

Antalya İlaverten Platosu Yeraltısulannın Kümeleme ve Faktör Analizi ile Sınıflandırılması

Classification of The Groundwaters of The Antalya Travertine Plateau by Cluster and Factor Analysis

A. Özlem ATİLLA, Alparslan ARIKAN

Hacettepe Üniversitesi, Milk Fak Jeoloji Mühendisliği Bölüntü, Beyiepe, ANKARA

ÖZ

Antalya Traverten Platosu yeraltısularına. ait kimyasal ve çevresel izotop verileri "kümeleme" ve "faktör analizi" istatistiksel yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiş ve yeraltısulannın farklılık, ve benzerlikleri, belirlenerek groplandırılmaları yapılmıştır., Antalya. Traverten Platosu'nda yer alan kaynak ve kuyulardan yağışlı dönemde belirlenmiş majör iyon (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , $HCO_3^-+CO_3^{2-}$), elektriksel iletkenlik (EC), pH, sıcaklık (T), çözünmüş oksijen (DO), OCX toplam çözünmüş madde miktarı (TDS), kısmi karbondioksit basıncı (PCO₂), doygunluk indisi (SI) değerleri ile çevresel, izotop içerikleri, kümeleme ve faktör analizi yöntemleri, ile değerlendirilmiştir. Yapılan, değerlendirmeler sonucunda üç farklı grup belirlenmiştir. Bu gruplar, (1.) Traverten Platosunun üst: kesiminden çıkan ve uzun geçiş süresine sahip olan. kireçtaşı kaynakları ile alt platoda yer alan Varsak (VAR)-Düdenbaşı (DUD) sistemi, (2) Traverten Platosu'nun alt kesiminden çıkan ve kısa geçiş zamanına sahip olan nispeten, genç yeraltısuyu kaynakları ve (3) yüzey sularından oluşmaktadır. Kümeleme ve faktör analizi ile yapılan değerlendirmelerin benzer sonuçlar verdiği ve: aynı tür gruplamanın her iki yöntem, ile elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca yapılan değerlendirmeler sonucu alt traverten platosundan boşalan Düdenbaşı kaynağının,, bölgede^ daha önce yapılmış hidrojeolojik etüt çalışmasında, belirlenenin aksine, üst platodan boşalan. Kırkgöz kaynakları ile aynı grupta olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Antalya, faktör analizi, hidrojeokimya, izotop» kümeleme analizi

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the isotopic and chemical composition of the water resources heated in Antalya Travertine Plateau by using cluster and factor analysis.. Major ions (Ca , Mg , Na , K , Cl , SO_4 , $HCO_3^-+CO_3^{2-}$), electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), CO_2 , total dissolved solid (TDS), partial CO_2 pressure (PCO₂), saturation index (SI) and environmental isotope values of springs and wells have been used to estimate the similarities and disparities between the water sources.,

The use of multivariate statistical analyses., which allows evaluation of a large amount of parameters., is very helpful in Hydrogeologie analysis of complex groundwater systems. DaUon and Upckurch (1978), Williams (1982), Steinhorst and Williams (1985), Usunoffand Guzman (1989), Reeve et.al (1996),, Helena et.al. (2000), and the others have emphasized the potential use of the multivariate analysis techniques for the hydrochemical interpretations of the groundwater systems.

The study area occupies 630 km . The geological structure and the map of the sampling locations are illustrated on Figure 2., The Antalya. Travertine Plateau has a. stepwise morphology. In the upper step, called, as Upper

Plateau, there are many springs discharging from the **Mesozoic** limestone and the travertine,. The most important of these springs are **the** outlets of the **Kırgöz** Spring zone discharging from Mesozoic karstic limestone (KGI, KGM, KGO, KGK, KGP). The average discharge rate of these outlets is 15 m/s. The significant springs discharging from the Lower Plateau are **Düdenbaşı** spring (DUD),, Kemeragzı spring (KMÄ), Mağara spring (MGR), Arapsuyu spring (ARP), and Duraililer-Oku! spring (DUO). The average discharge rate of **the Düdenbaşı** spring is 17 m/s, whereas the averages of the other springs are between **0.5-2.5 m** /s. Another important spring is Hurma spring (**HRM**) discharging from Antalya Nappes. The **other** sampling points in **the** study area are Biyıklı (BIY) and Yağca (YGC) swallow-holes at the Upper Plateau, **Varsak (VAR) deline**, 'Kapuz river (KPN), Meydan wells (ASO) and the Duraliler pumping station (DUP), at the Lower Plateau. The chemical,, physical and isotope-data values of these sampling points are given in Table !.. The cluster and factor analysis of the environmental isotopic and hydrochemical data provides the classification of the water sources of the Antalya Travertine Plateau in terms of the ionic composition, the saturation levels and **the** transit time of the waters.

The classification of the standardized isotopic and hydrochemical parameters by cluster analysis is given on Figure 3, while the classification of the water sources with these parameters is given on Figure 4. The parameters are grouped in classes representing i) the major ion composition (TDS, EC, Cd - HCOs + CO£~), ii) **the** degree of the saturation with respect to carbonate minerals (SI, pH, DO), and Hi) the source and the age of the water (isotopes, Cl-, Temp).. Clustering of the water sources results two distinct classes: Upper Plateau groundwaters and **Düdenbaşı** springs is located in **the** same class, while all the other Lower Plateau springs are in **the** second class.. The **dotinesfed** by Kırgözler Spring and the Kapuzbaşı surface water are out of these classes.

Principal factor analysis provided three principal factors for the processes controlling' the ionic and isotopic composition. These are **the total** dissolved solids, the degree of the saturation with respect to carbonate minerals and the isotopic composition.. These three factors explain **the 95%** of **the** total variance of the parameters.. The correlations of the parameters **with** the factors are given on Figure 5. The classification with respect to factors indicated that the Kırgözler and Düdenbaşı springs are characterized by high amount of carbonates,, and high-degree of the carbonate saturation,, and higher recharge areas. On the contrary, the Lower Plateau springs are characterized by low amount of **carbonates**, low saturation levels and lower recharge areas.. The principal factor analysis also revealed **that** the outlets of the Kırgöz springs have different recharge areas and different transit times..

