

Ankara İli Beypazarı İlçesi Bazı Sulama Suları Kalitesinin Belirlenmesi ve Visual MINTEQ Modeli ile Jeokimyasal Türleşmelerin Tahmini

Determination of the Quality of Some Irrigation Waters in Beypazarı District of Ankara Province and Prediction of Geochemical Speciation Using the Visual MINTEQ Model

Özet

Son derece sınırlı ve yenilenemeyen toprak ve su kaynakları, yanlış arazi kullanımları ve iklim değişikliği gibi faktörlerin etkisiyle hızla tükenmektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde yeraltı suları sulama için kritik bir kaynak olsa da düşük kaliteye sahip olması nedeniyle dikkatli kullanılmalıdır. Bu çalışmada, Ankara ili Beypazarı ilçesinin kırsal alanlarından alınan sulama suyu örneklerinin su kalitesi bakımından kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Visual MINTEQ jeokimyasal modeli kullanılarak yapılan iyon türleşme analizlerinde, serbest kalsiyum (Ca^{+2}) oranı %54.6 ile %72.8 arasında, sülfat (SO_4^{-2}) oranı ise %65.5 ile %73.1 arasında bulunmuştur. Sodyum (Na^{+}) iyonunun serbest formu %93.7 ile %98.4 arasında, magnezyum (Mg^{+2}) iyonunun serbest formu ise %59.7 ile %77.1 arasında değişim göstermiştir. Temel Bileşen Analizi (PCA) sonuçlarına göre, su örneklerinin kimyasal bileşimini belirleyen en önemli parametrelerin Ca, pH, SO_4 ve EC olduğu görülmüştür. Mineral doygunluk indeksi (SI)'ne göre ise dolomit $CaMg(CO_3)_2$ ve kalsit ($CaCO_3$) gibi minerallerin aşırı doymun olduğu, buna karşın halit (NaCl) ve jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) gibi minerallerin çözünme eğiliminde bulunduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, suyun yüksek tuzluluk içerdiğini ve sulama için bazı önlemler alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, Visual MINTEQ jeokimyasal modelinin iyon türleşmeleri ve mineral doygunluk hesaplamalarının, suyun sulamaya uygunluğu ve su-

Sorumlu Yazar

Muhittin Onur AKÇA

moakca@ankara.edu.tr

 0000-0003-4540-9371

Yazar

Sonay SÖZÜDOĞRU OK

ok@agri.ankara.edu.tr

 0000-0002-4629-7140

Yazar

İlhami BAYRAMİN

bayramin@ankara.edu.tr

 0000-0001-7342-0178

Gönderilme Tarihi :

31 Ekim 2024

Kabul Tarihi :

06 Aralık 2024

kayaç etkileşim süreçlerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Su kalitesi, kimyasal türleşme, Visual MINTEQ

Abstract

Extremely limited and non-renewable soil and water resources are rapidly depleting due to factors such as improper land use and climate change. In arid and semi-arid regions, groundwater is a critical resource for irrigation, yet its low quality necessitates careful use. In this study, the chemical properties of irrigation water samples collected from rural areas of Beypazarı district, Ankara province, were analyzed in terms of water quality. Ion speciation analyses performed using the Visual MINTEQ geochemical model revealed that the free calcium (Ca^{2+}) ratio ranged from 54.6% to 72.8%, while the sulfate (SO_4^{2-}) ratio was between 65.5% and 73.1%. The free form of sodium (Na^+) ions was found to range from 93.7% to 98.4%, and the free form of magnesium (Mg^{2+}) ions varied from 59.7% to 77.1%. According to the Principal Component Analysis (PCA) results, the key parameters defining the chemical composition of water samples were identified as Ca, pH, SO_4 , and EC. Based on the Mineral Saturation Index (SI), minerals such as dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ and calcite (CaCO_3) were found to be supersaturated, while minerals like halite (NaCl) and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) showed a tendency to dissolve. These findings indicate that the water has a high salinity content and requires specific precautions for irrigation use. The results of this study demonstrate that the Visual MINTEQ geochemical model's ion speciation and saturation index calculations contribute to a better understanding of water suitability for irrigation and water-rock interaction processes.

Keywords: Water quality, chemical speciation, Visual MINTEQ

Giriş

Sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği için, hali hazırdaki arazi kullanım planlamalarının gözden geçirilmesi ve yenilenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır (FAO 2011). Büyük kaynaklar kullanılarak yapılan sulama, toprak koruma,

arazi kullanım planlaması ve toplulaştırma gibi yatırımların doğru yönetilmesi için toprakların kullanım potansiyelinin ortaya çıkarılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Uluslararası bir anket çalışmasından elde edilen veriler, arazi kullanım planlaması, su kaynakları ve yönetim politikalarının küresel iklim değişikliği ile güçlü bir ilişki içinde olduğunu göstermiştir (Kalfas vd. 2024).

Birçok ülkede, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerin kırsal alanlarında iklim değişikliğinin hidrolojik döngü, su dengesi ve akış özellikleri üzerindeki etkisi ülke genelinde ve yerel düzeyde önemli bir stres faktörü haline gelmiştir (Kang vd. 2009). Bu tür bölgelerde yeraltı suyu genellikle tek sulama kaynağıdır. Genellikle sınırlı yağış ve yüksek buharlaşma oranı nedeniyle yeraltı suyunun kalitesinin düşük olmasına rağmen, sulama için büyük bir kısmı kullanılmaktadır (Jalali ve Kolahchi 2009).

İklim değişikliğinin etkisinin artması ile var olan suların değişen kalite değerleri daha da önem kazanmıştır. Kurak ve sıcak iklimlerde sulamaya elverişli su miktarı düşük olduğu gibi kalitesi de sulama açısından düşük olmaktadır. Sonuç olarak su kalite değerleri ve su miktarı var olan bitki üretim deseninin değişmesi gerekliliği kaçınılmazdır. Türkiye sanıldığı gibi su zengini bir ülke değildir. Günümüzde su sorunlarının yaşanmaya başladığı bir ülke durumuna gelmiştir. Bunun başlıca nedenlerinin topoğrafyadaki düzensizlikler nedeniyle kaynakların kontrol edilememesi, yağışların ve kaynakların bölgelere göre dengesiz dağılım göstermesi söylenebilir (Anonim 2006). Sudaki çözünebilir tuzların konsantrasyonu ve bileşimi, sulama kalitesini belirlemektedir. Sulama amaçlı su kalitesinin değerlendirilmesinde dört temel faktör bulunmaktadır: Bunlar, (i) tuzluluk (EC), (ii) sodyum tehlikesi (sodyum adsorpsiyon oranı-SAR), (iii) bakiye sodyum karbonatlar (RSC) ve (iv) iyon toksisitesidir. Bor ve klorürlerin bitkilere olan toksisiteleri de önem taşımaktadır. Sulama suyu kalitesinin toprağa ve bitkiye olan etkileri; toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, yetiştirilen bitkinin tuza dayanımına, bölgenin iklim özelliğine, uygulanan sulama yöntemine, sulama aralığına ve sulama suyu miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Rhoades 1972). Sulama sularının kalitesi, yeraltı suyunun nasıl çıkarıldığına ve kullanıldığına, yağış yoğunluğuna ve akifer beslemesine

bağlı olarak çeşitli bölge, ülke ve lokasyonlarda farklılık göstermektedir. Bu nedenle sulama suyunun kalitesinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Önümüzdeki süreçte tarımsal desenin yeniden belirlenmesi yoluyla gıda güvenliği için şimdiden tedbir alınmasını gerektirecek verilerin ortaya konulması önem taşımaktadır.

