kaya olan kumtaşlarının bağlayıcı malzemesi kalsit çimentodur ve taneler de kayaç kırıntıları hakimdir. Petrografik özellikleri bilinen kumtaşlarının mikro boyutta porozitesinin makroporozitesi ile uyumluluğunu araştırmak üzere Micro-CT yönteminden faydalanılmıştır. Analiz sonucunda porozitesi görüntü işleme yöntemiyle ölçülebilecek 188 adet görüntü analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Son olarak da makro porozite değerleri ile karşılaştırılma yapılmıştır. Micro-CT analizlerine göre kapalı porozite % 4.22, açık porozite % 35.46 ve toplam porozite ise % 38.18’dir. Açık kod kaynaklı Fiji/Imagej programıyla yapılan analizlerde kumtaşlarında porozite % 20-45 arasında değişmektedir. Kuyu loglarında belirlenen

porozite ise % 40, en düşük değer ise % 26 olarak belirlenmiştir. Üç yöntemde de gözeneklilik değerlerinin alt ve üst sınırını doğru ve uyumlu şekilde elde edilmiştir. Görüntü işleme yöntemleri ve Micro-CT yöntemiyle kayaçların porozite değerlerinin hesaplanması diğer yöntemlere göre daha pratik, tahribatsız ve ekonomiktir. Kızıldere formasyonuna ait kumtaşlarının porozite değerleri formasyonun hazne kaya olabileceğini göstermektedir.

Yazar(lar)ın Katkıları

MA ve MKY çalışmalarını yaptı ve makaleyi yazdı. Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Loyd, S.J., Corsetti, F.A., Eiler, J.M., Tripathi, A.K., Determining the diagenetic conditions of concretion formation: assessing temperatures and pore waters using clumped isotopes, *Journal of Sedimentary Research*, 2012, 82: 1006-1016.
- [2]. Wang, J., Cao, Y., Liu, K., Liu, J., Xue, X., Xu, Q., Pore fluid evolution, distribution and water-rock interactions of carbonate cements in red-bed sandstone reservoirs in the Dongying Depression, China, *Marine and Petroleum Geology*, 2016, 72: 279-294.
- [3]. Carvalho, M. V. F., Ros, L. F. D., Gomes, N. S., Carbonate cementation patterns and diagenetic reservoir facies in the Campos basin cretaceous turbidites, offshore eastern Brazil, *Marine and Petroleum Geology*, 1995, 12(7): 741-758.
- [4]. Taghavi A.A., Mørk A., Emadi M.A., Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehloran Field, southwest Iran, *Petroleum Geoscience*, 2006, 12: 115-126.
- [5]. Lai J., Wang G., Chen J., Wang S., Zhou Z., Fan X., Origin and distribution of carbonate cement in tight sandstones: The Upper Triassic Yanchang Formation Chang 8 oil layer in west Ordos Basin, China, *Geofluids*, 2017, Article ID 8681753, 13 pages.
- [6]. Mayo, S., Josh, M., Nesterets, Y., Esteban, L., Pervukhina, M., Clennell, M. B., Maksimenko, A. Hall, C., Quantitative micro-porosity characterization using synchrotron micro-CT and xenon K-edge subtraction in sandstones, carbonates, shales and coal, *Fuel*, 2015, 154: 167-173.
- [7]. Munawar, M. J., Lin, C., Cnudde, V., Bultreys, T., Dong, C., Zhang, X., Boaver, W.D., Zahid, M. A., Wu, Y., Petrographic characterization to build an accurate rock model using micro-CT: Case study on low-permeable to tight turbidite sandstone from Eocene Shahejie Formation, *Micron*, 2018, 109: 22-33.
- [8]. Xiao, D., Jiang, S., Thul, D., Lu, S., Zhang, L., Li, B., Impacts of clay on pore structure, storage and percolation of tight sandstones from the Songliao Basin, China: implications for genetic classification of tight sandstone reservoirs, *Fuel*, 2018, 211: 390-404.
- [9]. Zhang, N., Zhao, F., Guo, P., Li, J., Gong, W., Guo, Z., Sun, X., Nanoscale pore structure characterization and permeability of mudrocks and fine-grained sandstones in coal reservoirs by scanning electron microscopy, mercury intrusion porosimetry, and low-field nuclear magnetic resonance, *Geofluids*, 2018, Article ID 2905141, 20 pages.
- [10]. Xia, Y., Cai, J., Perfect, E., Wei, W., Zhang, Q., Meng, Q., Fractal dimension, lacunarity and succolarity analyses on CT images of reservoir rocks for permeability prediction, *Journal of Hydrology*, 2019, 579: 124198.
- [11]. Zahid, M. A., Chunmei, D., Golab, A. N., Lin, C., Zhang, X., Ge, X., Songtao, W., Munawar M.J., Ma, C., and Knuefing, L., Pore size distribution and reservoir characterization: evaluation for the Eocene beach-bar sequence, Dongying Depression, China, *Arabian Journal*