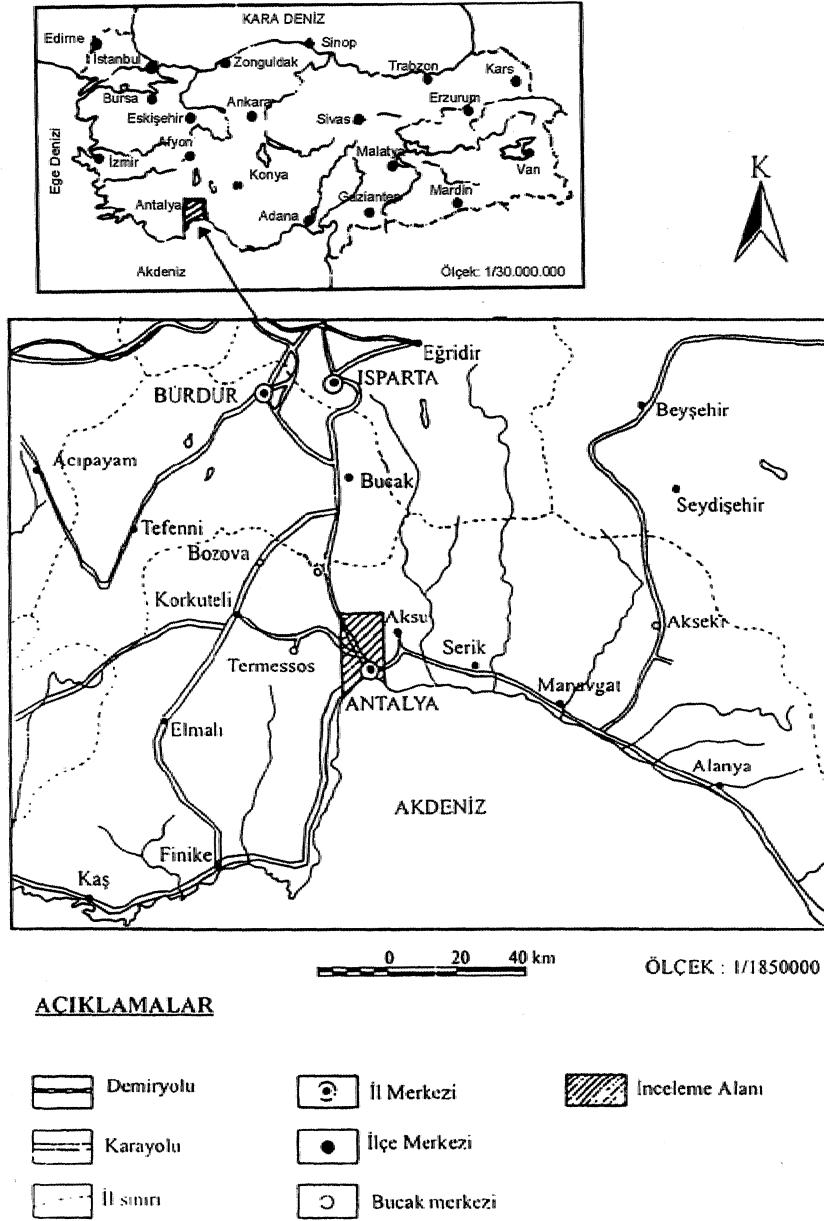
Key Words: Antalya, cluster analysis, factor analysis, **hydrogeochemistry**, isotope

Giriş

Yeraltısulanmın kimyasal ve izotopik bileşimleri, su noktalarının kökenlerinin, benzerliklerinin, akını yolu boyunca meydana gelen değişimlerinin ve karışım süreçlerinin, belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır... Herhangi bir su örneğinin kimyasal ve izotop bileşimi çok sayıda değişken ile ifade edilmektedir.. Hidrojeolojik çalışmalarda, her su noktası için belirlenen bu özellikler oldukça büyük bir veri yığını oluşturmaktadır. Bu verilerin çok değişkenli analiz: teknikleri ile değerlendirilmesi, tüm verilerin aynı anda göz önüne alınmasını ve su noktaları arasında, benzerlikler ve farklılıkların tüm değişkenler açısından ortaya konmasını ve gruplandırmasını sağlamaktadır.,

Antalya Traverten Platosu'nda karstik kireçtaşlarından, alloktan nap birimlerinden ve travertenlerden boşalan önemli debiye sahip çok sayıda kaynak bulunmaktadır., Sulama,, enerji,, içme ve .kullanma, amaçlı kullanılan bu kaynakların hidrojeolojik özelliklerinin, aralarındaki ilişkilerin ve benzerliklerin belirlenmesi amacıyla çok sayıda araştırma yürütülmektedir, -

Bu çalışmanın, amacı, kümeleme ve faktör analizi istatistiksel yöntemleri yardımı ile Antalya Traverten Platosu'nda yer alan değişik su noktalarının kimyasal ve izotop bileşimlerinin, değerlendirilmesidir... Bu amaçla,, Antalya. Traverten Platosu'ndaki kaynak ve .kuyulardan alınan, örneklerinin majör iyon (Ca²⁺,

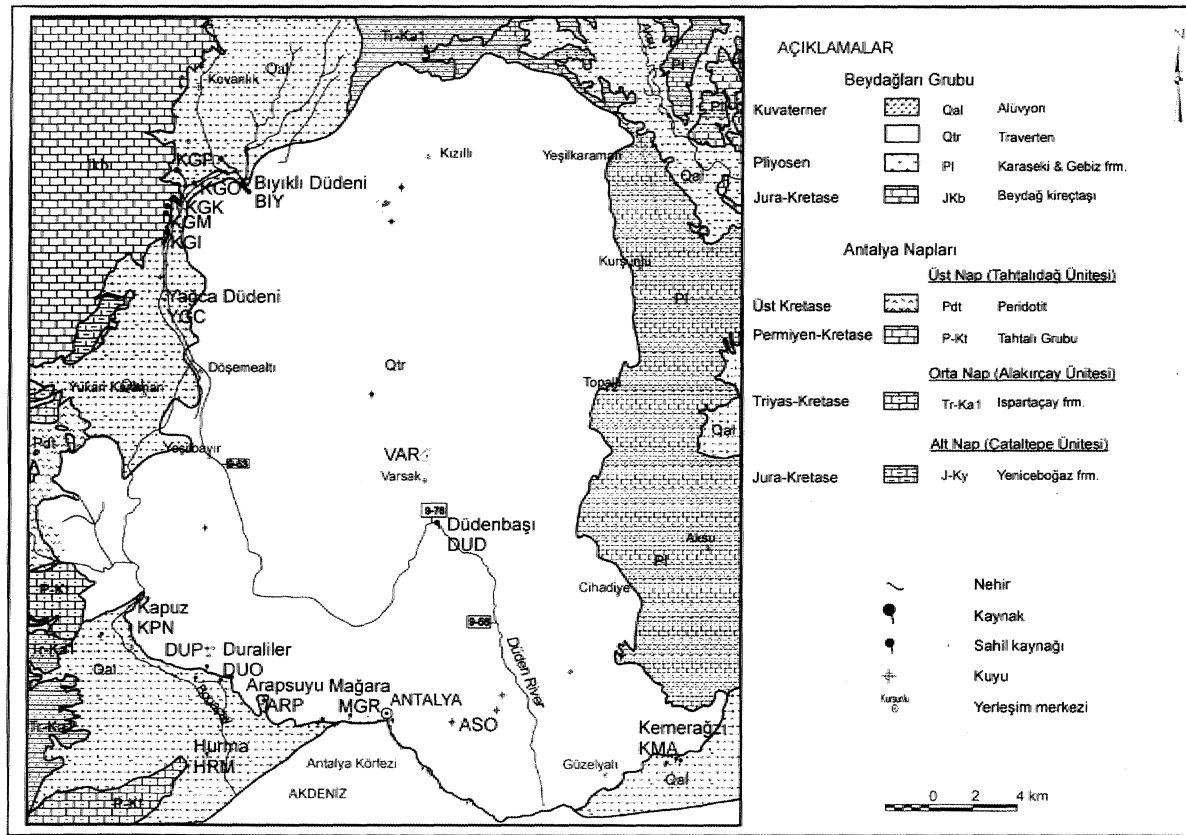


Şekil 1: İnceleme alanı, yer buldu haritası
Figure 1; Location map of the study area.

