

## Su Kalitesi Verilerinin CBS ile Çok Değişkenli İstatistik Analizi (Porsuk Çayı Örneği)

Ozan ARSLAN<sup>1</sup>

### Özet

Günümüzde yüzey sularının kalite yönetimi önemli bir konudur. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi ile istatistik yöntemler su kalitesi yönetiminde etkin biçimde kullanılmaktadır. Su kalitesi veri setlerinin karmaşık bir yapıya sahip olması nedeniyle tek değişkenli istatistik yöntemleri sınırlayıcı olabileceğinden, su kalitesi değerlendirme çalışmalarında çok değişkenli istatistik analiz yöntemleri önerilmektedir. Bu çalışmanın amacı; su kalitesi değerlendirmesi için CBS tabanlı çok değişkenli istatistik analizinin potansiyelini araştırmaktır. CBS ortamında çok değişkenli analiz tekniği (bu çalışmada 'ana bileşenler analizi') VBScript makro dili ile yazılmış bir yazılım aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Coğrafi veritabanında depolanan su kalitesi verileri, kalite değişimlerini belirlemede etkin olan en önemli değişkenlerin saptanması için söz konusu yazılımla analiz edilmiştir.

### Anahtar Sözcükler

Su kalitesi, CBS, Nehir Havzası, İzleme, Çok Değişkenli İstatistik Analiz.

### Abstract

#### Multivariate Statistical Analysis of Water Quality Data Using GIS: A Case Study for Porsuk River, Turkey

The management of surface water quality is a matter of serious concern today. Geographic Information System (GIS) technology and statistical methods nowadays have effectively been used for water quality management. Since univariate statistical methods can be restrictive due to the complexity of water quality datasets, multivariate analysis techniques have been recommended for the assessment of water quality. The objective of this study is to explore the potential capabilities of GIS-based multivariate statistical analysis for water quality assessment. Using a tool written in VBScript macro language, a multivariate analysis technique (PCA in the study) was performed in the GIS platform. Water quality data stored in the geodatabase have been analysed with the aid of this software tool in order to identify the variables that are most important in assessing variations in water quality. Application of GIS-based multivariate statistical technique for interpretation of the water quality database offers a reliable and better understanding of the hydrochemistry in the study region.

### Key Words

Water Quality, GIS, River Basin, Monitoring, Multivariate Statistical Analysis.

### 1. Giriş

Hidrolojik araştırmalarda temel ilgi alanlarından birisi, su kalitesini etkileyen unsurların belirlenmesi konusundadır. Yüzey suları, su ekosistemleri için yaşamsal önemde olan çözülmüş halde çok sayıda kimyasal madde türü içerir; ancak mikroorganizmaların aşırı biçimde artması su kalitesini düşürerek birçok organizmanın sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşır. Endüstriyel ve evsel atıkları taşımaları sebebiyle nehir havzaları kirlenme olasılığı en yüksek su kütleleri arasındadır. Yerleşim merkezleri, endüstriler ve tarımsal etkinliklerden kaynaklanan atıksuların akarsulara boşaltılması sonucu, suların bu atıkları özümleme kapasitesi aşılmakta ve kirlenme durumu istenmeyen boyutlara ulaşabilmektedir. Bu nedenle havzalarda planlanan yararlı kullanımların gerçekleştirilmesi için, arazi ve su kullanımı ile kirlenme kaynakları gözönüne alınarak su kirliliği kontrol çalışmalarının bir plan çerçevesi içinde yürütülmesi gerekir (CARPENTER vd. 1998, JARVIE vd. 1998, DIXON ve CHISWELL 1996, CHEN vd. 2006).

Suyun ekonomik gelişme için kısıtlayıcı bir unsur olmaması hedefiyle yapılan kısa ve uzun vadeli su kaynakları planlamalarında, su kalitesi bu planın ayrılmaz bir parçasını oluşturur. Su kalitesi yönetiminde ise belirlenen yararlı kullanımlar için gereken su kalitesinin nasıl korunacağı konusunda alınacak önlemler saptanmaktadır. Nehirlerin hidro-kimyasal yapısındaki zamansal ve konumsal değişimler göz önünde bulundurulduğunda, su kalitesinin güvenli biçimde kestirilebilmesi için düzenli izleme programlarına gereksinim olduğu ortaya çıkar. Bu tür çalışmalar sonucunda ise; içinde, yorumlanması zor olan çok sayıda fiziksel/kimyasal değişkeni içeren son derece büyük hacimli ve karmaşık veri setleri elde edilir. Su sistemlerinin dinamik bir yapıda olması, aralarında birbirleriyle ilişkili çok fazla sayıda fiziksel ve kimyasal parametre içermesi, zamansal ve konumsal değişimlerin saptanmasını zorlaştırdığından, veri seti karmaşıktır. Bu türden veri setlerinin değerlendirmesinde tek değişkenli istatistik yöntemler yetersiz kalacağından, geo-istatistik ve çok değişkenli istatistik yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. Bu yöntemler tekil elemanlar yerine bütün veri setini analiz edebilmekte ve birçok 'faktör'ü aynı anda göz önünde bulundurabilmektedir (EINAX vd. 1997, KOWALKOWSKI vd. 2006, MAHLOCH 1974, SANTOS vd. 2003).

Karmaşık su kalite veritabanının yorumlanması için farklı çok değişkenli istatistik analiz teknikleri (gruplandırma analizi,

<sup>1</sup>KOÜ Müh. Fak. Jeodezi ve Fotogr. Müh. Böl., ozan601@yahoo.com



Havzada sulama, içme, kullanma ve enerji üretimine yönelik bir çok proje gerçekleştirilmiştir (DSİ, 1992). Havzada su kirlenmesi probleminin nüfus ve endüstrileşmeye paralel olarak hızlı bir şekilde arttığı, bazı kolların önemli derecede kirlendiği bilinmektedir. Porsuk çayı, Sakarya Nehri'nin önemli yan kollarından biridir. Batı Anadolu'da bulunan ve 438 km'lik uzunluğa sahip olan bu nehir üzerinde, bölgenin sulama ve taşkın koruma amaçlarına hizmet eden Porsuk Barajı bulunmaktadır. Porsuk Havzasındaki iki büyük yerleşim merkezi Eskişehir ve Kütahya kentleri olup bölgedeki sosyo-ekonomik etkinlikleri önemli ölçüde etkilemektedir (Şekil 1). Halihazırda nehir su kalitesi oldukça düşük olup, hem nehir hem de havza, birçok endüstriyel ve kentsel kirlenici kaynaklardan dolayı ciddi tehdit altındadır (ŞENGÖRÜR 2001).

## 2.2. Veri Toplama: Yüzeysel sulardan numune alma

Ülkemize ait yüzey su kaynaklarında düzenli su kalitesi gözlem çalışmaları yürüten iki ana kurum; Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİEİ) dır. DSİ tarafından 1979 yılında 65 istasyon ile başlayan su kalitesi gözlem çalışmaları, günümüzde yaklaşık 1300 istasyonda devam ettirilmektedir. Genel su kalitesi gözlemlerinin amacı, su kaynaklarının kalitelerinin belirlenerek, kirlenme görülen bölgelerin tespit edilmesidir. Bu gözlem istasyonlarında kirlilik durumuna bağlı olarak yılda 2, 4 veya 6 kez ölçüm yapılmaktadır. Yapılan ölçüm çalışmalarıyla ilgili olarak DSİ tarafından 1979-1982 ve 1983-1984 yıllarına ait su kalitesi gözlem yıllıkları yayımlanmıştır (DSİ 1985, 1987). Yıllıklar, o dönemde aktif olan istasyonların listesi ile veri toplama ve analiz yöntemleri hakkında bilgiler ve istasyonlara ait bilgileri içermektedir. Her akarsu havzası için ayrı ayrı hazırlanmış gözlem istasyonları haritaları, yıllık içerisinde yer almaktadır. Su kalitesi parametrelerine ait değerler her istasyon ve ölçüm yılı için ayrı ayrı verilmiştir. 1987 yılından sonra gerçekleştirilen ve yıllıklar halinde basılmayan su kalitesi ölçümleri ise istasyon bazında DSİ İçme Suları ve Kanalizasyon Daire Başkanlığı'ndan temin edilebilmektedir. Ülkemiz su kaynaklarının yönetimi konusunda bir diğer önemli kurum olan EİEİ, 1970'den bu yana seçilen akarsu akım gözlem istasyonlarında su kalitesi gözlem çalışmaları yürütmektedir (EİEİ 1996). 2003 yılı verilerine göre bu kurum tarafından işletilen 92 su kalitesi gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlarda tipik olarak ayda bir örnekleme yapılmakta ve çeşitli su kalitesi parametreleri ölçülmektedir. Su kalitesi ölçümlerinin sonuçları periyodik olarak EİEİ tarafından "Türkiye Akarsularında Su Kalitesi Gözlemleri" kitapları şeklinde yayımlanmaktadır.

