

**KARASU IRMAĞINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN
BELİRLENMESİ VE BULANIK MANTIKLA
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Adem Yavuz SÖNMEZ

**Doktora Tezi
Su Ürünleri Anabilim Dalı
Prof. Dr. Telat YANIK**

2011

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**KARASU IRMAĞINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN
BELİRLENMESİ VE BULANIK MANTIKLA
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Adem Yavuz SÖNMEZ

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

ERZURUM

2011

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**KARASU IRMAĞINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ VE
BULANIK MANTIKLA DEĞERLENDİRİLMESİ**

Prof. Dr. Telat YANIK danışmanlığında Adem Yavuz SÖNMEZ tarafından hazırlanan bu çalışma 21/11/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Su Ürünleri Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Telat YANIK

İmza:

Üye : Prof. Dr. Muhammet ATAMANALP

İmza:

Üye : Prof. Dr. Nilsun DEMİR

İmza:

Üye : Prof. Dr. Olcay HİSAR

İmza:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet TOPAL

İmza:

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Ömer AKBULUT

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

KARASU IRMAĞINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ VE BULANIK MANTIKLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Adem Yavuz SÖNMEZ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Su Ürünleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Telat YANIK

Karasu Irmağından seçilen 5 istasyondan 12 ay boyunca alınan su örnekleri Bakır (Cu), Çinko (Zn), Mangan (Mn), Kurşun (Pb), Nikel (Ni), Kadmiyum (Cd) ve Demir (Fe) bakımından incelenmiştir. Elde edilen ağır metal verilerine göre istasyonlar arasında tüm ağır metallerin değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p<0.01$).

Aylara göre ağır metallerin değişimleri incelendiğinde örnekleme noktalarından elde edilen verilerin istatistikî olarak önemli ölçüde değişmediği tespit edilmiştir ($p>0.05$). Ancak, aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur.

Tek faktörlü ve çok faktörlü kirlilik indeks metoduna göre yapılan değerlendirme sonucu oluşturulan sınıflandırmada klasik mantıkta tüm istasyonlar IV. Sınıf olarak nitelendirilirken çok faktörlü indeks metodunda 4 ve 5. İstasyonlar III. Sınıf olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bulanık mantık sistemlerinin etkin su yönetimi ve ekolojik risk değerlendirmesi açısından uygun bir araç olacağı kanaatine varılmıştır.

2011, 74 sayfa

Anahtar Kelimeler: Karasu Irmağı, Ağır Metal, Bulanık Mantık

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF HEAVY METAL POLLUTION IN KARASU RIVER AND ITS EVALUATION BY FUZZY LOGIC

Adem Yavuz SÖNMEZ

Atatürk University
Graduate School of Agriculture Faculty
Department of Fishery Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Telat YANIK

Water samples were collected from 5 different point of Karasu River in order to determine Copper (Cu), Zinc (Zn), Manganese (Mn), Lead (Pb), Nickel (Ni), Cadmium (Cd) and Iron (Fe) concentrations for 12 months.

It was found that the differences between the sampling points with respect to all of the analyzed heavy metals were significant ($p < 0.05$)

Although the Month X Sampling points interactions were significant ($p < 0.05$) the changes throughout the months for each heavy metal were not statistically significant ($p > 0.05$).

At the end of the evaluations made according to the single and multifactorial pollution index method, the classification of sampling points were found as IV with classical logic. However, according to multi factorial index method, 4nd and 5th sampling points were found as class of III. Consequently, it was suggested that fuzzy logic systems can be used for the effective water management and for the evaluation of ecological risk.

2011, 74 pages

Anahtar Kelimeler: Karasu river, heavy metal, fuzzy logic

TEŞEKKÜR

Her Şeyden önce doktora tez danıŐmanlıđını üstlenen, tez çalıŐmam sırasında beni doğru yönlendiren ve geniş bir çalışma imkanı bırakan, her aŐamasında fikir ve önerilerini aldığım, bana güven telkin eden, engin bilimsel kapasitesinden daima faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Telat YANIK'a teŐekkürü bir borç bilirim.

Bu uzun maratonda tez çalıŐmamın ana fikrini oluşturan, baŐ harfinden son harfi yazılana dek gerek bilgi ve becerisinden faydalandığım gerekse saha çalıŐmalarında desteğini yanımda hissettiğim Sayın Prof. Dr. Olcay HİSAR'a Őükranlarımı sunarım.

Tez çalıŐmamda analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Toprak Bölümü Öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Serdar BİLEN'e ve tez izleme komitemde yer alan Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet TOPAL'a teŐekkürlerimi sunarım.

Sonuç olarak üniversite hayatımın başladığı 1998 yılından bu yana maddi ve manevi olarak her an yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma, bölüm içerisinde bana bir aile ortamı hissettiren arkadaşlarıma ve hocalarıma en kalbi duygularla teşekkür ederim.

Adem Yavuz SÖNMEZ

Kasım, 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ağır Metal Tanımı ve Su Kaynaklarında Yayılımları	3
1.2. Ağır Metallerin Çevresel Etkileri	4
1.3. Çevresel Önem Arz eden Ağır Metaller	4
1.4. Mühendislik Metotların Çevre ve Su Kirliliğinde Kullanımı	8
1.5. Araştırma Sahası	15
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	17
3. MATERYAL ve METOT	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. Su materyali	23
3.1.2. Çalışmanın yürütüleceği yer	23
3.2. Metot	23
3.2.1. İstasyonların belirlenmesi	23
3.2.1.a. 1. İstasyon.....	23
3.2.1.b. 2. İstasyon	25
3.2.1.c. 3. İstasyon.....	26
3.2.1.d. 4. İstasyon	28
3.2.1.e. 5. İstasyon.....	29
3.2.2. Su örneklerinin alınması	31
3.2.3. Su örneklerinin analizi	31
3.2.4. Sonuçların su kalite sınıflandırılması	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	34
4.1. Ağır Metal Bulguları	34
4.1.1. Demir (Fe) bulguları.....	34

4.1.2. Bakır(Cu) bulguları	37
4.1.3. Çinko(Zn) bulguları.....	40
4.1.4. Mangan (Mn) bulguları.....	44
4.1.5. Kurşun (Pb) bulguları	48
4.1.6. Nikel (Ni) bulguları	51
4.1.7. Kadmiyum (Cd) bulguları.....	55
4.2. Bulanık Modele Göre Sınıflandırma Bulguları.....	59
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	67
KAYNAKÇA	69
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Bulanık Mantığın Bilimsel Yöntemlerdeki Yeri	9
Şekil 1.2 Bulanık Mantık ve Üyelik Derecesi.....	10
Şekil 1.3 Bulanık Mantıkta Üyelik Fonksiyonu.....	11
Şekil 1.4 Herhangi Bir Ülkedeki İnsanların Yaşlarını Gösteren Üyelik Fonksiyonları .	12
Şekil 1.5 Bulanık Mantığın Çalışma Şeması.....	13
Şekil 1.6 Mamdani tipi Bulanık Modelleme	14
Şekil 3.1 1. İstasyonun Orijinal Görüntüsü.....	24
Şekil 3.2 1. İstasyonun Uydu Görüntüsü	24
Şekil 3.3 2. İstasyonun Orijinal Görüntüsü.....	25
Şekil 3.4 2. İstasyonun Uydu Görüntüsü	26
Şekil 3.5 3. İstasyonun Orijinal Görüntüsü.....	27
Şekil 3.6 3. İstasyonun Uydu Görüntüsü	27
Şekil 3.7 4. İstasyonun Orijinal Görüntüsü.....	28
Şekil 3.8 4. İstasyonun Uydu Görüntüsü	29
Şekil 3.9 5. İstasyonun Orijinal Görüntüsü.....	30
Şekil 3.10 5. İstasyonun Uydu Görüntüsü	30
Şekil 4.1 İstasyonlara Ait Aylık Demir(Fe) Değişim Grafiği	36
Şekil 4.2 İstasyonlara Ait Aylık Bakır(Cu) Değişim Grafiği.....	39
Şekil 4.3 İstasyonlara Ait Aylık Çinko(Zn) Değişim Grafiği	43
Şekil 4.4 İstasyonlara Ait Aylık Mangan(Mn) Değişim Grafiği.....	46
Şekil 4.5 İstasyonlara Ait Aylık Kurşun(Pb) Değişim Grafiği	50
Şekil 4.6 İstasyonlara Ait Aylık Nikel (Ni) Değişim Grafiği	54
Şekil 4.7 İstasyonlara Ait Aylık Kadmiyum(Cd) Değişim Grafiği	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Demir'e İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları (ppm).....	34
Çizelge 4.2 Demir verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları	35
Çizelge 4.3 İstasyonlardaki demir kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	35
Çizelge 4.4 Aylardaki demir kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	35
Çizelge 4.5 Bakır'a İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm).....	37
Çizelge 4.6 Bakır verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	38
Çizelge 4.7 İstasyonlardaki bakır kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	38
Çizelge 4.8 Aylardaki bakır kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	38
Çizelge 4.9 Çinkoya İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)	41
Çizelge 4.10 Çinko verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	41
Çizelge 4.11 İstasyonlardaki çinko kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	42
Çizelge 4.12 Aylardaki çinko kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	42
Çizelge 4.13 Mangana İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm).....	44
Çizelge 4.14 Mangana verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.15 İstasyonlardaki mangana kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	45
Çizelge 4.16 Aylardaki mangana kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	46
Çizelge 4.17 Kurşun'a İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)	48
Çizelge 4.18 Kurşun verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	49
Çizelge 4.19 İstasyonlardaki kurşun kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	49
Çizelge 4.20 Aylardaki kurşun kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.....	49
Çizelge 4.21 Nikel'e İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm).....	52
Çizelge 4.22 Nikel verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	52
Çizelge 4.23 İstasyonlardaki nikel kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	53
Çizelge 4.24 Aylardaki nikel kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.	53
Çizelge 4.25 Kadmiyuma'a İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)	56
Çizelge 4.26 Kadmiyum verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	56
Çizelge 4.27 İstasyonlardaki kadmiyum kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri. ...	57
Çizelge 4.28 Aylardaki kadmiyum kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.....	57

Çizelge 4.29 Bazı Ağır Metallerin Su Kalite Sınıflarına Göre İzin Veriler Üst Değerleri	60
Çizelge 4.30 Tek Faktörlü ve Nemerov Çok Yönlü İndex Yöntemleri Kullanılarak 5 İstasyonun Su Kalitesi Değerlendirme Sonuçları.	61
Çizelge 4.31 Ağır Metallerin Su Kalitesine Olan Girişim Ağırlıkları.....	64
Çizelge 4.32 Bulanık Mantık Matematiksel Metodun Su Kalitesi Belirlemedeki Son Üyelik Dereceleri	64

1. GİRİŞ

Yeryüzünde bulunan tüm sular, güneş enerjisi ile sürekli bir döngü içinde bulunur. İnsanlar, ihtiyaçları için, suyu bu döngüden alır ve kullandıktan sonra tekrar aynı döngüye iade ederler. Bu süreç sırasında suya karışan maddeler, suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek “su kirliliği” olarak adlandırılan durumu ortaya çıkarır. Su kirlenmesi, su kaynağının fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde meydana gelir. Su kirliliği antropojin etkiler sonucunda ortaya çıkan, kullanımı kısıtlayan veya engelleyen ve ekonomik dengeleri bozan kalite değişimleridir. Su kirliliğinin bir başka tanımı ise; su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, su ürünlerinde, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde ve enerji atıklarının boşaltılmasını ifade etmektedir. FAO ise su kirliliğini; canlı kaynaklara zararlı, insan sağlığı için tehlikeli, balıkçılık gibi çalışmalarını engelleyici ve su kalitesini bozucu etkiler yapabilecek maddelerin suya atılması şeklinde tanımlamaktadır (Yanık ve Atamanalp 2001; Sönmez vd. 2008).

Tanımlardan da anlaşılacağı üzere su kirliliğini tetikleyici birçok unsur ve kriter vardır. Bunlar çeşitlerine ve bu çeşitliliğe sebep olan kaynaklarına göre birçok gruba ayrılmakla beraber en önemli gurubu kimyasal kaynaklı kirlenme oluşturmaktadır.

Kimyasal kirlenmeye kaynaklık eden birçok unsur vardır. Özellikle son yıllarda endüstrileşmenin ve sanayinin gelişi ile beraber tarımsal mücadelede pestisit ve kimyasal ilaç kullanımından dolayı bu tip kirlenmelere sıkça rastlanmaktadır. Sanayi atıkları, tarımsal ilaç atıkları ve endüstri, petrol, deri, deterjan atıkları su kimyasında, özellikle balıklar ve su canlıları aleyhine, önemli değişiklikler yapmakta ve bunların ölümlerine sebep olmaktadır (Sönmez vd. 2008).

Sulardaki kimyasal kirliliğe sebebiyet veren en önemli kaynaklardan birisi endüstri ve sanayi atıkları kısmıdır. Özellikle son yıllarda sanayileşmenin ve endüstrileşmenin gelişmesi ve buna bağlı olarak arıtımsız tesislerin atıklarını su kaynaklarına direk vermeleri veya dolaylı olarak bu atıkların sulara karışması sonucu, önemli derecede bir kirlilik meydana gelmektedir. Bu atıklara; süt endüstrisi, şeker, konserve, yağ, alkoloid, mezbaha, un, maya, deri, boya, kimyasal madde, gübre, kömür, demir-çelik, tekstil, kağıt, metal, tuz, petrol atıkları gibi çok geniş bir grup dâhil olduğu için kontrol mekanizması daralmakta ve en fazla bu kirlilik şekli karşımıza çıkmaktadır.

Kimyasal kirlenme sonucunda sularda oksijen azlığına bağlı olarak su canlılarının ölümü, azot ve fosfor çoğalmasına bağlı olarak ötrofikasyon, suların yüzeylerinde biriken deterjan, yağ vb gibi maddeler sonucunda suyun havalanmasında düşme, güneş ışınlarına engel olduğundan fotosentezde azalma, kokuşma ve estetik sorunlar ortaya çıkar. Bulanıklık meydana getirdiği için balıkların besin bulmasını zorlaştırır, dolayısıyla büyümelerini yavaşlatır. Ağır metal birikimine sebebiyetten dolayı zehirlenmelere neden olabilir. Askıda bulunan katı maddeler özellikle deşarj civarında dıpsel birikime neden olur. Atıkların birçoğu yüksek miktarda askıda katı madde ve çözünmüş madde içermeleri nedeni ile aşırı alkali olmalarından dolayı, BOİ düzeylerinin çok yüksek olması nedeni ile karşılaştıkları alıcı sularda hiç çözünmüş oksijen bırakmazlar. Bu durum da balıklar açısından en tehlikeli durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Kirletici kaynaklarının tamamı ise sularda toksik metal kirliliğine ve ağır metal birikimine neden olmakta, bunun neticesi olarak ise birçok yörede ve su kaynağında yaşandığı üzere toplu balık ölümleri ve zehirlenmeler meydana gelmektedir.

Çevresel problemler arasında en önemli konulardan birisi olan su kirliliği, hem insanlar tarafından oluşturulan yapay hem de doğal sucul ortamlarda önemli problemlere yol açmaktadır. Üstelik yüzey sularının kalitesi genellikle endüstri merkezleri ve nüfus artışıyla olumsuz yönde etkilenmektedir. Bununla birlikte bölgelerin özellikleri spesifik olarak farklılıklar göstermektedir (Tessier and Campbell 1988; Buckley *et al.* 1995). Örneğin, eğer Aras, Çoruh ve Fırat vb. nehirlerin yukarı havzalarından birinde insanlar maden yatakları açmaya başlarsa, bunun sonucunda yağışlarla birlikte yüksek

miktarlarda metal konsantrasyonları bu havzaların etkilediği ortamlara girerek, kirlilik kaynağının gelişmesine sebep olabilir. Diğer taraftan yine kurak bir bölge olan Asya'da, yüzey akışı caddelerde biriken bütün kirleticilerin yıkanarak taşınmasına sebep olabilir. Halbuki yağışlı bir bölge olan Norveç'te yağışlar atmosferik taşınım durumunda olan yeni metal yüklerinin yeryüzüne düşmesine sebep olabilir (Özdilek 2002).