Suların mineral bileşiminin kimyası büyük ölçüde suların geçtiği ortamdaki kayaçlar ve suyun etkileşimine yani bölgenin jeolojik yapısına bağlıdır. Buharlaştırma nedeniyle çökeltme de yeraltı suyunun kimyasal bileşimini değiştirebilir ancak kayaç-su etkileşimi ana süreçtir çünkü katı fazlar yeraltı suyunun çözünmüş bileşenlerinin birincil kaynak ve depolarıdır (Elango ve Kannan 2007). Metal türlendirme çevresel bir örnekte farklı metal türlerini ve bunların oluşum biçimlerini tanımlama ve ölçme sürecidir. Analitik yöntemlerle tam türleşme hakkında bilgi sağlanması bilgisayar modellemeleri ile yapılan kadar basit ve kolay değildir. Sudaki iyonların konsantrasyonunun yanı sıra türleşme de su kalitesi açısından önemli bir etkidir. Bu konuda iyonların formlarını ortaya koymak için birtakım yazılımlar geliştirilmiştir. “Visual MINTEQ” yazılımı da bunlardan birisidir. Gerek suda gerekse topraklarda bulunan iyonların konsantrasyonu ve iyonik türü pH'nın bir fonksiyonu olarak ele alarak jeokimyasal yapıya bağlı su-kayaç etkileşimini modellemeyi sağlamaktadır (Gustafsson 2014). Bu yazılım doğal sular için metal türleşmesi, çözünürlük dengesi, adsorpsiyon vb. hesaplamalarına yönelik bir kimyasal denge modelidir. Bu model ile veri tabanından alınan denge sabitleri kullanılarak ortamda bulunan iyon türleşmesi belirlenebilmekte ve katı fazları içeren çözünürlük hesaplamaları gerçekleştirilebilmektedir (Benjamin 2015).

Ankara ili Beypazarı ilçesi, ilin büyük ölçüde meyve ve sebze ihtiyacını karşılamaktadır. Beypazarı'nda 2014 yılında tarla bitkileri tarımı 19603 da (%18.58), sebze tarımı 78080 da (%74.00) ve meyvecilik 7837 da (%7.43) alanda yürütülüp toplam sulanan alan 105520 dardır (Anonim 2016). İlçede hâkim sulama yağmurlama sulama yöntemidir ve sulamada genel olarak yeraltı suyu kullanılmaktadır. Ankara'nın ilçelerinde özellikle de Ayaş, Beypazarı, Polatlı, Kazan, Gölbaşı ve Çubuk ilçelerinde çoğunluğu sulama amaçlı olmak üzere çok sayıda kuyu açılmaktadır (Anonim 2017). İzinsiz açılan kuyular yeraltı

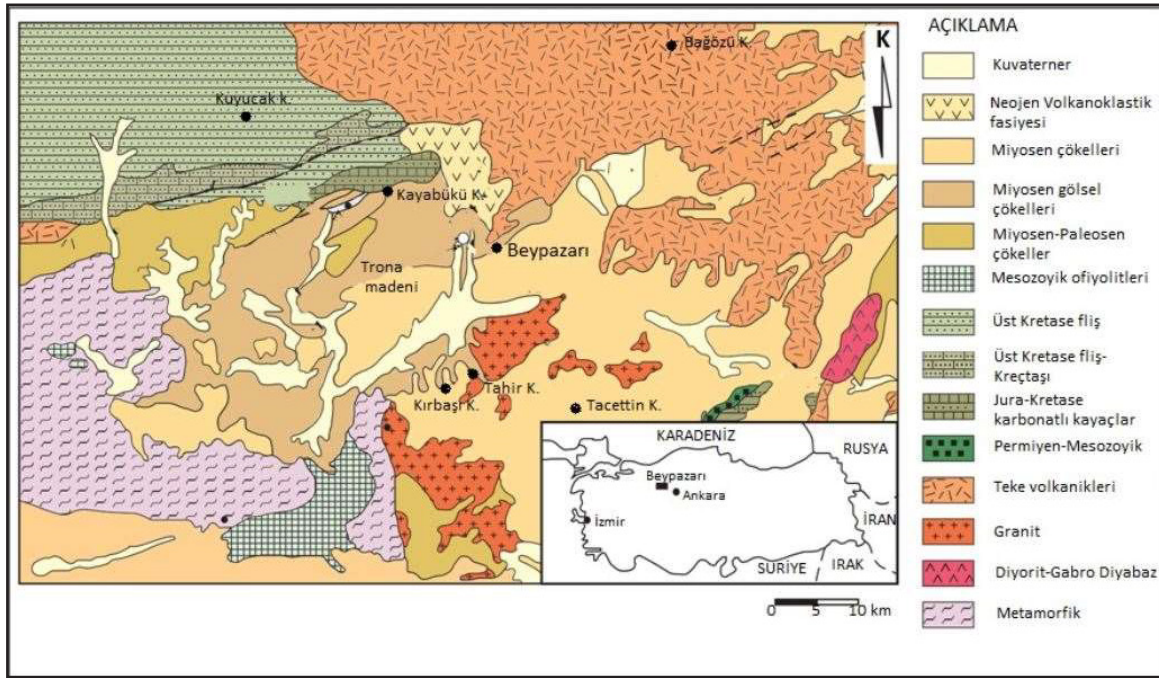
su seviyesini düşürmekte ve yüzey sularına göre daha temiz olan yeraltı sularını tüketmektedir.

Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir arazi yönetim planlaması araştırması kapsamında Beypazarı ilçesinin kırsal alanından alınan sulama suyu örneklerinin su kalitesi bakımından mekânsal dağılımının değerlendirilmesi ve Visual MINTEQ versiyon 3.1 (Gustafsson 2014) jeokimyasal modeli kullanılarak suların içinde bulunan kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, klorür, sülfat, bikarbonat ve gibi kimyasal türleri belirlemeyi, mineral doygunluk indekslerini (SI) bulmayı ve hidrojeokimyasal süreçlerle (iyon değişimi, çözünme ve çökeltme) temsil edilen su-kayaç etkileşimlerini değerlendirmektir. Yoğun tarım yapılan bu ilçedeki su örneklerinin sulama sularının kalitesinin detaylı bir şekilde ortaya konulması su- toprak yönetiminin sürdürülebilirliği açısından önemli bir katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışma Beypazarı ilçesine bağlı köylerde sürdürülebilir arazi yönetim planlaması projesinin bir bölümünde yer alan su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi kapsamında yürütülmüştür. Çalışma alanının jeolojik yapısı oluşumların Neojen yaşlı olduğunu göstermektedir (Şekil 1). Oluşumların büyük bir kısmı tortul yapıdadır, geri kalan kısım ise volkanik kökenlidir. Bölgenin kuzeyinde neojen volkanoklastik fasiyesine ait volkanik kayaçlar görülmektedir. Miyosen çökelleri, kil, jips, kumtaşı, çakıtaşı, silttaşı araldanmalı olarak oluşmuştur. Miyosen ve Paleosen çökellerine ait çökeller ve jipsli görseller bulunmaktadır. Mesozoyik ofiyolitleri (ofiyolit, bir magmatik oluşumları sonucu oluşmuş kayaç) bulunmaktadır. Üst kretase flišler Beypazarı'nın kuzeybatı bölgesinde yer almaktadır. Genel olarak havzaya bakıldığında kuzeyde volkanikler, batıda metamorfikler, ortada gölsel çökeller bulunmak üzere 3 grupta toplanmıştır. Kırbaşı Platosu üzerinde geniş bir alanda Üst Miosen birimleri yer almaktadır. Gri, yeşil, boz, sarı, sarımsı beyaz ve beyaz renkli, altta konglomera, kumtaşı, kilitaşı, üstte ise kireçtaşı ve jips yapılanmaları bulunmaktadır (Türkan 2013).



Şekil 1. Çalışma alanı ve jeolojik yapısı

2.2 Su Örneklerinin Alınması

Beypazarı ilçesi Kırbaşı, Kayabükü, Tacettin köyü ve Fasil köyleri çevresinden 5 adet (S1, S2, S3, S4, S5) su örneği alınmıştır. Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinatları şu şekildedir: S1(40°44'91"D-44°24'18.4"K); S2 (40°27'54"D-44°27'77.3"K); S3 (40°39'78"D-44°24'18.4" K; S4 (39°96'61"D-44°27'44.2"K), S5 (40°20'90"D-44°39'71.6"K).

Araştırma alanındaki arazilerden alınan 5 adet yeraltı suyu örneği şişeler iyice kapatıldıktan sonra kutulara konulmuş ve kısa sürede laboratuvara nakledilmiştir ve +4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Analiz yapılacağı zaman örnekler Whatman 42 filtre kâğıdından süzölmüş ve analiz için hazır hale getirilmiştir.

2.3 Su Kalitesi Analizleri

Sulama amaçlı kullanılacak sulara temel olarak yapılması gereken temel analizler: pH, elektriksel iletkenlik (EC), suda çözünebilir katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+}) ve suda çözünebilir anyon (HCO_3^{-} , SO_4^{-2} , Cl^{-} ve B) analizleri

yapılmıştır (Richards, 1954). Sodyum (Na) ve potasyum (K) fleymfotometre, kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) ise EDTA ile titrimetrik olarak analiz edilmiştir. Anyonlardan klorür (Cl^{-}) gümüş nitrat titrasyonu, karbonat (CO_3^{-2}) ve bikarbonat (HCO_3^{-}) sülfürik asit titrasyonu ile belirlenmiş, sülfat (SO_4^{-2}) ise eriyebilir katyonların toplamından Cl^{-} , CO_3^{-2} ve HCO_3^{-} toplamının çıkartılması ile hesaplanmıştır. Analiz edilmiş olan Na^{+} , Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerlerinden sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) hesaplanmıştır. Bor Azometin-H yöntemiyle yapılmıştır (Wolf 1971).

2.4 İstatistiksel Analiz

Her bir örnekleme noktasından elde edilen su kalitesi parametreleri arasındaki ilişkileri anlamak için Pearson Korelasyon Analizi ve Temel Bileşen Analizi (PCA) yapılmıştır. Elde edilen grafikler OriginPro 2021 yazılımı (OriginLab Inc., Northampton, MA, ABD) kullanılarak oluşturulmuştur. Sulama suyundaki değişkenlerin jeokimyasal türleşmesi Visual MINTEQ versiyon 3.1 kimyasal denge modeli kullanılarak belirlenmiştir (Gustafsson 2014).

Bulgular ve Tartışma

3.1 pH ve Elektriksel İletkenlik (EC)

Suların pH değerleri 7.20-7.91 arasında değişmiştir. pH sınıflamasına göre nötr ile kuvvetli alkali sınıfları arasındadır (Tablo 1). Sulama amaçlı kullanım için örneklerin pH değerleri pH:6.5-8.5 arası uygun olarak kabul edilmektedir (Ayers ve Westcot 1994). S5 nolu örnek drenaj suyudur. Sulamada su kısıtlılığı ve küresel ısınma nedeniyle drenaj sularının sulamada kullanılması çoğu ülkede zorunluluk haline gelmiştir. Örneğin, ülkemizde Konya Ovası'nda drenaj suyu sulamada kullanılmaktadır (Çiftçi vd. 1995). Dolayısıyla su kalitesi açısından değerlendirilmesinde fayda vardır. Diğer yandan bazı araştırmacılar tarafından sulama suyunun pH'ı, toprak tarafından tamponlanma eğilimi nedeniyle toprak kalitesi açısından çok gerekli bir kriter olarak kabul edilmemektedir. Bitki açısından bakıldığında

da çoğu bitki geniş pH aralıklarını tolere etmektedir (Rhoades 1972).

Su örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 980 ile 9740 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ arasında değişmiştir (Tablo 1). Su örneklerinin tuzluluğa ilişkin analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına dayanılarak; tuzluluk zararı ve SAR değerlerine göre hesaplamalar yapılmış ve sınıflandırılmıştır. Buna göre, S2 nolu örnek hariç EC değerleri, Tuzluluk zararı $> 2250 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ olduğu için Çok Yüksek Tuzlu Su (T4) sınıfına girmekte olup çok fazla miktarda tuz içermektedir. Su örneklerinden S2 nolu örnek ise EC değeri $750-2250 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ arasında olduğu için Yüksek Tuzlu Su (T3) sınıfında bulunmaktadır. Su örneklerinin ilk 4'ü SAR değerleri 10'dan küçük olduğu için (SAR değeri 0-10 arasında) Düşük Sodyumlu Su (A1) sınıfında yer almaktadır. SAR değeri 10'nun üzerinde olan S5 nolu su örneği ise sodyum zararı açısından orta sodyumlu su (A2) sınıfında yer almaktadır.

