



Deniz Suyu Girişiminin Belirlenmesinde Çevresel İzotopların Kullanılması

Hakan ARSLAN¹

Bilal CEMEK*¹

Yusuf DEMİR¹

Demet YILDIRIM¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, SAMSUN

*Sorumlu Yazar

bcemek@omu.edu.tr

Özet: Tuzlu su girişimi, sahil bölgelerinde yer alan aküferlerin denize doğru açılması halinde tuzlu suyun sahil aküferlerine doğru ilerlemesidir. Deniz suyu ile etkileşim halinde olan aküferlerde, tuzlu deniz suyu ile tatlı yer altı suyu arasındaki yoğunluk farkından dolayı bir girişim yüzeyi meydana gelmektedir. Bu bölgelerde insan aktivitelerinin artması ile birlikte tuzlu su ile tatlı su arasındaki denge bozulmakta ve kıyı bölgelerinde bulunan aküferlerin büyük bir çoğunluğu deniz suyu girişimi nedeniyle tuzlanma tehlikesi altında kalmaktadır. Tuzlu suyun tatlı su ile karışmasının etkisi özellikle yer altı suyundan sulama yapılan alanlarda görülmektedir. Bu durumda yer altı suyu tuzlanmakta, bu sular ile sulama yapılması durumunda verimde düşmekte ve topraklarda tuzluluk ve sodyumluluk problemi oluşmaktadır.

Deniz suyu girişiminin belirlenmesinde geleneksel yöntemlerin uygulanmasının yeterli olmadığı durumlarda yer altı suyunu oluşturan elementlerin izotopları kullanılmaktadır. Bu çalışmada deniz suyu girişiminde çevresel izotopların kullanılabilirliği hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Deniz suyu girişimi, Yer Altı Suyu, Çevresel İzotoplar, Tuzluluk

Determination of Sea Water Intrusion With Environmental Isotopes

Abstract: Sea water intrusion occurs when aquifers in coastal regions proceed towards the sea. A merging surface forms at the interaction of sea water and fresh water due to the difference in densities at the aquifers interacting with sea water. Hence, two waters with different densities are separated from each other at the sloppy interface. The use ground water in aquifers influences the interference surface and the length of salty water wedge. The excessive pumping of water degrades above mentioned the natural balance, and sea water intrusion proceeds the inland. This results in depletion of available ground water day to day. The sea water intrusion results in excessive salinization of ground Water. When the fields are irrigated with the saline ground water, salinization and alkalization problems occur in agricultural fields. Several methods are being used to determine the sea water intrusion. The methods are either chemical or isotopes techniques. In this study, information on sea water intrusion and methods used in determination of sea water intrusion will be presented.

Sea water, the traditional methods of implementation of the initiative is not sufficient to determine if groundwater is used isotopes of the elements. This study attempts to sea water intrusion will provide information on the availability of environmental isotopes.

Key words: seawater intrusion, groundwater, environmental isotopes, salinity

GİRİŞ

Birçok kıyı bölgesi özellikle deltalar yoğun bir nüfusu barındırmaktadır. Dünya nüfusunun % 50 si deniz kıyısı ile denizden 60 km mesafede bulunan sahada yaşamaktadır (14). Yıllardır insanoğlu bu alanlara yiyecek sağlamak ve ekonomik sebeplerden dolayı ilgi göstermişlerdir. Yerleşim alanlarının çoğalması ve tarımsal gelişmeye bağlı olarak kıyı bölgelerinde içme, kullanma ve endüstriyel faaliyetlerin artması ile yer altı suyu kullanımını da artmıştır. Yüzeysel suları ile yer altı suları karşılaştırıldığında, mevsimsel olarak özelliklerinin değişmemesi, depolama gereksinimine ihtiyaç duyulmaması nedeniyle yer altı suları daha avantajlıdır. Buna bağlı olarak yer altı suyunun bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar yüksek mineral içeriği, her yerde bulunmaması, işletme maliyetlerinin yüksek olması ve tuzlu su girişimidir [3].