Yağmur suları yeryüzüne düştükten bir müddet sonra deniz ve okyanuslara ulaşır. Eğer nehir sistemlerinde doğal yada yapay göl, gölet, baraj yada kanallar gibi yapılar varsa, o zaman bu bileşikler, çökebilir ya da çevredeki diğer bölgelere taşınabilir. İnsanoğlu çeşitli faaliyetleriyle yerkabuğunda doğal olarak iz miktarda bulunan metallerin biyojeokimyasal ve dolayısıyla global dönüşünü değiştirerek çevrede ağır metal konsantrasyonunun giderek artmasına sebep olmuştur (Carral *et al.* 1995).

1.1. Ağır Metal Tanımı ve Su Kaynaklarında Yayılımları

Hiç şüphesiz ki kimyasal su kirliliğinin en tehlikeli boyutunu Ağır Metal birikimi oluşturur. İz metalle eş anlamlı olarak kullanılan ağır metal terimi esansiyel olan ve olmayan iz metalleri kapsar. Yani, kimyasal olarak; elektron verip (+) değerlikli iyon olabilen, asitlerde bulunan H iyonlarıyla yer değiştirebilen, ametallerle bileşik oluşturabilen fakat kendi aralarında oluşturamayan, oksitleri bazik olan, fiziksel olarak ise; civa hariç normal şartlarda katı olan, ısı ve elektriği iyi ileten, levha ve tel haline gelebilen ve metalik bir renk ve parlaklığa sahip olan bütün maddeler ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Bunların tamamı, canlı organizmalar için potansiyel birer tehlikedir (Rainbow 1995).

Sularla sürekli olarak taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğu için suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir (Kahvecioğlu vd. 2008).

Ağır metallerin çevreye yayınımda etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler imento üretimi, demir elik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir (Rether 2002).

1.2. Ağır Metallerin evresel Etkileri

Ağır metaller biyolojik proseslere katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir ve bu metaller biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Örneğin bakır hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerinin ve birçok oksidasyon ve redüksiyon prosesinin vazgeçilmez parçasıdır (Bigersson 1988).

Buna karşın yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda dahi psikolojik yapıyı etkileyerek sağlık problemlerine yol açabilmektedirler. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan cıvadır (Duffos 1996).

Bu bağlamda ele alındığında ağır metaller hem sularda hem de buldukları canlı bünyesinde konsantrasyon sınırını aştıkları zaman toksik olarak etki gösterirler. Özellikle canlı bünyesinde, etki konsantrasyona bağlı olmaktan ziyade canlının türüne ve metal iyonunun yapısına göre değişir. Bu nedenle, özellikle düzenli tüketilen içme sularında ve su kaynaklarından elde edilen yiyeceklerde maksimum konsantrasyon sınırlaması yapılmıştır ve sürekli olarak kontrol altında tutulması gereklidir.

1.3. Çevresel Önem Arz eden Ağır Metaller

Ağır metaller; fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak konsantrasyonları, biyolojik birikim ve artışları değişiklik gösterebilir. Bu nedenle incelenen ağır metallerin genel özellikleri, kaynakları, değişimleri ve birikim ve artış mekanizmalarının iyi bilinmesi gerekir.

Demir (Fe): Çevrede oldukça yaygın bir ağır metal olan demir, özellikle toprak ve kayalarda bol miktarda bulunur. Canlı yaşam için mutlak bir metal olan demirin düşük miktarı bitki, hayvan ve insanlar için faydalıdır. Alüminyumdan sonra yer kabuğunda en fazla rastlanan metaldir.

Demir normal olarak çözünmeyen formda olmasına rağmen doğal olarak gerçekleşen birçok reaksiyonla çözünebilen formları oluşabilmekte ve girdikleri su kaynağını kirletmektedirler. Bu yüzden aşırı demir su kaynaklarında önemli bir problemdir (Gray 1996). Esansiyel bir element olan demirin sulardaki yüksek konsantrasyonları sağlığı tehdit etmektedir. Bu yüzden aşırı miktarı istenmez. En fazla kemik iliği, kırmızı kan hücreleri, karaciğer, akciğer ve dalakta birikir. Bu şekli ile demir kirliliğine maruz kalan su kaynakları orijinal gıda maddeleriyle rahatlıkla taşınır.

Bakır (Cu): Doğal olarak bitki ve hayvanlarda bulunan bir element olan bakır, insan ve diğer tüm canlılar için esansiyel ağır metaldir. Özellikle su kaynaklarına tarımsal yüzey akışlarından karışabilen bakırın aşırı miktarları oldukça zararlı olabilmektedir. Fakat sucul ekosistemlere girdiklerinde genellikle belirli bir sürede sudaki parçacıklara bağlanarak zarar etkileri daha aza indirgenmektedir. Kanserojen bir metal olmadığı bildirilen bakırın yüksek düzeylerinin ishal, kusma, mide bulantısı ve kramplara sebep olabildiği ve özellikle karaciğer, böbrek, mide akciğer, bağırsak ile beyin ve adrenal bezde birikim yaptığı saptanmıştır (ATSDR 2010).

Çinko (Zn): Özellikle her vücut sıvısında, dokuda, insan hücre ve organlarında bulunan çinko esansiyel bir elementtir. Hemen hemen hava, toprak, su ve bütün gıdalarda mevcuttur. Yer kabuğu da çinkoca zengin olup konsantrasyonu 10-300mg/kg aralığındadır (Ohnesorge and Wilhalm 1991) Kurşun gibi çinkoda özellikle maden işleme merkezlerinden yayılarak atmosferik olaylarla uzun mesafeli taşınabilmekte ve depolanabilmektedir. Özellikle prostat, böbrek, kas ve karaciğerde birikim gösterir. Yetersiz miktarda çinko alımı 200'den fazla enzimi olumsuz etkilediği gibi, yüksek düzeyler de alımı ise bağışıklık sisteminin zayıflaması, yaraların geç iyileşmesi, kolesterolün yükselmesi gibi problemlere yol açabilmektedir (ATSDR 2010).

Toksikolojik açıdan Arsenik, Kadmiyum, Bakır ve Kurşun'a göre daha az etkili olduğu belirtilmektedir (Kesler 1994).

Manganez (Mn): Saf manganez gümüş renginde olup, doğal olarak bulunmaz. Ancak oksijen, sülfür ve klorin gibi diğer bileşikler halinde bulunur. Yaşam için gerekli olan bir iz elementtir. Genellikle hububat, tahıl ve çay gibi pek çok gıdada bulunur. Suyu ve toprağa karışımı doğal kaynaklarda, atıkların deşarjıyla ve atmosferik taşınımına olur. Nehir, göl ve yer altı sularında doğal olarak bulunur ve su bitkileri tarafında alınarak birikebilir (ATSDR 2010). Su, hava ve gıda yoluyla herkes düşük miktarlar maruz kalabilir. Genellikle karaciğer ve böbrekte birikir. Özellikle bilinçsiz pestisit kullanımı yoluyla su kaynaklarına taşınımı sulardaki miktarını arttırır. Etkilenen kişilerde zihinsel ve duyuşsal rahatsızlıklar ile vücut hareketlerinde hantallaşma görülebilir.

Kurşun (Pb): Kurşun insan faaliyetleri sonucu ekolojik sisteme en büyük zararı veren önemli bir ağır metaldir. Kurşun atmosfere metal veya bileşik olarak yayılabildiğinden her durumda toksik özellik taşır ve en önemli kirlilik kaynağıdır. Sucul ortamlarda kurşun alımı sertlik, pH, tuzluluk, sıcaklık ve organik madde gibi çevresel faktörler tarafından son derece etkilenmektedir. Özellikle endüstriyel faaliyetler sonucunda çevreye rahatlıkla yayılabilen kurşun toprak, sediment ve sucul ekosistem tarafından absorbe edilebilmektedir. Bu nedenle endüstriyel bölgelere ve şehir merkezine yakın yerlerde yapılan tarımsal üretimde elde edilen ürünlerin birçoğunda normal seviyenin üzerinde bulunur. Diğer yandan sucul ekosistem kaynaklı yapılan gıda tüketimi ve bu sularla sulanan tarım ürünleri de yüksek miktarda kurşun birikimine maruz kalabilir. Sucul ekosistemlerde özellikle balık ve kabukluların solungaç, karaciğer, böbrek ve kemiklerinde birikim gösterir ve uzun süreli bir yarılanma gösterir. Larvaları tamamen öldürme de önemli hasarlar verebilir. Yumurta ve embriyoda birikim gösterebilmektedir.

Düşük düzeylerinin bile beynin büyüme ve gelişimini kısıtladığı kurşun, dünya sağlık örgütü tarafından kanserojen olabileceği bildirilmektedir (ATSDR 2010).

Nikel (Ni): Çevrede oksijen ve sülfürle bileşik oluşturan bol miktarda bulunan bir element olan nikel bütün topraklarda bulunur. Genellikle toprak ve sedimentteki demir ve mangan içeren parçacıklara bağlı olarak bulunur. Zararlı etkisi çok olan bir ağır metaldir. Bitkiler tarafından absorbe edilerek biriktirilebilir. En çok bulaşma yolu sigara dumanı şeklinde olurken yüzey akışları sonucunda su kaynaklarında da birikebilir. Bu şekli ile fazla birikimi su canlıları açısından da zararlı olabilmektedir. Özellikle balıklar açısından fazla miktarı üremede anormallikler ve kalp rahatsızlıkları şeklinde olabilir. İnsanlar açısından kanserojen etkisi olduğu da bilinmektedir.

Kadmiyum (Cd): Endüstri alanında oldukça yaygın olarak kullanılan bir iz metal olan kadmiyum oldukça toksik bir ağır metaldir. Kadmiyum diğerlerine nispeten nadir bir element olup doğada saf olarak bulunmaz. Önemli bir kirletici olmasının nedeni ise düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarılanma ömrünün uzun olmasıdır (Goyer 1991; Lyons *et al.* 1996).

Özellikle fosil yakıtları ve atık ürünlerin yanması önemli kaynaklarıdır. Ayrıca kimyasal gübrelere birlikte lağımlarda bulunmaktadır. Su kaynaklarına taşınmaları ile de su kaynaklarında birikim gösterebilmektedir. Pek çok organizma için toksik etki gösteren kadmiyum direk olarak sudan, bir dereceye kadar havadan ve besin yoluyla alınabilmekte ve organizmalarda birikme özelliği gösterebilmektedir. Özellikle mantarlar, kabuklular, karaciğer ve böbrek etleri bu ağır metale zengindir.

Özellikle dokuz Kadmiyum izotopundan üçü(Cd-109, 113 ve113m) toksik olarak son derece önemli olup, yarılanma süreleri oldukça uzundur. Sucul ekosistemler açısından larvaların büyüme ve yaşama oranlarını düşürmesi nedeni ile oldukça tehlikelidir. Kadmiyum zehirlenmesi balıkta iyon dengesinin bozulmasına neden olur ve kalsiyum metabolizmasını engelleyerek toksik etki gösterir. İnsan metabolizması açısından da aynı derecede etkilidir. İnsan vücudunda 20 yıldan fazla bir yarılanma ömrüne sahiptir ve kanserojen etkisi vardır.

1.4. Mühendislik Metotların Çevre ve Su Kirliliğinde Kullanımı

Sanayi ve endüstrileşmenin yoğun olduğu bölgelere yakın su kaynaklarında kontrol mekanizması olarak çevre yönetim araçları kullanılabilir.

Çevre yönetim araçları; elde edilen bilgi ve verileri değerlendirerek halka, yöneticilere, karar mekanizmalarına, iş dünyasına sonuçların iletilmesini sağlamaktadırlar (Storsdieck and Zimmermann, 1994; Erdmenger 1998). Ekolojik risk değerlendirmesi, nihai problem çözümü olmasa da (Bartell 1997) farklı ekosistemlere uygulanabilecek en önemli çevre yönetim araçlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Wenger *et al.* 2000; Serveiss 2002). Risk değerlendirme tahminlerinin güvenilirliği hakkında karşıt görüşler olsa da (Power and Adams 1997), bu alanda yapılan çalışmaların çoğu Ekolojik risk değerlendirmenin faydalı bir süreç olduğu konusunda hem fikirdirler (Adams and Power 1997). Ekolojik risk değerlendirme; çevre yönetimi ile ilgili kararların geliştirilmesi, bilimsel bilginin toplanması, organize edilmesi ve sunulması için gereken bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Serveiss 2002).

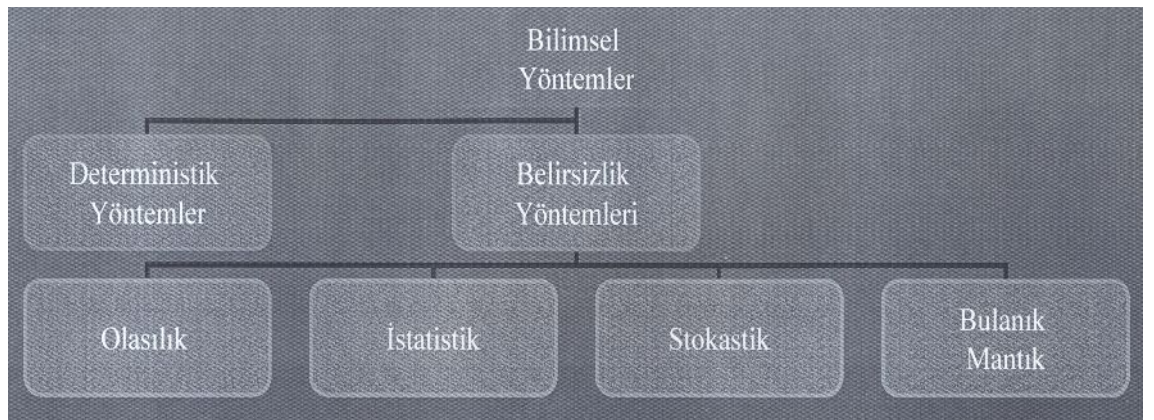
Ekolojik risk değerlendirme araçları olarak günümüzde birçok klasik metot kullanılmakla beraber, su kaynaklarında risk değerlendirme açısından mühendislik modellemelerinin uygulanması oldukça yenidir.

Mühendislik yaklaşımlarında elde edilebilen tüm sayısal ve sözel bilgiler çözüm algoritmasına katılarak incelenen olayın kontrolünde anlamlı çözümlere ulaşılmaktadır. Son yıllarda insanların sunduğu sözel bilginin sayısal hale getirilerek bilgisayarlar ve algoritmalar tarafından algılanarak hesaplamalarının yapılabilmesi için yapay zeka tekniği geliştirilmiştir. Yapay zeka tekniği matematik ve aksiyomlu yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm algoritmasını temsil eder (Şen 2001). Yapay zeka hakkında çeşitli tanımlar mevcuttur. Tüm araştırmacıların üzerinde anlaştığı bir tanım olmamakla birlikte yapay zeka; insana özgü zeka davranışlarını araştıran, bilgilerin saklanması ve işlenmesinde veri yapıları, algoritmalar, programlama dilleri ve teknolojileri gibi bilgi işlem yöntemlerini kullanan bir bilim dalıdır" şeklinde tanımlanabilir (Çetiner vd.

1998). Yapay zeka alanında bilim adamlarının üzerinde çalıştığı Robotik, Doğal Ara Birim Uzman Sistemler, Genetik Algoritma, Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları gibi bir çok yapay zeka tekniği vardır.