Tablo 1. Su örneklerinin kimyasal özellikleri

Parametre	Su Örnekleri				
	S1	S2	S3	S4	S5
pH (25 ° C)	7.59	7.39	7.62	7.20	7.91
EC (25 ° C) ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	2305	980	2420	4020	9740
CO_3^{-2} (me/L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO_3^- (me/L)	7.00	2.20	2.40	7.00	6.60
Cl^- (me/L)	4.00	0.20	0.40	10.00	26.60
SO_4^- (me/L)	14.74	14.02	29.27	31.86	92.25
Na^+ (me/L)	8.26	0.56	0.45	14.43	65.47
K^+ (me/L)	0.38	0.06	0.04	0.31	1.54
Ca^{++} (me/L)	11.48	8.20	26.56	15.48	24.44
Mg^{++} (me/L)	5.62	7.60	5.02	18.64	34.00
Ca+Mg (me/L)	17.10	15.80	31.58	34.12	58.44
SAR	2.82	0.199	0.113	3.494	12.11
Bor – B (ppm)	0.086	0.184	0.076	0.054	0.080
Suyun Sınıfı	T4A1	T3A1	T4A1	T4A1	T4A2

Özellikle drenaj koşullarının yeterli olmadığı yerlerde kullanılmamalıdır. Düşük Sodyumlu Su (A1) sınıfında bulunduğu için her toprak ve bitki için uygundur. Sodyum sorunu doğurmadansulamada kullanılabilir. Sadece sodyuma hassas bitkilerin sulanmasında dikkatli davranılmalıdır. Elde edilen bütün bu tespitler doğrultusunda S1, S3 ve S4 nolu örnekler sulama suyu kalitesi açısından T4A1 (Çok Yüksek Tuzlu – Düşük Sodyumlu Sulama Suyu) sınıfında olup, normal koşullarda sulamaya uygun değildir. Ancak drenajın ve toprak geçirgenliğinin çok iyi olduğu topraklarda, tuza çok dayanıklı bitkiler yetiştirilmesi (Richards 1954) ve damla sulama yöntemi tercih edilerek kullanılabilir.

Örneklerden S5 nolu su örneği EC değerine (9740 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$) göre Tuzluluk zararı $> 2250 \mu\text{mhos cm}^{-1}$; Yüksek Tuzlu Su (T4) sınıfında bulunmakta olup çok fazla miktarda tuz içermektedir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Su kısıtı olan yerlerde toprakların fazla geçirgen olması, uygun drenajın sağlanması, yıkamanın fazlaca uygulanması ve tuza çok dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesi gibi tedbirlerle kullanılabilir.

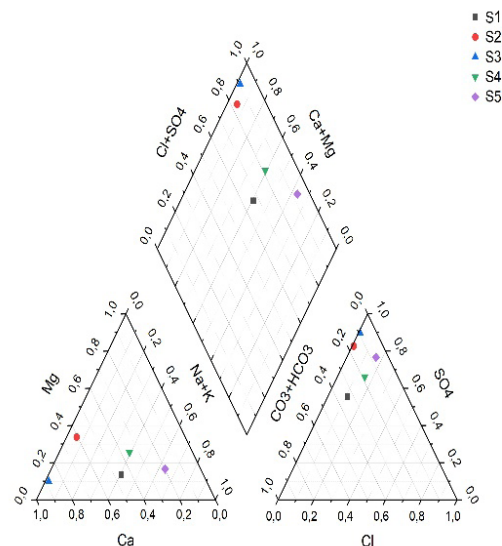
Görüldüğü gibi sulara tuzluluk fazla, alkalilik daha düşüktür. Aslında S5 nolu örneğin değerleri 1,3 ve 4'ten daha büyük olmasına rağmen aynı sulama suyu sınıfı kalitesi grubunda yer aldığı görülmektedir. Beypazarı'nda ilçenin kuzey ve güney bölgeleri ile Kırmir Çayı alüvyonlarında iyi kalitede, batıda neojenin tuzlu jipsli birimlerinde kötü kalitede suların çıktığı belirtilmiştir. Kırbası, Kayabükü, Tacettin köylerine yakın alanlardan alınan su örneklerinde sulama suyu kalitesi T2A1 ve T3A1 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Eltan 2007). Bu çalışmada suların düşük kalitede olmasının nedeninin jeolojik yapıyla ilişkili olduğu görülmektedir.

3.2 Toplam Katyon ve Anyon

Su örneklerinin toplam katyon ve anyon dağılımı (me/L) sıralaması değişim göstermekle birlikte, katyonlardan Ca'nın baskın olduğu, bunu sırasıyla Na, Mg ve K'nın izlediği görülmüştür. Kurak ve yarı kurak bölgelerde, yeraltı suyu genellikle tek sulama kaynağıdır ve kalitesi genellikle sınırlı yağış ve yüksek buharlaşma oranları nedeniyle düşüktür. Bu tür sular, çoğunlukla kalsiyum (Ca^{+2}) ve sodyum (Na^{+})

iyonları gibi büyük miktarlarda çözünür tuzlar içerebilir (Jalali ve Kolahchi 2009). Anyonlardan SO_4^{-2} baskın durumda olup HCO_3^{-} ve Cl^{-} sırasını izlediği görülmektedir (Tablo 1). Sulama suyu pH değeri 8.2'den düşük olması halinde karbonat miktarı çok az olmalı ya da hiç bulunmamalıdır. Su örneklerinin pH'ları 8.3'ten düşük olduğu için CO_3^{-2} iyonu belirlenmemiştir. HCO_3^{-} iyonları, Cl^{-} iyonlarından daha yüksek bulunmuştur.

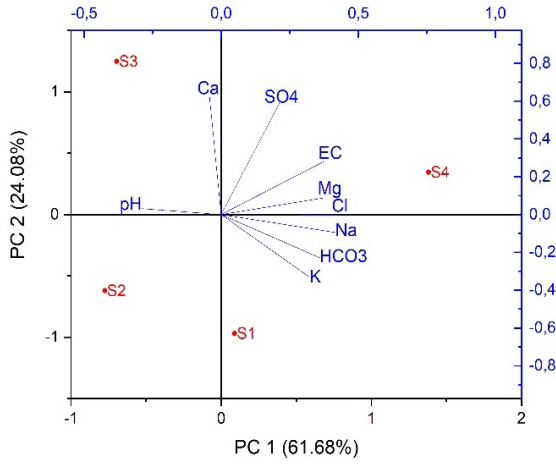
Su analizlerinde elde edilen temel katyon ve anyonlar ile oluşan genel kimyasal kompozisyonu ve oranları göstermek için "Piper Diyagramı"ndan faydalanılmıştır (Şekil 2). Piper diyagramı kısaca şu şekilde ifade edilmektedir. Bu diyagram, anyon ve katyonların ayrı ayrı gösterildiği iki eşkenar üçgen ve tüm iyonların birlikte gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Eşkenar bir üçgenin her kenarı 50 eşit parçaya bölünmüştür. Diyagram çizilirken, birinci üçgenden esas anyonlar (SO_4^{-2} , CO_3^{-2} , HCO_3^{-} ve Cl^{-}), ikinci üçgenden ise esas katyonlar (Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Na+K)'dan faydalanılmaktadır. Merkez kısım ise katyon ve anyon konsantrasyonlarının birleşiminden oluşan genel kimyasal kompozisyonu göstermektedir. Elde edilen diyagram, çalışmada kullanılan su örneklerindeki temel anyon ve katyonların (me/L) oranları kullanılarak oluşturulmuştur. Piper diyagramında iyon miktarları her zaman % olarak ifade edilmektedir (Piper 1944).