Kıyı aküferlerinde doğal koşulların etkili olduğu ve tatlı suyun basıncının tuzlu suyun basıncından büyük olduğu durumlarda tatlı su - tuzlu su bir ara yüzey boyunca dengede bulunmakta ve tatlı su karadan denize doğru hareket etmektedir. Yoğunlukları farklı olan suların karışımı bu yüzey boyunca yalnızca moleküler difüzyon ile gerçekleşmektedir [2,10].

Yer altı su kaynaklarının tuzlanmasında çeşitli etkenler, çeşitli süreçlerde etkili olmaktadır. Derin aküferlerde yer alan tuzlu suların pompaj ile yöresel kuyulara karışması, birikim havzalarındaki toprak katmanlarında bulunan kaya tuzu formunda tuz yataklarının yer altı suyu ile teması; petrol ve doğal gaz arama çıkarma çalışmaları; kış mevsimlerinde yollarda buzlanmayı engellemek amacıyla yapılan tuzlama; sulanan alanlarda sulamadan dönen suların yeniden kullanılması bu etkenlerin başlıcalarıdır. Deniz kıyısındaki aküferlerde karşılaşılan en önemli tuzlanma nedeni ise deniz suyu girişimidir [13].

Tatlı su kaynaklarının az olduğu kıyı aküferlerinde tuzlu su girişi hızlı olmaktadır. Aşırı yer altı suyu çekimi yapılan alanlarda tuzlu ve tatlı suyun karışım bölgesi iç kısımlara doğru hareket eder. Tuzlu bölgenin dışında önceden açılmış olan sondaj kuyuları, sonradan tuzlu bölgenin içerisinde kalır. Yer altı suyunun sulamada kullanılmasına devam edilmesi durumunda, bitkilerde tuz etkisini gösterir ve arazilerde çoraklaşma oluşur. Deniz seviyesindeki aküferlerde yer altı suyunun aşırı kullanılması en tehlikeli durumdur.

Türkiye, Mısır, Lübnan, Kıbrıs, Suriye ve Tunus'un Akdeniz'e kıyısı olan bölgelerinde deniz suyu girişimi yaygın olarak görülen bir sorundur [5].

Denizsuyu girişiminin belirlenmesinde kimyasal ve izotop teknikleri başta olmak üzere bir çok yöntem kullanılmaktadır. Kimyasal yöntemlerde genelde suyun anyon ve katyonların miktarları ile bunların birbirlerine olan oranları dikkate alınır.

Yer altı suyu kaynaklarının en faydalı şekilde kullanılması, beslenme mekanizmalarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Hidroloji ve hidrojeoloji alanında yapılan çalışmaların en önemlilerinden birisi de yer altı suyu orijinlerinin belirlenmesi çalışmalarıdır. Hidroloji ve hidrojeoloji alanında yapılan diğer çalışmalarda olduğu gibi, izotop teknikleri yer altı suyu orijininin belirlenmesi çalışmalarında da büyük yararlar sağlamakta, diğer metodlar ile elde edilemeyen bilgilerin en ekonomik biçimde elde edilmesini sağlamaktadır. Yapılan havza çalışmalarında; havzanın beslenme alanların saptanması, yer altı suyunun orijininin belirlenmesi, yüzey sularının yer altı suyunu besleme mekanizmaları, havzanın su bütçesinin hesaplanması açısından büyük önem taşımaktadır [16].

Yer altı suyuna deniz suyu girişiminin tespit edilmesinde kullanılabilecek en kolay yöntem suyun Cl miktarının ölçülmesidir. Kıyılardan uzaklaştıkça yer altı suyundaki Cl miktarı önemli miktarda azalır. Yağmur suyunda 1 mg/l olan klor, deniz suyunda 19 000 mg/l ye kadar yükselebilir. Yapılan çalışmalarda Cl konsantrasyonuna göre yer altı suları 3 sınıfa ayrılmıştır.

Deniz suyu girişiminin belirlenmesi amacıyla bir çok araştırmacı son yıllarda izotop ve kimyasal analiz sonuçlarını kullanmışlar ve suların $\delta^{18}O$ ve Cl değeri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir[9,12]).

