

## Kıyı Bölgesinde Tuzluluk Girişiminin Laboratuvar Ölçekli İncelenmesi

Ayşe Nur KARAYEL<sup>1\*</sup> ve Babak VAHEDDOOST<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye

\*([aysenurkarayel7@gmail.com](mailto:aysenurkarayel7@gmail.com)) Başlıca yazarın mail adresi

**Özet** – Dünyada hızlı nüfus artışı ile birlikte kıyı bölgelerindeki popülasyonda hızla artmaktadır. Nüfus artışıyla birlikte canlıların yaşam standartları da zamanla iyileşmekte ve su ihtiyacı birçok alanda artmaktadır. Artan talebi karşılamak içinde birincil tatlı su kaynağı olan akiferler kullanılmaktadır. Bu akiferlerden zamanla fazla su çekilmesi ile beraber tatlı su- tuzlu su arasındaki hidrodinamik denge bozularak tuzlu su, tatlı su kaynaklarına doğru hareket etmektedir. Bu durum birçok alanda ihtiyaç duyduğumuz suyun kalitesini düşürmektedir. Bu çalışmada akiferlere tuzlu su girişini incelemek için laboratuvar ölçekli bir deney düzeneği tasarlanmış ve yürütülmüştür. Bu çalışmada, kıyı bölgesindeki tuzlu ve tatlı su dengesindeki değişiklikleri laboratuvar ölçekli deneyler yardımıyla incelenmiştir. 1400 (uzunluk) × 400 (yükseklik) × 200 (genişlik) × 10 (Kalınlık) mm boyutlarında, Pleksiglas malzemeden üretilmiş bir kum havuzu ekipmanı, kıyı şeridi yakınında serbest bir akiferi simüle etmek için kullanılmıştır. Daha sonra tatlı su-tuzlu su için denge koşulu sağlanmıştır. Deneylerde 1~2 mm çapında yarı homojen bir kum numunesi kullanılırken, tuzlu suyun gözenekli ortamda hareketini izlemek için tuzlu su içeriği (25 gr./lt) 2 gr./lt gıda boyası ile boyanmıştır. Ardından, zemin numunesi boyunca dikey ve yatay hız ve ivmeyi belirlemek için gözenekli ortamda tuzlu su hareketi izlenmiştir. Deney 30.dakika tuzlu suyun tatlı su haznesine girmesi ile sonlandırılmıştır. Elde edilen veriler sonucu yapılan hesaplamalar ile  $V_{xortlama} = 3.33$  cm/dk,  $V_{yortlama} = 0.83$  cm/dk; ve  $a_{xortlama} = 0.27$  cm/dk<sup>2</sup>,  $a_{yortlama} = 0.16$  cm/dk<sup>2</sup> bulunmuştur.

*Anahtar Kelimeler – Tuzluluk, Kıyı Bölgesi, Ölçekli İnceleme*

### I. GİRİŞ

Dünya çapındaki nüfus artışının yanı sıra, insanın yaşam standartlarındaki sürekli iyileştirme, bu alanlardaki su talebini daha da artırmaktadır [1]. Özellikle kıyı bölgesinde, evsel, tarımsal ve endüstriyel su kullanımına yönelik artan talepleri karşılamak için yeraltı suyu genellikle birincil tatlı su kaynağıdır [2]. Kıyı akiferleri denize hidrolik olarak bağlandıkları için, başlangıçta daha yoğun olan deniz suyu doğal olarak yeraltı suyu sistemine tabandan giriş yapar ve tatlı suyu tuzlu suya dönüştürmeye çalışır. Deniz suyunun sığ yeraltı suyu akiferine sızması, tatlı su seviyesinin deniz suyu seviyesinin altına düşmesi ve ters hidrolik gradyan oluşması sonucunda gerçekleşir. Ancak yeraltı suyunun aşırı çekilmesi akiferdeki tatlı su-deniz suyu arasındaki hidrodinamik dengeyi bozmakta ve deniz suyunun yukarı doğru hareketine neden olmaktadır [3]. Bu da kıyı bölgesindeki tatlı