DSİ ve EİEİ tarafından yapılan su kalitesi ölçümleri genelde aylık ölçümler olup, bir istasyon için bir yıl içerisinde, özel durumlar haricinde maksimum toplam 12 ölçüm değeri bulunabilmektedir. Gözlem istasyonunu işleten kuruma ve istasyon türüne (genel su kalitesi, içme suyu kalitesi, vb.) bağlı olarak, bir istasyonda ölçülen su kalitesi parametreleri değişiklik

göstermektedir. İstasyonlar arasındaki farklılıkların yanı sıra, aynı istasyonda ölçülen su kalitesi parametrelerinde de yıldan yıla değişimler görülebilmektedir. Bu nedenle su kalitesi istasyonlarında ölçülebilecek olası parametrelerin sayısı yaklaşık 35 olmasına rağmen, bu çalışmada kayıt sayısı (su kalite parametresi) 8 ile sınırlandırılmış ve veritabanı tabloları aylık ölçümler baz alınarak tasarlanmıştır.

Su kaynakları açısından kritik bir coğrafyada bulunan, su kaynaklarının geliştirilmesi için orta ve büyük çaplı birçok projenin yürütüldüğü ve geleceğe yönelik olarak planlandığı ülkemizde, su kaynakları ile ilgili çalışmalarda CBS kullanımı giderek önem kazanmakta ve yaygınlaşmaktadır (GİRGİN vd. 2004). Gözlem istasyonlarında ölçülen kalite parametrelerini ortak bir veritabanı içinde yönetme ve 'ulusal su kalitesi izleme ağı' oluşturma hedefiyle kurum bazında birtakım çalışmalar başlatılmışsa da (KARAMAN 2007), bu çalışmaları destekleyecek ve kolaylaştıracak, yüksek nitelikli, güncel ve kolay ulaşılabilir hidrografik veritabanı sisteminin mevcut olduğunu söylemek zordur.

## 2.3. Su kalitesi sınıflandırması

Yüzeysel bir su kaynağının kalite sınıflandırması için ülkemizde kullanılan yasal mevzuat, 4.9.1998 tarihinde yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğidir (SKKY), (19919 Sayılı Resmi Gazete). Bu yönetmelikteki ilgili tabloda 4 grupta (A, B, C, D) ayrı ayrı 4 sınıf su kalite sınıfı (I, II, III, IV) belirtilmiştir. Bir gruba ait en düşük kalite sınıfı o grubun sınıfını belirler. Bu yönetmelikte ülkemiz su kaynaklarının kalite sınıflandırılmasının yapılması ve kalite atlaslarının çıkarılması öngörüldüyse de, çalışmaların yeterli düzeyde olduğu söylenemez. SKKY'ne göre kıta içi yüzeysel su kategorisine göre akarsular, 4 ana sınıfa ayrılmıştır. Buna göre; I. Sınıf : Yüksek kaliteli su, II. Sınıf : Az kirlenmiş su, III. Sınıf : Kirli su ve IV. Sınıf : Çok kirlenmiş su olarak tanımlanmaktadır. Tablo 1.'de SKKY'den bir kesit gösterilmiştir. Bu yönetmeliğe göre; A, B, C, D parametre gruplarıyla birlikte karakteristik değerler ve Romen rakamlarıyla kalite sınıfları gösterilmelidir: **A:** Fiziksel ve İnorganik –Kimyasal Parametreler, **B:** Organik Parametreler, **C:** İnorganik Kirlenme Parametreleri, **D:** Bakteriyolojik Parametreler. SKKY'ne göre su kalite sınıflarının renk kodlarıyla gösterimi ise şu şekilde yapılmalıdır: I. Sınıf mavi renkte, II. Sınıf yeşil, III. Sınıf sarı ve IV. Sınıf kırmızı ile gösterilmelidir. Parametre gruplarına dayanan sınıflama sonuçları su kalite haritası üzerinde gösterilmelidir. Nehrin mansabına bakılarak sol sahilinde grup A parametreleri, sağ sahilinde grup B, C parametreleri gösterilmelidir. D grubu ise ayrı bir harita üzerinde gösterilir.

Çalışmada uygulama için Porsuk çayı üzerinde bulunan 11 adet gözlem istasyonunda kaydedilen kalite parametreleri kullanılmıştır. DSİ kayıtlarından aylık ortalamalar halinde (1979-1984 ve 1995-2001 yıllarına ait) elde edilen 8 adet su kalitesi parametresine ait gözlem verileri kullanılarak su kalitesi coğrafi veritabanı oluşturulmuştur. Parametre sayısının



az tutulmasının nedeni, önceki bölümde açıklandığı üzere sürekli kalite verilerin bulunmasında yaşanan zorluktur. Şekil 2.'de çalışmada kullanılan izleme istasyonları ile su kalite parametrelerinin saklandığı detay öznelik tablosu gösterilmektedir. Araştırmada kullanılan parametreler;

debi (Q) [ $m^3/s$ ], sıcaklık (T) [ $^{\circ}C$ ], çözülmüş oksijen (DO) [ $mgL^{-1}$ ], biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD) [ $mgL^{-1}$ ], amonyak azotu ( $NH_3-N$ ) [ $mgL^{-1}$ ], nitrat azotu ( $NO_3-N$ ) [ $mgL^{-1}$ ], nitrit azotu ( $NO_2-N$ ) [ $mgL^{-1}$ ] ve orto-fosfat ( $O_4$ ) [ $mgL^{-1}$ ]'dir