Tatlısu-Tuzlusu Dengesi

Sahil aküferlerinde denize yer altı suyu boşalımı olurken denizden de aküfere tuzlusu girişimi olmaktadır. Tuzlu suyun yoğunluğu yer altı suyunun yoğunluğundan daha fazla olduğundan yer altı suyu kıyıdaki bir akış aralığından denize doğru akar ve tuzlusu da yer altı suyunun altındaki aküfere doğru ilerlemektedir. Bu durum Ghyben-Herzberg tarafından incelenmiş ve yer altı suyu ile deniz suyu arasındaki girişim yüzeyi ve kama hakkında bir denklem ortaya konulmuştur. Bu denklem tatlı yer altı suyu ile tuzlusu arasında bir yüzey boyunca yoğunluk farkından ileri gelen hidrostatik dengenin varlığına dayanır [7].

Eşitliğe göre:

Burada;

P_f = Tatlı suyun yoğunluğu

p_s = Tuzlu Suyun yoğunluğu

h_f = Tatlısuyunun deniz seviyesinden yüksekliği

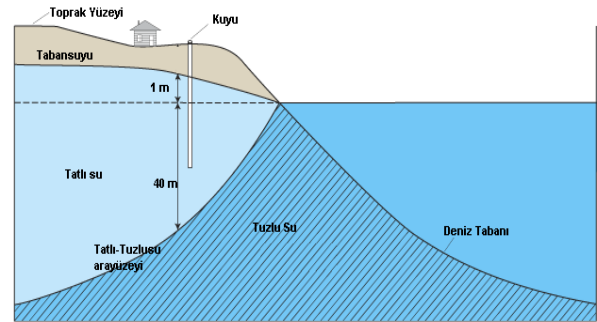
h_s = Tuzlu- tatlı su ara yüzeyi derinliği

Tuzlusuyun Yoğunluğu $p_s = 1025 \text{ kg/m}^3$

Tatlısuyun Yoğunluğu $p_f = 1000 \text{ kg/m}^3$

Buna göre değerler formülde yerine konulduğunda; $h_s = 40 h_f$ olur.

Tatlısuyun denizden 1.00 m yükseklikte olduğu bir alanda tatlısu-tuzlu arayüzeyinin derinliği 40 m olur.