Mg*, Na\ K\ C; S(V\ HCa-+CO⁺), elektriksel iletkenlik (EC), pH, sıcaklık. (T), çözülmüş oksijen (DO), ÖCa, toplam çözülmüş madde miktarı (TDS)', kısmi karbondioksit basıncı (PCO₂), doygunluk indisi (SI) değerleri ile çevresel izotop içerikleri değerlendirilmiş ve **yeraltı sularının** benzerlik ve farklılıkları, ortaya konmuştur.

Çalışma Alanının Konumu ve Su Noktaları •

Doğuda Aksu havzası, kuzeyde Toroslann güney etekleri, batıda Toroslann Bey dağları kolu ve güneyde Antalya körfezi ile sınırlanan Antalya Traverten Platosu, yaklaşık 630 kn'lik. bir alana sahiptir (Şekil 1). Plato, ikisi karada,, biri deniz altın-



Şekil 2: İnceleme alanının jeoloji haritası (Günay vd. 1995)'den ve örnekleme noktaları

Figure 2: Geological map of the study area and sampling points. (after Günay et. al., 1995)

da olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır. Karada yer alan üst plato 300 m kotunda, alt plato ise yaklaşık olarak 40-120 m kotları arasında bulunmaktadır.

Çalışma alan jeolojisine ilişkin ayrıntılı bilgiler Poisson (1978), Günay vd. (1979), Günay ve Bölükbaşı (1981), Robertson ve Woodcock (1982), Şenel (1984) tarafından, hidrojeolojisine ilişkin ayrıntılı bilgiler ise DSİ (1985), Denizman (1989), ve Günay vd. (1995) tarafından verilmiştir. Çalışma alanının genel jeolojik yapısı ile örnekleme noktaları Şekil 2'de sunulmuştur.

Alanda Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarından ve travertenlerden boşalan çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Bunların en önemlisi Antalya'nın 30 km. kuzeyinde yer alan Katran dağı'nın doğusunda Mesozoyik yaşlı karstik kireçtaşlarından çıkan Kırkgöz kaynaklarına, ait gözelerdir¹ (KGI, KGM, KIGO, KGK, KGP). Kaynakların ortalama toplam

debisi 15 mVs'dir (DSİ, 1985). Traverten içerisinden boşalan önemli kaynaklar ise, Düdenbaşı kaynağı (DUD), Kemeragzı kaynağı (KMA), Mağara kaynağı (MGR), Arapsuyu kaynağı (ARP) ve Duraliler-Okul kaynağıdır (DUO). Düdenbaşı kaynağının (DUD) ortalama debisi 17 mVs iken diğer traverten kaynaklarının ortalama debileri 0.5-2,5 mVs arasında değişmektedir. Alanın güneybatısında yer alan Hurma kaynağı (HRM) ise Antalya Kaplılarından çıkmaktadır.

Bu kaynaklar dışında, Antalya Traverten Platosu üzerinde yer alan Bıyıklı (BIY) ve Yağca (YGC) düdenleri, Varsak (VAR) dolini, Kapuz nehri (KPN), Meydan kuyulan (ASO) ve Duraliler pompa istasyonundan (DUP) da örnek alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında inceleme alanındaki su noktalarından yağışlı dönemde toplanmış örnekler için kimyasal ve İzotop bileşimleri (majör iyon derişimleri, pH, T, CO₂, DO, s^o, 5.D, Trityum) ile bu

vd. (1985) yaptıkları çalışmada kümeleme ve faktör analizi tekniklerini kullanarak, İtalya'da, dolomitik bir akiferde hidrojeolojik alt sistemler arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir. Usunoff ve Guzman (1989) faktör ve karşılaştırma analiz tekniklerinin hidrojen kimyasal yorumlamada kullanımını göstermişlerdir. Ritzi vd. (1993), hidrojen kimyasal verilerin zaman içerisindeki değişimlerini faktör analizi ile incelemişlerdir. Reeve vd. (1996), hidrojen kimyasal süreçleri kümeleme ve temel bileşenler analizi tekniği ile ayırt etmişlerdir. Laaksoharju vd. (1999), hidrojen kimyasal verilerin temsil ettiği bilgileri açıklayabilmek amacıyla temel bileşenler analizi, ideal karışım modeli ve kütle dengesi hesaplamalarından oluşan bir algoritma önermişlerdir. Helena vd. (2000) ise temel bileşenler analizinin hidrojen kimyasal kompozisyonun zamana bağlı değişimini açıklamakta kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Kümeleme Analizleri ile Verilerin Değerlendirilmesi

Kümeleme analizi, örnekler¹ arasındaki, benzerlikleri ya da farklılıkları bulmaya, yarayan istatistiksel bir tekniktir. Kümeleme analizi ile örnekler arasındaki değişimlerin homojen olduğu gruplar yaratılır ve her grup diğer gruplardan belirli ve kesin, özellikleri ile ayrılır. Bu yöntem, n sayıdaki örneğe ait m sayıdaki özellik kullanılarak her bir örneğin öklid uzayındaki konumlarının belirlenmesi ve örnekler- arasındaki, öklid uzaklıklarına göre benzer ya da ayrı gruplar halinde sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Kümeleme: analizinde, sonuçlar dendogram adı verilen, ağaç grafikler- ile gösterilmektedir. Bu grafikler, örneklerin, meydana getirdiği, grupların birbirlerine göre uzaklıklarına bağlı olarak oluşturulurlar. İki. örneği (ya da değişkeni) birleştiren dallar ne kadar kısa ise bu örnekler (değişkenler) öklid uzayında birbirlerine o ölçüde yakın bulunmaktadır.