Kirlenmiş suların kalite değerlendirmesi; yalnızca sulardaki kirlilik unsurlarının etkilerinin belirlenmesinde değil sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilirliği için önemli teorik bilgilerde sağlamaktadır. Su kalitesinin değerlendirilmesinde birçok kirlilik indeks metotları kullanılmaktadır. Bu metotlar; farklı derecelerdeki su kirliliğinin miktarını ve farklılığını gösteren kesin limitleri tanımlamaktadır. Fakat her bir su kirleticisinin kararsızlığından dolayı kalite değerlendirmelerinde, risk ile ilişkili bir belirsizlik mevcuttur. Belirsizlik sınıflandırma diyagramlarında kesin sınırların yer alması, bu diyagramların kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu belirsizlik yüzünden bazı çevre araştırmacıları bulanık mantık tabanlı ileri değerlendirme metotları üzerinde çalışmaya yönelmek zorunda kalmıştır.

Son 30 yıla kadar olan çalışmalarda sadece iki çıktılı olan Aristo mantığı kullanılmıştır (Kişi vd 2003). Aristo mantığına göre sadece siyah veya beyaz çıktılardan bir tanesini tercih etmek gereklidir. Oysaki insanın düşünce sisteminde arada olan değişik derecede gri tercihlerinde yapılması söz konusudur. İşte buna imkan verecek olan bulanık (fuzzy) mantık ve ondan kaynaklanan sistemlerdir.

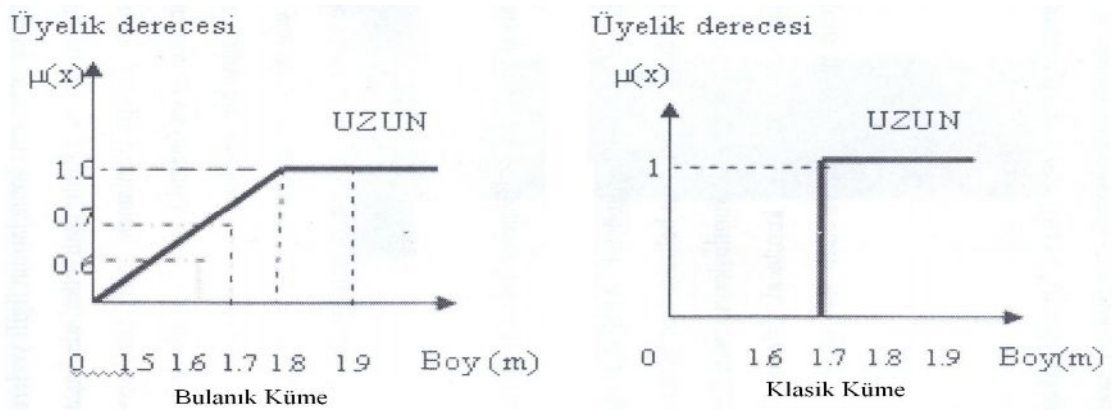


Şekil 1.1 Bulanık Mantığın Bilimsel Yöntemlerdeki Yeri (Şen 2001)

Bulanık mantık yaşamın belirsizliklerinin üstesinden gelmek için kullanılan muhakeme metodudur. Bulanık mantığın altında yatan temel fikir günlük kullandığımız birçok kavramın belirsiz oluşudur. Örneğin hava sıcak denildiğinde herkes kesin olarak 'hava' kelimesinin günlük hayattaki kullanımını anlamaktadır. Ancak 'sıcak' kelimesinin ifade ettiği anlam izafi olarak birbirinden farklı olabilir. Kutuplarda bulunan bir kişinin sıcak için 15°C algılamasına mukabil ekvator civarındaki bir kişi için 35°C bulabilir. Arada birçok kişinin görüşü olarak başka derecelerde bulunur. Böylece 'sıcak' kelimesinin altında insanların ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak belirsiz bir durum vardır. Bu şekilde kelimelerin ima ettikleri belirsizliklere bulanıklık denir (Şen 2001).

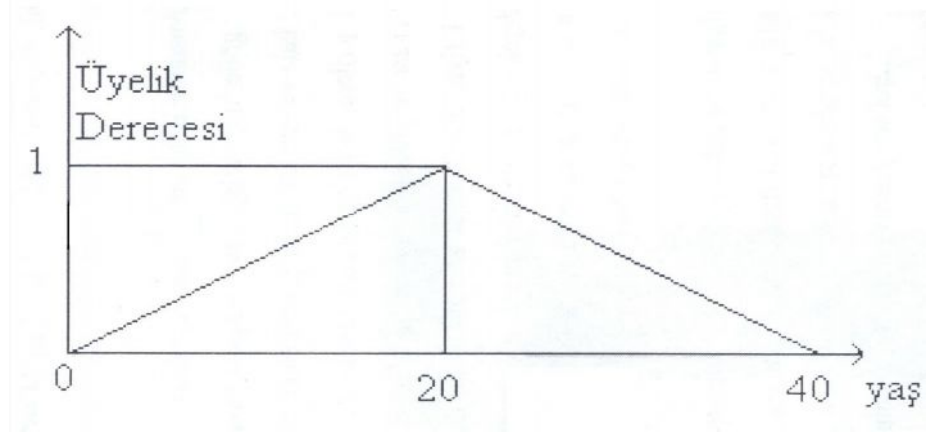
Bu şekli ile insan yaşamında kesinliğin olmadığı her alanda bulanık mantık kullanımı daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu kesinlik olgusu ile de bulanık mantık klasik mantıktan ayrılmaktadır. Klasik mantıkta sınıflandırma kesinlik içerir. Bir eleman ya bir kümenin içindedir ya da dışındadır. Hâlbuki bulanık mantıkta bir eleman birden fazla kümenin içersinde olabilmektedir.

Şekil 1.2'ye bakıldığında klasik mantık modeline göre 160cm boyundaki bir insan uzun boylu değildir. Hatta 169cm boyundaki insan da kısa boylu sınıfındadır. Bu reel bir yaklaşım değildir. Bulanık mantığa göre 160cm boyundaki kişiye kısa denilmez. Çünkü kısmen de olsa uzun boylu insanlar kümesi içindedir. Bulanık mantıkta 160cm boyundaki biri 0.6 üyelik derecesiyle, 170cm boyundaki biri 0.7 üyelik derecesiyle, 180cm boyundaki biri de 1.0 üyelik derecesiyle uzun boylu olabilir (Baba 1995).



Şekil 1.2 Bulanık Mantık ve Üyelik Derecesi

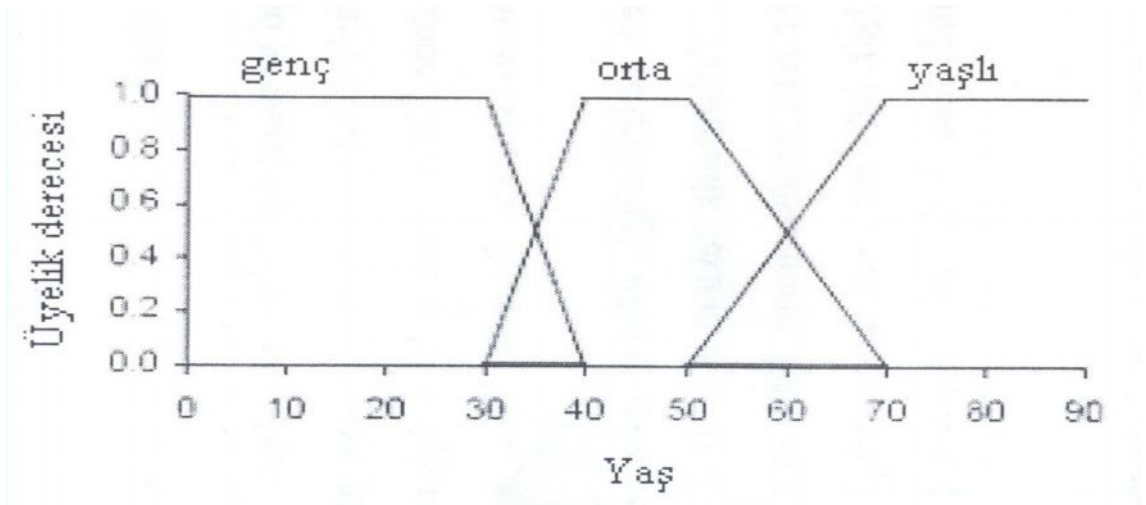
Bulanık mantıkta dahil olmanın sınırı üyelik derecesi ile belirlenir. Yani klasik teoride "doğru" veya "yanlış" varken, bulanık mantıkta doğruluğun dereceleri vardır. Şekil 1.3'te genç nüfusu tanımlayan bir üçgensel üyelik fonksiyonunu ve gözlenen bir bireyin bulanık yaş değerine göre ne kadar bu kümeye ait olduğunu ya da ne kadar genç olduğunu tanımlamaktadır.



Şekil 1.3 Bulanık Mantıkta Üyelik Fonksiyonu

20 yaşındaki birey 1 olasılıkla bu gençler kümesinin bir elemanıdır. 10 yada 30 yaşındaki bireyler genç tanımına %50 uymaktadır. 20 yaşından uzaklaştıkça buradaki tanımlamaya göre genç tanımlaması yanlış olmaktadır. Bulanık verileri yapısı gereği farklı üyelik fonksiyonları ile tanımlamak gerektiğinden çok farklı üyelik fonksiyonları mevcuttur ve uygulayıcının kendisi de farklı bir bulanık küme fonksiyonu tanımlayabilir (Semiz 2003).

Bulanık mantık bu şekilde ele alındığında esasında klasik mantığı da içine almaktadır.



Şekil 1.4 Herhangi Bir Ülkedeki İnsanların Yaşlarını Gösteren Üyelik Fonksiyonları

Şöyle ki şekil 1.4 incelendiğinde bir ülkede yaşlı, orta ve genç nüfusa ait yaşlar verilmiştir. Bu örnekte, 30'dan daha küçük yaşlar tümüyle “genç”, 40 ile 50 arası tümüyle “orta” olduğu halde mesela 36 yaş, her iki kategoriye de kısmen dahil olmaktadır. Başka bir deyişle, 36 yaşın “genç” üyelik fonksiyonuna üyelik derecesi 0.4 iken “orta” üyelik fonksiyonuna üyelik derecesi 0.6 ve “yaşlı” üyelik fonksiyonuna üyelik derecesi ise 0.0'dır (Şen 2003).

Eğer klasik mantığa göre düşünülseydi bir yaşın genç kategorisine girmesi için kesinlikle 30'dan daha küçük olması gerekirdi. Halbuki bulanık mantıkta 30'dan daha küçük yaşlar, 1.0 üyelik derecesi ile “genç” kategorisine ait iken 30 ile 40 arası yaşlar da 0.0 ile 1.0 arasında üyelik dereceleriyle aynı kategoriye girmektedirler. Buradan bulanık mantığın klasik mantığı da içine aldığı görülmektedir.

Birçok değişik yöntemle fuzzy değişkenlerinin üyelik dereceleri belirlenebilir. Bu metotlardan bazıları şunlardır. Sezgisel, Sonuç çıkarma, Tercihlerin düzenlenmesi, Açısız bulanık kümeler, Sinir ağları, Genetik algoritma-Yapay zeka.

Bulanık mantık, bulanık denetleyiciden oluşmaktadır.

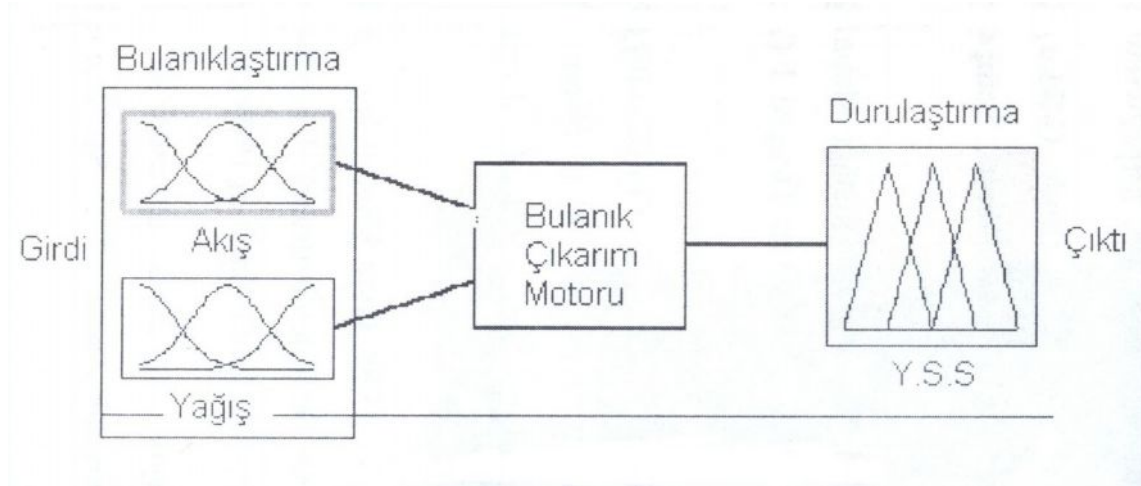


Şekil 1.5 Bulanık Mantığın Çalışma Şeması

- **Giriş/Veri Tabanı:** İncelenecek olan olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir.
- **Bulanıklaştırıcı:** Sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işleminin yapıldığı bölümdür.
- **Bulanık Kural Tabanı:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, EĞER-İSE türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir.
 - Sürücü adayına hız şu kadar km'ye varınca gaza şu kadar miktar bas denilecek yerde, eğitim sırasında

‘EĞER hız düşük İSE gaza fazlaca bas’ veya ‘EĞER hız yüksek İSE gaza az bas’ gibi kurallar söylenir.
- **Durulaştırma:** Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürüldüğü birimdir.
- **Çıkış:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir (Şen 2004).
- **Bulanık Çıkarım Motoru:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin bir çıkışlı

davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar. Çoklu girdiler kural tabanı ve çıkarım motoru ile işlenerek tek çıktı haline dönüştürülür (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 Mamdani tipi Bulanık Modelle

Yapay zeka metotlarından biri olan bulanık mantığın su mühendisliği alanında kullanımı çok fazla olmamakla birlikte giderek yaygınlaşmaktadır (Chang and Chen 2001; Xiong *et al.* 2001).

Su kalitesinin gözlemlenmesi, tek başına önemli bir değer taşımaz. Belirli bir değere sahip kirlilik parametresi ancak doğal olarak plan seviyeleri ve yönetmelikler hakkında bilgi bulunduğu anlam kazanır (Icaga 2007). Geleneksel su kalite yönetmelikleri keskin kümeler ile belirlenen kalite sınıflarını içerir ve farklı sınıflar arasındaki sınırlar içsel olarak bir muğlâklığa sahiptirler (Silvert 2000). Üst ve alt limitler içeren metotların iki belirsizliği bulunmaktadır. Öncelikle, geleneksel su kalite değerlendirme yöntemleri süreksiz bir form kullanırlar. Bu sınıflandırma tekniği, bu yaklaşım kullanıldığında bir parametrenin sınırlara yakın ya da uzak olması derişim değerlendirmesinde eşit önem taşıyacağından, veri ile ilgili olarak kaba ve kesinliği olmayan bir yaklaşıma neden olabilir. İkinci olarak, her kalite parametresi dört sınıftan birine ait olabilir. Yani tüm parametreler tek bir sınıf içerisinde bulunamazlar. Tek bir örnekleme bölgesinden

oluşturulmuş çeşitli kalite sınıflarının varlığı söz konusu örnekleme bölgesinin kalite tanımlamasında belirsizliğe yol açabilir (Icaga 2007).

Bulanık mantık, karmaşık bildirimleri doğal dilden matematiksel bir şekilciliğe çevirmeye olanak sağlayan bir dil olarak gözlenebilir (McNeil and Thro 1994). Bulanık mantık, yüksek değişkenlikte, dilbilimsel, belirsiz ve kararsız veri ya da bilgilerle ilgilenebilir ve böylelikle çevresel uygulamalarda veri toplanmasından veri kullanımına doğru mantıklı, güvenilir ve şeffaf bilgi akışına olanak sağlama becerisine sahiptir (Adriaenssens *et al.* 2004).