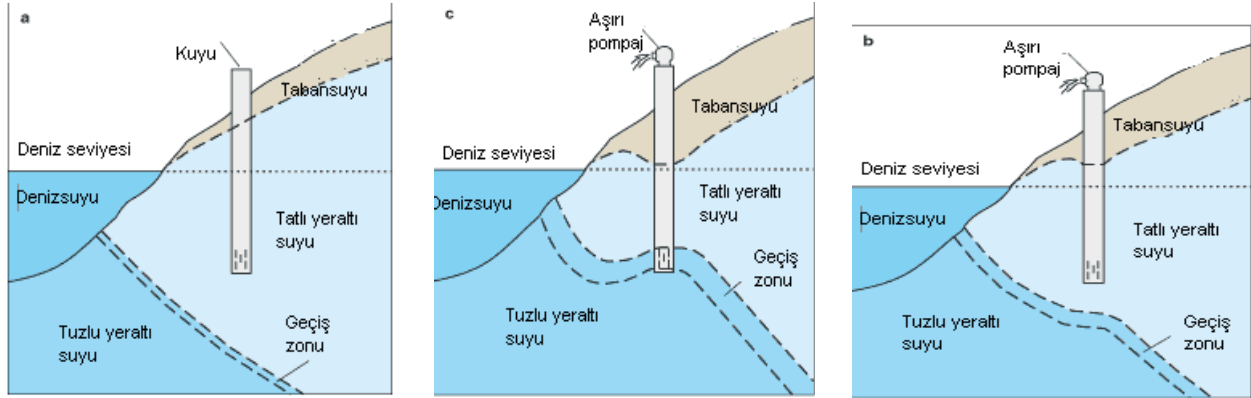


Şekil 1. Taban suyu derinliği ile tuzlusu ara yüzeyi arasındaki ilişki

Aşırı Yer altı Suyu Çekiminin Tuzlusu Girişimi Üzerine Etkisi

Tatlı su kaynaklarının az olduğu kıyı aküferlerinde tuzlu su girişi hızlı bir şekilde olmaktadır. Aşırı yer altı suyu çekimi yapılan alanlarda tuzlu ve tatlı suyun karışım bölgesi iç kısımlara doğru hareket eder. Tuzlu bölgenin dışında önceden açılmış olan sondaj kuyuları, sonradan tuzlu bölgenin içerisinde kalır. Yer altı suyunun sulamada kullanılmasına devam edilmesi durumunda da ürünlerde tuz etkisini gösterir ve arazilerde çoraklaşma oluşur. Deniz seviyesindeki aküferlerde yer altı suyunun aşırı şekilde kullanılması en tehlikeli durumdur. Şekil 2. de aşırı pompaj sonucunda deniz suyu girişiminin şematik hareketi ve Şekil 3.de deniz suyu girişimi sonucunda yer altı suyunundaki klor miktarının iç bölgelere doğru değişimi gösterilmiştir.

Tuzlusu girişiminin belirlenmesinde geleneksel yöntemlerin uygulanmasının yeterli olmadığı durumlarda yer altı suyunu oluşturan elementlerin izotopları kullanılmaktadır. Çevresel izotoplardan oksijen ve hidrojenin çevresel izotopları suyun doğal bileşeni olmaları nedeniyle iyi bir izleyicidirler. Aküferde gelişen hidrojeokimyasal süreçlerin çoğundan etkilenmezler. Buna karşın suyun etkilendiği fiziksel ve kimyasal süreçler hakkında ipuçları verirler. Çeşitli nedenlerden oluşan tuzluluğun incelenmesinde ve orijinin belirlenmesinde yapılan hidrojeolojik etüt ve araştırma çalışmalarında, çevresel izotop ve kimyasal yöntemlerin kullanılması hidrojeoloji çalışmalarını desteklemesi ve bir arada yorumlanması gerekmektedir. Kararlı izotop verileri kullanılarak karışımı sağlayan suların kökeni belirlenebilir.



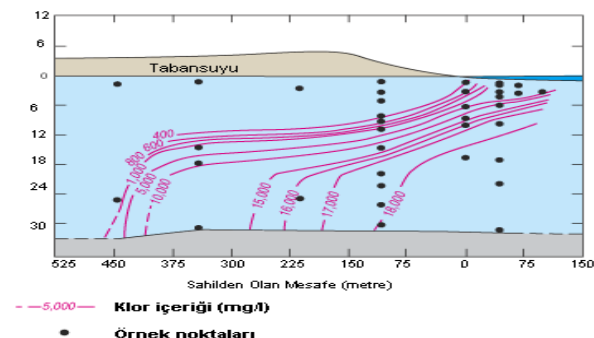
Şekil 2. Pompaj sonucunda deniz suyu girişiminin şematik görünümü (a) Pompajın başlangıcındaki durum (b) Aşırı pompaja başlandıktan belirli bir süre sonraki durum (c) Aşırı pompaja devam edilmesi durumunda oluşabilecek tatlı su ve tuzlu su dengesi

Çevresel İzotoplar

Bir elementin atom numarası aynı fakat farklı kütle numarasına sahip atomlarına “ izotop” denir. İzotoplar, kararlı ve radyoaktif izotoplar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kararlı izotoplar kararlı bir çekirdek yapısına sahiptirler ve kapalı bir sistemde kararlı izotopların atomik konsantrasyonlarında hiçbir değişiklik olmaz. Radyoaktif izotopların çekirdekleri ise kararsız bir yapıya sahiptir. Zamanla parçalanarak başka elementlerin izotoplarına dönüşürler. Kapalı bir sistemde radyoaktif izotopların atomik konsantrasyonları zamanla üstel olarak azalır.

Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojen izotoplarıdır. Ayrıca azot, klorür, kükürt, asal gazlar, uranyum, toryum v.b. elementlerin izotopları da yüzey yer altı suyu sistemlerinde kirlenmelerin kökenlerinin belirlenmesi, hareketinin saptanması v.b. çalışmalarda etkin olarak kullanılmaktadır. İzotop hidrolojisinde kullanılan elementlerin kararlı izotopları, sembolleri ve doğada bulunma oranlarıyla beraber Çizelge 1. de verilmektedir.