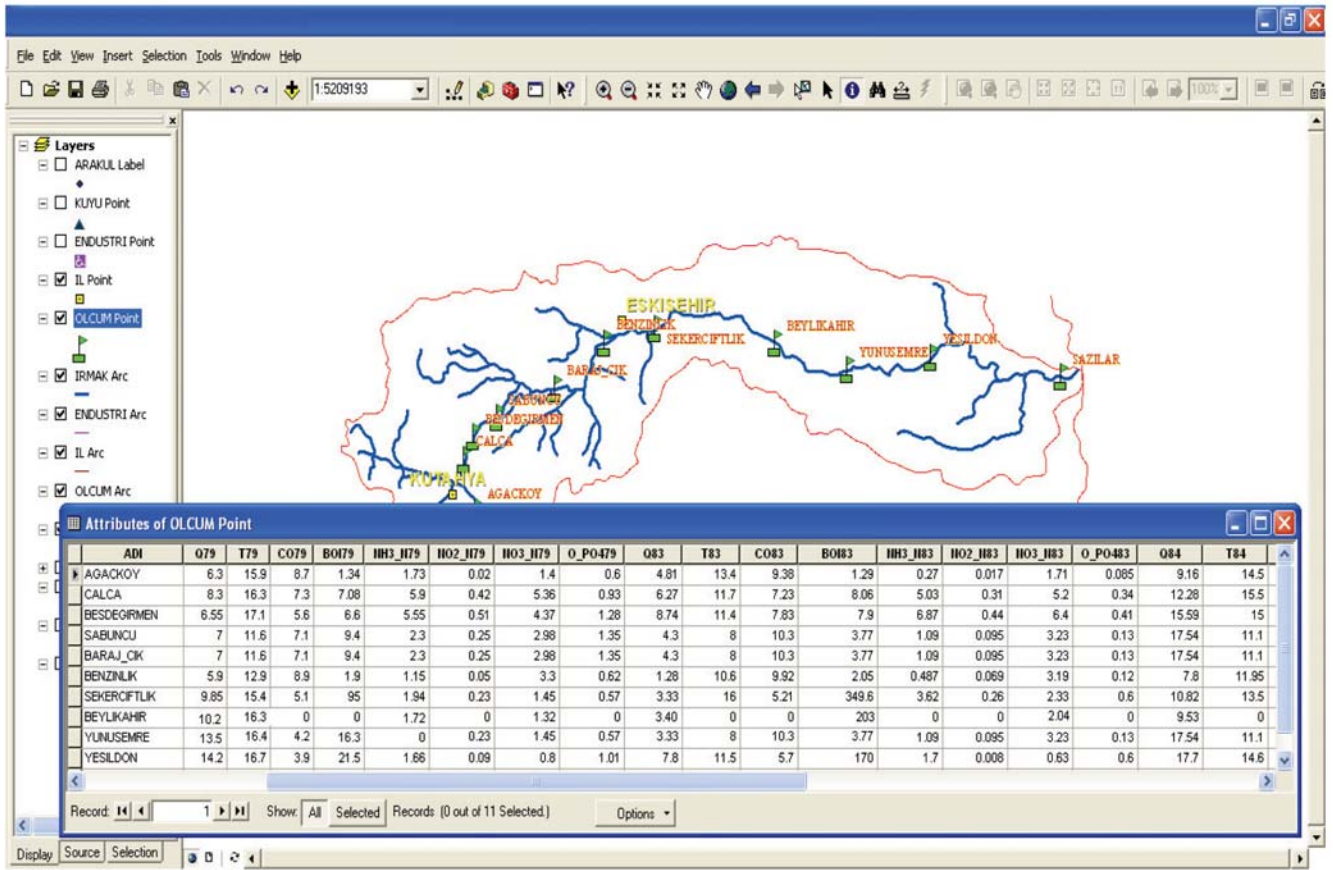
Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
<b>A) Fiziksel ve İnorganik –Kimyasal Parametreler</b>				
1. Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	25	25	30	>30
2. Ph	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.9	6.0-9.0 dışında
3. Çözülmüş oksijen (mg 0.2/l)	8	6	3	>3
4. Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	40
5. Klorür iyonu (mg Cl/l)	25	200	400 <sup>b</sup>	>400
6. Sülfat iyonu (mg $SO_4$ /l)	200	200	400	>400
7. Amonyum azotu (mg $NH_4$ /l)	0.2 <sup>c</sup>	1 <sup>c</sup>	2 <sup>c</sup>	>2
8. Nitrit azotu /mg $NO_2$ /l)	0.02	0.01	0.05	>0.05
9. Nitrat azotu (mg $NO_3$ /l)	5	10	20	>20
10. Toplam fosfor (mg $PO_4$ /l)	0.02	0.16	0.65	>0.65
11. Toplam çözülmüş madde (mg/l)	500	1500	5000	>5000
12. Renk (Pt-Co birimi)	5	50	300	>300
13. Sodyum (mg $Na^+$ l)	125	125	250	>250
<b>B) Organik Parametreler</b>				
1. KOI (mg/l)	25	50	70	>70
2. BOI (mg/l)	4	8	20	>20
3. Organik karbon (mg/l)	5	8	12	>12
4. Toplam Kjeldahl azotu (mg/l)	0.5	1.5	5	>5
5. Emulsifiye yağ ve greş (mg/l)	0.02	0.3	0.5	>0.5
6. Metilen mavisi aktif maddeleri MBAS (mg/l)	0.05	0.2	1	>1.5
7. Fenolik maddeler (uçucu) (mg/l)	0.002	0.01	0.1	>0.1
8. Mütneral yağlar ve türevleri ((mg/l)	0.02	0.1	0.5	>0.5
9. Toplam pestisit (mg/l)		0.01	0.1	>0.1

Tablo 1: Kita-içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri

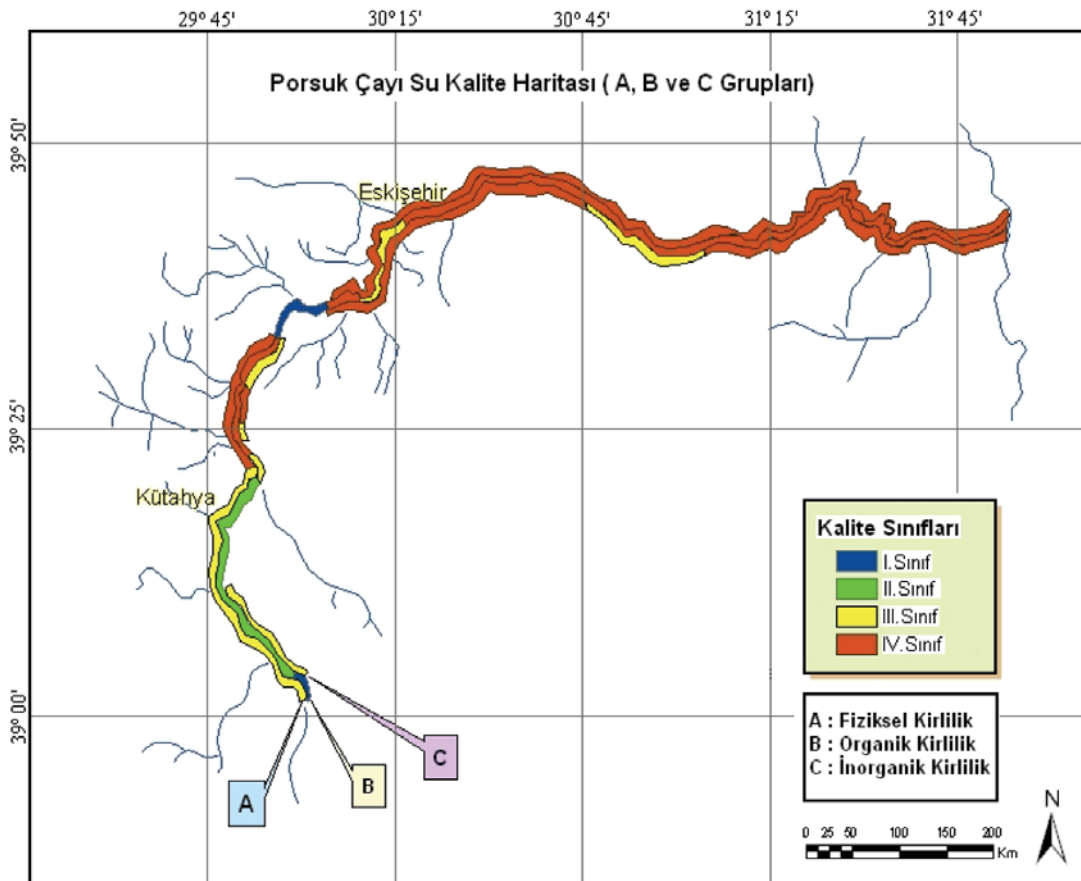
Bu parametrelere ait ölçüm değerleri aylık ortalamalar halinde istasyon bazında veritabanı tablosuna girilmiş ve ilgili katman seçildiğinde istasyon/parametre bazında rutin sorgulamalar (grafikten veritabanına/ veritabanından grafiğe, veritabanından veritabanına) gerçekleştirilebilir duruma getirilmiştir. Örnek olarak; sistemden yararlanan bir kullanıcı; harita üzerinden herhangi bir gözlem istasyonu seçerek o istasyona ait kalite parametrelerini sorgulayabilir, herhangi bir parametrenin zamansal değişimini grafik-rapor halinde görüntüleyebilir, istasyonlar arasında parametre bazında karşılaştırmalar yapabilir, sorgulama sonuçlarını farklı sunum araçlarıyla raporlayabilir, görüntüleyebilir vb. Ayrıca su kalite parametrelerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri (min.-max., ortalama, ortanca, standart sapma vb.) bulunup özet çizelgeler hazırlanabilir. Su kalite haritalarının hazırlanması için ArcMap

ortamında; sınıflandırma yöntemi olarak tanımlanmış aralık (defined interval) seçeneği kullanılarak SKKY'ne uygun olacak biçimde kalite sınıf değerleri (aralıkları) elle tanımlanmış ve nehir üzerinde gözlem istasyonlarında ölçülen parametrelerin belirlenen sınıflarına göre ( yönergede belirtilen renk kodlarına ve A, B, C ve D parametre gruplarına uygun olarak) su kalite haritaları oluşturulmuştur. Şekil 3-a ve -3-b'de bu şekilde hazırlanan nehir su kalitesi haritaları gösterilmektedir.