Şekil 2. Su örneklerinin Piper diyagramına göre bileşenlerinin dağılımı (%)

Şekil 2'deki Piper diyagramındaki veriler, S1 nolu örneğin yüksek Na+K oranı (%0.4) ile sodyum ve potasyumlu minerallerin çözünmesini, S2 nolu örneğin yüksek $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ oranı (%0.6) ile karbonatlı minerallerin çözünmesi veya yeraltı sularının karbonat bakımından zengin olduğu göstermektedir. S3, S4 ve S5 nolu örnekler daha dengeli iyon dağılımlarına sahiptir. Bu farklılıklar, suyun kimyasal bileşimindeki jeolojik ve çevresel faktörlere dayalı değişiklikleri yansıtmaktadır.

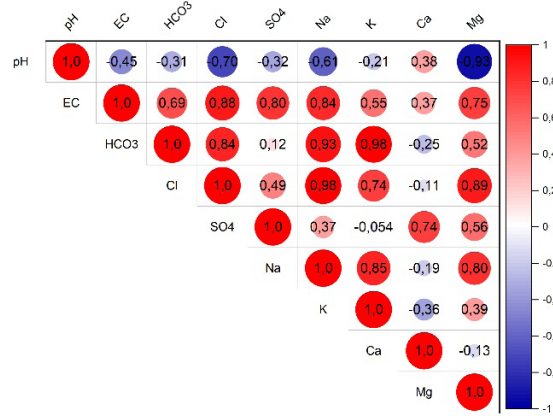
Örneklerin (S1, S2, S3 ve S4) temel bileşen analizi (PCA) değerlendirmeleri Şekil 3a'da gösterilmiştir. PCA grafiğinde, PC1 toplam varyansın %61.68'ini, PC2 %24.08'ini ve iki bileşen birlikte %85.76'luk bir varyansı açıklamaktadır. Sülfat, EC, Mg ve Cl gibi parametreler PC1 üzerinde sağa doğru (+) yoğunlaşarak bu bileşen üzerinde büyük bir etki göstermektedir. S4 nolu örnekte bu parametrelerin birlikte arttığı görülmektedir.



Şekil 3a. S1, S2, S3, S4 nolu örneklere ait temel bileşenler

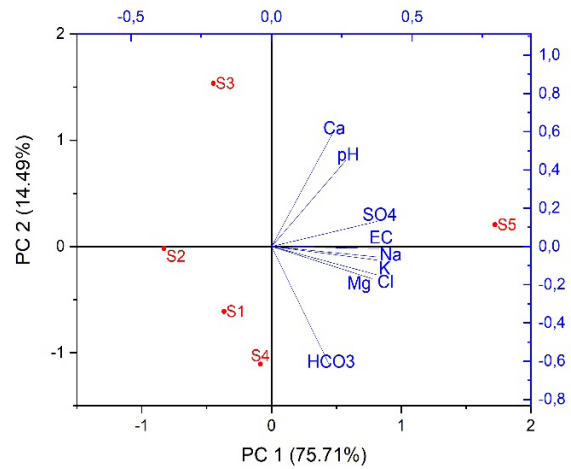
Örneklerin (S1, S2, S3 ve S4) korelasyon matrisi değerleri Şekil 3b'de gösterilmiştir. Bu matris bakıldığında, HCO_3 ve K (0.98), Cl ve Na (0.98) arasındaki yüksek pozitif korelasyon, pH ve Mg arasındaki yüksek negatif korelasyon (-0.93) olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayısı 0.5'in üzerinde olan diğer çiftler, örneğin EC ve SO_4 (0.80) ve Cl ve HCO_3 (0.84), orta-yüksek ilişki

göstererek bu değişkenlerin belirli çevresel veya kimyasal süreçlerde birlikte etkileşime girebileceğini göstermektedir.

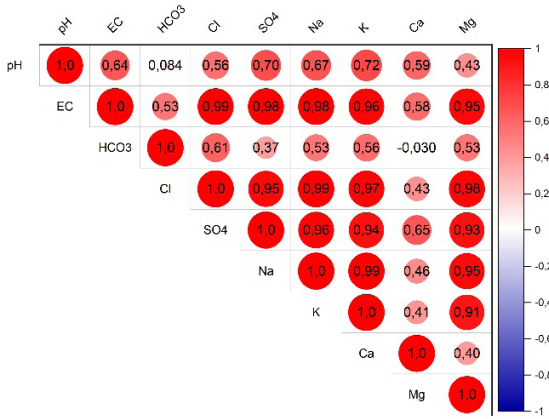


Şekil 3b. S1, S2, S3, S4 nolu örneklere ait korelasyon matrisi

Örneklerin (S1, S2, S3, S4 ve S5) temel bileşen analizi (PCA) değerlendirmeleri Şekil 4a'da gösterilmiştir. PCA grafiğinde, PC1 toplam varyansın %75.71'ini, PC2 %14.49'unu ve iki bileşen birlikte %90.20'lik bir varyansı açıklamaktadır. PC1 üzerinde Ca, pH, SO_4 , EC gibi parametreler sağa doğru (+) yoğunlaşarak bu bileşen üzerinde büyük bir etki göstermektedir. S5 örneğinin diğer su örneklerine göre çok daha yüksek EC değeri nedeniyle diğer 4 örneğin kimyasal içerik ayrıcalığını görmek için ayrıca PCA analizi yapılarak değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 4a. S1, S2, S3, S4, ve S5 nolu örneklere ait temel bileşenler



Şekil 4b. S1, S2, S3, S4 ve S5 nolu örneklere ait korelasyon matrisi

Örneklerin (S1, S2, S3, S4 ve S5) korelasyon matrisi değerleri Şekil 4b'de gösterilmiştir. Öne çıkan yüksek pozitif korelasyonlar arasında, EC ve Cl (0.99), Na ve K (0.99), K

ve Cl (0.97) ve SO₄ ve Na (0.96) görülmektedir; bu durum bu iyonların birlikte artış gösterme eğiliminde olduklarını işaret etmektedir. pH ve Mg arasındaki 0.43'lük daha düşük pozitif korelasyon ise, bu iki değişkenin aynı yönde ancak daha zayıf bir korelasyon sergilediğini göstermektedir. Ca ve SO₄ arasında gözlemlenen 0.65'lik orta düzeyde pozitif korelasyon, bu iyonların birbiriyle uyumlu artış gösterme potansiyeline işaret etmektedir.