yeraltı suyu kaynaklarının tükenmesine ve tuzluluk girişimine neden olmaktadır [4, 5]. Yeraltı suyu seviyesi ortalama deniz seviyesinin altına düştüğünde, hidrolik gradyan değişir ve kıyı akiferinde deniz suyunun karasal hareketine neden olur [6, 7]. Bu açıdan bakıldığında, deniz suyu girişi sadece sanayi ve tarım sektörlerini değil aynı zamanda belediye alanı için erişilebilir suyu da etkilemektedir [8]. Karaya deniz suyu girişinin boyutu araziye, bölgesel jeolojiye, hidrolojiye ve tüketim oranına göre değişir. Şimdiye kadar, dünya genelinde deniz suyu müdahalesini ele almak için nispeten çok sayıda çalışma yapılmıştır. Deneysel veya sayısal olarak önceki çalışmalar, tuzlu su girişinin dinamiklerinin oldukça karmaşık olduğu ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyduğu sonucuna varmıştır. Örneğin Simmons vd. [9], hem doymamış hem de doymuş gözenekli ortamlardaki yoğunluğa dayalı sıvı akışını araştırmak için 1200 × 178 × 53

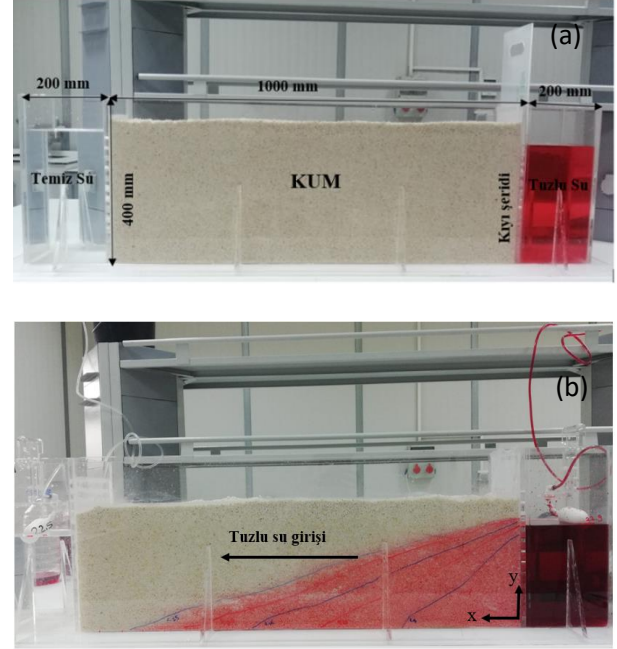
mm boyutlarında camdan yapılmış bir kum tankı kullanılmıştır. Goswami ve Clement, 530×27×305 mm'lik bir kurulum yardımıyla çeşitli senaryolar için tuzlu-tatlı su dinamiklerini araştırmıştır [10]. Yu vd., 7700×1200×160 mm boyutunda bir deney düzeneği kullanarak, gelgitten etkilenen serbest akiferlerin iç hidrolik yükündeki ani bir değişikliğin neden olduğu tuzlu su giriş süreçlerini araştırmıştır [11]. Vats vd., 556×68×400 mm'lik bir kurulum yardımıyla kıyı akiferlerindeki tuzlu su giriş süreçlerini kontrol etmek için bir hidrolik bariyer yapımında ters sirkülasyon kuyusunun etkisini araştırmıştır [12]. Etsias vd., 380×150×10 mm'lik bir kurulum kullanarak çatlak gözenekli ortama sahip bir akiferdeki tuzlu su girişinin başarılı bir şekilde yönetimini ve korunmasını araştırmıştır [13].

Şimdiye kadar, deniz suyu müdahale sürecinin geniş bir şekilde anlaşılması için bu bireysel çalışmaları birbirine bağlamak için sınırlı girişimlerde bulunulmuştur. Bu nedenle, bu çalışma bir dizi laboratuvar deneyi ve modelleme yaklaşımıyla tatlı-tuzlu su dengesinin doğasını araştırmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, kum tankı (sandbox) deneyi, deniz suyu müdahalesini anlamamızı ve görselleştirmemizi geliştirmek için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylein tamamı, Bursa'da bulunan Bursa Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. 1400 (uzunluk) × 400 (yükseklik) × 200 (genişlik) × 10 (Kalınlık) mm boyutlarına (Şekil 1.a) sahip bir hazne (yani kum tankı modeli), kıyı şeridi yakınında serbest bir akiferi simüle etmek için kullanılmıştır. Daha sonra tatlı su, tuzlu su ortamı ve gözenekli bölgesini simüle etmek için iç kısım delikli plakalar kullanılarak üçe bölünmüştür. Bu doğrultuda solda tatlı su deposu (200×400×200 mm), ortada gözenekli orta rezervuar (1000×400×200 mm) ve sağda tuzlu su deposu (200×400×200 mm) yer almaktadır (Şekil 1.a). Daha sonra tatlı su, tuzlu su ortamı ve gözenekli bölgesini simüle etmek için iç kısım delikli plakalar kullanılarak üçe bölünmüştür. Daha sonra orta rezervuar 1 ~ 2 mm (gözeneklilik  $\eta$ : 0,425) arasında değişen kum parçacıkları (gözenekli ortam) ile doldurulmuştur. Tuzlu suyun sirkülasyonu ve gözenekli ortama sürekli olarak bir tuzlu su çözeltisi sağlamak için şamandıra sistemi