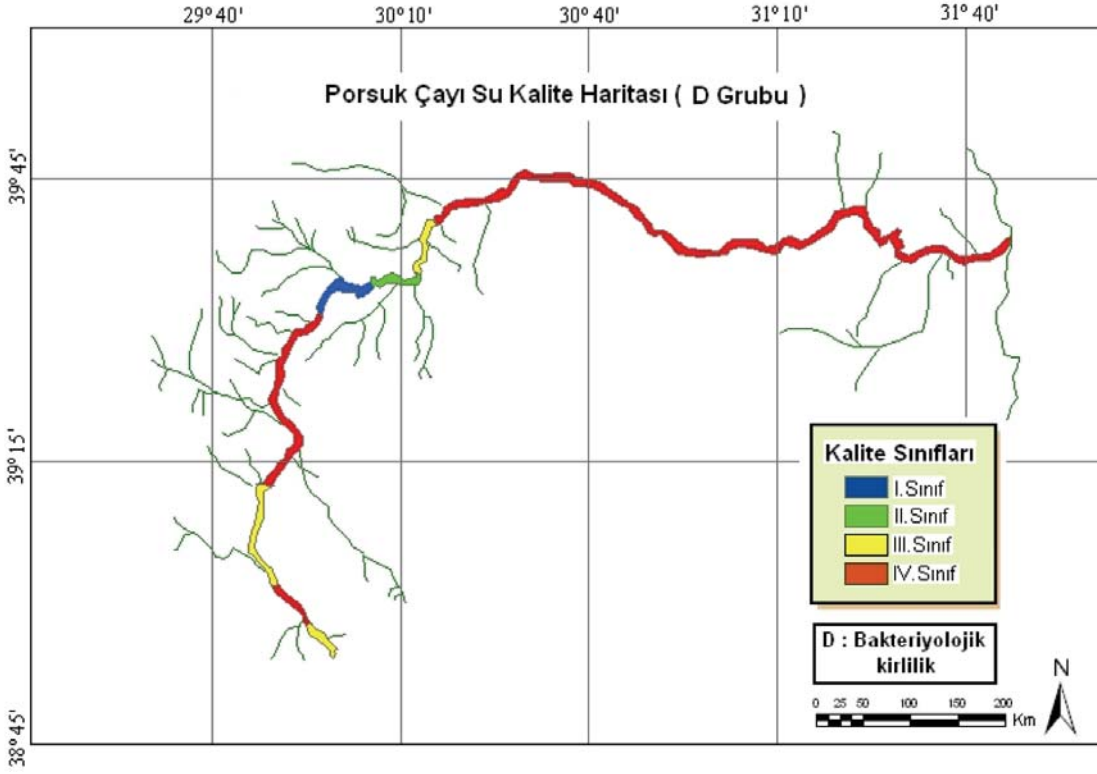
Çalışmanın temel amacı, kalite sınıflarının belirlenmesinde belirleyici veya daha etkin olan parametrelerin saptanması ve sonuç aşamasında veritabanının daha iyi yorumlanması olduğundan; izleyen diğer bölümde veritabanında bulunan kalite verileri üzerinde veri boyutu indirgeme/veri çözümleme yapılması amacıyla CBS tabanlı ABA yöntemi uygulaması yapılacaktır.



Şekil 2. İzleme istasyonları ve su kalitesi öznitelik tablosu



Şekil 3-a: Porsuk Çayı Su Kalite Haritası (A, B ve C Grupları için)



Şekil 3-b: Porsuk Çayı Su Kalite Haritası (D Grubu için)

#### 2.4. CBS Tabanlı Ana Bileşenler Analizi (ABA)

Çok değişkenli istatistik analiz yöntemleri, iki veya daha çok boyutlu rastlantısal değişkenleri bir bütün olarak ele alan ve değişkenler arasındaki ilişkileri göz önünde tutarak bütünsel bir sonuç üreten tekniklerdir. Bununla birlikte, çok değişkenli veri analizinde, bütüncül istatistiksel sonuçlar üretmenin ötesinde, çok değişkenli veri kümesinin yapısını tanımlamaya yönelik veri-çözümleme teknikleri de vardır. Böyle bir teknik olan ABA yöntemi, bazı koşulları yerine getirerek, bir grup korelasyonlu değişkene doğrusal dönüşüm uygulayan bir veri çözümleme tekniğidir. Aralarında yüksek korelasyon bulunan çok değişkenli verileri, aralarında korelasyon olmayan yeni bir alt veri kümesine dönüştüren doğrusal bir dönüşümdür. Dönüşümden sonra, veriler arasında korelasyon ortadan kalkmaktadır. Veri seti içindeki orijinal bilgiden en az kayıpla, tüm veri kümesini tanımlayabilecek 'en anlamlı' parametreleri bulmaya yarayan bir veri indirgeme/azaltma yöntemidir. ABA yöntemi son yıllarda çevre ile çok çeşitli araştırmada ve özellikle çevresel ve hidrolojik kalite göstergelerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan alışılmış bir yöntemdir (SHINE vd. 1995, VEGA vd. 1998, YU vd. 1998, PERKINS ve UNDERWOOD 2000, TAULER vd. 2000, VOUTSA vd. 2001, GANGOPADHYAY vd. 2001, BENGRAINE ve MARHABA 2003, OUYANG 2005).

Yöntemde ana bileşenler, doğrusal dönüşümden elde edilen daha küçük boyutlu korelasyonsuz (ortogonal) alt veri kümesi değişkenleridir. Ana bileşenler (PC) orijinal korelasyonlu değişkenlerin özvektörlerle çarpımından elde edilir; yani orijinal değişkenlerin ağırlıklı doğrusal kombinasyonlarıdır. Her bir ana bileşen aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

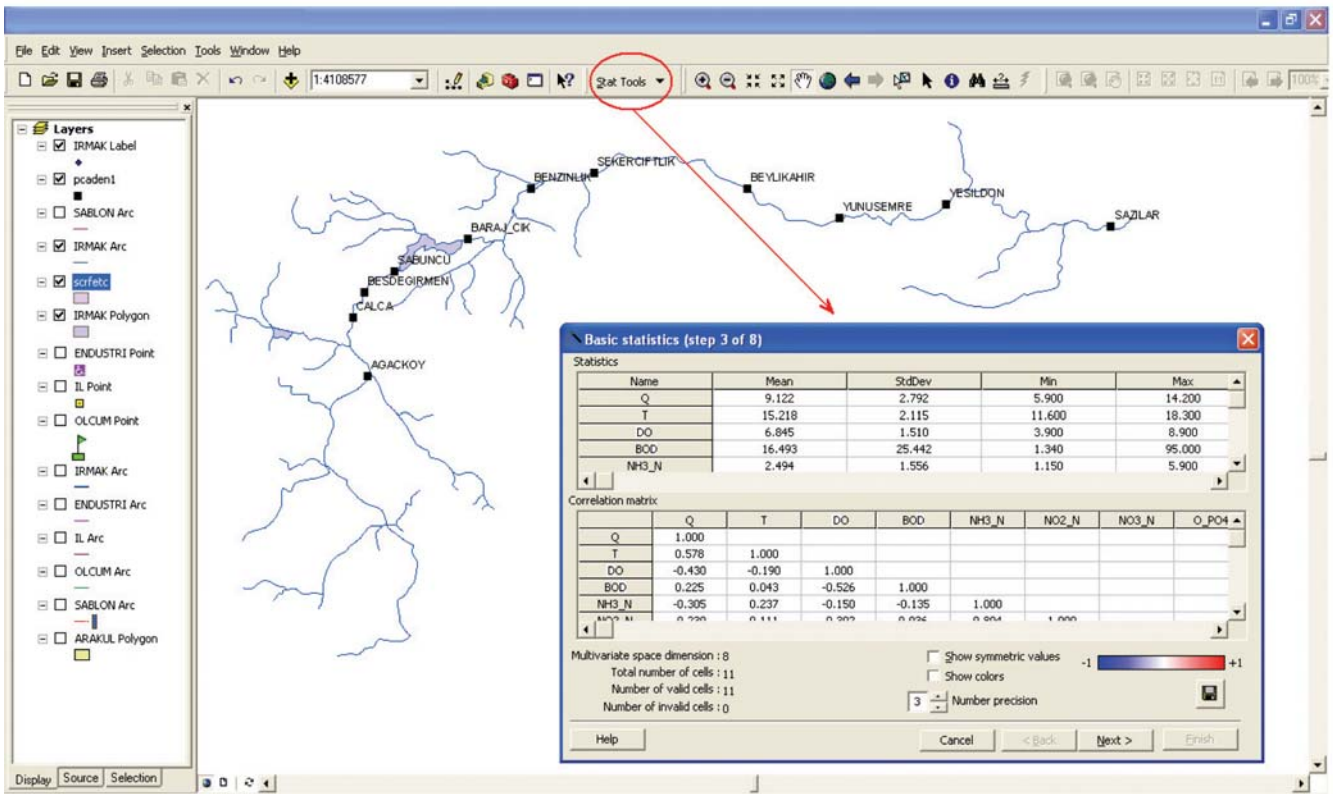
$$z_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + a_{i3}x_{3j} + \dots + a_{im}x_{mj} \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $x$ : değişkenin ölçü değeri,  $z$ : bileşenin değeri (score),  $a$ : bileşen yükü,  $i$ : bileşen sayısı,  $j$ : örnek sayısı ve  $m$ : toplam değişken sayısıdır. Bileşen yükü orijinal değişkenlerin PC'lerin alt uzayı üzerine projeksiyonudur ve değişkenler ile PC'ler arasındaki korelasyon katsayısı ile uyumunu gösterir. PC'lerin özdeğerleri ise ilişkili varyansın bir ölçüsüdür. Özvektörlerin hesabı veri setinin kovaryans matrisi ile veya korelasyon matrisi kullanılarak yapılabilir. Mesleğimizin diğer dallarında da sıklıkla kullanılmakta olan bu yöntemin teorik ayrıntılarına ve değişik versiyonlarına literatürde kolayca erişilebilir (WOLD vd. 1987, JOLLIFFE 1986, EVERITT ve DUNN 1992, HELENA vd. 2000, WUNDERLIN vd. 2001).