Visual MINTEQ Modeli ile Kimyasal Denge Hesaplaması

Visual MINTEQ version 3.1 yazılımı kullanılarak hesaplanan tahmini toplam anyon, katyon ve yük farkı değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Su örneklerinde çözülmüş bulunan iyonların konsantrasyonu en yüksekte düşüğe göre şu şekilde sıralanmaktadır: S5>S4> S3>S1>S2. Örneklerden S2 nolu örnek diğer örneklere göre daha az çözülmüş, S5'te diğerlerine göre daha çok toplam çözülmüş madde içermektedir. Katyon ve anyon yükleri arasındaki denge farkı Tablo 2'den görüldüğü gibi <5'ten düşüktür.

Tablo 2. Su örneklerinin visual MINTEQ programı ile hesaplanan kimyasal parametreleri

Yük	S1	S2	S3	S4	S5
Σ Katyon (eq kg ⁻¹)	2.1401E-02	1.2434E-02	2.1655E-02	3.8228E-02	9.7065E-02
Σ Anyon (eq kg ⁻¹)	2.1488E-02	1.2540E-02	2.1785E-02	3.8228E-02	9.7493E-02
Yük farkı (%)	0.203161	0.422	0.2978	0.291721	0.219599

3.4 Elementlerin Jeokimyasal Türleşmesi

Sulama sularında bulunan iyonların türleşmelerinin değerlendirilmesi ve mineral doygunluk indekslerini belirlemek amacıyla su örneklerine ait kimyasal parametreler

(denge çözeltisi pH değerleri ve katyon ve anyonların toplam konsantrasyonu) (Tablo 1) Visual MINTEQ yazılımına girilmiştir. Bu model tarafından simüle edilen çeşitli türlerin dağılımı (%) Tablo 3'te, minerallerin doygunluk indeksleri ise Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Su örneklerindeki başlıca iyon türleri (%)

Türler	İyon Türleri	Su örnekleri				
		S1	S2	S3	S4	S5
Kalsiyum türleri (%)						
Serbest iyon	Ca ²⁺	72.91	72.80	66.14	66.59	54.63

İnorganik	CaCl ₂ +	0.368	0.02	0.031	0.704	1.182
	CaSO ₄ (sulu)	22.99	25.96	32.75	30.13	42.33
	CaHCO ₃ +	3.109	1.075	0.882	2.378	1.348
	CaCO ₃ (sulu)	0.619	0.138	0.185	0.184	0.493
Sodyum türleri (%)						
Serbest iyon	Na⁺	98.14	98.38	97.45	96.99	93.76
İnorganik	NaCl (sulu)	0.138	--	0.013	0.308	0.676
	NaSO ₄ ⁻	1.474	1.53	2.449	2.487	5.377
	NaCO ₃ ⁻	0.019	---	----	---	0.029
	NaHCO ₃ (sulu)	0.229	0.076	0.073	0.205	0.152
Magnezyum türleri (%)						
Serbest iyon	Mg⁺²	77.08	77.12	71.10	71.09	59.7
İnorganik	MgCl ₂ +	0.616	0.034	0.053	1.192	2.047
	MgSO ₄ (sulu)	19.31	21.84	27.96	25.55	36.75
	MgCO ₃ (sulu)	0.328	0.073	0.1	0.098	0.27
	MgHCO ₃ +	2.647	0.917	0.763	2.045	1.186
	Mg ₂ CO ₃ +2	--	--	---	--	0.026
Potasyum türleri (%)						
Serbest iyon	K⁺¹	97.96	98.02	96.85	96.50	92.49
İnorganik	KCl (sulu)	0.137	1.963	0.013	0.306	0.667
	KSO ₄ ⁻	1.895	----	3.136	3.187	6.834
Bor türleri (%)						
Serbest iyon	H₃BO₃	77.08	98.12	96.40	98.59	92.32
İnorganik	CaH ₂ BO ₃ +	0.316	0.153	0.676	0.143	0.754
	NaH ₂ BO ₃ (sulu)	0.024	---	---	0.016	0.32
	H ₂ BO ₃ ⁻	2.615	1.631	2.835	1.137	5.922
	MgH ₂ BO ₃ +	0.098	0.09	0.082	0.11	0.683
Karbonat türleri (%)						
Serbest iyon	CO₃⁻²	0.276	0.16	0.303	0.119	0.765
İnorganik	HCO ₃ ⁻	90.95	89.12	89.11	84.74	88.41
	H ₂ CO ₃ * (sulu)	4.404	7.004	3.958	9.6	1.8
	MgCO ₃ (sulu)	0.125	0.117	0.1	0.117	0.693
	MgHCO ₃ +	1.013	1.463	0.765	2.442	3.045
	CaHCO ₃ +	2.456	1.87	4.746	2.387	2.515
	CaCO ₃ (sulu)	0.489	0.241	0.995	0.185	0.919
	NaCO ₃ ⁻	0.021	0.018	---	0.013	0.293

	NaHCO ₃ (sulu)	0.261	---	0.013	0.384	1.524
	Mg ₂ CO ₃ +2	--	--	--	--	0.034
Klorür türleri (%)						
Serbest iyon	Cl⁻	98.75	98.93	98.61	97.90	96.46
İnorganik	CaCl ⁺	0.526	0.41	1.036	0.544	1.29
	MgCl ⁺	0.427	0.63	0.329	1.095	0.038
	KCl (sulu)	0.013	0.02	---	---	1.663
	NaCl (sulu)	0.284	--	0.015	0.444	0.860
Sülfat türleri (%)						
Serbest iyon	SO₄⁻²	73.09	72.99	65.52	68.26	67.54
inorganik	MgSO ₄ (sulu)	7.273	11.698	4.719	14.77	13.38
	CaSO ₄ (sulu)	17.88	15.16	29.66	14.64	11.20
	NaSO ₄ ⁻	1.654	0.122	0.075	2.256	7.642
	KSO ₄ ⁻	0.098	0.017	---	0.062	0.227