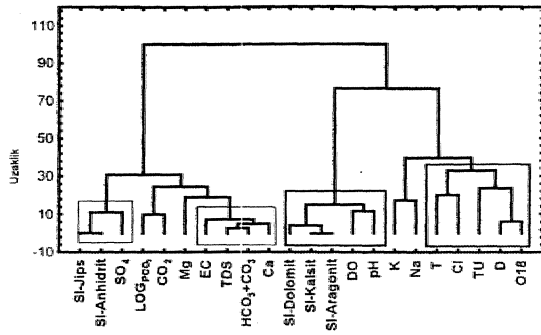
Değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkilerini belirlemek amacı ile ilk olarak kümeleme analizi yapılmıştır. Farklı birim ve büyüklüğe sahip

kimyasal, fiziksel, ve izotopik değişkenlerin bir arada istatistiksel analiz için standartlaştırılması gerekmektedir, ölçülen parametrelerin birimleri farklı olduğundan (meq/l, T.U., $\mu\text{S/cm}$ vb. gibi) bu birimlerin aynı ölçüğe getirilmesine standartlaştırma adı verilir. Bir değişkenin (X_i) standartlaştırılması, o değişkenin her örnek noktasına ait değerlerin (X_i) ortalamalarından (X) sapmalarının standart sapma, (a) değerine bölünmesi ile gerçekleştirilir.

Antalya Traverten Platosu'nda standartlaştırılan değişkenler ile yapılan kümeleme analizi sonucu elde edilen dendogram Şekil 3'de sunulmuştur. Hurma (HRM) kaynağının tüm verileri bulunmadığı için bu kaynak kümeleme analizi değerlendirmesine alınmamıştır.

Şekil 3'te benzer süreçleri temsil eden ve aralarında, yüksek, bağımlılık bulunan değişkenler arasında kümeler¹ oluşmuştur. Toplam çözünmüş madde miktarının (TDS) ve elektriksel iletkenliğin (EC) başlıca (Ca^{2+}) - ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) iyonlarına bağlı olduğu, karbonat minerallerine doygunluğun. pH ve DO parametreleri ile, jips ve anhidrit doygunluğunun ise sülfat içeriği ile kontrol edildiği, suların, kökenini karakterize eden izotoplar ile Cl^- içeriği ve sıcaklığın birlikte kümelendiği görülmektedir. Karbonat minerallerine doygunluk kümesi, karbonat ve CO_2 içeriği kümelerine uzak. bir konumda yer alırken» suyun kökeni, ve yer¹ altında kalış süresini ifade eden izotop kümesine daha yakın bulunmaktadır.

Değişkenler arasındaki bu kümeleneleme göre örnek noktaları gruplandırıldığında üst plato kaynakları ile alt plato kaynaklarının ayrı kümeler oluşturduğu görülmektedir (Şekil. 4). Kırkgöz kaynaklarının (KGI, KGM, KGO, KGK, KGP) kendi aralarında, alt gruplara ayrıldığı, Düdenbaşı (DUD), Varsak dolini (VAR) ile Kırkgöz kaynaklarının kuzey gözlerinin (KGP, KGK) gruplaştığı, alt plato kuyularının aynı kümede olduğu, Duraliler (DUO) ve Arapsuyu (ARP) kaynaklarının da bu kümeye yakın bulunduğu görülmektedir. Kırkgöz kaynaklarının güneyinde bulunan Yağca. (YGC) ve Bıyıklı (BIY) düdenleri, aynı kümede yer almışlardır.



Şf kil 3r<Hidro]eokimyasal ve izotopik. -değişkenler arasında. kümeleme analizi sonucu belirlenen iliş-kiler

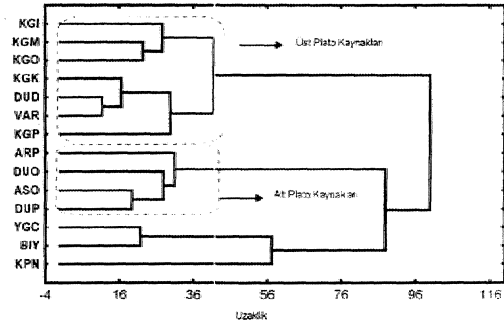
Figure 3: The relations between hydrochemical and isştopic variables obtained by cluster analysis.

Bıyıklı düdeni (BIY) tüm Kırkgöz kaynaklarının (ŞGI, KGM, KGO, KÖK, KGP) boşaldığı gölü drene ederken, Yağca düdeninden (YGC) akan suyun kökeni bilinmemektedir. Ancak yağışlı dönem örnekleri, ile yapılan bu değerlendirmede, söz konusu düdenler ile Kapuz; nehrinin (KPN) aynı kümede toplanmaları, Yağca düdeninin (YGC) de gölden, beslendiği ve tüm ta. grubun yüzey sularını temsil, ettiği, şeklinde^ yorumlanmaktadır. Kapuz; nehri (KPN) örneği, düşük iyon konsantrasyonu nedeniyle göl kompozisyo&undan uzak, kalmaktadır..

Atilla (1996), izotop¹ içeriklerine göre Kırkgöz kaynaklarından Karagöz (KGK) ile Düdenbaşı kay-nağı (DUD) ve Varsak çökme dolininin (VÄR) aym kökene sahip olduğunu belirlemiştir... Burada yapılan kümeleme analizinde 'de: bu gruplama. görölmektedir.

Temel Faktör Analizleri ile Verilerin Değerlendirilmesi

Faktör analizi en. yaygın kullanılan çok değişken- li istatistiksel analiz tekniklerinden biri. olup' geniş bir veri yığımı özetleyerek, daha az sayıda değişken ile ifade edilmesini, sağlamaktadır' (Davis* 1986). Faktör analizi, ile "nt" sayıda örneğin n sayıda, değişken ile ifade edildiği. nxnı sayıda, elemana, sahip bir veri' matrisinin, değişkenleri aralarındaki varyans, kovaryans ve -korelasyon ezelliklerine: bağlı olarak.



Şekil 4: Tüm hidrojeokimyasal ve izotopik değişkenler ile yapılan kümüleme analizi sonucu örnek noktaları arasında belirlenen özellikler (KGP: Kırkgöz - Pınarbaşı, KGO: Kırkgöz - OSS, KGM: Kırkgöz - Kocain, KGK: Kırkgöz - Karagöz, KGI: Kırkgöz » P. 1st., YGC: Yağca Düden, BIY: Bıyıklı Düden, VAR; Varsak - Düden, DUD: Düdenbaşı, KPN: Kapuz, Nehir., A.RP: Arapsuyu, DUP: Duraliler - Pompa, DUD: Draliler - Okul, ASO: Meydan Kuyuları)

Figure 4: The classification of the sampling points with the cluster analysis of the hydrogeochemical. and isotopic variables together.,

bir arada, toplayarak 'değişken sayısından daha az sayıda faktör ile ifade edilmesi esasına, dayanır. Faktörlerin elde edilmesinde kullanılan çok sayıda matematiksel yöntem, vardır. Ancak, hepsinde esas, veri matrisinin devrik, matrisi ile çarpılması ve çıkan matrise ait özdeğer ve özvektörlerin belirlenmesine dayanır.