ABA yöntemi, nehir hidrolojisi ile ilgili birçok çalışmada, büyük hacimli kalite veri setleri içinde kirlilik değişimlerini en çok etkileyen parametrelerin saptanması amacıyla bir çok değişkenli istatistik yöntemi (kemometri yöntemleri) olarak kullanılmaktadır. Genelde izlenen yol, bilinen istatistik paket yazılımları kullanılarak kalite veri setlerinin analiz edilmesidir, Zira ABA yöntemi (ve diğer çok değişkenli analiz yöntemleri), birçok istatistik tabanlı yazılım için standart ve rutin bir fonksiyon durumundadır. Bu çalışmalarda, ya CBS hiç kullanılmamakta ya da istatistik yazılımı ile elde edilen sonuç ve bulguların gösterilimi için CBS'den yararlanılmaktadır. Bu nedenle ABA analizini doğrudan CBS yazılımı içinde gerçekleştirmenin; hem standart CBS fonksiyonlarını kullanma avantajı sağlaması açısından hem de istatistik analize ait sonuçların (ana bileşenler ve diğer değişkenler) kalite parametreleriyle konumsal açıdan ilişkilendirilmesi açısından

daha yararlı olacağı öngörülebilir. Bu aynı zamanda su kalite analizini geliştirmenin bir yoludur. Bu amaçla, yazılım içinde analiz için kullanıma hazır bir ABA arayüzü bulunmadığından; ABA yöntemini ArcGIS 9.0 CBS yazılım ortamında çalışabilen bir 'araç' durumuna getirmek gerekmektedir. Kullanıcılar farklı programlama dilleri ile yazdıkları kaynak kodları derleyerek CBS yazılım ortamında çalıştırabilmekte; makro veya programcık (script) hazırlayabilmektedirler. Ayrıca kullanıcıların yazmış oldukları küçük programların paylaşılması amacıyla tasarlanan web siteleri de mevcuttur. ESRI'nin çevrimiçi erişilebilir Arcscripts websitesi benzer amaçlı bir ortak paylaşım alanıdır. ABA yöntemi uygulaması için gereken program kodu, bu siteden (URL-1) temin edilmiş olup; kodlar incelenip gerekli test ve diğer istatistik yazılımları ile karşılaştırma (doğrulama) yapıldıktan sonra kullanmaya karar verilmiştir. VBScript makro dili ile ABA algoritması için yazılmış olan bu yazılım kodlarının ('Stat Tools' adındaki script dosyası), ArcMap yazılımının araç çubuğunda çalışabilir, yani standart CBS fonksiyonlarını kullanabilir hale getirilmesi gerekir. Bunun için sözkonusu programcık dosyasının, Windows işletim sistemi yardımıyla .dll (dynamic link library) dosyası halinde yazılım içine derlenerek kurulumu yapılmıştır. Kurulumdan sonra bu analiz aracı, ArcMap standart araç çubuğunda yer alan diğer herhangi bir araç gibi, ilgili ikon seçilerek çalışır hale getirilmiştir. Dolayısıyla bu noktada ABA analizi için gereken arayüz hazırlanmış olmaktadır. Program; grid, shapefile veya bağımsız bir .dbf dosyası gibi farklı veri yapılarını analiz için kullanabilmektedir.

tırma (doğrulama) yapıldıktan sonra kullanmaya karar verilmiştir. VBScript makro dili ile ABA algoritması için yazılmış olan bu yazılım kodlarının ('Stat Tools' adındaki script dosyası), ArcMap yazılımının araç çubuğunda çalışabilir, yani standart CBS fonksiyonlarını kullanabilir hale getirilmesi gerekir. Bunun için sözkonusu programcık dosyasının, Windows işletim sistemi yardımıyla .dll (dynamic link library) dosyası halinde yazılım içine derlenerek kurulumu yapılmıştır. Kurulumdan sonra bu analiz aracı, ArcMap standart araç çubuğunda yer alan diğer herhangi bir araç gibi, ilgili ikon seçilerek çalışır hale getirilmiştir. Dolayısıyla bu noktada ABA analizi için gereken arayüz hazırlanmış olmaktadır. Program; grid, shapefile veya bağımsız bir .dbf dosyası gibi farklı veri yapılarını analiz için kullanabilmektedir.

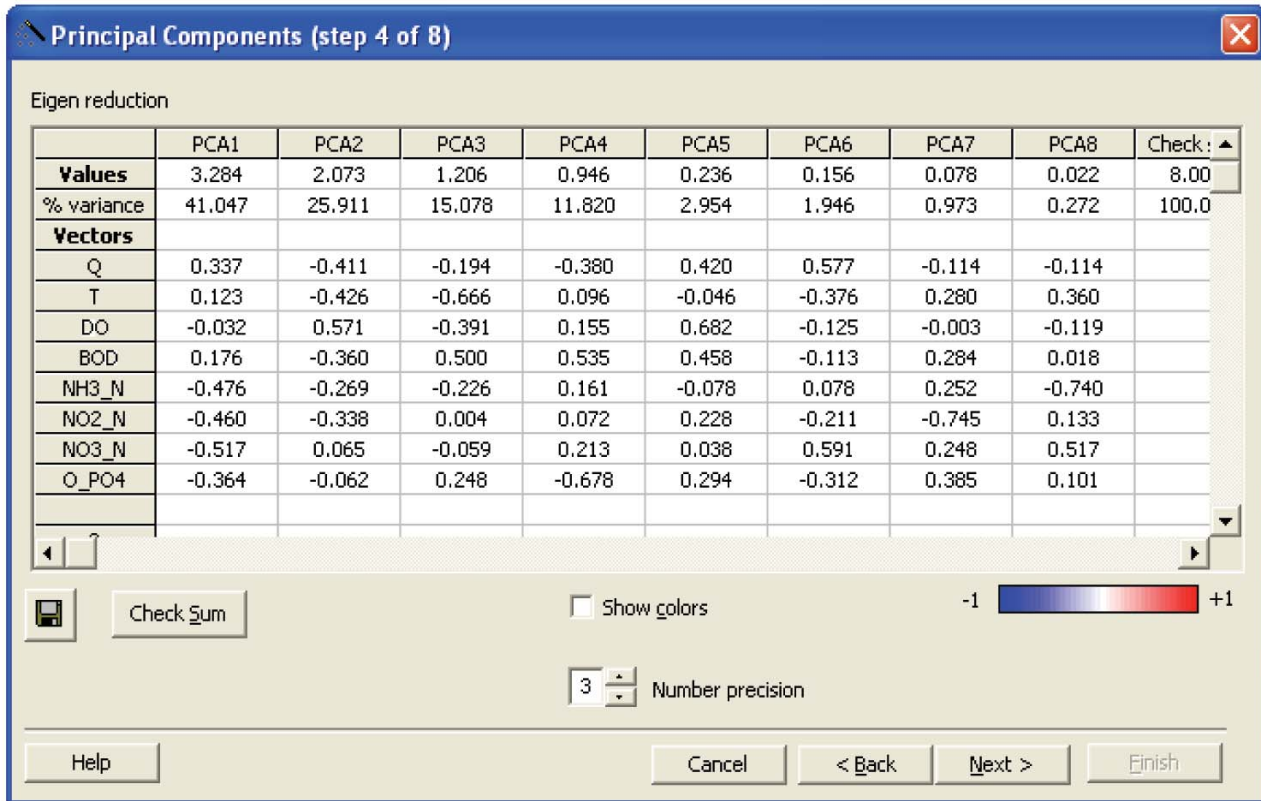


Şekil 4: Kalite veri setinin temel istatistikleri ve korelasyon matrisi (ABA Arayüzü)