Su örnekleri Ca türleri açısından incelendiğinde; S1, S2, S3, S4 ve S5 için Ca'nın baskın formunun, yani çözülmüş Ca'nın sırasıyla %72, %72.8, %66.1, %66.6 ve %54.6'ü serbest Ca⁺² iyonlarından oluştuğu görülmektedir. Kalsiyum, suların çoğunda büyük ölçüde çözünür. Baskın inorganik tür, örneklerin hepsinde sulu kalsiyum sülfat (CaSO₄)'tır ve örneklerde bulunuş sırası S5>S3>S4>S2>S1 olup çokluğu ise %42.3, %32.8, % 30.1, %26 ve %23'dür. Daha sonra Ca'nın HCO₃⁻ formu (%1.08-3.11) gelmektedir. Sodyumun serbest iyonları (Na⁺), suda en kolay çözünebilir kimyasal türüdür. Su örneklerinde (S1, S2, S3, S4 ve S5) sırasıyla çözülmüş Na'nın yaklaşık %98.1, %98.4, %97.5, %97 ve %93'ünü oluşturmuştur. Görüldüğü gibi su örneklerinin serbest Na (%)'si diğer formların (%) sine göre çok yüksektir. S1, S2 ve S3 benzer, S4 bu örneklere yakın, S5 nolu örnek ise biraz daha düşüktür. Yine örneklerde bulunan diğer inorganik türlere göre baskın tür formu sodyum sülfattır (Na₂SO₄). Bu oran (%) 5.38-1.47 arasında değişmektedir. Sodyum sülfat formunun S1 ve S2 nolu örneklerdeki değerleri birbirine benzer, S3 ve S4 nolu örneklerin değerleri birbirine yakın, S5 nolu örneğin değerinin ise diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sulu NaCl (örnek S2 hariç), sulu Na₂CO₃ türleri (örnek S2, S3 ve S4 hariç) diğer örnekler için

%1'in altındadır. Sulu sodyum klorür (%) S2 nolu örnekte bulunmamıştır, S3 de ise çok düşük bulunmuştur, S1 ve S3, S4 ve S5 için %0.13-%0.30 arasında değişmiştir. Sulu NaHCO₃ %0.07-0.22 arasında değişmiştir. Özetlersek, oransal olarak inorganik türlerin (%)'si serbest Na (%)'sine göre çok düşüktür. Potasyum, sodyum gibi suda çözünür olma eğilimindedir. Potasyumun, %92-98-'ünün serbest (K⁺), %0.13-%1.96'sinin klorür, %0-6.83 sülfat olarak bulunduğu görülmektedir. Doğal bir su sisteminde, çözülmüş magnezyum (+2) oksidasyon durumunda bulunur. Yeraltı suyu örneklerindeki Mg türlenmesinde Mg'un %71-77'si serbest formda (Mg⁺²), SO₄⁻² (%19.31-36.8) ve HCO₃⁻ (%0.92-2.65) formları da Mg'un inorganik formunda bulunmaktadır. İnorganik türler kompleksinde CO₃⁻² formları çok düşüktür, buna karşılık diğer anyonik formlar, Cl⁻>HCO₃⁻> SO₄⁻² sırasını (%98.8-96.4) (%90.95-84.74) ve (%73.09-65.52) oranları ile izlemiştir. Karbonat formları arasında karbonattan ziyade HCO₃⁻ (%90) formu hakimdir, H₂CO₃>CaHCO₃>MgHCO₃ sırasını izlemiştir. CaCO₃, MgCO₃ ve Na₂CO₃ formlarının çözülmüş miktarları çok düşük oranlardadır. Sülfat türlenmesi, sülfatın ana sulu formunun serbest sülfat iyonu (SO₄⁻²) olduğunu göstermiştir. Bu inorganik türler çeşitli koşullar altında bulunuş olarak CaSO₄ > Na₂SO₄ >

$MgSO_4 > K_2SO_4$ sırasını izlemiştir (Tablo 3). Örneklerdeki $CaSO_4$ dağılımı (%) $S3 > S1 > S2 > S4 > S5$ şeklindedir. Ibrahim ve Nofal (2020), yeraltı suyunun kalite ve hidrojeokimyasının belirlenmesinde Visual Minteq yazılımı kullanarak jeokimyasal türleri belirlemişler ve Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , F^- , HCO_3^- , ve Fe^{+2} nin serbest iyonlar halinde dağılım gösterdiğini belirtmişlerdir. Obiefuna ve Orazulike (2010) Nijerya'da yeraltı suları ile yaptıkları çalışmada iyon türlerini Visual Minteq yazılımı ile belirlemişlerdir.

3.5 Su-Kaya Etkileşim Süreçleri

Bir suyun içindeki kayaç veya minerallerin yaklaşık olarak anahatlarının belirlenmesi ve ayrıca yeraltı suyunun jeokimyasal evriminden sorumlu kimyasal reaksiyonların tanımlanması ile suda meydana gelen çözünme ve çökeltme reaksiyonları değerlendirilebilir (Ibrahim vd. 2019). Doymunluk indeksleri (SI), akifer matrisindeki su ve mineraller arasındaki dengeyi

belirlemede yardımcı olur. SI, hangi minerallerin yeraltı suyuna veya yeraltı suyundan çözüldüğünü veya çökeldiğini, yeraltı suyu yapısına hakim olduğunu veya jeokimyasal reaksiyonlara hakim olduğunu göstermeye yardımcı olur. Doymunluk durumları, iyon aktivite ürününün (su örneklerindeki aktiviteler) ve çözünürlük ürününün (dengedeki aktiviteler) karşılaştırılmasıyla belirlenir (Appelo ve Postma 2005). Mineral doymunluk durumları, "Visual MINTEQ" modelleme yazılımında yer alan bir hesaplama ile yapılmıştır (El Gammal ve Ibrahim 2017). Minerallerin doymunluk indeksi değerlerine göre su örneklerinin 4'ünde (S1, S3, S4 ve S5) dolomit ordered, dolomit disordered, kalsit, aragonit ve vevaterit ile aşırı doymunluk görülmektedir (pozitif değerler doymunluğu göstermektedir), S2 ise dolomit $CaMg(CO_3)_2$ aşırı doymundur (Tablo 4). Bu minerallerle aşırı doymunluk, bu fazların muhtemelen kimyasal reaksiyonlara katılmadığını ve ayrıca doymunluk indeksinin eski minerallerin çökeltmesini ortaya koyduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Doymunluk indeksi (SI) değerleri

Örnek No	S1	S2	S3	S4	S5
Mineral	Doymunluk indeksi (SI)				
Anhidrit	-0.877	-0.971	-0.358	-0.626	-0.273
Aragonit	0.669	-0.129	0.509	0.275	0.909
Brusit	-4.885	-5.116	-4.938	-5.253	-3.758
$CaCO_3 \cdot xH_2O(s)$	-0.523	-1.321	-0.683	-0.918	-0.285
Kalsit	0.813	0.015	0.653	0.419	1.053
Dolomit (disordered)	0.915	-0.402	0.188	0.521	1.863
Dolomit (ordered)	1.465	0.148	0.738	1.071	2.413
Epsomit	-3.405	-3.22	-3.295	-2.762	-2.344
Jips	-0.628	-0.722	-0.11	-0.378	-0.027
Halit	-6.191	-8.64	-8.472	-5.596	-4.589
Huntit	-1.572	-3.93	-3.434	-1.965	0.792
KCl(s)	-6.88	-8.963	-8.877	-6.617	-5.575
Kireçtaşı	-20.193	-20.703	-19.839	-20.955	-19.533
Magnezit	-0.498	-1.018	-1.065	-0.497	0.210
Vaterit	0.246	-0.551	0.087	-0.148	0.487