kullanılmıştır. Tuzlu su çözeltisi hazırlamak için ise tipik sofr tuzu ve musluk suyu (laboratuvardan temin edilen) yardımıyla 25 g/l [14] yoğunluğunda çözelti oluşturulmuş ve tatlı sudan ayırt edebilmek için kırmızı veya mavi gıda boyası (2 gr/l) [14] olarak boyanmıştır.



Şekil 1: (a) Deney düzeneği ve (b)  $t=30$  anındaki durumu

### A. Hız-İvme

Tuzluluk girişinin yatay ve dikey davranışını anlamak için tuzlu suyun  $x$  ve  $y$  yönlerinde hareketiyle ilişkili zamana bağlı bir grafik oluşturulmuştur. Daha sonra, tuzlu suyun  $x$  ve  $y$  yönlerinde yer değiştirmesiyle ilişkili hız, yer değiştirmenin zaman içindeki birinci dereceden türevi kullanılarak hesaplanır (Denklem 1), yer değiştirmenin ivme oranı ise ikinci derece türev yardımıyla elde edilir (Denklem 2).

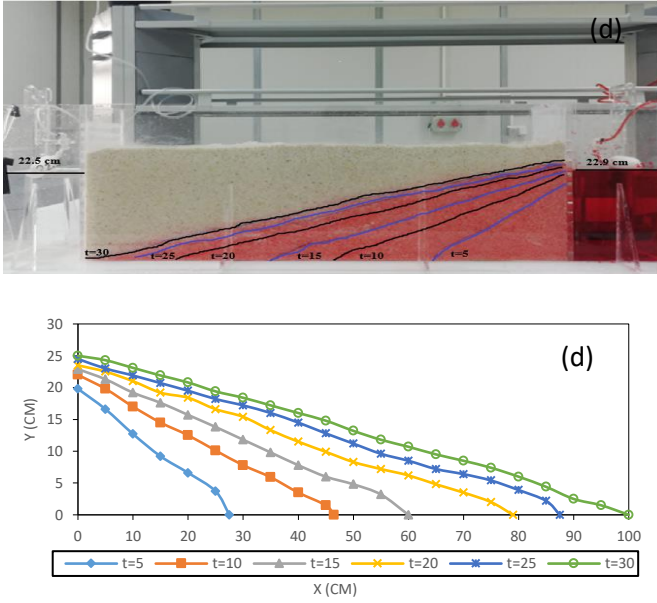
$$V(t) = \frac{dx(t)}{dt} \quad (\text{Denklem 1})$$

$$a(t) = \frac{dV(t)}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2} \quad (\text{Denklem 2})$$

Sırasıyla  $dx$ ,  $dt$  ve  $dV$  yer değiştirme, zaman ve hızın birinci dereceden türevleridir ve bunların tümü Kartezyen koordinatlardaki farklı zaman aralıklarındaki ( $t$ ) değişikliklerden elde edilir.