Çizelgeden de görüleceği üzere hidrojen elementinin kütle numarası 1 olan ^1H -hidrojen izotopu (protonyum) %99,985 ile doğada en fazla bulunma oranına sahiptir. Hidrojen elementinin kütle numarası 2 olan ağır izotopu ^2H -döteryum ise daha az bulunmaktadır. Oksijen elementinin üç adet kararlı izotopu (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) mevcuttur. Değişik hidrojen ve oksijen izotoplarına sahip olan su moleküllerinin ancak üç tanesi doğada ölçülebilir konsantrasyonda bulunur. Bunlar H_2^{16}O , H_2^{18}O , $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ dur.



Şekil 3. İç bölgelere doğru klor konsantrasyonundaki değişim

Yer Altı Suyu Tuzlanmasında Çevresel İzotopların İncelenmesi

Suyun yapısını oluşturan oksijen ve hidrojenin ağır izotopları olan Oksijen-18 ve Döteryum izotop hidrolojisinde bir çok alanda başarı ile kullanılmaktadır. Çevresel izleyici olarak Oksijen-18 (^{18}O) ve döteryum (D) gibi kararlı izotoplar, Trityum (^3H) ve Karbon-14 (C^{14}) gibi doğal radyoaktif izotoplar kullanılmaktadır. Radyoaktif izotoplardan örneğin (C^{14}), Trityum (^3H) ve ^{36}Cl deniz suyu girişimi çalışmalarında etkili olarak kullanılabilirlerdir[1,16].

Yer altı sularının izotopik kompozisyonu ilk önce bu suları besleyen yağışların izotopik kompozisyonu ile ilgilidir. Yağışların izotopik kompozisyonundaki değişimlerin en önemli faktörlerinden biri olan yükseklik etkisinin boyutu yerel iklim ve topoğrafya şartlarına bağlıdır. Her 100 m’de oksijen-18 için 0.15-0.5 % ve döteryum için 1-4 % değişim gösterir. Örneğin bölgenin yüksek kısımlarına düşen yağışlardan beslenen yer altı sularının δD ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri nispeten düşük olur. Alçak seviyedeki yağışlardan beslenmede ise yer altı suyunun δ kararlı izotop değerleri daha büyük olur.

Çizelge 1. İzotop hidrolojisinde kullanılan bazı elementlerin kararlı izotopları [15].

Element	Doğada Bulunma Oranı (%)	Sembol
Hidrojen	99,985	^1H
	0,015	$^2\text{H};\text{D}$
Oksijen	99,759	^{16}O
	0,037	^{17}O
	0,204	^{18}O
Karbon	98,892	^{12}C
	1,108	^{13}C
Azot	99,635	^{14}N
	0,365	^{15}N
Kükürt	95	^{32}S
	0,75	^{34}S
	4,21	^{35}S
	0,02	^{36}S
	75,7	^{35}Cl
Klorür	24,3	^{37}Cl

Tuzlu su problemlerinde tespitinde kullanılan başlıca izotoplar; ^{37}Cl , ^6Li , ^{11}B , ^{81}Br dur (6). Günümüzde Li, B ve Br izotopları tuzlanmanın kaynağının belirlenmesinde kullanılan başlıca izotoplar olmakla beraber çok ekonomik değillerdir. Ekonomik olması açısından oksijen, hidrojen ve karbon izotopları daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tuzlanma sorunuyla ilgili hidrojeolojik problemlerin önemli bir bölümünde, tuzlu suların izotop içeriklerinin, çevredeki normal sulardan önemli oranda farklı olduğu görülmektedir. Deniz suyu karışımı nedeniyle tuzlanmış suların duyarlı izotop içerikleri, meteorik kökenli normal suların izotop içeriklerinden kolaylıkla ayrılabilir. Jeolojik dönemlerden kalma, salamura gibi aşırı tuzlu sularda ^{18}O izotopu, su-kayaç etkileşiminden etkilenmekte, bu nedenle deniz suyundan daha farklı izotop özellikleri gösterebilmektedir.