Bulanık mantık, gözlemler arası uyumsuzluk ve kesin değer yargılarına ihtiyaç duyulması gibi sık karşılaşılan pek çok problemi çözerek çevresel dizinlerin geliştirilmesi alanında uygulanabilir. Genellikle su kalitesini tanımlayan bir sayısal ölçek kullanan ve parametre değerlerini çeşitli kalite özelliklerine toplayan bir alternatif yöntem sağlayan bulanık sentetik değerlendirme, çevresel kalite değerlendirmelerinde 1990'lerden beri kullanılmakta ve üzerinde çalışılmaktadır (Ludwig and Tulbure 1996; Liou *et al.* 2003; Liou and Lo 2005).

Suların ağır metal birikiminin belirlenmesi ile ilgili olarak bulanık mantıkla yapılmış direk bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Bu çalışmada bulanık (fuzzy) mantık ilkeleri kullanılacaktır. Şimdiye kadar önerilen doğrusal olmayan kara-kutu havza modellerine iyi bir alternatif olarak kurulacak olan bu yeni modeller doğrusal olmayan gri kutu havza modelleri olarak nitelendirilebilir.

1.5. Araştırma Sahası

Araştırma konusu olarak aldığımız Karasu ırmağı, Aras'tan sonra Erzurum yöresinin en önemli akarsuyudur. Ovayı doğu-batı yönünde kat eder. Ovanın kuzeydoğusundaki 3000–3500m yükseklikteki Karacağız, Güvercin ve Kandil Dağlarından gelen Köşk, Karagöbek ve Dumlu Derelerinin birleşmesinden sonra Karasu adını alır. Önce güneybatıya doğru akar, sonra batıya yönelir. Ilıca ilçesinden Pulur Çayını alarak ovayı

terk eder. Karasunun buradaki drenaj alanı 1642 km² ve ortalama akımı 4,304 m³/sn dir. Karasu nehrini birçok yan dereler beslemektedir. Bu akarsuların çoğu yazın Karasuya ulaşmadan kurur.

Karasu ırmağı belirli bir kesimden sonra Erzurum şehir kanalizasyon sularına, et kombinalarının, yağ, şeker ve çimento fabrikalarının artıklarını alarak büyük ölçüde kirlenmektedir. Eylül ayı içerisinde başlayan şeker fabrikasının pancar kampanyası döneminde bulanma hat safhaya çıkmaktadır. Havza Doğu Anadolu Bölgesinin karakteristik iklimi altında olup, bitki örtüsünde karasal iklime uygundur. Bazı kısımlarda söğütler ve kavaklar bulunmakta, tabii stepler ve alp çayırları yer almaktadır. Yer yer hidrofillerden çiçekli su bitkilerine rastlanmaktadır. Emers tipi bitkiler de bulunmaktadır. Fitoplanktonda Bacillarophyta'nın hakim olduğu bildirilmiştir (Aras 1988; Altuner ve Gürbüz 1989).

Bunların yanı sıra bölgesel önemi çok büyük olan Karasu da toplu balık ölümleri 10 yıl ara ile iki defa tekrarlanmış ve suyun kirlilik boyutunu gözler önüne sermiştir. Bu nedenle sular üzerinde kirlilik problemlerinin boyutunun tahmini ve ileriye yönelik olarak tedbirlerin alınması açısından son zamanlarda su kirliliği tahminleri noktasında mühendislik metotları uygulanmaya ve modellemeler oluşturulmaya başlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Türkiye hızla büyümekte ve endüstrileşmektedir. Ülkemiz şu an itibari ile Avrupa'nın en kalabalık ülkelerinden birisidir. Büyüme, endüstrileşme ve nüfus artışı giderek daha büyük boyutlara ulaşan çevre kirlenmesi sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Su kirliliği günümüzde karşılaşılan çevre sorunlarından en önemlilerinden birisini oluşturmaktadır (Uslu ve Türkman, 1987).

Günümüzde ekolojik dengeyi tehdit eden en önemli tehlikelerin başında çevre sorunları gelmektedir. Çevre kirliliği ilk defa kentsel yaşamın başlaması sonucu ortaya çıkmış ve endüstriyel gelişime paralel olarak da artmıştır. Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısında, nüfus artışındaki hızlanmaya bağlı olarak artan çevre kirliliği, yaşam kaynaklarının daha fazla kirlenmesine neden olmuş ve sonuçta ekosistemin bozulması giderek çok daha ciddi bir hal almıştır. Nitekim ekosistemin bir bölümünü oluşturan su ortamı kullanılmış sular ve diğer atıklar için bir alıcı ve uzaklaştırıcı olarak kullanıldığında, ekosistem içinde hava ve toprağa oranla en yoğun kirlenmeye uğrayan kısım haline almıştır. Doğal dengeyi bozan bu kirletici unsurlar şu şekilde gruplandırılabilir; organik maddeler, endüstriyel atıklar, petrol türevleri, yapay tarımsal gübreler, deterjanlar, radyoaktivite, pestisitler, inorganik tuzlar, yapay organik kimyasal maddeler ve atık ısı, ağır metaller bu sınıflandırmaya göre, endüstriyel atıklar ve bazı pestisitler içinde yer alıp ekolojik dengeyi tehdit eder düzeye ulaşmaktadır (Kaya vd. 1998; Yarsan vd. 2000).

Endüstriyel aktiviteler sonucu oluşan ve hiçbir ekonomik değeri olmayan organik ve inorganik zehirli madde atıklarının meydana getirdiği su kirliliğe endüstriyel kirlilik denilmektedir (Tünay 1996). Endüstriyel atıklar, miktarı ve kirletici türü bakımından olduğu kadar, doğal olmayan bileşimleri bakımından problemlidir (Başbüyük 1998). Tarımda kullanılan azotlu, fosfatlı ve nitratlı gübrelerle, benzine katılan kurşun türevleri, endüstri tesisleri tarafından sulara boşaltılan bakır, çinko, krom, nikel ve

kadmiyum gibi zehirli elementler, sülfite zengin kağıt sanayii atıksuları, akarsular için ciddi kirlilik kaynağı oluşturmaktadır.

İnorganik kirlilik parametrelerinden en önemlisi ağır metallerdir. Bazı metaller canlılar için önemli olmalarına rağmen belirli bir derişimden sonra canlı bünyesinde birikip toksik etki oluşturmaktadırlar (Merian 1991). Metaller sularda serbest iyonlar, organik ve inorganik bileşikleri ve partikül maddelere absorbe olmuş bir şekilde bulunurlar (Egemen 1999). Absorbe olarak çöken (sediment) ağır metal iyon ve bileşiklerinin çeşitli fiziksel ve kimyasal olaylarla tekrar değişik yükseltgenme basamaklarına sahip iyonik formlara dönüşerek toksik etki yaptıkları ifade edilmektedir (Engel vd. 1981).

Ağır metaller genellikle okyanus yüzeyindeki sularda düşük yoğunluklarda bulunurlar ve oradan yükselip atmosfere taşınırlar (Okcu vd. 2009) Yüksek seviyeleri sahil kıyılarında ve nehir sularının yüzeyinde meydana gelirler. Şehir merkezlerine yakın alanlarda kirlilik, kanalizasyon çıkışlarıyla birleşir (Wickfors and Ukeles 1982; Rebhun and Amotz 1984) fakat seviyeleri endüstri alanlarının yakınlarında yükselir (Cotté-Krief *et al.* 2000; Bu-Olayan *et al.* 2001; Eser and Volpe 2002).

Her bakımdan zehirleyici özelliğe sahip olan ağır metaller çeşitli kaynaklardan çevreye yayılmakta ve günümüzde çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden birini oluşturmaktadır (Goyer 1991).

Toksik madde içeren ağır metaller, özellikle bakır (Cu), çinko (Zn), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) toprak yüzeyine yüksek konsantrasyonlarda lağım suyu içeren sulu çamur bırakırlar (Schmidt 1997), bunlar gıda zinciri içerisine taşınabilir, yüksek toksik madde içermelerinden dolayı, insan ve hayvan sağlığı ve ürün üretimi üzerinde bir tehdit unsuru olabilirler (Korentajar 1991). Ağır metaller su ve tarımsal ekosistemlerden gıda zincirine girebilir ve insan sağlığını doğrudan tehdit edebilirler (Chen *et al* 2001; Okcu vd. 2009).

Bununla birlikte akarsularda ağır metal kirliliğinin tayini üzerine yapılmış olan birçok çalışma mevcuttur. Ceyhan Nehri, Gediz Nehri, Aksu Çayı, Yeşilırmak, Abdal ırmağı, Mert Irmağı, Kürtün Irmağı, Kızılırmak, Engiz Irmağı, göl, gölet ve denizsel ortamlar olmak üzere bütün çalışmalarda özellikle endüstri ve sanayinin yoğun olduğu bölgelerle, yerleşim bölgelerine yakın yerlerdeki su kaynaklarında veya istasyonlarda toksik etki yapan ağır metallerin yoğunluğu gözlenmiştir (Kayar ve Çelik 2003; Toroğlu vd. 2006; Yılmaz ve Yaman 1999; Arıman vd. 2007; Türkmen 2003).

Sulardaki metal analizleri için geliştirilmiş birçok yöntem vardır. Bu amaçla Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (GFAAS) yaygın olarak kullanılmaktadır (Fifield and Haines 1997).

Sularda kirlilik parametrelerinin değerlendirilmesi ve su kalite sınıflandırılması için birçok matematiksel modelleme metotları kullanılmaya çalışılmıştır.

Bulanık sentetik değerlendirme de dahil olmak üzere bazı yöntemler genellikle su kalite durumunu değerlendirmek için kullanılmaktadır (Liu *et al.* 2009; Zou *et al.* 2006) Bunlar; madde eleman modeli (Wang *et al.* 2004.), lojistik eğrisi modeli (Jin *et al.* 2003), Gri analizi yöntemi (Zhang *et al.* 2004), nitelik tanıma modeli (Wang and Zou 2008) ve yapay sinir ağları (YSA).

Örneğin bir akarsuyun herhangi bir kontrol kesitindeki debisi ile katı madde miktarı arasında üstel bir ilişkinin olduğu varsayılan katı madde anahtar eğrileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Vansickle and Beschta, 1983; Thomas 1985; Demiröz 1989; Mizumura 1989, Crawford 1991; Salas and Shin 1999; Hasnain and Thayyen 1999; Asselman 2000; Picouet *et al.* 2001; Krishnaswamy *et al.* 2001).

Yenilmez ve Aksoy (2007) yaptıkları bir çalışmada Ulubat gölü su kalitesini WAPS7.2 modeli ile sınıflandırırken, Salihoğlu ve Karaer (2005) tarafından yapılan başka bir çalışmada Ulubat gölünün Askıdaki katı maddeler, Kimyasal Maddeler, Besi Maddeleri ve Avlanma kriterleri esas alınarak bulanık mantık teorisine dayalı bir yaklaşımla

Ekolojik risk değerlendirmesini (ERD) ortaya koymaya çalışmıştır. Bir diğer çalışmada Kişi vd. (2003) nehirlerdeki askıda katı madde miktarını bulanık mantık ile modellemiştir.

Lu and Lo(2002) yaptıkları bir çalışmada su kalitesini teşhis etmek için çok bilinmeyenli bir trofik durum işaretleme yöntemi geliştirmişler ve bu yöntemi bulanık sentetik değerlendirme ile değerlendirmişlerdir. Haiyan (2002) evresel kalitenin değerlendirilmesi çalışılmasında çeşitli yöntemlerin test edildiğini belirterek bu yöntemleri beş genel kategoriye ayırmıştır: (1) uzman değerlendirmesi; (2) işaret değerlendirmesi; (3) ekonomik analitik yöntem; (4) işlemsel değerlendirme ve (5) kapsamlı bulanık değerlendirmesidir. Çalışmada in'in Hunan eyaletindeki Zhuzhou kentinde 1997 verileri ile in Ulusal Kalite Standartları temel alınarak hava, su ve toprağın kalitesinin değerlendirilmesi için kapsamlı bulanık değerlendirme yöntemi uygulanmıştır. Adriaenssens *et al.*(2004) Ekosistem yönetiminde karar desteği için kullanılan bulanık mantık uygulamalarını değerlendirip eleştirmişlerdir. Sürdürebilirlik, evresel değerlendirmeler ve öngörü modelleri gibi alanlarda bulanık mantık uygulamalarının çok umut vaat ettiğini belirtmişlerdir.

Prato (2005) Ekosistem sürdürebilirliğini değerlendirmek için bir bulanık mantık yaklaşımı ne sürmüş ve bulanık mantık yaklaşımının bir ekosistemin güçlü sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde geleneksel keskin kümeler yaklaşımından daha uygun olduğunu belirtmiştir. Shen *et al.*(2005) Kapsamlı bulanık değerlendirme kullanarak Taihu Gölü su bölümü çizgisi üzerinde birleşik ağır metal ve organik-klorür böcek ilacı kirliliğinin durumunu incelemiş ve çevresel toprak kalitesini değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeyi: (1) değerlendirme parametrelerinin belirlenmesi; (2) yelik fonksiyonlarının oluşturulması; (3) yelik fonksiyon matrisinin hesaplanması; (4) ağırlık matrisinin hesaplanması; (5) bulanık algoritmanın kararlaştırılması ve (6) verinin istatistiksel analizi şeklinde 6 adıma dayandırmışlardır. Bunun sonucunda kapsamlı bulanık değerlendirme ile toprağın çevresel kalitesinin incelenmesi ve değerlendirilmesi için bilimsel bir temel sağladığını belirtmişlerdir.

Altunkaynak vd. (2005) ise Haliç'teki tarihsel aylık eriyik oksijen kayıtlarındaki doğrusal eğilimi fark edip ayıklayıp, eriyik oksijen değişimlerini Tagaki-Sugeo bulanık mantık yaklaşımı ile modellemişlerdir.

Fakat bulanık mantıkla kirlilik parametrelerinin değerlendirilmesi konusu oldukça sınırlıdır. Bulanık mantığın genel kavramları ve terminolojisi 1965 yılında Kaliforniya üniversitesinde Azerbaycan asıllı Lütfü Askerzade (Zadeh) tarafından ortaya atılmıştır. "Fuzzy Sets" isimli makalesinde bulanık kümeleri ve üyelik fonksiyonları tanıtmıştır. Zadeh bu çalışmasında klasik küme teorisinin tanımlayamadığı kümelerden hareket ederek bu tanımlara ulaşmanın yollarını aramıştır (Şen 2001; Elmas 2003).

Bulanık mantık her şeyden önce düşünce, kavram, terim (kelime), önerme (cümle) ve çıkarımlara dayanır. Fakat şu özellikleri ile diğer mantık türlerinden ayrılır. Bulanık mantıkta belirsizlikler işin içine katılabilir. Mesela klasik mantıkta güzel denilince bunun karşıtı çirkindir. Oysa bulanık mantıkta güzel, daha güzel, oldukça güzel gibi kavramlar işin içine girer. Veya klasik mantıkta Siyah-beyaz ikilemesinin yerine bulanık mantık bunun arasındaki gri ve tonlarını da kabul eder. Yani bulanık mantıkta "çoklu" ifade tarzı vardır.

Bulanık mantığın ilk uygulaması Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin bulanık denetiminin gerçekleştirilmesi ile olmuştur. 1980 Yılında bir Hollanda Şirketi çimento fırınlarının denetiminde bulanık mantık denetimi uygulamıştır. Üç yıl sonra Fuji elektrik şirketi su arıtma alanları için kimyasal püskürtme aleti üzerine çalışmalar yapmıştır.

Son zamanlarda bulanık küme teorisi üzerindeki gelişmeler mühendislik bilgisine, psikolojiye, tıp ve deprem tahmini gibi çeşitli mühendislik uygulamalarına kadar girmiştir. Bulanık kümeler mevcut yapıların hasar tespiti için bulanık güvenlik ölçümlerinin tanımı, depremin şiddetinin değerlendirmesi, yük kombinasyonlarının bulanık modeli, Winkler yapısı üzerindeki kirişlerin bulanık davranışı, farklı materyallerin devirli yüklemesi, otomatik sürekli eleman jenerasyonu ve binalardaki

dinamik hareketlerin aktif kontrolü çalışmaları için uygulanmıştır (Rajasekaran *et al.* 1995).