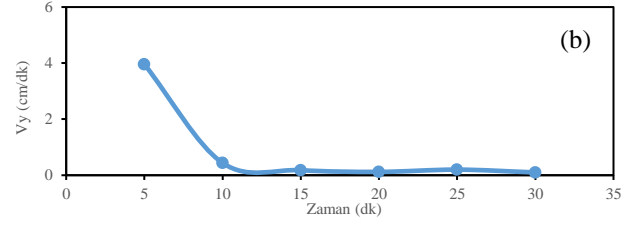
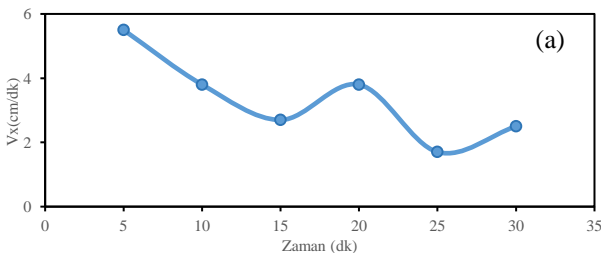
### III. BULGULAR

Daha önce açıklandığı üzere deneyler denge koşulları sağlanıp gerçekleştirilmiştir. Deney sürecince tuzlu suyun yer değiştirmesine karşılık gelen Kartezyen koordinatları  $[x, y]$  elde edilmiştir. Deney tuzlu suyun, tatlı su haznesine 30.dakika ulaşması ile sonlandırılmıştır. Şekil 2.a deneyin sonlandırılma anındaki ( $t=30$ ) görseli Şekil 2.b ise tuzlu suyun yer değiştirmesinin grafiğini göstermektedir. Şekil 2.b'deki grafik incelendiğinde, deneyde tuzlu suyun hareketinin deney sonuna kadar doğrusal bir hareket gösterdiği yorumu yapılabilmektedir.

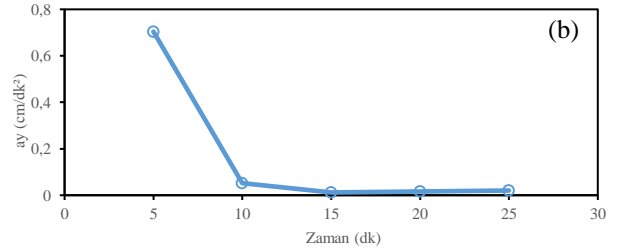
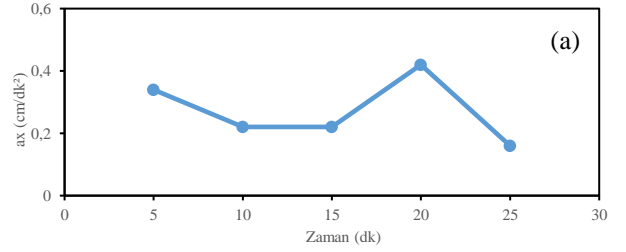


Şekil 1: (a) deneyde tuzlu suyun  $t=30$  anı, (b) tuzlu suyun yer değiştirme grafiği

Daha önce Bölüm II'de açıklandığı gibi deney sırasında elde edilen veriler ile Denklem 1 ve 2 kullanılarak hız ve ivme değerleri elde edilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4. de verilen grafikler elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu grafiklerde sırasıyla ivme ve hızın zamana bağlı değişimi görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre deneyde hız değerleri  $V_{xortalama}=3,33$  cm/dk  $V_{yortalama}=0,83$  cm/dk olarak, ivme değerleri ise  $a_{xortalama} = 0,27$  cm/min<sup>2</sup>,  $a_{yortalama}=0,16$  cm/min<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.



Şekil 3: Deney hız/zaman grafikleri (a)  $V_x$ , (b)  $V_y$



Şekil 4: Deney ivme/zaman grafikleri (a)  $a_x$ , (b)  $a_y$

#### IV. TARTIŞMA

Kıyı bölgesindeki tuzluluk girişi hidrojeolojik çalışmalarda her zaman güncel bir konu olmuştur. Bu konuyu ele almak için, tuzluluk girişinin doğasını araştırmak için bir dizi laboratuvar deneyi tasarlanmış ve yürütülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar [3], tuzlu suyun belli bir zaman geçtikten sonra denge koşuluna ulaşması gerekirken, denge koşulu kalıcı bir şekilde sağlanmadığı için tatlı su- deniz suyu arasındaki ara yüzün zamanla bozduğunu görülmüştür. Ancak laboratuvar deneylerinde bunun deneyler üzerindeki negatif etkiyi önlemek için tuzlu su ara yüzü tatlı su haznesine ulaştığı zaman deney sonuçlandırılmıştır. Bu doğrultuda elde edilen hız ve ivme sonuçları bu bileşenlerin zamanla değiştiğini ve zamana göre doğrusal olmayan bir davranış sergilediği görülmüştür.