Trityum (^3H) ve Karbon-14 (^{14}C) gibi radyoaktif izotoplar ise suların güncelliğinin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Tuzlu suların kökenleri yapılacak değerlendirmelerde önemli bilgiler sağlamaktadır. Jeolojik dönemlerden kalan tuzlu suların güncel deniz suları ile karışımı sonucunda tuzlanmış sulardan ayırmanın ilk ve doğrudan yolu, radyoaktif izotopların analizidir. Jeolojik dönemlerden kalma sularda trityum içeriği bulunmazken, tarihlendirme (^{14}C) izotopu ile yapılabilmektedir [4].

Yer altı suyunda tuzluluğun oluşması veya artmasına neden olan çeşitli mekanizmaları belirlemek için çalışma sahasında iyi bir numune toplama programının hazırlanması en önemli hususlardan biridir. Çalışmaların başlangıcında çevredeki çeşitli su kaynaklarının tümünden numune almakta yarar görülmektedir. Bu numunelerin hepsinin çevresel izotop ve kimyasal analizlerinin yapılarak birlikte değerlendirmeye gidilmesi gerekmektedir. Şekil 6.da izotoplar yardımıyla yer altı suyunun belirlenmesi şematik olarak verilmiştir. Ortalama deniz suyunun teorik olarak her iki ekseninde "0" olduğu noktada bulunması gerekirken beraber buharlaşma eksenine bağlı olarak pozitif δD ve $\delta^{18}\text{O}$ değerler gösterebilir. Şekilde gösterilen Dünya Meteorik Doğrusunu (DMD) tanımlayan eşitlik şöyledir.

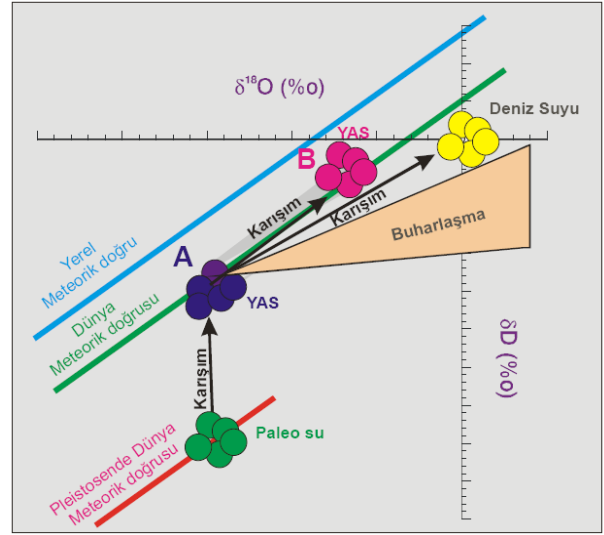
$$\delta\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + d$$

Bu eşitlikte "d" değeri ya da Şekil 4 de Dünya Meteorik Doğrusunun y eksenini kestiği nokta "Döteryum Fazlası" olarak tanımlanır ve yağışa kaynak oluşturan deniz suyunun buharlaşma miktarının bir göstergesidir. Bu değer bölgenin dünya üzerindeki yerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle izotop çalışmalarında öncelikle yerel meteorik su doğrusunun oluşturulması gerekmektedir [11].

Karışım doğrusunun eğiminden tuzlanma mekanizması hakkında fikir yürütülebilir. Sığ yer altı sularının tuzlanmasına buharlaşmanın neden olduğu durumlarda kuyulardan alınan numunelerin izotopik kombinasyonu zenginleşmiş bulunur ve tipik buharlaşma olayı gözlenir. Bu değerler genellikle aynı yöredeki derin yer altı suyunun izotopik kombinasyonundan farklıdır.