Faktörlerin belirlenmesinde başlıca, iki yaklaşım vardır, Bunlar temel, bileşenler analizi, ve temel faktör analizi olarak adlandırılmaktadır., iki ya da daha fazla değişkeni tek. bir faktörde birleştirmek, faktör analizinin esasını oluşturmaktadır. Temel bileşenler analizinde- 'bu faktörler varyans-kovaryans ya da korelasyon matrislerinin özvektörleridir. Temel faktör analizinde ise faktörler bağımsız değişkenlerin oluşturduğu doğrusal, bağlanım eşitliklerinden elde edilmektedir;. Temel bileşenler analizinde tüm değişkenlere ait. varyans ve korelasyon değerleri kullanılırken, temel faktör analizinde ise yalnızca bir-birlerinden bağımsız değişkenler kullanılmaktadır.. Temel, faktör analizi bir boyut indirgeme- ve bağımlılık yapısını yok etmeye yarayan bir çok değişkenli, analiz tekniğidir. Faktörler arasındaki korelasyonlar

faktör yükü olarak, adlandırılmaktadır. Faktörlerin sırası önem taşımaktadır, zira, birinci faktör, bir sonraki faktöre göre sistem, içerisindeki değişimin (toplam varyansın) daha büyük bir yüzdesini ifade etmektedir (Davis, 1986). Faktör sayısının belirlenmesinde faktörlerin, değişkenlerin* temsil ettiği, bilginin, ya da toplam varyans içindeki, oranlan göz önüne alınır. Faktör özdeğerlerinin, - faktör sayısına karşı çizilen grafiğinde eğrinin düzleşmeye başladığı ana kadar olan faktör sayısının değişkenlerin önemli bir • yüzdesini temsil ettiği belirtilmiştir (Cattell, 1965)..

Bu analiz için de aynı şekilde değişkenlerin değerleri, standartlaştırılmış ve su. noktalarının, doyunluk değerleri, kimyasal parametreler ve izotop verileri birlikte faktör analizine sokularak inceleme alanı için en uygun grupta belirlenmeye çalışılmıştır. Temel faktör, analizi bağımsız değişkenler ile gerçekleştirildiği için,, TDS ile yüksek: korelasyona sahip EC; CO₂ ile yüksek korelasyona, sahip PCO₂, kümeleme analizi sonucu, düşük konsantrasyona sahip olduğu, için etkin kimyasal süreçleri temsil etmekte rolü olmadığı görülen Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Cl\ SÖ₄²⁻ iyonları, jips. ve anhidrite doyunluk indisleri faktör analizine sokulmamıştır. Temel faktör analizi Ö¹⁸O, ÖD, Ca²⁺, HCOM - CO₂²⁻; DO, CÖ₂, pH, TDS, aragonit, kalsit ve dolomit doyunluk indisi değişkenleri arasında yapılmıştır. Yapılan temel, faktör' analizi sonucunda Özdeğer-faktör sayısı ilişkisinden maksimum faktör sayısı 3 olarak belirlenmiş, değişkenler ve temel faktörler arasındaki korelasyonlar ile herbir faktörün, toplam varyans yüzdeleri. Çizelge 2'de verilmiştir. Faktör sayısının 3 alınması ile toplam, varyansın % 95.,5'i temsil edilmiştir. Bu nedenle faktör' sayısının artırılmasına gerek görülmemiştir.

Yapılan temel faktör analizi, kümeleme analizinde ortaya, çıkan, değişken gruplarının temsil ettiği süreçlerin temel faktörleri de temsil ettiğini göstermiştir. Faktör 1 ile en yüksek korelasyonu veren değişkenler Ca²⁺, HCO₃-+CO₃²⁻, CO₂ ve TDS'dir... Faktör 2'yi oluşturan değişkenler ise, pH, DO, aragonit, kalsit ve: dolomit doyunluğudur. Faktör 3 ise Ö¹⁸O ve 8D değerleri, ile temsil edilmektedir (Şekil 5).. Buna göre: su noktalan,, toplam, çözünmüş madde içeriği. (Faktör 1), karbonat minerallerine doyunluk

Çizelge 2: Kimyasal ve izotop değişkenleri temel faktörler yükleri ve faktörlerin varuans yüzdeleri.

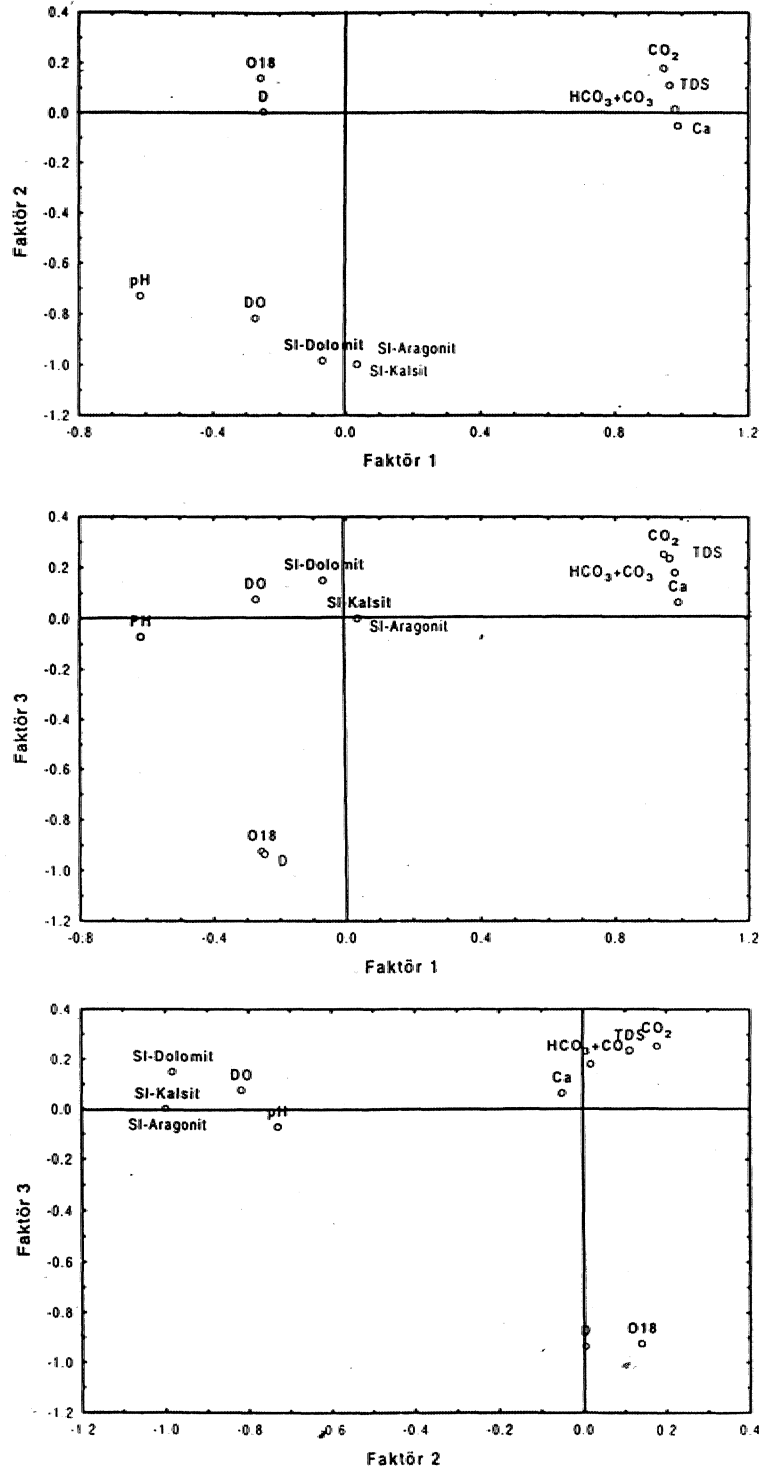
Table 2: Principle factors loadings of the chemical and isotopic variables, and the percentage of the factor variances.,