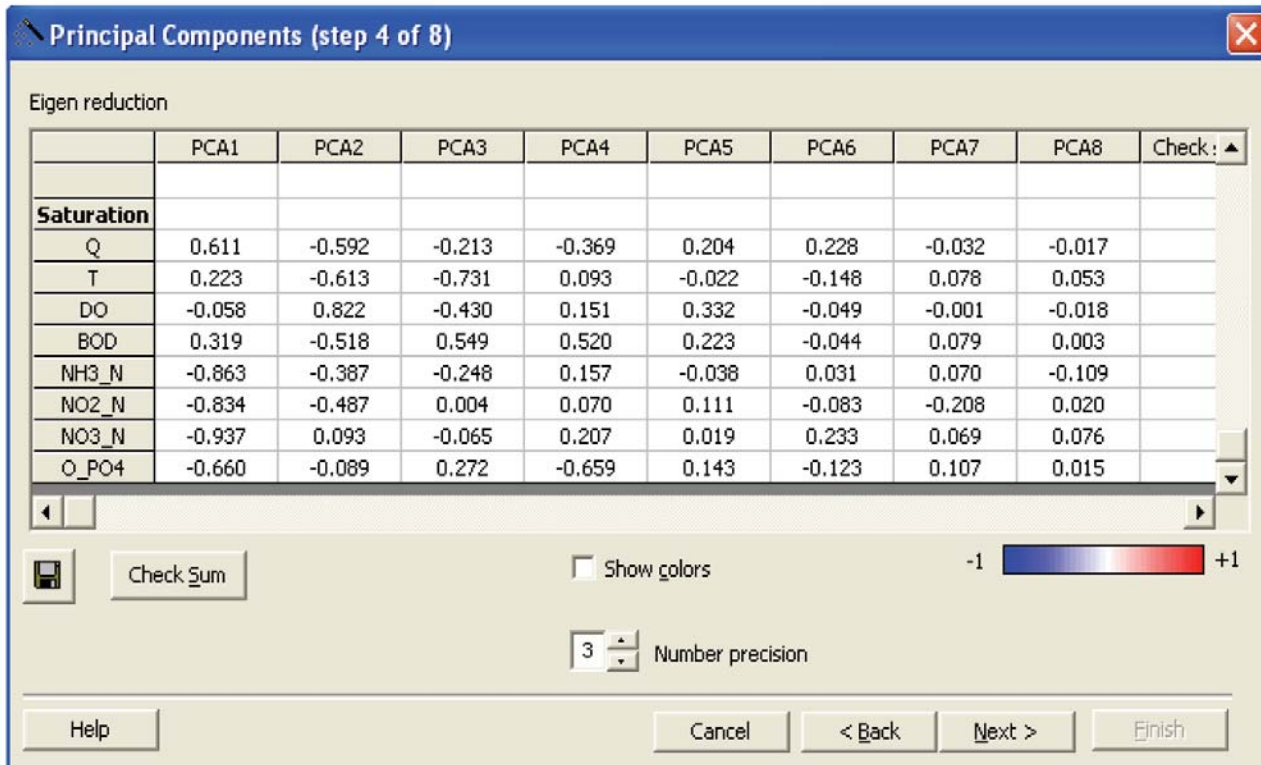
Çalışmada su kalitesi verileri, öznel tablosundan tasarlanan özellikler seçilerek yazılım ortamına aktarılmıştır. Seçilen kalite verileri yazılıma girildikten sonra aşamalı olarak ABA yöntemi için hesaplanan değerler matris ve grafik formunda gösterilmektedir. Arayüzün ilk adımında veri setine ait temel istatistik değerleri ve korelasyon matrisi görülmektedir (Şekil 4). Diğer işlem adımında hesaplanan özdeğerler ve bileşen

değerleri (yani farklı bileşen eksenleri için o eksen üzerindeki her bir değişkenin ağırlığı/ özvektörleri) görülmektedir (Şekil 5). Şekilde ana bileşenler için yazılımda PCA kısaltması kullanıldığına dikkat edilmelidir. İşlem adımının devamında bir değişkenin eksenle korelasyonunu temsil eden bileşen yükleri (yazılımda 'saturation' olarak adlandırılmış) gösterilmiştir (Şekil 6).





Şekil 5: Ana bileşenlerin özdeğerleri ve ana bileşen değerleri



Şekil 6: Değişkenlerin ana bileşen yükleri

Bileşen uzayında değişkenlerin projeksiyonunu gösteren 'korelasyon dairesi' görsel yorumlama açısından yararlıdır. Daire üzerinde; iki değişken, merkezden uzaksa ve birbirlerine de yakın iseler pozitif korelasyonludur; ortogonal iseler korelasyonludur; merkeze göre karşı (veya ters) tarafta bulun-

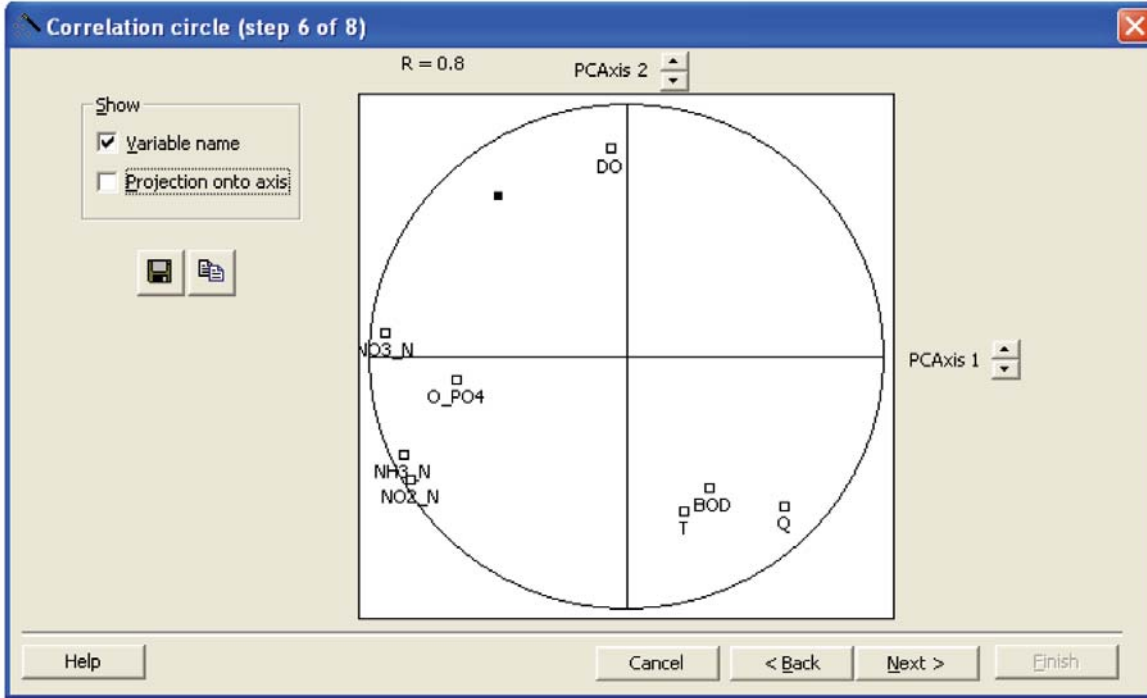
yorlarsa negatif korelasyonludur (Şekil 7). Analiz sonuçlarını yorumlamayı kolaylaştırmak üzere tablolar halinde ve ayrıntılı olarak sunmak yararlı olacaktır. Tablo 2.'de ana bileşenlerin özdeğerleri ve Tablo 3.'te kalite değişkenlerinin bileşen yükleri verilmiştir.