Mühendisliğin birçok dalında kullanılan bulanık mantık teoreminin su ve su kirliliği konusundaki kullanımını henüz yeni olmakla beraber kesin sonuç alınmış bir uygulaması mevcut değildir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Su materyali

Çalışmadaki su materyali olarak Erzurum bölgesinde bulunan Karasu ırmağında su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre seçilen 5 istasyondan alınan örnekler kullanılmıştır. Örnekleme Ocak-Aralık 2010 tarihleri arasında 12 ay boyunca yapılmıştır.

3.1.2. Çalışmanın yürütüleceği yer

Çalışmalar, Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi ve Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Laboratuvarlarında yürütülmüştür.

3.2. Metot

3.2.1. İstasyonların belirlenmesi

İstasyonlar Karasu Irmağının Dumlu-Aşkale arasında Su Kirliliği yönetmeliğine uygun olarak mabadan mansaba doğru seçilmiş ve aralarında en az 5km olmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca tüm bölgelerin örneklenmesi açısından çeşitli sanayi atıklarının, kanalizasyonların suya karıştığı bölgeler istasyonların belirlenmesinde dikkate alınmıştır.

3.2.1.a. 1. İstasyon

Birinci istasyon Karacağız Güvercin ve Kandil Dağlarından gelen Köşk, Karagöbek ve Dumlu Derelerinin birleşmesinden sonra asıl olarak Karasu Irmağının olduğu bölge seçilmiştir. 40°1'45.60"K ve 41°18'42.97"E koordinatlarında olan istasyon kaynağa en

yakın istasyon olmasının yanı sıra hemen yanı başında Erzurum merkez Yolgeçti Köyü bulunmakta ve tarımın yoğun olarak yapıldığı bir bölgedir. Özellikle ovada tarımsal faaliyetlerde ilaç ve gübre kullanımı oldukça fazladır. Diğer yandan ilkbahar mevsiminden sonbahar mevsiminin sonlarına kadar hayvanların yoğun olarak otlaklarda olması dolayısıyla organik atıkların suya karışımı ile köy kanalizasyonu ve köydeki temizlik faaliyetlerinin atıklarının da suya deşarjı söz konusudur.



Şekil 3.1. 1. İstasyonun Orijinal Görüntüsü



Şekil 3.2 1. İstasyonun Uydu Görüntüsü

3.2.1.b. 2. İstasyon

İkinci istasyon birinci istasyondan yaklaşık 9km uzaklıkta olan ve ırmağın Erzurum ovası içinden batıya yöneldiği kısımdadır. $39^{\circ}58'14.16''K$ ve $41^{\circ}12'51.32''E$ koordinatlarında bulunmaktadır. İstasyona en yakın köy yaklaşık 1-2km mesafededir. Erzurum havaalanı yoluna yaklaşık 3km mesafede bulunmaktadır. Nehir bu kısımda genişlemekte ve herhangi bir kıvrım yapmadan yaklaşık 15km'lik alanda akmaktadır. Burada nehire karışan ve dağlardan gelen debisi düşük birkaç kaynak suyu bahar ayı boyunca karışmakta ve diğer mevsimlerde kurmaktadır. Bu istasyona özellikle tarımsal faaliyet atıklarının yanı sıra kombinadan gelen kesimhane atıkları da deşarj olmaktadır.



Şekil 3.3 2. İstasyonun Orijinal Görüntüsü



Şekil 3.4 2. İstasyonun Uydu Görüntüsü

3.2.1.c. 3. İstasyon

Üçüncü istasyon ikinci istasyondan yaklaşık 5,5km uzaklıkta Erzurum havalimanı yolundan yaklaşık 500m içeridedir. İstasyon 39°58'4.14"K ve 41°8'49.86"E koordinatlarında bulunmaktadır. İstasyona en yakın köy veya yerleşim birimi 1km uzaklıkta bulunmaktadır. Bu istasyonda suya karışan herhangi bir su kaynağı bulunmamaktadır. İstasyon bölgesinde işlemeli tarım yapılmakta ve civar köylerin arazileri bulunmaktadır. Özellikle istasyon bölgesi hayvan otlağı olarak da kullanılmaktadır. Akıntı bu istasyonda yön değiştirmekte ve Aşkale ilçesine doğru yönelmektedir. Yatak genişlemekte ve derinlik artmaktadır. Eğim düşmekte ve akıntı hızı bu istasyonda oldukça düşmektedir. İstasyon bölgesinde suya karışan organik atıklar, tarımsal ilaç, gübre kalıntıları ve doğal gübreler suya karışmaktadır.



Şekil 3.5 3. İstasyonun Orijinal Görüntüsü



Şekil 3.6 3. İstasyonun Uydu Görüntüsü

3.2.1.d. 4. İstasyon

Dördüncü istasyon hemen Aziziye ilçesinin çıkışında seçilmiş olup üçüncü istasyonla arasında yaklaşık olarak 6km'lik mesafe vardır. İstasyon $39^{\circ}57'11.02''K$ ve $41^{\circ}4'20.54''E$ koordinatlarında bulunmaktadır. İstasyona karışan ve yazın kuruyan birkaç küçük su kaynağı bulunmaktadır. İstasyon ilçenin hemen çıkışında bulunması sebebiyle suya atık madde karışımı oldukça fazladır. İstasyon civarında işlemeli tarım pek fazla yoğun değildir. İstasyonun hemen yanı başında yağ fabrikası ve şeker fabrikası bulunmaktadır. Aynı zamanda Erzurum-Erzincan karayoluyla birleşiktir. İstasyon üçüncü istasyona göre daha dar olmasına karşın eğim ve akıntı aynıdır. Bir önceki istasyondan bu istasyona kadar olan mesafede nehir Aziziye ilçesinin içinden geçmektedir.



Şekil 3.7 4. İstasyonun Orijinal Görüntüsü



Şekil 3.8 4. İstasyonun Uydu Görüntüsü

3.2.1.e. 5. İstasyon

Bu istasyon Karasu Irmağının Erzurum ovasını terk ettiği bölgeden seçilmiştir. İstasyon Aşkale ilçesi Kandilli Beldesi girişindedir. Bir önceki istasyonla arasında yaklaşık 15km'lik bir mesafe bulunmaktadır. İstasyon $39^{\circ}54'40.20''K$ ve $40^{\circ}51'16.64''E$ koordinatlarında bulunmaktadır. İstasyon bölgesi işlemeli tarımın yoğun olarak yapıldığı, ilaç ve gübre kullanımının yaygın olduğu bir bölgedir. Yerleşim yerine oldukça yakındır. Diğer yandan özellikle ilkbahardan kış başlarına kadar hayvanların oldukça yoğun şekilde otladıkları bir bölgedir. Bu bölgede istasyona karışan herhangi bir su kaynağı yoktur. İstasyon civarında nehre karışan kanalizasyon atıkları bulunmaktadır. İstasyonda ırmağın genişliği, derinliği, akım hızı hemen bir önceki istasyonla aynı düzeydedir.



Şekil 3.9 5. İstasyonun Orijinal Görüntüsü



Şekil 3.10 5. İstasyonun Uydu Görüntüsü

3.2.2. Su örneklerinin alınması

Her ay her bir istasyondan 2 adet su örneği istasyonun tamamını örnekleyecek bir konumdan Nansen şişesi yardımı ile alınmıştır. Alınan örnekler 0,45 µm'lik membran filtrelerle süzülerek polietilen şişelere konulmuştur. Hem nansen şişesi hem de polietilen şişeler ortam suyu ile en az üç defa çalkalanmıştır (Alam *et al.* 2001).

3.2.3. Su örneklerinin analizi

Alınan su örneklerindeki ağır metal birikiminin belirlenmesi Fast Sequential Flame Atomic Absorption Spectrometry Atomic cihazı ile yapılmıştır. İstatistiki değerlendirmeler SPSS paket programı ile yapılmıştır.

3.2.4. Sonuçların su kalite sınıflandırılması

Ağır metallerle kirletilmiş bir nehir üzerindeki 5 adet istasyondan alınan örneklerin su kalitelerinin ölçülmesinde, tek faktörlü kirlilik belirleme ve Nemerov çok yönlü kirlilik belirleme metodu kullanılmıştır (Wei-Xin *et al.* 2008).

Tek faktörlü kirlilik belirleme metodunun hesaplaması şöyle ifade edilebilir;

$$P_i = C_i / S_i$$

Ve Nemerov çok yönlü belirleme metodunun matematiksel formülü de şöyledir:

$$P = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i\right)^2 + [\max(P_i)]^2}{2}}$$

Burada P_i ; ağır metalin kirlilik indeksi, C_i ; ağır metalin gözlemlenen gerçek değerleri, S_i ; nehrin geçmişte ölçülen değerleridir. (Bu değerde Çizelgedeki 2. sınıf suların ağır metal miktarları esas alınmıştır.) P ise; Nemero çok yönlü kirlilik belirleme indeksidir.

Su kalitesinin bulanık mantıkla ölçülmesi için üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde her ağır metalin ölçülen değerleri, temsil ettikleri su kalite sınıfının ne kadarına ait oldukları bulanık mantık matrisi dizisiyle gösterilmiş ve üyelik dereceleri elde edilmiştir.

Su kalitesinin bulanık mantıkla ölçülmesi için üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi;

Üyelik fonksiyonları bulanık sete ait belirlenmiş yoğunlukların üstünlük derecelerini temsil eder. Her seviyedeki ağır metallerin üyelik dereceleri, üyelik fonksiyonlarının formül dizisiyle niceliksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$U_{i,m} = \begin{cases} 1 - U_{m-1}(C_i) & e_{m-1} \leq C_i \leq e_m \\ (e_{m+1} - C_i) / (e_{m+1} - e_m) & e_m \leq C_i \leq e_{m+1} \\ 0 & C_i \geq e_{m+1} \end{cases}$$

Burada $U_{i,m}$ mg kg⁻¹ cinsinden ağır metalin üyelik derecesi, C_i ağır metalin mg kg⁻¹ olarak gözlemlenen değeri ve e_m m cinsinden değer kriterleridir.

Ağır metallerin su kalitesi açısından tek başlarına yaptıkları girişimler büyük değişiklikler gösterdiği için her bir ağır metalin bütün içerisindeki ağırlığı ayrı olarak ele alınmıştır. Ağır metallerin su kalitesi açısından tek başlarına yaptıkları girişimler büyük değişiklikler gösterdiği için her bir ağır metalin bütün içerisindeki ağırlığını ayrı olarak ele almak çok önemlidir.

$$W_{i,k} = \frac{C_{i,k} / A_i}{\sum_{t=1}^n C_{i,k} / A_i}$$

Burada, $W_{i,k}$ ağır metalin girişimi, $C_{i,k}$ ağır metalin istasyonlardan ölçülen asıl değeri, A_i ağır metalin ortalama değerlendirme kriterleridir.

5 istasyonun su kalitesi iki farklı bulanık mantık matematiksel metot kullanılarak değerlendirilmiştir (Wei-Xin *et al.* 2008).

1- Tek faktörlü karar modeli,

2- Ağırlıklı ortalama modeli,

Tek faktörlü karar verme modelinin hesaplaması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$b_m = \max_{i=1}^n W_i \cdot u_{i,m}$$

Ağırlıklı ortalama modelinin formülü ise;

$$b_m = \sum_{i=1}^n W_i \cdot u_{i,m}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Formüllerdeki b_m son değerlendirme sonucunun üyelik derecesi, W_i ağır metalin girişimi, $U_{i,m}$ ağır metalin üyelik derecesidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Ağır Metal Bulguları

4.1.1. Demir (Fe) bulguları

Beş istasyondan yapılan 12 aylık demir (Fe) ölçümlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Demir’e İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları (ppm)

Demir(Fe) (ppm)	İstasyonlar									
	1.İstasyon		2.İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ocak	0,207	0,236	0,040	0,038	0,154	0,140	0,074	0,067	0,183	0,192
Şubat	0,245	0,257	0,040	0,043	0,173	0,154	0,082	0,073	0,199	0,208
Mart	0,223	0,238	0,041	0,039	0,156	0,142	0,075	0,068	0,185	0,194
Nisan	0,220	0,236	0,040	0,038	0,154	0,140	0,074	0,067	0,184	0,193
Mayıs	0,270	0,277	0,048	0,048	0,192	0,168	0,090	0,080	0,215	0,224
Haziran	0,296	0,299	0,053	0,053	0,213	0,183	0,099	0,086	0,232	0,241
Temmuz	0,293	0,297	0,052	0,052	0,211	0,182	0,098	0,086	0,230	0,240
Ağustos	0,293	0,297	0,053	0,053	0,211	0,182	0,099	0,086	0,230	0,240
Eylül	0,242	0,260	0,045	0,042	0,169	0,154	0,081	0,074	0,202	0,212
Ekim	0,213	0,231	0,039	0,037	0,147	0,137	0,071	0,066	0,179	0,189
Kasım	0,199	0,218	0,037	0,034	0,137	0,128	0,066	0,061	0,169	0,178
Aralık	0,219	0,239	0,040	0,038	0,151	0,141	0,073	0,068	0,186	0,196

İstasyonlardan elde edilen demir verilerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.2’de, istasyonların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.3’te ve ayların tanımlayıcı istatistikî değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir. İstasyonlar arasında demir değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p < 0.01$). Ana varyasyon kaynaklarından ayların demir değişimleri üzerine etkisinin önemsiz ($p > 0.05$) olduğu, aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan önemli ($p < 0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 Demir verilerine ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Aylar	11	0,004	0,5
İstasyonlar	4	0,179	382,4**
Aylar x İstasyonlar	44	0,013	174,8**
Hata	60	0,000	

**p<0.01

Çizelge 4.3 İstasyonlardaki demir kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

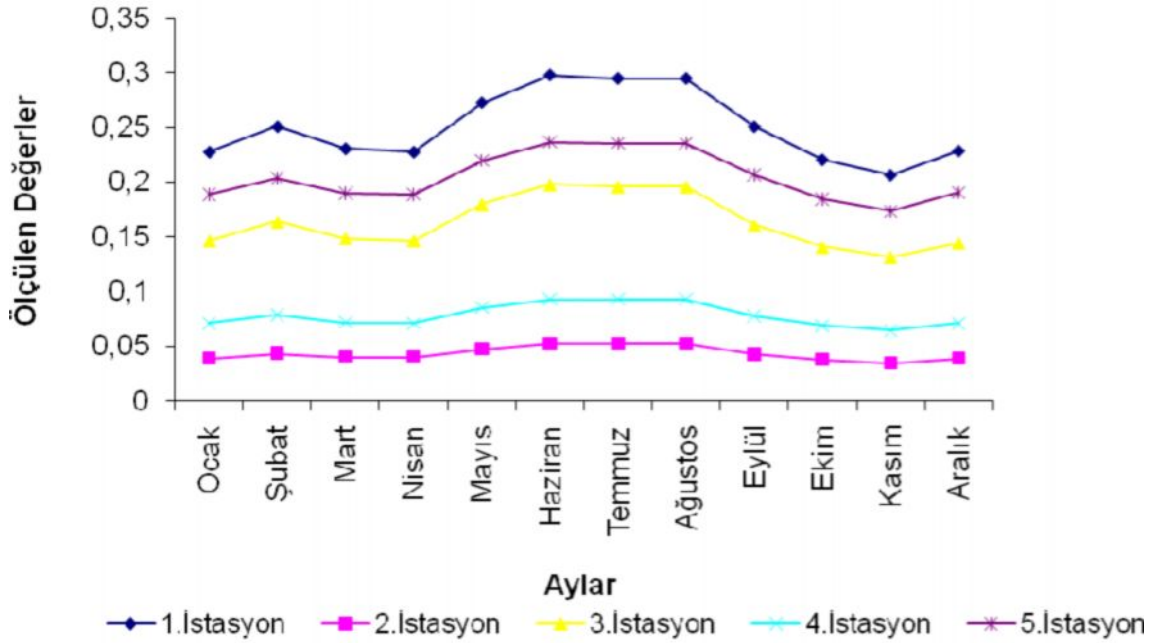
İstasyonlar	n	\bar{x} ±SD
1. İstasyon	24	0,25 ^a ±0,03
2. İstasyon	24	0,04 ^e ±0,01
3. İstasyon	24	0,16 ^c ±0,02
4. İstasyon	24	0,08 ^d ±0,01
5. İstasyon	24	0,20 ^b ±0,02

Farklı Harfi Taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir.(p>0.05)

 \bar{x} = Ortalama; SD= Standart Sapma**Çizelge 4.4** Aylardaki demir kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

Aylar	n	X±SD
Ocak	10	0,14±0,07
Şubat	10	0,15±0,08
Mart	10	0,14±0,07
Nisan	10	0,14±0,07
Mayıs	10	0,16±0,09
Haziran	10	0,18±0,10
Temmuz	10	0,18±0,10
Ağustos	10	0,18±0,10
Eylül	10	0,15±0,08
Ekim	10	0,13±0,07
Kasım	10	0,13±0,07
Aralık	10	0,14±0,08

İstasyonlara Ait Aylık Demir(Fe) Değişimleri



Şekil 4.1 İstasyonlara Ait Aylık Demir(Fe) Değişim Grafiği

İstasyonlara ait yapılan değerlendirmelerde demir değerleri akarsularda su kirliliği ve kontrol yönetmeliğine göre istenen değerler sınırında tespit edilmiştir. Toroğlu vd (2006) yaptıkları çalışmada Aksu Çayı ve kollarında demir ortalamasını Aksu I'de 1,658, Erkenez'de 2,321, Oklu Deresinde 0,663, Karasu'da 0,331 ve Aksu II istasyonunda 1,160 ppm olarak bildirmişler ve istasyonların hepsinin demir açısından çok kirli olduğunu tespit etmişlerdir.