Değişken	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 2
Ö ¹⁸ O	-.256352	.139804	-.924177
ÖD	-.247904	.004663	-.936441
Ca	.990135	-.050684	.064085
HCO ₃ +CO ₃	.981603	-.017665	.180883
pH	-.616581	-.730038	-.071320
DO	-.272696	-.817691	.075466
TDS	.964228	.112151	.234987
CO ₂	.947333	.178374	.251979
SI-Aragonit	.033080	-.997788	.001727
SI-Kalsit	.034201	-.997790	.001194
SI-Dolomit	-.069908	-.983505	.149929
%Toplam Varyans	.396359	.384260	.174530

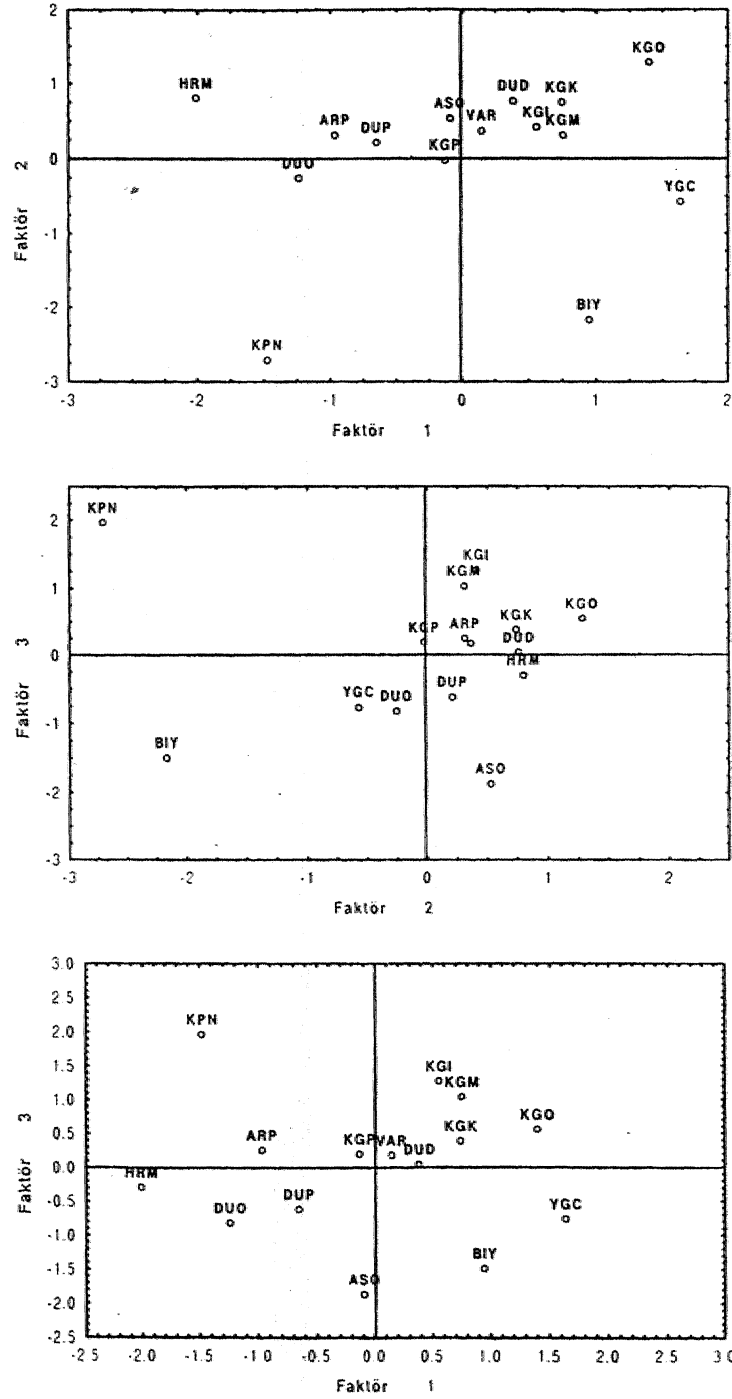
{Faktör'2) ve köken, ya da izotopik bileşim (Faktör 3) faktörleri ile temsil edilmektedir. Bu faktörlere göre su. noktalarının dağılımı Şekil 6'da verilmiştir,

.Faktör' Tin büyük, değerleri toplam çözünmüş madde miktarının yüksek olduğu örnekleri temsil etmektedir. Kırkgöz kaynak, grubu (KGO, KGM, KGK, KGİ), Düdenbaşı (DUD) ve Vaisak dolinin-den (VAR) oluşan üst plato kaynakları ile üst platoda yer alan ancak Şekil 4'de yüzey suyu olarak bu gruptan ayrılan Yağca (YGC) ve Bıyıklı (BIY) düdenlerinin, alt platoda yer alan Arapsuyu (ARP) ve Duraliler (DUO) kaynakları ile kuyu örneklerinden. (ASO - DUP) daha. yüksek çözünmüş madde içeriğine sahip oldukları görülmektedir, En düşük çözünmüş madde içeriği ise Kapuz nehri, ile (KPN), Antalya Haplarından boşalan. Hurma. (HBVI) kaynağında görülmüştür.

Faktör 2'nin büyük değerleri, karbonat minerallerine doyunluk derecesinin yüksekliğini temsil etmektedir. Faktör 1 - Faktör 2 grafiğinde tüm yeraltısulanın (KGO, KGM, KGK, KGI, KGP, DUD, VAR, DUP, DUO, ASO, ARP, HRM) karbonat minerallerine göre doyun olduğu, yüzey sularının (KPN, YGC, BIY) ise daha düşük doyunluk değerleri ile temsil edildiği görülmektedir., • Yüzey sularının düşük doyunluk değerleri, atmosfer ile temas sırasında CO₂ kaçışına bağlıdır. Toplam



ŞekU 5: .Hidrojeokimya ve izotop değişkenleri ile temel faktörler arasındaki korelasyonlar.
 Figure 5: The correlations between hydrogeochemical and isotopic variables with the principle factors..