### 2.4.1. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

ABA yöntemi ile hidro-kimyasal kalite veritabanı içinde toplam varyansın %94'ünü oluşturan 4 adet ana bileşen (PC) bulunmuştur. Genel olarak CATTELL ve JASPERS (1967) ölçütüne göre, özdeğeri 1'den büyük olan bileşenler dikkate alınır (Tablo 2-3). Dördüncü (4.) özdeğer 1'e çok yakın olduğu için önemli olduğu düşünülerek ihmal edilmemiştir. (Diğer dört bileşen- 5, 6, 7 ve 8- bu kurala göre gözardı edildiğinden Tablo 3.'te gösterilmemiştir.) İlk bileşen (PC1) toplam varyansın % 41.05'ini oluşturmakta ve amonyak azotu, nitrit

azotu ve nitrat azotu değişkenleri üzerinde yüksek negatif yük (>0.80) gösterirken; debi ve ortofosfat değişkenleri üzerinde orta yük (>0.6) göstermiştir. Amonyak azotu ve nitrat azotunun etkisi, bölgedeki Şeker Fabrikası ve Organize Sanayi Bölgesi (tekstil ve otomotiv) atıkları ile açıklanabilir ve su kalitesini olumsuz etkilediği düşünülebilir. Toplam varyansın % 25.91'ini oluşturan ikinci bileşen (PC2), çözülmüş oksijen değişkeni üzerinde yüksek pozitif yük (>0.80) gösterirken sıcaklık üzerinde orta yük göstermiştir. Üçüncü bileşen ise toplam varyansın %15.8' ini oluşturmuş ve sıcaklıkla negatif korelasyonludur.



Şekil 7: Korelasyon dairesi (ilk iki ana bileşen için)

Tablo 2: Ana bileşenlerin özdeğerleri

Bileşen	Özdeğer	Açıklanan %	Kümülatif %
PC1	<b>3.283746</b>	41.05%	41.05%
PC2	<b>2.072904</b>	25.91%	66.96%
PC3	<b>1.20624</b>	15.08%	82.04%
PC4	<b>0.945562</b>	11.82%	<b>93.86%</b>
PC5	0.236317	2.95%	96.81%
PC6	0.155677	1.95%	98.76%
PC7	0.0778	0.97%	99.73%
PC8	0.021754	0.27%	100.00%
<b>Toplam</b>	8	-	-

Tablo 3: Kalite değişkenlerin bileşen yükleri

Değişken	PC1	PC2	PC3	PC4
Q	0.6111	-0.5916	-0.2128	-0.3693
T	0.2226	-0.6130	<b>-0.7312</b>	0.0929
DO	-0.0583	<b>0.8223</b>	-0.4299	0.1511
BOD	0.3193	-0.5176	0.5492	<b>0.5204</b>
NH <sub>3</sub> _N	<b>-0.8631</b>	-0.3869	-0.2483	0.1566
NO <sub>2</sub> _N	<b>-0.8340</b>	-0.4865	0.0040	0.0703
NO <sub>3</sub> _N	<b>-0.9375</b>	0.0934	-0.0652	0.2068
O_PO <sub>4</sub>	-0.6603	-0.0895	0.2721	<b>-0.6593</b>
özdeğer	3.2837	2.0729	1.2062	0.9456

Sıcaklıkla çözülmüş oksijen arasındaki bu ters ilişki doğal bir süreçtir. Daha ılık olan suyun daha az çözülmüş oksijen tuttuğu bilinmektedir. Toplam varyansın %11.82'ini oluşturan dördüncü bileşen (PC4); ortofosfat değişkeni üzerinde orta negatif yük ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı değişkeni üzerinde orta pozitif yük göstermiştir. Fosfat değişkeninin etkisini, gübre ve pestisit kullanımı ile açıklamak mümkündür. İlk iki bileşen için çizilen korelasyon dairesi (şekil 7) incelendiğinde organik ve inorganik değişkenler arasındaki ilişkiler ve gruplaşmalar görülebilir. Hidrokimyasal değişkenler grubu ve bu değişkenlerin yakın ilişkisi, yük çiziminin üst ve alt sol dörtgenlerinde görülebilir. Ayrıca doğal süreç bazlı kirletici gösterge değişkenleri alt sağ dörtgende kümelenmiştir. Bu tür bir gruplaşma değişkenlerin karşılıklı korelasyonlarının gücünü de gösterir. Öte yandan belirlenen/indirgenen değişkenlerin kalite sınıfını belirleyen değişkenler arasında olduğu görülmüştür; örneğin nitrit azotunun A grubunun kalite sınıfının belirlenmesinde etkili olduğu görülmektedir. Nitrit, kararsız bir parametre olduğundan azot çevrimi içinde amonyak veya nitrate dönüşebilmektedir. Diğer taraftan indirgenen bu değişkenler havzanın endüstriyel ve evsel atıksularla yoğun olarak kirletildiğini göstermektedir.

Su kalitesi izleme çalışmalarında doğru değişkenlerin seçimi, izleme programının teknik ve mali fizibilitesinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. ABA yöntemiyle indirgenen bu değişkenlerle kalite izleme çalışmalarını sürdürmek mümkün olabilir; çünkü belirlenen değişkenler ilgili istasyon için kalite sınıfını belirleyebilir. Böylelikle izleme yapan kuruluşlarda teknik ve mali tasarruf sağlanabilecektir.

### 3. Sonuç

CBS ortamında çok değişkenli istatistik analiz tekniğinin gerçekleştirilebilmesi için yazılmış makro kodları kullanılarak ABA arayüzü hazırlanmıştır. Porsuk Çayı üzerinde bulunan gözlem istasyonlarından elde edilen verilerle oluşturulan su kalitesi veritabanı, belirtilen arayüz ile analiz edilmiş, kalite değişiminde etkili olan değişkenler belirlenip yorumlanarak yöntemin potansiyeli ve etkinliği gösterilmiştir. Kuşkusuz, ABA yöntemi yerine diğer başka bir çok değişkenli istatistik yöntemi seçilerek benzer yaklaşımla sonuçlar irdelenebilir. Standart CBS fonksiyonları yardımıyla, veritabanında tutulan kalite verileri SKKY'de belirtilen kalite ölçütlerine uygun olarak sınıflandırılmış ve su kalite haritaları hazırlanmıştır. Daha sonra kalite değişimlerini belirlemede etkin olan en önemli değişkenlerin saptanması amacıyla, coğrafi veritabanında depolanan su kalitesi verileri, ABA yöntemiyle analiz edilmiş ve veri indirgemesi yapılmıştır. Veri indirgemesinde hesaplanan bileşenlerin değişkenlerle olan ilişkileri, değişkenlerin bileşen üzerindeki payları belirlenip sayısal ve grafik anlamda incelenmiştir. İndirgenen parametrelerin kalite izleme çalışmalarında dikkate alınması durumunda tasarruf sağlanacağı unutulmamalıdır. Sonuç olarak anılan çok değişkenli istatistik yöntemin CBS tabanlı uygulamasının su kalitesi analizini geliştirdiğini söylemek mümkündür.

### Kaynaklar

- BENGRINE K. ve MARHABA T.F.: **Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality**, Journal of Hazardous Materials, 100 (2003), 179–195.
- BENNETT D.A.: **A framework for the integration of geographical information systems and model base management**, International Journal of Geographical Information Science, 11, 4 (1997), 337–357.
- CARPENTER S., CARACO N.F. CORRELL D.L., HOWARTH R.W., SHARPLEY A.N. ve SMITH V.H.: **Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen**, Ecological Applications, 8 (1998), 559-568.
- CATTELL R. B. ve JASPERS J.: **A general plasmode (No. 30-10-5-2) for factor analytic exercises and research**, Multi. Behav. Res. Mono., 67 (1967), 1–212.
- CHEN C.H., LIU W.L. ve LEU H.G.: **Sustainable Water Quality Management Framework and a Strategy Planning System for a River Basin**, Journal of Environmental Management, 38 (2006), 952–973.
- COWEN D.J., JENSEN J.R., BRESNAHAN P.J., EHLER G.B., GRAVES D., HUANG X., WIESNER C. ve MACKAY H.E.: **The design and implementation of an integrated geographic information system for environmental applications**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 11 (1995), 1393–1404.