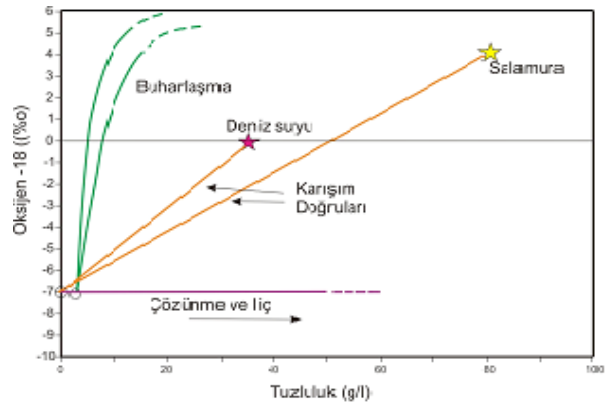
İnfiltrasyon esnasında yüzeydeki veya süzülen suyun yolu üzerindeki tuzların meteorik sular ile ıslatılarak çözünmesi sonucu oluşan tuzlanmada suyun izotopik kombinasyonu değişmez. Bu özellikte aynı şekilde tuzlanmanın mekanizması hakkında bilgi verir. Eğer tuzlu yer altı suyunun izotopik kompozisyonu deniz suyuna tekamül etmez veya kayalar ile yer değiştirme göstermez ise meteorik suların yerel $\delta^{18}\text{O}$ - δD bağlantısına tekabül eden doğru üzerinde noktalanırsa, tuzlu ve ağır izotoplar bakımından zengin olan bu sular denizden etkilenmiş olmazlar. Yüzeyde buharlaşmış bir su gövdesinden de etkilenmesi söz konusu değildir. Aksi halde noktalar buharlaşma doğrusu üzerinde olur.

Deniz suyundan etkilenme durumunda ise sular meteorik su doğrusundan ayrılarak deniz suyu karışımı doğrusu üzerinde noktalanırlar. Bu durum şematik olarak Şekil 4. de gösterilmiştir.



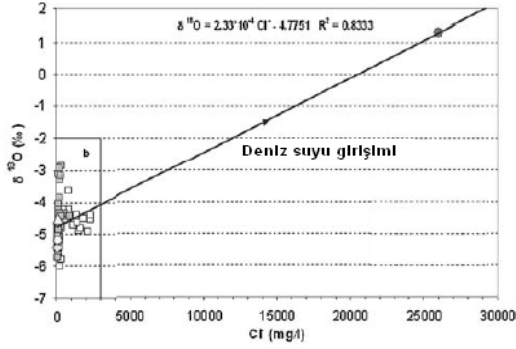
Şekil 4. Şematik Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum (δD) Grafiği

Suların $\delta^{18}\text{O}$ ile tuzluluk arasındaki ilişkiye göre tuzlanmanın kaynağı hakkında fikir edinilebilmektedir. Şekil 5. de $\delta^{18}\text{O}$ ile suyun tuzluluğu arasındaki ilişki verilmiştir. Bu grafik yardımıyla tuzların çözünmesi, buharlaşma ile izotopça zenginleşme veya tatlı su-tuzlu su veya tatlı su-deniz suyu karışımı kolaylıkla ayrt edilebilir.



Şekil 5. Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) ve Tuzluluk İlişkisi (8)

Deniz suyu girişimi çalışmalarında suların izotop değerleri ile deniz suyu girişiminin belirlenmesi esasında suların kimyasal değerlerinin de bilinmesi sorunun çözümü açısından faydalı olacaktır. Suların $\delta^{18}\text{O}$ değeri ile Cl, EC ve SO_4 değerleri arasında da yakın bir ilişki bulunmaktadır. Bir aküferin deniz suyu girişimine maruz kalması durumunda suların hem $\delta^{18}\text{O}$ değeri, hem de Cl, EC ve SO_4 değerleri artış göstermektedir. Şekil 6. de tuzlanma kaynağının belirlenmesi amacı ile çizilen $\delta^{18}\text{O}$ -Cl grafiği verilmiştir (17).



Şekil 6. Suların $\delta^{18}\text{O}$ -Cl (mg/l) değerleri arasındaki ilişki

SONUÇ

Geleneksel hidrolojik yöntemlerin uygulamasının yeterli olmadığı durumlarda özellikle suyu oluşturan elementlerin izotopları çok faydalı olmaktadır. Çevresel izotoplardan oksijen ve hidrojenin çevresel izotopları suyun doğal bileşeni olmaları nedeniyle iyi bir izleyicidirler. Aküferde gelişen hidrojeokimyasal süreçlerin çoğundan etkilenmezler. Buna karşın suyun etkilendiği fiziksel ve kimyasal süreçler hakkında ipuçları verirler. Çeşitli nedenlerden oluşan tuzluluğun incelenmesinde ve orijininin belirlenmesinde yapılan hidrojeolojik etüd ve araştırma çalışmalarında çevresel izotop ve kimyasal yöntemlerin kullanılması hidrojeoloji çalışmalarını desteklemesi ve bir arada yorumlanması gerekmektedir. Kararlı izotop verileri kullanılarak karışımı sağlayan suların kökenleri belirlenebilir.