*pozitif değerler: aşırı doymun, negatif değerler: doymun değil

Diğer değerler (negatif) suyun doymun olmadığı mineralleri göstermektedir. Bunlar jips, florit, halit (NaCl) gibi minerallerdir (Tablo 4). Bu minerallerin çevresel koşulların değişmesine bağlı olarak çözünmesi muhtemel olabilir. Yeraltı suyunun kalsit ile doymunluğu, ortak iyon etkisi veya bunun neden olduğu çökelme olarak bilinen durumu ifade eder (Langmuir 1997). Bu durum kurak iklimlerde jipsin çözünmesiyle açığa çıkan Ca^{+2} 'nin daha fazla kalsitin çökmesine ve yeraltı suyunun kalsit ile aşırı doymunlaşmasına yol açtığını göstermektedir (Edet vd. 2004). Karbonat aşırı doymunluğu, silikat aşınma süreçlerinden kaynaklanan aşırı Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyon girdisinden kaynaklanıyor olabilir. Ibrahim ve Nofal (2020), Mısır'da yaptıkları bir çalışmada üç ayrı alandaki yeraltı suyu örneklerinin doymunluk indekslerini belirlemişler ve kalsit, aragonit, magnezyoferrit, gibsit, ferrihidrit, götit, hematit gibi mineraller açısından aşırı doymun olduğunu ifade etmişlerdir.

Sonuç

Sonuç olarak, bu çalışma, Beypazarı ilçesinden alınan sulama suyu örneklerinin düşük kaliteli olduğunu ve yüksek tuzluluk içeriği nedeniyle sulama amaçlı kullanımda dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymuştur. Visual MINTEQ modelleri ve mineral doymunluk indeksleri, suyun bileşiminde özellikle Ca^{+2} ve SO_4^{-2} iyonlarının yoğun çözünürlük gösterdiğini ve bu iyonların yüksek biyoyararlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Dolomit ve kalsit gibi minerallerin aşırı doymun olması, suyun jeolojik yapının etkisi altında kimyasal özellikler kazandığını doğrularken, halit ve jips gibi minerallerin çözünme eğiliminde olması nedeniyle sulama sırasında özel önlemler alınmasının gerekliliği ortaya konulmuştur. Suyun kalitesini etkileyen jeokimyasal faktörler, sürdürülebilir tarım ve su kaynaklarının korunması açısından önemlidir. Bu kapsamda, Visual MINTEQ modellemesinin iyon türleşmeleri ve mineral doymunluk değerlendirmelerinde sağladığı detaylarla su-kayaç etkileşimleri ve su kalitesi üzerinde kısa sürede katkı sağladığı belirlenmiştir.

Yazar Katkısı: Bu makale Ankara Üniversitesi BAP tarafından desteklenen Proje No: 15Ö0447001: "Ankara'nın Köyleri Tarımsal Arazi Kullanım Planlaması"

başlıklı, Bilimsel Araştırma Projesinin bir bölümünden üretilmiştir. Yazarlar konunun projelendirilmesi ve değerlendirilmesinde ortak rol almışlardır.

Kaynaklar

- Anonim, (2006). Beypazarı meteoroloji istasyonu meteorolojik verilerin 1975-2005 yılları arasındaki değerleri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, 2-3.
- Anonim, (2016). Ankara ve Tarım. Ankara Kalkınma Ajansı. <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/>
- Anonim, (2017). Ankara ili 2016 yılı çevre durum raporu. Ankara Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Çevresel Etki Değerlendirme Şube Müdürlüğü, Ankara.
- Appelo, C.A.J. & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (2nd ed.). London, United Kingdom, Taylor and Francis.
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1994). *Water Quality For Agriculture*. FAO, Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Reprinted 1989, 1994. Roma.
- Benjamin, M. M. (2015). *Water Chemistry*. Waveland Press, pp.907.
- Çiftçi, N., Kara, M., Yılmaz, M. & Uğurlu, N. (1995). Konya Ovasında drenaj suları ile sulanan arazilerde tuzluluk ve sodyumluluk sorunları. 5. *Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri*, 30: 471-481.
- Edet, A.E., Merkel, B.J., & Offiong, O.E. (2004). Contamination risk assessment of fresh groundwater using the distribution and chemical speciation of some potentially toxic elements in Calabar (Southern Nigeria). *Environmental Geology*, 45: 1025-1035.
- El Gammal, H.A. & Ibrahim, L.A. (2017). Assessment of groundwater quality for different uses case study: El Minya governorate. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 214: 1-20.
- Elango, L. & Kannan, R. (2007). Rock-Water Interaction and Its Control on Chemical Composition of Groundwater. Chapter 11. *Developments in Environmental Science*, 5: 229-243.
- Eltan, E. (2007). Ankara İli ve İlçelerinde Yeraltı Sularının

- Sulama Kalitesi. Ançeva Yayın, No: 9, Ankara.
- FAO (2011). Climate Change, Water and Food Security, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gustafsson, J.P. (2014). Visual MINTEQ, version 3.1. KTH Department of Land and Water Resources: Stockholm, Sweden.
- Ibrahim, R.G.M., Korany, E.A., Tempel, R.N. & Gomaa, M.A. (2019). Processes of water–rock interactions and their impacts upon the groundwater composition in Assiut area, Egypt: Applications of hydrogeochemical and multivariate analysis. *Journal of African Earth Sciences*, 149: 72–83.
- Ibrahim, L.A. & Nofal, E.R. (2020). Quality and hydrogeochemistry appraisal for groundwater in Tenth of Ramadan Area Egypt. *Water Science*, 34(1): 50-64.
- Jalali, M.. and Z. Kolahchi. 2009. Effect of irrigation water quality on the leaching and desorption of phosphorous from soil. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 5: 576-589.
- Kalfas, D., Kalogiannidis, S., Papaevangelou, O. & Chatzitheodoridis, F. (2024). Assessing the Connection between Land Use Planning, Water Resources, and Global Climate Change. *Water*, 16(2): 333.
- Kang, Y., Khan, S. & Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security–A review. *Prog Nat Sci.*, 19: 1665–1674.
- Langmuir, D. (1997). Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 601
- Obiefuna, G.I. & Orazulike, D.M. (2010). Physicochemical characteristics of groundwater quality from Yola Area, Northeastern Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, 14(1): 5-11.
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25: 914-928.
- Rhoades, J. D. (1972). Ouality of water for irrigation. *Soil Science*, 113(4): 277-284.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Department of Agriculture Handbook 60.
- Türkan, O. (2013). Beypazarı ilçesinde jeomorfolojik birimler ile arazi kullanım ilişkisi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(1): 53-68.
- Wolf, B. (1971). The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. *Soil Science and Plant Analysis*, 2: 363-374.