Orta Karadeniz kıyılarındaki bazı nehirlerde yapılan çalışmada ortalama demir verileri Yeşilirmak'ta 0,014, Abdal ırmağında 0,029, Mert ırmağında 0,020, Kürtün ırmağında 0,059, Engiz ırmağında 0,311 ve Kızılırmak'ta 0,553mg/l olarak bildirilmiştir (Arıman vd 2007).

Buna karşın elde ettiğimiz verilerde 1. İstasyonda demir değeri diğerlerinden yüksek bulunmuştur. Bunun en önemli sebebi olarak 1. istasyonun kaynağa en yakın istasyon

olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Karasu ırmağı üç farklı bölgeden doğan kaynak sularının birleşimi ile meydana gelmektedir. Gray (1996) tarafından yapılan çalışmada aşırı demirin kaynak sularında önemli bir problem olduğu belirtilmiştir. Diğer yandan topraklarda ve yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerden birisi olduğu rapor edilmiştir (Türkmen 2003; ATSDR 2010). Ayrıca yaz aylarında istasyonların hepsinde demir verilerinin diğer aylara göre yüksek seyrettiği gözlemlenmiştir. Bu da özellikle bu aylarda tarımdan kaynaklanan gübre ve ilaç kullanımının yoğunluğu ve su kaynağının sıcaklık artışından dolayı zayıflaması ve besleyen kolların düşmesine bağlanabilmektedir.

4.1.2. Bakır(Cu) bulguları

Beş istasyonda yapılan 12 aylık bakır(Cu) ölçümlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Bakır’a İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)

Bakır(Cu) (ppm)	İstasyonlar									
	1.İstasyon		2.İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ocak	0,678	0,780	0,540	0,509	0,718	0,734	0,342	0,352	0,235	0,245
Şubat	0,607	0,716	0,501	0,474	0,643	0,680	0,312	0,310	0,207	0,223
Mart	0,685	0,786	0,543	0,512	0,725	0,739	0,345	0,356	0,238	0,247
Nisan	0,678	0,780	0,539	0,509	0,718	0,734	0,342	0,351	0,235	0,245
Mayıs	0,829	0,926	0,632	0,593	0,877	0,862	0,410	0,439	0,296	0,296
Haziran	0,943	1,037	0,717	0,674	0,995	0,965	0,483	0,521	0,362	0,357
Temmuz	0,903	0,981	0,661	0,617	0,955	0,905	0,438	0,486	0,326	0,314
Ağustos	0,903	0,997	0,677	0,634	0,955	0,925	0,443	0,481	0,322	0,317
Eylül	0,746	0,858	0,594	0,560	0,790	0,808	0,376	0,387	0,259	0,270
Ekim	0,653	0,760	0,528	0,499	0,691	0,718	0,332	0,336	0,225	0,238
Kasım	0,610	0,714	0,497	0,470	0,646	0,676	0,311	0,313	0,209	0,223
Aralık	0,671	0,785	0,547	0,518	0,711	0,743	0,342	0,344	0,230	0,245

İstasyonlardan elde edilen bakır verilerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.6'da, istasyonların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.7'de ve ayların tanımlayıcı istatistiki değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir. İstasyonlar arasında bakır değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p<0.01$). Ana varyasyon kaynaklarından ayların bakır değişimleri üzerine etkisinin önemli ($p>0.05$) olmadığı, aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan önemli ($p<0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6 Bakır verilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Aylar	11	0,068	1,3
İstasyonlar	4	1,351	170,9**
Aylar x İstasyonlar	44	0,106	81,4**
Hata	60	0,001	

** $p<0.01$

Çizelge 4.7 İstasyonlardaki bakır kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

İstasyonlar	n	$\bar{X} \pm SD$
1. İstasyon	24	0,79 ^a $\pm 0,12$
2. İstasyon	24	0,56 ^b $\pm 0,07$
3. İstasyon	24	0,79 ^a $\pm 0,11$
4. İstasyon	24	0,38 ^c $\pm 0,06$
5. İstasyon	24	0,26 ^d $\pm 0,05$

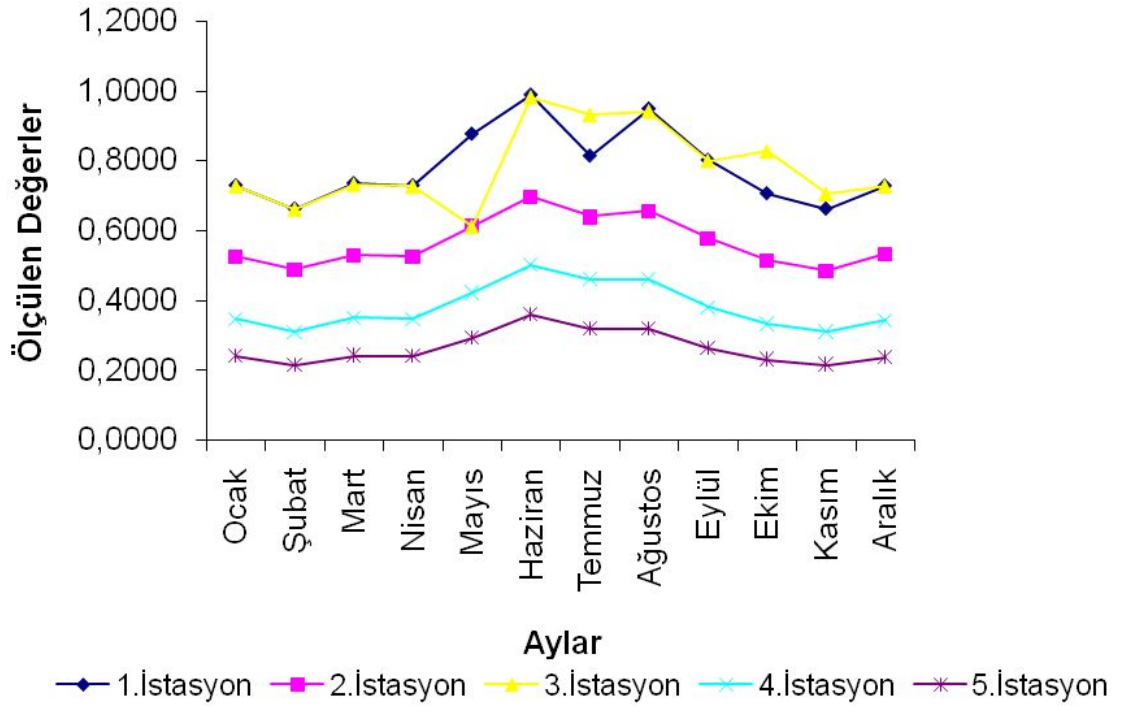
Farklı Harfi Taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir. ($p>0.05$)

\bar{x} = Ortalama; SD= Standart Sapma

Çizelge 4.8 Aylardaki bakır kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

Aylar	n	$\bar{X} \pm SD$
Ocak	10	0,51 $\pm 0,21$
Şubat	10	0,47 $\pm 0,19$
Mart	10	0,52 $\pm 0,21$
Nisan	10	0,51 $\pm 0,21$
Mayıs	10	0,61 $\pm 0,25$
Haziran	10	0,70 $\pm 0,27$
Temmuz	10	0,66 $\pm 0,26$
Ağustos	10	0,66 $\pm 0,27$
Eylül	10	0,57 $\pm 0,23$
Ekim	10	0,50 $\pm 0,20$
Kasım	10	0,47 $\pm 0,19$
Aralık	10	0,51 $\pm 0,21$

İstasyonlara Ait Aylık Bakır(Cu) Değerleri Değişimi



Şekil 4.2 İstasyonlara Ait Aylık Bakır(Cu) Değişim Grafiği

İstasyonlardan elde edilen bakır(Cu) verileri doğrultusunda yapılan değerlendirmede Çevre Bakanlığının 2004 yılında yayınlamış olduğu sulara ağır metal miktarlarına göre kalite standartları ve Baltacı (2000)'in bildirdiği su kalite standartları doğrultusunda 5 istasyonunda değerlerinin çok kirli olarak nitelendirilen IV. Sınıf su kategorisinin (>0.2ppm) üstünde olduğu belirlenmiştir.

Yeşilirmak, Abdal Irmağı, Mert, Kürtün, Engiz ve Kızılırmak'ta yürütülen çalışmada bakır metalinin ortalamaları sırasıyla; 0,013mg/l, 0,009mg/l, 0,009mg/l, 0,07mg/l, 0,428mg/l ve 0,085mg/l olarak bildirilmiştir (Arıman vd 2007).

Büyük Menderes nehrinde yapılan bir araştırmada ağır metal ölçümlerinde bakır ortalaması 0,010-0,012mg/l olarak belirtilirken, Gediz nehrinde ise 0,011-0,013mg/l

arasında olduğu bildirilmiştir (Akçay vd. 2003). Toroğlu vd. (2006) yılında yaptıkları çalışmada Aksu çayı ve besleyen kollarından aldıkları bakır değerlerini Aksu I'de 0,063ppm, Erkenez'de 0,031ppm, Oklu'da 0,063ppm, Karasu'da 0,031ppm ve Aksu II'de 0,063ppm olarak tespit etmişlerdir.

Literatürlere göre elde edilen veriler değerlendirildiğinde Karasu ırmağından seçilen 5 istasyonda da bakır verileri oldukça yüksektir. Bakıra kaynaklık eden ve sulara yayılımını artıran en önemli faaliyetlerden bazılarını Hauri (2001), pestisitler, soğutma suyu deşarjı, işleme endüstrisi, araba ve kamyon fren balataları ve yoğun endüstri faaliyetleri olarak bildirmiştir. Bu doğrultuda istasyonlarda bakır değerlerinin yüksek olması rahatlıkla açıklanabilir. Irmağın seçilen istasyonları boyunca ovada yoğun şekilde işlemeli tarım yapılmakta ilaç ve gübre yoğun şekilde kullanılmaktadır. Diğer yandan bu istasyonlar bölgesinde şeker fabrikası, çimento fabrikası, yağ fabrikası faaliyetlerini sürdürdüğu gibi istasyonların karayoluna yakınlığı da önemli etkenlerdendir. Öte yandan istasyonlara ait değerlerin Mayıs ayı ile birlikte yükselişe geçmesi de özellikle bu mevsimde yağışların artmasına bağlı olarak yağmurlarla taşınan ağır metal iyonlarının sulara ve topraklara deşarjı şeklinde izah edilmektedir.

4.1.3. Çinko(Zn) bulguları

Beş istasyondan yapılan 12 aylık Çinko (Zn) ölçümlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.9 Çinko'ya İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)

Çinko(Zn) (ppm)	İstasyonlar									
	1.İstasyon		2.İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ocak	1,226	1,248	0,976	0,939	0,337	0,317	0,646	0,636	0,518	0,573
Şubat	1,138	1,164	0,874	0,869	0,307	0,279	0,568	0,579	0,464	0,526
Mart	1,234	1,256	0,986	0,945	0,340	0,321	0,654	0,642	0,524	0,578
Nisan	1,226	1,249	0,976	0,939	0,337	0,317	0,646	0,637	0,519	0,574
Mayıs	1,436	1,454	1,193	1,102	0,404	0,396	0,807	0,763	0,634	0,681
Haziran	1,489	1,505	1,250	1,329	0,387	0,384	0,835	0,775	0,641	0,684
Temmuz	1,503	1,514	1,299	1,157	0,432	0,439	0,895	0,816	0,690	0,721
Ağustos	1,539	1,554	1,299	1,182	0,437	0,434	0,885	0,825	0,691	0,733
Eylül	1,349	1,374	1,074	1,033	0,371	0,349	0,711	0,701	0,571	0,631
Ekim	1,199	1,224	0,940	0,918	0,327	0,303	0,618	0,618	0,499	0,559
Kasım	1,130	1,154	0,878	0,864	0,307	0,282	0,575	0,580	0,467	0,525
Aralık	1,243	1,269	0,966	0,950	0,338	0,310	0,632	0,637	0,513	0,577

İstasyonlardan elde edilen çinko verilerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.10'da, istasyonların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.11'de ve ayların tanımlayıcı istatistikî değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir. İstasyonlar arasında çinko değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p < 0.01$). Ana varyasyon kaynaklarından ayların çinko değişimleri üzerine etkisinin önemli ($p > 0.05$) olmadığı , aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan önemli ($p < 0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10 Çinko verilerine ait varyans analiz tablosu.