- DIXON W. ve CHISWELL B.: **Review of aquatic monitoring program design**, Water Resources, 30 (1996), 1935-1948.
- DSİ (DSİ Genel Müdürlüğü), **Sakarya-Seyhan Havzalarında Kirlenme Durumlarının İncelenmesi ve Bu Havzalarda Kalite Sınıflarının Tespiti Projesi**, 1992, Ankara.
- DSİ (DSİ Genel Müdürlüğü), **Su Kalitesi Gözlem Yılı (1981-1982)**, DSİ İçmesuyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, 1985, Ankara.
- DSİ (DSİ Genel Müdürlüğü), **Su Kalitesi Gözlem Yılı (1983-1984)**, DSİ İçmesuyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, 1987, Ankara.
- EİEİ (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü), **Türkiye Akarsularında Su Kalitesi Gözlemleri**, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, 1996, Ankara.
- EINAX J.W., ZWANZIGER H.W. ve GEISS S.: **Chemometrics in Environmental Analysis**, Wiley, ISBN : 3-527-28772-8, Weinheim, 1997.
- EVERITT, B.S. ve DUNN, G. **Applied Multivariate Data Analysis**, Oxford Univ. Press, ISBN: 340 54529 1, New York.
- ESRI (Environment System Research Institute), **ArcGIS 9.0**, ESRI, Redlands, California. 2004.
- FACCHINELLI A., SACCHI E. ve MALLE L.: **Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils**, Environmental Pollution, 114 (2001), 313-324.
- FARNHAM I.M., SINGH A.K., STETZENBACH K.J. ve JOHNNESON, K.H.: **Treatment of nondetects in multivariate analysis of groundwater geochemistry data**, Chemom. Intell. Lab. Syst., 60 (2002), 265–281.
- GANGOPADHYAY S., GUPTA A.D. ve NACHABE M.H.: **Evaluation of ground water monitoring network by principal component analysis**, Ground Water, 39 (2001), 181–191.
- GİRGIN S., AKYÜREK Z. ve USUL N.: **Türkiye İçin Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Su Kalitesi Veri Analiz Sistemi Geliştirilmesi**, 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 6-9 Ekim 2004, Türkiye.
- GREENE R.G. ve CRUISE J.F.: **Urban watershed modeling using geographic information system**, Journal of Water Resources Planning and Management, 121 (1995), 318–325.
- GOODCHILD M.F., PARKS B.O. ve STEYAERT L.T.: **Environmental Modeling with GIS**, Oxford University Press, New York, 1993.
- HELENA B., PARDO R., VEGA M., BARRADO E., FERNANDEZ J.M. ve FERNANDEZ L.: **Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis**, Water Resources, 34 (2000), 807–816.
- JARVIE P., WHITTON B.A ve NEALÉC.: **Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: speciation sources and biological significance**, Sci. Total Environ., 210/211 (1998), 79-110.
- JOLLIFFE I.T.: **Principal Component Analysis**, Springer, New York, 1986.
- KARAMAN M.: **DSİ Su Kalitesi Uygulaması Coğrafi Bilgi Sistemleri Modeli**, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon.
- KOWALKOWSKI T., ZBYTNIIEWSKI R., SZPEJNA J. ve BUSZEWSKI B.: **Application of chemometrics in river water classification**, Water Research, 40 (2006), 744 – 752.
- LAMBRAKIS N., ANTONAKOS A. ve PANAGOPOULOS G.: **The use of multicomponent statistical analysis in hydrological environmental research**, Wat. Res. 2004, vol.38, p.1862–1872.
- LI X.D., LEE S.L., WONG S.C., SHI W.Z. ve THORNTON I.: **The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach**, Environmental Pollution, 129, 1 (2004), 113-124.
- MAHLOCH J. L.É.: **Multivariate Techniques for Water Quality Analysis**, Journal of the Environmental Engineering Division, 100, 5 (1974), October, 1119-1132.
- MANTA D.S., ANGELONE M., BELLANCA A., NERI R. ve SPROVIERIA M.: **Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy**, The Science of the Total Environment, 300, 1-3 (2002), 229-243.

- MELLINGER M.: **Multivariate data analysis: its methods**, Chemom. Intell. Lab. Syst., 1987, vol.2, p.29–36.
- MENDIGUCHIA C., MORENO C., GALINDO-RIANO D.M. ve GARCIA-VARGAS M.: **Using chemometric tools to assess anthropogenic effects in river water A case study: Guadalquivir River (Spain)**, Anal. Chim. Acta., 515 (2004), 143–149.
- OUYANG Y.: **Application of principal component and factor analysis to evaluate surface water quality monitoring network**, Water Resources, 39 (2005), 2621–2635.
- PERKINS R.G. ve UNDERWOOD G.J.C.: **Gradients of chlorophyll a and water chemistry along an eutrophic reservoir with determination of the limiting nutrient by in situ nutrient addition**, Water Resources, 34 (2000), 713–724.
- POIANI K.A. ve BEDFORD B.L.: **GIS-based nonpoint source pollution modeling: considerations for wetlands**, Journal of Soil & Water Conservation, 50, 6 (1995), 613–619.
- SANTOS-ROMAN D.M., WARNER G.S ve SCATENA, F.: **Multivariate Analysis of Water Quality and Physical Characteristics of Selected Watersheds in Puerto Rico**, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 39, 4 (2003), 829–839.
- SHINE J.P., IKA R.V. ve FORD T.E.: **Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metal contamination in New Bedford Harbor marine sediments**, Environ. Sci. Technol., 29 (1995), 1781–1788.
- SIMEONOV V., EINAX J.W., STANIMIROVA I. ve KRAFT J.: **Environmetric modeling and interpretation of river water monitoring data**, Anal. Bioanal. Chem., 374 (2002), 898–905.
- SIMEONOVA P., SIMEONOV V. ve ANDREEV G.: **Water Quality Study of the Struma river Basin, Bulgaria (1989–1998)**, Cent. Eur. J. Chem., 1 (2003), 121–136.
- SIMEONOV V., STRATIS J.A., SAMARA C., ZACHARIADIS G., VOUTSA D., ANTHEMIDIS A., SOFONIOU M. ve KOUIMTZIS T.: **Assessment of the surface water quality in northern Greece**, Water Resources, 37 (2003), 4119–4124.
- SINGH K.P., MALIK A., MOHAN D. ve SINHA S.: **Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti river (India)-a case study**, Water Resources, 38 (2004), 3980–3992.
- SINGH K.P., MALIK A. ve SINHA S.: **Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study**, Analytica Chimica Acta, 538 (2005), 355–374.
- TAULER R., BARCELO D. ve THURMAN E.M.: **Multivariate correlation between concentrations of selected herbicides and derivatives in outflows from selected US Midwestern reservoirs**, Environ. Sci. Technol., 34 (2000), 3307–3314.
- URL-1.: <http://arcscrips.esri.com>, 10.07.2008
- USEPA (2001): **Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources**, US Environmental Protection Agency, EPA Number: 823B01001, Washington, DC.
- VEGA M., PARDO R., BARRADO E. ve DEBAN L.: **Assessment of seasonal and polluting effectson the quality of river water by exploratory data analysis**, Water Resources, 32 (1998), 3581–3592.
- VOUTSA D., MANOLI E., SAMARA C., SOFONIOU M. ve STRATIS I.: **A study of surface water quality in Macedonia, Greece: speciation of nitrogen and phosphorus**, Water Air Soil Pollution, 129 (2001), 13–32.
- WOLD S., ESBENSEN K. ve GELADI P.: **Principal component analysis**, Chemom., Intell. Lab. Syst. 2 (1987), 37– 52.
- WUNDERLIN D.A., DIAZ M.P., AME M.V., PESCE S.F., HUED A.C. ve BISTONI M.A.: **Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia river basin (Cordoba-Argentina)**, Water Resources, 35 (2001), 2881–2894.
- YU J.C., QUINN J.T., DUFOURNAUD C.M., HARRINGTON J.J., ROGER P.P. ve LOHANI B.N.: **Effective dimensionality of environmental indicators: a principal component analysis with bootstrap confidence intervals**, Journal of Environmental Management, 53 (1998), 101–119.