Şekil 6: Hidrojeokimya ve izotop değişkenleri temel faktörleri ile örnek noktaları arasındaki ilişkiler (KGP:Kırkgöz-Pınarbaşı, KGO:Kırkgöz-OSS, KGM:Kırkgöz-Kocain, KGK:Kırkgöz-Karagöz, KGLKırkgöz-P.Ist, YGCYağca Düden, BIY:Bıyıklı Düden, VAR:Varsak-Düden, DUD:Düdenbaşı, KPNrKapuz Nehir, ARPıArapsuyu, DUP:Duraliler-Pompa, DUOrDuralier-OkuI, ASO:Meydan Kuyulan, HRM:Hurma Kaynağı).

Figure 6: The relations between the sampling points and the principlefactors of hydrogeochemical and isotopic variables.

çözünmüş madde içeriği az, olan Hurma, kaynağı (HRM) ile çok olan Kırkgöz- grubu (KGI, KGM, KGO, KGK, KGP), kaynak çıkışlarından önce CO₂ kaçışının zor olması nedeniyle benzer doygunluk değerlerine sahiptir.

Duraylı izotop içeriklerinin negatif değerlere sahip olması, nedeniyle, Faktör 3'ün büyük değerleri. daha düşük izotop içeriğini temsil etmektedir, Düşük izotop içeriği, beslenme alanının yüksekliği, ile yeraltısuyu dolaşım, süresinin uzunluğunun, bir göstergesidir.. Buna göre Kırkgöz kaynakları. (KGI, KGM, KGO, KOK, KGP), Düdenbaşı (DUD) ve Arap.su.yu (ARP) kaynakları daha yüksek, kotlardan beslenmektedir. Kırkgöz gözeleri kendi aralarında Faktör 3 açısından, değişik davranışlar sergilemektedir. Kırkgöz boşalımının gerçekleştiği zonun güneybatısında yer alan gözeler- (KGM ve KGI) daha uzun bir dolaşıma ve daha yüksek bir beslenme alanına, sahipken,, kuzeydoğuya doğru gidildikçe dolaşım süresi kısalmaktadır.. Sırasıyla KGO, KGK ve KGP kaynakları giderek kısalan bir dolaşıma, sahiptir. Kırkgöz: gözeleri arasında, karbonat ve doygunluk değerleri de farklılıklar göstermektedir., Kırkgöz gözeleri arasında, en düşük beslenme alanına sahip olan kaynak Kırkgöz-Pınarbaşı (KGP) olarak ayrılmaktadır. Bu göze çözünmüş madde içeriği ve doygunluk açısından da. diğer Kırkgöz gözelerinden belirgin bir farklılık göstermektedir. Bu durum Kırkgöz gözelerinin farklı karst kanalları aracılığı ile değişik yükseltideki, beslenme alanlarından farklı geçiş süreleri ile beslendiğini ortaya koymaktadır..

Hurma (HRM) ve Duraliler kaynakları (DUO) ile Duraliler (DUP) ve Meydan (ASO) kuyu sularının izotop içerikleri ise- daha. alçak beslenme- alanlarını temsil etmektedir; Bıyıklı (BIY) ve Yağca (YGC) düdenlerinin izotop içeriğinin -yüksek olması bu yüzey sularının buharlaşma etkisi ile izotopik zenginleşmeye uğradığını göstermektedir.

Kapuz "nehri (KPN) örneğinin her üç faktör için farklılık gösterdiği görülmektedir. Yüksek kotlardan beslenen ve akım yolu boyunca çoğunlukla geçirimsiz nap üniteleri ile temasda bulunan bu su örneği,, 'düşük karbonat: içeriği, düşük doygunluk değeri ve düşük izotop içeriği ile temsil edilmektedir. Bu durum Kapuz nehrine, travertenler üzerinde bir yeraltısuyu karışımı olmadığını göstermektedir...

Sonuçlar ve Tartışmalar

Antalya Traverten Platosu yeraltısulan kimyasal ve izotop bileşimlerine bağlı olarak çok değişkenli analiz teknikleri ile sınıflandırılmıştır, Kümeleme ve temel faktör analizi ile yapılan gruplamalarda benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Kümeleme analizi ile yapılan değerlendirmede, Kırkgöz; kaynak grubu (KGI, KGM, KGO, KGK, KGP) ile Düdenbaşı (DUD) ve Varsak (VAR) örneklerinin bir kümede toplandıkları, alt platodan boşalan yeraltısularının (AMP, DUO, ASO, DUP) aynı, bir Meme oluşturdukları görülmüştür. Kırkgöz kaynaklarının, oluşturduğu gölden, beslenen düdenlerin (YGC, BIY) üçüncü bir grup oluşturduğu, yüksek, kotlardan, beslenen Kapuz- nehrinin (KPN) ise tüm bu grupların dışında kaldığı görülmüştür.

Yapılan temel faktör analizi sonucunda Antalya Traverten. Platosu, kaynaklarının "toplanı çözünmüş madde içeriği", "karbonat minerallerine doygunluk" ve "izotopik bileşimlerini" temsil eden üç faktör ile gruplanabileceği saptanmıştır. Bu üç faktör tüm süreçlerin, (toplam varyansın) % 95'ini temsil etmektedir.. Bu faktörler ışığında Kırkgöz kaynak grubu (KGI, KGM, KGO, KGK, KGP) ile" Düdenbaşı (DUD) ve Varsak dolini (VAR) örneklerinin, yüksek kotlardan beslenen, karbonat içeriği, ve doygunluk değeri, yüksek sular olduğu, alt plato yeraltısularının ise daha alçak kotlardan, beslenen, düşük karbonat; içeriği, ve doygunluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Kırkgöz gözeleri arasında, da farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıklar her bir gözenin farklı yükseltilerde beslenme alanlarına,, değişik akım yollarına, ve farklı geçiş sürelerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.. Bu gözeler arasında, özellikle Kırkgöz-Pınarbaşı (KGP) kaynağı en düşük beslenme alanı, ve en, kısa dolaşım süresi ile diğer Kırkgöz kaynaklarından (KGI, KGM, KGO; KGK) ayrılmaktadır., Temel faktör analizi ile yüzey sularının kaynaklardan farklı bir bileşim kazandıkları, Kapuz nehrine. (KPN) travertenlerden bir yeraltısuyu katkısı olmadığı görülmüştür

Düdenbaşı kaynağının (DUD), Kırkgöz kaynakları (KGI, KGM, KGO, KGK, KGP) ile aynı faktörler ile temsil edildiği ve aynı hidrojeolojik sistemin boşalımı olduğu sonucuna varılmıştır., Yağca

düdeninden (YGC) boşalan suların Bıyıklı düdeninde (BIY) olduğu gibi, Kırkgöz kaynaklarının önünde toplanan göl sularından beslendiği, bu nedenle faktör analizi değerlendirilmesinde diğer gruplardan farklı davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Yüksek kotlardan beslenen ve uzun yeraltısuyu dolaşımına bağlı olarak yüzeye çıkan üst: plato kaynakları ile daha düşük kotlardan, beslenen ve kısa yeraltısuyu dolaşım sistemine sahip olan alt plato kaynaklarının, izotop ve kimyasal, özelliklerine bağlı olarak ayrı gruplarda toplandığı görülmektedir.