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Aylar	11	0,105	0,80
İstasyonlar	4	3,482	295,3**
Aylar x İstasyonlar	44	0,258	251,7**
Hata	60	0,001	

** $p < 0.01$

Çizelge 4.11 İstasyonlardaki çinko kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

İstasyonlar	N	$\bar{X} \pm SD$
1. İstasyon	24	1,32 ^a ±0,14
2. İstasyon	24	1,03 ^b ±0,14
3. İstasyon	24	0,35 ^c ±0,05
4. İstasyon	24	0,69 ^c ±0,10
5. İstasyon	24	0,59 ^d ±0,08

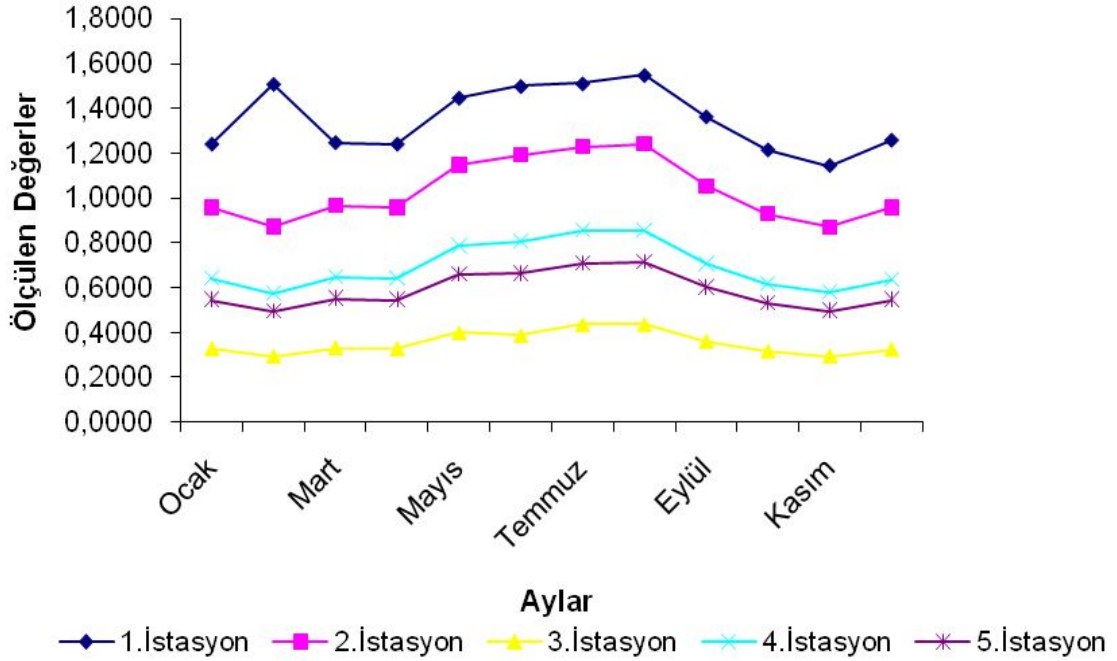
Farklı Harfi Taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir.(p>0.05)

\bar{X} = Ortalama; SD= Standart Sapma

Çizelge 4.12 Aylardaki çinko kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

Aylar	n	$\bar{X} \pm SD$
Ocak	10	0,74±0,34
Şubat	10	0,68±0,32
Mart	10	0,75±0,34
Nisan	10	0,74±0,34
Mayıs	10	0,89±0,39
Haziran	10	0,91±0,42
Temmuz	10	0,95±0,40
Ağustos	10	0,96±0,42
Eylül	10	0,82±0,37
Ekim	10	0,72±0,33
Kasım	10	0,68±0,31
Aralık	10	0,74±0,35

İstasyonlara Ait Aylık Çinko(Zn) Değişimleri



Şekil 4.3 İstasyonlara Ait Aylık Çinko(Zn) Değişim Grafiği

Sularda çinko değerlerine göre yapılan sınıflandırmada temiz (I.sınıf) sularda 0,2ppm, az kirli (II.Sınıf) sularda 0,5ppm, kirli (III. Sınıf) sularda 2,0ppm ve çok kirli (IV. Sınıf) sularda >2,0ppm sınırları belirtilmiştir (SKKY 1987; Baltacı 2000; Göksu 2003). Bu veriler doğrultusunda istasyonlardan elde edilen veriler incelendiğinde verilerin belirtilen sınırlar içersinde olduğu ve genelinin çinko açısından kirli sular sınıfına girdiği görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen veriler de bu sonuçları destekler niteliktedir. Kayar ve Çelik (2003) yaptıkları çalışmada Gediz nehrinde beş istasyondan aldıkları örneklerde ağır metal çalışmış ve çinko düzeylerinin 12 aylık periyotta sırasıyla Nif Çayında 60-3300 μ /l, İstanbul Köprüsünde 60-3300 μ /l, Karaçay'da 250-3600 μ /l, Muradiye Köprüsünde 70-2820 μ /l ve Menemen Yolunda 60-3200 μ /l arasında olduklarını ve özellikle yağışların bol olduğu Mayıs ayında ani şekilde yükselme olduğunu belirtmişlerdir. Toroğlu vd. (2006)'da yaptıkları çalışmada Aksu Çayında belirledikleri

istasyonlarda çinko miktarının değişimlerini 0,165ppm, 0,179ppm, 0,484ppm, 0,221ppm ve 0,262ppm olarak rapor etmişlerdir.

İstatistiki sonuçlara bakıldığında ortalamalar açısından birinci istasyon kaynağa en yakın istasyon olması nedeni ile en yüksek ortalamayı vermiştir. Burada toprağın tuttuğu ve yapısında bulundurduğu ağır metal yükü önemli bir etkidir. Diğer istasyonlarda da su kalite sınıflandırmasına göre kirli gurubuna dahil ortalamalar çıkması istasyonlar bölgesinde yerleşim yerlerinin olması, endüstri faaliyetlerinin yürütülmesi ve yoğun tarım uygulamalarına bağlanmaktadır. Öte yandan ortalamaların Mayıs ayı ile birlikte yükselmesi yağış ortalamasının bu aylarda oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

4.1.4. Mangan (Mn) bulguları

Beş istasyondan yapılan 12 aylık Mangan(Mn) ölçümlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Mangan’a İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)

Mangan (Mn) (ppm)	İstasyonlar									
	1.İstasyon		2.İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ocak	0,779	0,986	0,084	0,099	0,685	0,460	0,148	0,047	0,048	0,011
Şubat	0,866	1,077	0,091	0,108	0,761	0,500	0,163	0,053	0,054	0,012
Mart	0,787	0,993	0,084	0,100	0,692	0,463	0,150	0,048	0,049	0,011
Nisan	0,779	0,986	0,084	0,099	0,685	0,460	0,148	0,048	0,048	0,011
Mayıs	1,037	1,259	0,105	0,124	0,912	0,579	0,193	0,065	0,066	0,014
Haziran	1,048	1,269	0,105	0,125	0,921	0,583	0,194	0,066	0,067	0,014
Temmuz	1,152	1,377	0,114	0,134	1,013	0,630	0,212	0,073	0,075	0,016
Ağustos	1,037	1,259	0,105	0,124	0,912	0,580	0,193	0,065	0,066	0,014
Eylül	0,857	1,084	0,092	0,109	0,753	0,506	0,163	0,052	0,053	0,012
Ekim	0,751	0,960	0,082	0,098	0,660	0,450	0,144	0,045	0,046	0,011
Kasım	0,701	0,902	0,077	0,092	0,617	0,423	0,135	0,042	0,043	0,010
Aralık	0,771	0,992	0,085	0,101	0,678	0,465	0,149	0,046	0,047	0,011

İstasyonlardan elde edilen mangan verilerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.14'te, istasyonların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.15'te ve ayların tanımlayıcı istatistikî değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir. İstasyonlar arasında Mangan değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p<0.01$). Ana varyasyon kaynaklarından ayların Mangan değişimleri üzerine etkisinin önemli ($p>0.05$) olmadığı, aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan önemli ($p<0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14 Mangan verilerine ait varyans analiz tablosu.

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Aylar	11	0,033	0,20
İstasyonlar	4	4,250	316,3**
Aylar x İstasyonlar	44	0,300	22,16***
Hata	60	0,014	

** $p<0.01$

Çizelge 4.15 İstasyonlardaki mangan kirliliğinin tanımlayıcı istatistikî değerleri.

İstasyonlar	N	$\bar{X} \pm SD$
1. İstasyon	24	0,99 ^a $\pm 0,18$
2. İstasyon	24	0,10 ^c $\pm 0,02$
3. İstasyon	24	0,64 ^b $\pm 0,17$
4. İstasyon	24	0,11 ^c $\pm 0,06$
5. İstasyon	24	0,03 ^d $\pm 0,02$

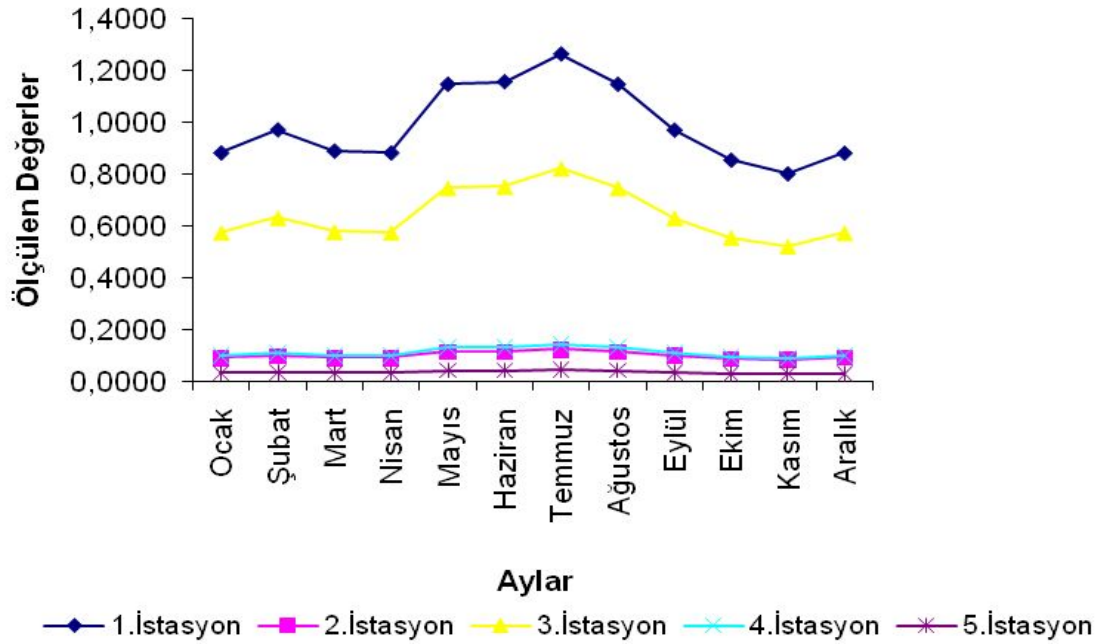
Farklı Harfi Taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistikî olarak önemlidir. ($p>0.05$)

\bar{X} = Ortalama; SD= Standart Sapma

Çizelge 4.16 Aylardaki mangan kirliliğinin tanımlayıcı istatistikî değerleri.

Aylar	n	$\bar{X} \pm SD$
Ocak	10	0,34±0,36
Şubat	10	0,37±0,40
Mart	10	0,34±0,37
Nisan	10	0,34±0,36
Mayıs	10	0,43±0,47
Haziran	10	0,44±0,47
Temmuz	10	0,48±0,52
Ağustos	10	0,44±0,47
Eylül	10	0,37±0,40
Ekim	10	0,32±0,35
Kasım	10	0,30±0,33
Aralık	10	0,33±0,36

İstasyonlara Ait Aylık Mangan(Mn) Değişimleri



Şekil 4.4 İstasyonlara Ait Aylık Mangan(Mn) Değişim Grafiği

İstasyondan elde edilen mangan verileri su kirliliği ve kontrol yönetmeliği ile değerlendirildiğinde kabul edilebilir sınırlar içerisinde görülmektedir. Uslu ve Türkman (1987) ve Baltacı (2000)'in bildirdiklerine göre temiz sularda 0,1ppm, az kirli sularda 0,5ppm, kirli sularda 3,0ppm ve çok kirli sularda >3,0ppm mangan sınırlarıdır. İstasyonların bazıları bu sınırların oldukça altında seyrederken geneli mangan bakımından kirli su grubuna girmektedirler.

Aksu çayından seçilen beş istasyondan ölçülen mangan değerleri Toroğlu vd (2006) tarafından sırasıyla 0,012ppm, 0,045ppm, 0,019ppm, 0,019ppm ve 0,019ppm şeklinde bildirilmiştir. Arıman vd (2007) tarafından yapılan başka bir çalışmada mangan ortalamaları Yeşilirmak'ta 0,091ppm, Abdal Çayında 0,134ppm, Mert ırmağında 0,358ppm, Kürtün ırmağında 0,206ppm, Engiz ırmağında 0,928ppm ve Kızılırmak'ta 0,310ppm olarak rapor edilmiştir. Gediz nehri üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise Kayar ve Çelik (2003) seçilen beş istasyonda mangan verilerini sırasıyla aylara göre 100-840 µ/l, 27-500 µ/l, 70-500 µ/l, 63-390 µ/l ve 10-200 µ/l arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Karasu ırmağından yapılan ölçümler neticesinde elde edilen verilere göre 1 ve 3. istasyonlar hariç diğer ortalamalar mangan açısından temiz su grubuna dahil olmaktadır. (SKKY) 1 ve 3. istasyonlarda ortalamalar genel olarak 1ppm'e yakın değerler göstermektedir. Bu da suyun mangan açısından kirli olduğu durumu ortaya koymaktadır. Özellikle mangan topraklarda ve su kaynaklarında doğal olarak bulunabilen bir ağır metal olması (ATSDR 2010) ile bu durum izah edilebilir. Çünkü birinci istasyon kaynağa en yakın istasyon ve farklı birkaç su kaynağının birleşiminden oluşmaktadır. Öte taraftan 3. istasyon dolaylarında suya karışan ve dağlardan kendiliğinden çıkan birkaç farklı yeraltı su kaynağı bulunmaktadır. Mayıs ayı ile birlikte bütün istasyonlarda ortalamaların yükselmesi yine bu ayda özellikle yağışlardan dolayı atmosferden taşınan metal iyonlarının su kaynağına deşarjından kaynaklanmaktadır.

4.1.5. Kurşun (Pb) bulguları

Beş istasyondan yapılan 12 aylık Kurşun (Pb) ölçümlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17 Kurşun’a İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)

Kurşun (Pb) (ppm)	İstasyonlar									
	1.İstasyon		2.İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ocak	0,078	0,099	0,008	0,009	0,068	0,046	0,015	0,018	0,049	0,031
Şubat	0,087	0,107	0,009	0,011	0,077	0,051	0,017	0,019	0,053	0,033
Mart	0,079	0,099	0,008	0,010	0,069	0,046	0,015	0,018	0,049	0,031
Nisan	0,078	0,099	0,008	0,010	0,068	0,046	0,015	0,018	0,049	0,031
Mayıs	0,104	0,124	0,011	0,014	0,094	0,060	0,020	0,023	0,061	0,038
Haziran	0,105	0,125	0,011	0,014	0,095	0,060	0,020	0,023	0,062	0,039
Temmuz	0,094	0,119	0,010	0,012	0,083	0,056	0,018	0,022	0,059	0,037
Ağustos	0,104	0,124	0,011	0,014	0,094	0,060	0,020	0,023	0,061	0,038
Eylül	0,086	0,109	0,009	0,011	0,075	0,051	0,016	0,020	0,054	0,034
Ekim	0,075	0,096	0,008	0,009	0,065	0,047	0,014	0,017	0,048	0,030
Kasım	0,070	0,091	0,008	0,009	0,061	0,042	0,013	0,016	0,045	0,029
Aralık	0,077	0,099	0,008	0,010	0,067	0,046	0,015	0,018	0,049	0,031

İstasyonlardan elde edilen kurşun verilerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.18’de, istasyonların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.19’da ve ayların tanımlayıcı istatistikî değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir. İstasyonlar arasında kurşun değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p<0.01$). Ana varyasyon kaynaklarından ayların kurşun değişimleri üzerine etkisinin önemli ($p>0.05$) olmadığı , aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan önemli ($p<0.01$) olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4.18 Kurşun verilerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Aylar	11	0,000	0,3
İstasyonlar	4	0,030	224,7**
Aylar x İstasyonlar	44	0,002	13,67***
Hata	60	0,000	

**p<0.01

Çizelge 4.19 İstasyonlardaki kurşun kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