- of Geosciences, 2019, 12(21): 1-14.
- [12]. Xi, K., Cao, Y., Haile, B. G., Zhu, R., Jahren, J., Bjørlykke, K., Zhang, X., Hellevang, H., How does the pore-throat size control the reservoir quality and oiliness of tight sandstones? The case of the Lower Cretaceous Quantou Formation in the southern Songliao Basin, China, *Marine and Petroleum Geology*, 2016, 76: 1-15.
- [13]. Gao, H., Cao, J., Wang, C., He, M., Dou, L., Huang, X., Li, T., Comprehensive characterization of pore and throat system for tight sandstone reservoirs and associated permeability determination method using SEM, rate-controlled mercury and high pressure mercury, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, 174: 514-524.
- [14]. Liu, D., Gu, Z., Liang, R., Su, J., Ren, D., Chen, B., Huang, C., Yang, C., Impacts of pore-throat system on fractal characterization of tight sandstones, *Geofluids*, 2020, Article ID 4941501, 17 pages.
- [15]. Piri, M., Blunt, M. J., Three-dimensional mixed-wet random pore-scale network modeling of two-and three-phase flow in porous media I. Model description, *Physical Review E*, 2005, 71(2), 026301.
- [16]. Al-Kharusi, A. S., Blunt, M. J., Network extraction from sandstone and carbonate pore space images, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2007, 56(4): 219-231.
- [17]. Dong, H., Blunt, M. J., Pore-network extraction from micro-computerized-tomography images, *Physical review E*, 2009, 80(3): 036307.
- [18]. He, M., Zhou, Y., Wu, K., Hu, Y., Feng, D., Zhang, T., Liu, Q., Li, X., Pore network modeling of thin water film and its influence on relative permeability curves in tight formations, *Fuel*, 2020, 289: 119828.
- [19]. Demircioğlu, P., Diş ve İmplant Mikromorfolojik Yapıların Sinyal ve Görüntü İşleme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2018: 5(3), 741-748.
- [20]. Başçiftçi, F., Avuçlu, E., Determination Age and Gender with Edge Detection Algorithms Using Dental X-Ray Images, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2019, 7(1), 315-321.
- [21]. Tendam, A., İskenderun Havzasındaki Sedimentasyon ve Fasiyesleri, *Türkiye Jeoloji Kurulu Bülteni*, Ankara, 1951, 2: 5-66.
- [22]. Schmidt, G.C., Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District VII. *Petroleum Administration Bulletin*, 1961, 6: 47-63.
- [23]. Sigal, J., I. ve VII. Bölgeler Stratigrafi Etüdü (I.F.P. 1962-1963), TPAO , 1963, Rap No. 300.
- [24]. İpreoğlu, İ., Akarsu, İ., Misis Dağları ve İskenderun Körfezi Civarı Hakkında Jeolojik Rapor. TPAO. 1964, Rap.No.280.
- [25]. Kozlu, H., İskenderun Baseni Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TPAO, 1982, Rapor No.1921.
- [26]. Kozlu, H., Structural Development and Stratigraphy of Misis–Andirin Region, In *Proceedings of the 7th Petroleum Congress of Turkey*. Turkish Association of Petroleum Geologists, 6-10 April 1987, Ankara, 104-116.
- [27]. Kılınc, E., Yeşilot Kaplan M. Paleoenvironmental Conditions, Geochemistry and Hydrocarbon Potential of Kızıldere Formation Hatay–Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 2019, 28: 3519-3526.
- [28]. Öztürk, E., İskenderun körfezi miyosen yaşlı istiflerin yer altı jeolojisi ve hazne kayaç özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005, 94 s.