Antalya kentinin içme ve kullanma su kaynakları alt platoda bulunmaktadır. Bu kaynakların kısa yeraltısuyu dolaşım sistemine sahip olması ve yerleşimin yoğunlaştığı düşük, kotlardan beslenmesi kirlenme riskini arttırmaktadır. Diğer taraftan Kırkgöz kaynakları (KGI, KGM, KGO, KGK, KGP) ile Düdenbaşı kaynağının (DUD) çok yüksek kotlardan beslenmesi ve uzun bir yeraltısuyu dolaşımına sahip olması kirlenme riskinin daha az olmasını sağlamaktadır. Buna karşılık karbonat içeriklerinin fazla olması nedeniyle bu kaynakların kullanım alanları kısıtlanmaktadır.

Katkı Belirtme

Yazarlar bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Dr. Levent TEZCAN'a ve Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye teşekkür ederler.

Değerlenen Belgeler

Atilla, Ö., 1996. Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Teknikleri Kullanılarak Hidrojen kimyasal Verilerin Değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 145 s.

Cattell, R.B., 1965. Factor Analysis: An Introduction to Essentials, *Biometrics*, 21 (1), p. 190-215.

Daltan, M. G., Upchurch, S. B., 1978. Interpretation of Hydrochemical Facies, by Factor Analysis, *Ground Water*, Vol. 16, No. 4, p. 228-233.

Davis, L. C., 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons Inc., New York, 646 p.

Benizman, C., 1989. Kırkgöz Kaynakları ve Antalya Traverten Platosunun Hidrojeolojik Etüdü. H. Ü. Fen Bil. Ens. Yük. Müh. Tezi, Beytepe, Ankara., 72,

DSİ, 1985., Antalya Kırkgöz Kaynakları ve Traverten Platosu Hidrojeolojik Etüdü. **Raporu**. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Günay, G., Tezcan, L., Ekmekçi, M., Atilla, A. Ö., 1995. Present State and Future Trends of Karst Ground Water Pollution, in Antalya Travertine: Plateau. EC- COST65 Project, National. Report for Turkey, H.Ü-UKAM;-Ankara.

Günay, Y., Bölükbaşı, A.S., 1981. Antalya-Elmalı-Korkuteli-Bucak Arasındaki Beydağlarının Jeolojisi ve Petrol Olanakları. Teknik Rapor No: 1566, T.P.A.O Güney Arama Müdürlüğü, Ankara., 71 s. (yayımlanmamış).

Günay, Y., Bölükbaşı, A.S., Gözeğer, C., İnançlı, İ., 1979. Batı Toroslarda Antalya-Isparta-Burdur Arasındaki Alanın Jeolojisi ve Petrol Olanakları, Teknik Rapor No: 1391, T.P.A.O Güney Arama Müdürlüğü, Ankara, 71 s. (yayımlanmamış).

Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J.M., and Fernandez, L., 2000. Temporal Evolution of Groundwater Composition in an Alluvial Aquifer (Pisuerga River, Spain) by Principal Component Analysis, *Wat Res. Vol.* 34, No, 3, pp.807-816, Great: Britain.,

Laaksoharju, M., Skaiman, C., Skarman, E., 1999. 'Multivariate Mixing: and Mass Balance (M3) calculations, A New Tool for Decoding Hydrogeochemical Information., *Applied Geochemistry* 14, pp. 861-871, Pergamon., Great Britain.,

Lawrence, F. W., Upchurch, S. B., 1982., Identification of Recharge Areas Using Geochemical Factor Analysis. *Ground Water*, Vol. 20, No., 6, p. 680-687.,

- Nativ,, R., Günay, G., Hötzl, H., Reichert,, B., Solomon, D.K., Tezcan, L, 1999." Separation of **Groundwater-Flow** Components in a Karstified Aquifer Using Environmental Tracers» Applied Geochemistry, 14,1001-1014..
- Poisson,, A., 1978. Recherches Géologiques dans les Taurides Occidentales (Turquie).. These de Docteur Es Sciences,, Universite **de Paris-Sud**, 795 p.
- Reeve, A, S., Siegel,, D. L, and Glaser, P. H. 1996, GeocEemical controls on peatland pore water from the Hudson. Bay Lowland: Ä **multivariate** statistical approach. Journal of **Hydrology**, **181(1-4)**: 285-304..
- Ritzi** Jr., R. W., Wright, S, L., Mann, B., Chen, M., 1993. Analysis of **Temporal** Variability in **Hydrogeochemical** Data Used, for Multivariate Analyses.. **Grand Water**, Vol. 31, No. 2, p. **221-229**..
- Robertson,, A, H. F., Woodcock, N. H., 1982, Sedimentary History of the **South-Western** Segment of the Mesozoic-Tertiary Antalya Continental Margin, South-Westem Turkey, **Eclogae geol, Helv.** 75, p. 517-562,
- Seyhan, E,, Van De **Griend**, A. A., Engelen, **G. B.**, **1985. Multivariate** Analysis and **Interpretation** of the: **Hydrochemistry** of a. Dolomitic Reef Aquifer, Northern Italy.. Water Resources Research, Vol. 21, No.7, p. 1010-1024.
- Steinhorst, R. K., Williams, R. E., 1985. Discrimination, of **Groundwater Sources** Using Cluster Analysis, **MANOVA**, Canonical Analysis and Discriminant Analysis., Water Resources Research, **Vol. 21**, No.. **8**, p. **1149-1156**.
- Şenel, M., 1984. Discussion .on the Antalya **Nappes**, in **Geology** of the Taurus Belt Proceedings. Ö. Tekeli and M.C. **Göncüoğlu** (Eds.), Proceedings of the International Symposium, **on the Geology of the Taurus Belt**, 1983,, MTA, Ankara, p. 41-52..
- Truesdell, A.H., Jones, B.F., 1974., **WATEQ**, a Computer Program, for Calculating: Chemical Equilibria of **Natural** Waters,. U.S. Geol... Surv, I. Res., 2, p. 233-248.,
- Usunoff**, E. J., **Guzman-Guzman**, A., 1989. Multivariate **Analysis** in Hydrochemistry: An Example of the Use of Factor and Correspondence Analyses. Ground Water, **Vol. 27**, No. 1, p. **27-34**.
- Williams, K, R, 1982. Statistical Identification of Hydraulic Connections **Between** the Surface of a Mountain and Internal Mineralized. Sources. Ground Water, Vol. 20, No.. 4, p. 466-478,