Yer altısuyunun tuzlanma nedenlerini ve tuzluluğun değişimini belirlemek için yapılacak çalışmalarda öncelikle alanı iyi bir Şekilde temsil edecek gözlem noktalarının belirlenmesi ve iyi bir numune toplama programının hazırlanması gerekmektedir. Alınan bu numuneler üzerinde hem kimyasal hem de izotop analizleri tuzluluğun nedenlerinin belirlenmesi amacıyla mutlaka yapılmalıdır.

Deniz suyu girişimi olmuş olan bir kıyı aküferini eskiye döndürmek için uzun bir zaman ve büyük miktarlarda harcama gerekmektedir. Bu bakımdan kıyı aküferlerinde beslemeye göre saptanmış bir pompalama rejimi uygulayıp fazla su çekmemek ve böylelikle deniz suyunun girişine baştan meydan vermemek, en kestirme ve en ekonomik bir yoldur.

KAYNAKLAR

- [1] Bennetts DA, Webb JA, Stone DJM, Hill DM. 2006. Understanding the salinisation process for groundwater in an area of south-eastern Australia, using hydrochemical and isotopic evidence. J Hydrol 323:178–192
- [2] Delleur JW. 1999. The Handbook of Groundwater Engineering, (ed. Delleur, J.W.) CRC Pres.
- [3] Demirel Z. 2004. The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey, Journal of Environmental Management Volume 70, Issue 3, March 2004, Pages 275-282
- [4] Ekmeki M. 2008. Tuzlu Su Girişimi Problemlerinde İzotop Tekniklerinin Kullanılması, III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 285-291, Ankara
- [5] FAO 1997. Seawater İntusion İn The Coastal Aquifers. Guidelines, For Study, Monitoring and Control. FAO, Rome
- [6] Fontes J, Fritz P. 1980. Environmental Isotopes in Groundwater Hydrology, Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Elsevier Scientific Publ. Netherlands
- [7] Freeze RA, Cherry JA. Groundwater, Prentice Hall, New York, 1979
- [8] Gaye BC. 2001. Isotope techniques for monitoring groundwater salinization, First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling and Management. Essaouira, Morocco
- [9] Gualbert HP, Essink O. 2001. Improving fresh groundwater supply—problems and solutions, Ocean & Coastal Management Volume 44, Issues 5-6, Pages 429-449
- [10] Kim Y, Lee KS, Koh DC, Lee D, Lee S, Park W, Koh G, Woo N. 2003. Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea. J Hydrol 270:282–294
- [11] Kurttaş T. 2002. Karışım Sularında Kkensele Katkıların Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, DSİ Genel Mdrlğ, Adana.
- [12] IHP, 2000. Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle, Principles and Application, IHP, no 39, Vol IV. Pp.196.
- [13] Lee J, Kim R, Chang H. 2003. Interaction between groundwater quality and hydraulic head in an area around an underground LPG storage cavern, Korea. Environ Geol 43:901–912
- [14] Narayan, K., Schleeberger, C., Charlesworth, P., and Bristow, K. 2003. Effects of groundwater pumping on saltwater intrusion in the Lower Burdekin Delta, North Queensland. Post, D. MODSIM 2003 International Congress on Modelling and Simulation Integrative

Modelling of Biophysical, Social and Economic Systems for Resource Management Solutions, 14-17 July 2003, Townsville, Australia.(; 1), Modelling and simulation society of Australia and New Zealand Inc

- [15] Richter, BC, Kreitler, CW. 1993. Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground Water Salinization. CRC Press, Inc. Boca Raton, USA.
- [16] Sayın M, Eyüpoğlu S.Ö.2004. Yer altısuyu tuzluluğunun belirlenmesi çalışmalarında çevresel izotopların kullanılması, Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü 201-216, Ankara
- [17] Zakhem BA, Hafez R. 2007. Environmental isotope study of seawater intrusion in the coastal aquifer (Syria), Environ Geol. (2007) 51:1329–1339