#### V. SONUÇLAR

Bu çalışmada kıyı bölgelerinde akiferlerdeki tatlı su kaynağına doğru tuzlu su girişinin ilerlemesi ve hareketi incelenmiştir. İncelemelerin sonucunda, bu çalışmanın sınırlılığı, deneylerin ölçeğinde,

kuyuların yeri, toprak partiküllerinin çapı ve farklı çözelti yoğunluklarının yanı sıra tatlı su, acı su ve tuzlu su arasındaki geçiş bölgelerinin dikkate alınması gibi sınırlı sayıda deneyde yatmaktadır [15]. Bu nedenle, gelecekteki çalışmaların laboratuvar/sayısal deneylerinde aşağıdaki değişkenleri ve/veya sınırlamaları başlangıç ve sınır koşulları olarak dikkate almaları önerilir.

## TEŞEKKÜR

Authors want to express their gratitude for Bursa Technical University in supporting the study through project BAP 211N045.

## KAYNAKLAR

- [1] Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., & Nicholls, R. J. (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding—a global assessment. *PloS one*, 10(3), e0118571.
- [2] Hamed, Y., Hadji, R., Redhaounia, B., Zighmi, K., Bâali, F., & El Gayar, A. (2018). Climate impact on surface and groundwater in North Africa: a global synthesis of findings and recommendations. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 3(1), 1-15
- [3] Van Camp, M., Mtoni, Y., Mjemah, I. C., Bakundukize, C., & Walraevens, K. (2014). Investigating seawater intrusion due to groundwater pumping with schematic model simulations: the example of the Dar es Salaam coastal aquifer in Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*, 96, 71-78.
- [4] Werner, A. D., Bakker, M., Post, V. E., Vandenbohede, A., Lu, C., Ataie-Ashtiani, B., ... & Barry, D. A. (2013). Seawater intrusion processes, investigation and management: recent advances and future challenges. *Advances in water resources*, 51, 3-26.
- [5] Alfarrak, N., & Walraevens, K. (2018). Groundwater overexploitation and seawater intrusion in coastal areas of arid and semi-arid regions. *Water*, 10(2), 143.
- [6] Lee, C. H., & Cheng, R. T. S. (1974). On seawater encroachment in coastal aquifers. *Water Resources Research*, 10(5), 1039-1043.
- [7] Nair, I. S., Parimala Renganayaki, S., & Elango, L. (2013). Identification of seawater intrusion by Cl/Br ratio and mitigation through managed aquifer recharge in aquifers North of Chennai, India. *J. Groundw. Res*, 2(155162), 19.
- [8] Demirel, Z. (2004). The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey. *Journal of environmental management*, 70(3), 275-282.
- [9] Simmons, C. T., Pierini, M. L., & Hutson, J. L. (2002). Laboratory investigation of variable-density flow and solute transport in unsaturated-saturated porous media. *Transport in Porous Media*, 47(2), 215-244.
- [10] Goswami, R. R., & Clement, T. P. (2007). Laboratory-scale investigation of saltwater intrusion dynamics. *Water Resources Research*, 43(4).
- [11] Yu, X., Xin, P., & Lu, C. (2019). Seawater intrusion and retreat in tidally-affected unconfined aquifers: Laboratory experiments and numerical simulations. *Advances in Water Resources*, 132, 103393.
- [12] Vats, O. P., Sharma, B., Stamm, J., & Bhattacharjya, R. K. (2020). Groundwater circulation well for controlling saltwater intrusion in coastal aquifers: numerical study with experimental validation. *Water Resources Management*, 34(11), 3551-3563.
- [13] Etsias, G., Hamill, G. A., Campbell, D., Straney, R., Benner, E. M., Águila, J. F., & Flynn, R. (2021). Laboratory and numerical investigation of saline intrusion in fractured coastal aquifers. *Advances in Water Resources*, 149, 103866.
- [14] Luyun Jr, R., Momii, K., & Nakagawa, K. (2009). Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall. *Journal of Hydrology*, 377(3-4), 227
- [15] Xiao, Y., Shao, J., Frape, S. K., Cui, Y., Dang, X., Wang, S., & Ji, Y. (2018). Groundwater origin, flow regime and geochemical evolution in arid endorheic watersheds: a case study from the Qaidam Basin, northwestern China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(8), 4381-4400.