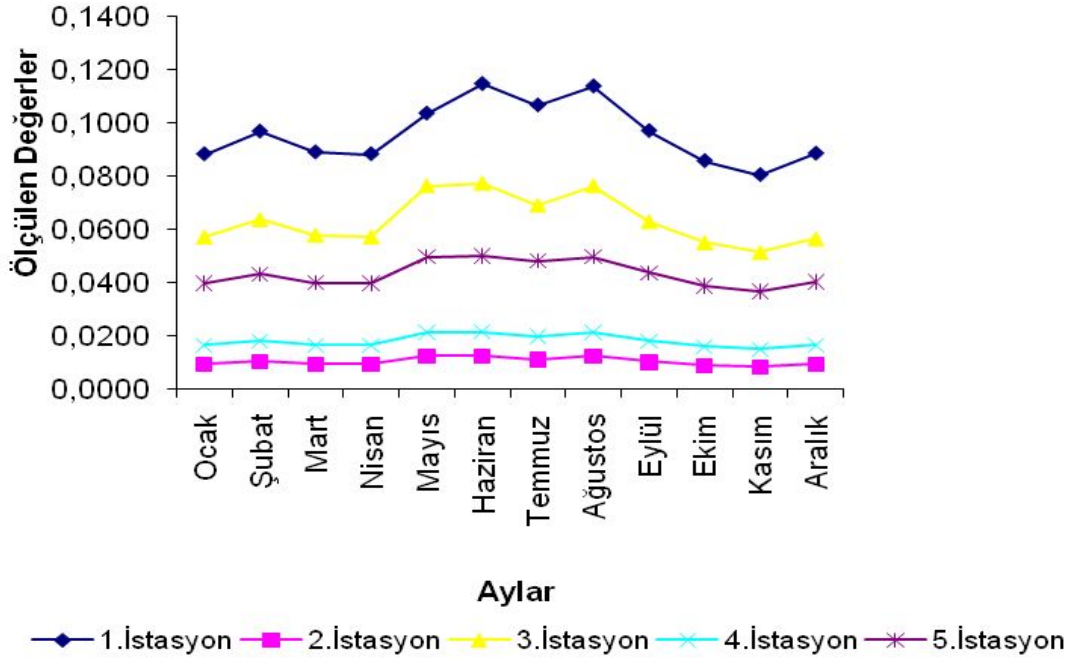
İstasyonlar	n	$\bar{X} \pm SD$
1. İstasyon	24	0,10 ^a ±0,02
2. İstasyon	24	0,01 ^e ±0,00
3. İstasyon	24	0,06 ^b ±0,02
4. İstasyon	24	0,02 ^d ±0,00
5. İstasyon	24	0,04 ^c ±0,01

Farklı Harfi Taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir.(p>0.01)

 \bar{x} = Ortalama; SD= Standart Sapma**Çizelge 4.20** Aylardaki kurşun kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

Aylar	n	$\bar{X} \pm SD$
Ocak	10	0,04±0,03
Şubat	10	0,05±0,03
Mart	10	0,04±0,03
Nisan	10	0,04±0,03
Mayıs	10	0,05±0,04
Haziran	10	0,06±0,04
Temmuz	10	0,05±0,04
Ağustos	10	0,05±0,04
Eylül	10	0,05±0,03
Ekim	10	0,04±0,03
Kasım	10	0,04±0,03
Aralık	10	0,04±0,03

İstasyonlara Ait Aylık Kurşun(Pb) Değişimleri



Şekil 4.5 İstasyonlara Ait Aylık Kurşun(Pb) Değişim Grafiği

Sularda bildirilen Kurşun (Pb) sınırlarına göre 0,02 ppm'e kadar olanlar Temiz, 0,05ppm'e kadar olanlar Az Kirli, 0,2ppm'e kadar olanlar Kirli ve >0,2ppm olanlar ise Çok Kirli sular olarak sınıflandırılmıştır (Uslu ve Türkman 1987; Baltacı 2000). Bu sınıflandırma çerçevesinde istasyonlardan elde edilen verilere bakıldığında 2., 4. ve 5. istasyonlar temiz su gurubuna girmektedirler. 1. ve 3. istasyonlardan elde edilen verilerde genel anlamda az kirli veya kirli su gurubuna dahil edilebilmekle beraber tahammül edilen sınıflandırma sınırlarının içerisinde yer almaktadır.

Aksu Çayı ve kolları üzerine yapılan bir çalışmada Pb değerleri 1,562-4,688ppm arasında bulunmuş ve beş istasyonda çok kirli sınıfına dahil edilmiştir (Toroğlu vd. 2006). Sin *et al* (2001) tarafından Hong Kong'ta Shing Mun Irmağında 8 istasyonda yürüttüğü çalışmasında kurşun değerlerini 0,126-0,354mg/g olarak tespit etmiş ve kirli sular sınıfına dahil etmiştir.

Çin'de Le An ırmağı üzerine yapılan bir başka çalışmada Kurşun(Pb) ortalamaları 16 istasyonda 29-208mg/kg arasında tespit edilmiş ve mevsimsel değişimler olduğu belirtilmiştir (He *et al* 1997). Arıman vd. (2007) tarafından yapılan bir başka çalışmada kurşun (Pb) ortalamaları Kızılırmak'ta 0,357mg/l, Yeşilirmak'ta 0,148mg/l, Abdal çayında 0,237mg/l, Mert çayında 0,675mg/l, Kürtün ırmağında 0,171mg/l ve Engiz ırmağında 0,130mg/l olarak bildirmişlerdir.

Çalışmamızda elde edilen kurşun verilerine bakıldığında 1 ve 3. istasyonlar hariç diğer istasyonlarda kirlilik sınırlarının altındadır. 1 ve 3. istasyonlarda ortalamanın diğer istasyonlardan yüksek olması iki istasyonunda transit yollara yakınlığı ve yerleşim birimlerinin yakınında olması ile açıklanabilir. Kurşun yayılımı özellikle doğaya kurşunlu benzin ve endüstri atıkları ile deşarj olmaktadır. Bu iki istasyonun ana yol kenarında oluşları ve yerleşim yerlerinin hemen yanı başında olması ortalamayı artırıcı unsur olarak görülmektedir. Diğer yandan 3. istasyon dolaylarında yoğun fabrika atıklarının suya karışması bir diğer etkindir. Genel anlamda istasyonlarda mayıs ayı ile birlikte başlayan bir yoğunlaşma görülmektedir ki buda ilgili aylarda yoğun yağışlara bağlanmaktadır.

4.1.6. Nikel (Ni) bulguları

Beş istasyondan yapılan 12 aylık Nikel (Ni) ölçümlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21 Nikel'e İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)

Nikel (Ni) (ppm)	İstasyonlar									
	1.İstasyon		2.İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ocak	0,123	0,125	0,098	0,094	0,034	0,032	0,065	0,064	0,052	0,057
Şubat	0,114	0,116	0,087	0,087	0,031	0,028	0,057	0,058	0,046	0,053
Mart	0,123	0,126	0,098	0,095	0,034	0,032	0,065	0,064	0,052	0,058
Nisan	0,154	0,155	0,130	0,118	0,044	0,043	0,088	0,083	0,069	0,073
Mayıs	0,144	0,145	0,119	0,110	0,040	0,040	0,081	0,076	0,063	0,068
Haziran	0,155	0,156	0,131	0,119	0,044	0,044	0,090	0,083	0,069	0,074
Temmuz	0,167	0,168	0,144	0,129	0,048	0,048	0,099	0,091	0,076	0,080
Ağustos	0,154	0,155	0,130	0,118	0,044	0,043	0,088	0,083	0,069	0,073
Eylül	0,135	0,137	0,107	0,103	0,037	0,035	0,071	0,070	0,057	0,063
Ekim	0,120	0,122	0,094	0,092	0,033	0,030	0,062	0,062	0,050	0,056
Kasım	0,113	0,115	0,088	0,086	0,031	0,028	0,057	0,058	0,047	0,052
Aralık	0,124	0,127	0,097	0,095	0,034	0,031	0,063	0,064	0,051	0,058

İstasyonlardan elde edilen nikel verilerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.22'de, istasyonların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.23'te ve ayların tanımlayıcı istatistikî değerleri Çizelge 4.24'te verilmiştir. İstasyonlar arasında nikel değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p<0.01$). Ana varyasyon kaynaklarından ayların nikel değişimleri üzerine etkisinin önemli ($p>0.05$) olmadığı, aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan önemli ($p<0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22 Nikel verilerine ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Aylar	11	0,002	1,2
İstasyonlar	4	0,037	199,0**
Aylar x İstasyonlar	44	0,003	235,5**
Hata	60	0,000	

** $p<0.01$

Çizelge 4.23 İstasyonlardaki nikel kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

İstasyonlar	n	$\bar{X} \pm SD$
1. İstasyon	24	0,14 ^a ±0,02
2. İstasyon	24	0,11 ^b ±0,02
3. İstasyon	24	0,04 ^c ±0,01
4. İstasyon	24	0,07 ^c ±0,01
5. İstasyon	24	0,06 ^d ±0,01

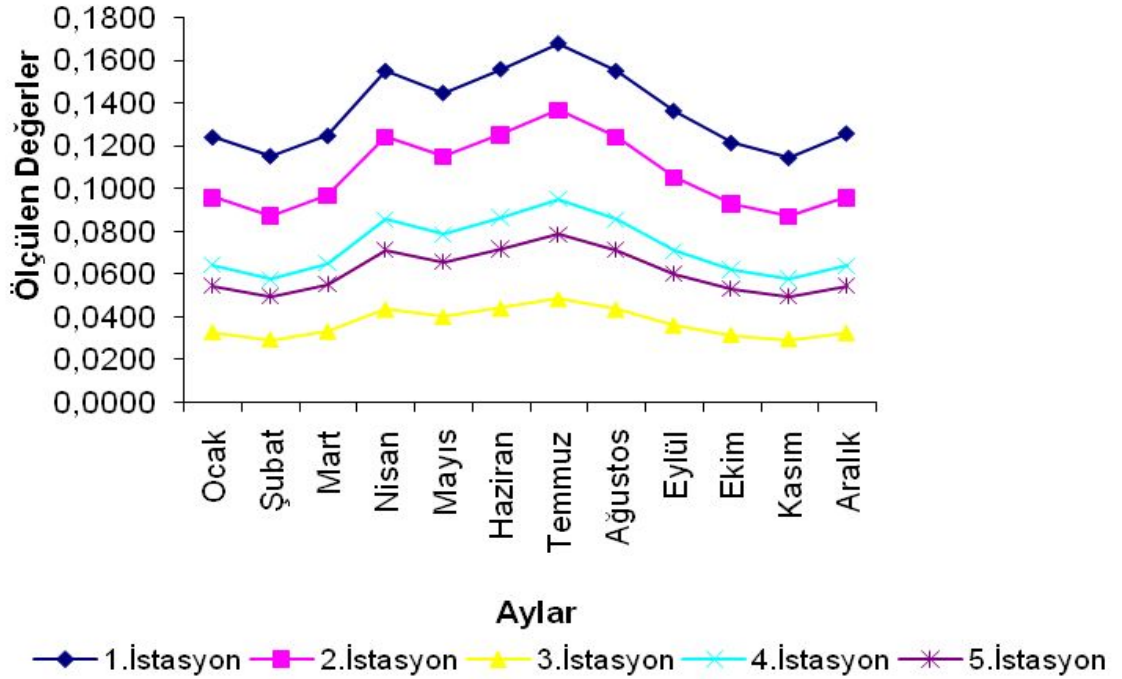
Farklı Harfi Taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir.(p>0.01)

\bar{x} = Ortalama; SD= Standart Sapma

Çizelge 4.24 Aylardaki nikel kirliliğinin tanımlayıcı istatistiki değerleri.

Aylar	n	$\bar{X} \pm SD$
Ocak	10	0,07±0,03
Şubat	10	0,07±0,03
Mart	10	0,07±0,03
Nisan	10	0,10±0,04
Mayıs	10	0,09±0,04
Haziran	10	0,10±0,04
Temmuz	10	0,10±0,04
Ağustos	10	0,10±0,04
Eylül	10	0,08±0,04
Ekim	10	0,07±0,03
Kasım	10	0,07±0,03
Aralık	10	0,07±0,03

İstasyonlara Ait Aylık Nikel(Ni) Değişimleri



Şekil 4.6 İstasyonlara Ait Aylık Nikel (Ni) Değişim Grafiği

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde genel anlamda Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre akarsularda tahammül edilen sınırlar dâhilindedir. Adı geçen yönetmelik 3, 4 ve 5. istasyonlar Nikel açısından az kirli sular sınıfına girerken 1 ve 2. istasyon kirli sular gurubuna dahil olmaktadır.

Rios-Arana *et al.* (2003) Teksas ve Meksika arasında bulunan Rio Grande ırmağında yedi istasyonda yürütmüş oldukları çalışmada ağır metal konsantrasyonlarını tespit etmiş ve nikel ortalamalarının 0,004 ile 0,759mg/l arasında değiştiğini bazı istasyonlarda <0,004mg/l olduğunu belirtmişlerdir. Orta Karadeniz kıyı şeridinde bulunan 6 ırmak üzerine Arıman vd. (2007) tarafından yapılan bir diğer çalışmada nikel verileri en yüksek Engiz ırmağında 0,725mg/l olarak bulunurken en düşük ortalama 0,089mg/l ile Yeşilırmakta ölçülmüştür.

Yunanistan ve Makedonya ülkelerinde beş ırmağın farklı bölgelerinden alınan örnekler üzerine yapılan bir ağır metal çalışmasında nikel verileri Aliakmonas Irmağında 1,1-22,2 $\mu\text{g/l}^{-1}$, Pinios Irmağında 0,9-12,4 $\mu\text{g/l}^{-1}$, Kalamas Irmağında 0,6-6,2 $\mu\text{g/l}^{-1}$, Louros Irmağında 0,3-5,9 $\mu\text{g/l}^{-1}$ ve Aoos Irmağında 1,6-8,5 $\mu\text{g/l}^{-1}$ arasında olduğu bildirilmiştir (Karamanis *et al.* 2008).

Aksu Çayı ve kolları üzerindeki ağır metal kirliliğinin tespiti üzerine yapılan bir başka çalışmada nikel (Ni) Aksu I.'de 0,096ppm, Erkenez'de 0,485ppm, Oklu'da 0,258ppm, Karasu'da 0,126ppm ve Aksu II.'de 0,90ppm olarak tespit edilmiştir (Toroğlu vd. 2006).

Çalışmada elde edilen veriler literatürlerle değerlendirildiğinde genel anlamda düşük olsa da uyum göstermektedir. 1 ve 2. istasyonlarda elde edilen nikel verileri diğer istasyonlara göre sınıflandırmanın içinde olsa da yüksek seyretmiştir. Özellikle bu iki istasyon işlemeli tarımın yoğun olarak yapıldığı, yani gübre ve pestisit gibi ilaçların yoğun olarak kullanıldığı yakın köylerin yoğun tarımsal faaliyet sürdürdüğü alanlardır. Bu nedenle bu iki istasyonda verilerin yüksek oluşu büyük ölçülerde buna bağlanmaktadır. Diğer yandan kaynağa en yakın istasyon olmaları ve bu bölgede suya dağlardan gelerek karışan birçok küçük kolların oluşu da bir diğer etmen olarak karşımıza çıkmaktadır. Beş istasyonda da mayıs ayı ile birlikte başlayıp yaz ayları boyunca devam eden yükseliş ise hem bahar ile birlikte yoğun yağışların olması hem de yine bu aylarda tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşması ile izah edilebilecektir.

4.1.7. Kadmiyum (Cd) bulguları

5 istasyondan yapılan 12 aylık Kadmiyum(Cd) ölçümlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25 Kadmiyuma'a İlişkin İstasyonların 12 Aylık Değişim Sonuçları(ppm)

Kadmiyum (Cd) (ppm)	İstasyonlar									
	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Ocak	0,007	0,008	0,005	0,005	0,007	0,007	0,003	0,004	0,002	0,002
Şubat	0,008	0,009	0,006	0,006	0,008	0,008	0,004	0,004	0,003	0,003
Mart	0,007	0,008	0,005	0,005	0,007	0,007	0,004	0,004	0,003	0,004
Nisan	0,009	0,010	0,007	0,006	0,010	0,009	0,004	0,005	0,003	0,003
Mayıs	0,008	0,009	0,006	0,006	0,009	0,009	0,004	0,004	0,003	0,003
Haziran	0,010	0,011	0,007	0,007	0,010	0,010	0,005	0,005	0,003	0,003
Temmuz	0,010	0,011	0,007	0,007	0,011	0,010	0,005	0,005	0,004	0,004
Ağustos	0,009	0,010	0,007	0,006	0,010	0,009	0,004	0,005	0,003	0,003
Eylül	0,008	0,009	0,006	0,006	0,008	0,008	0,004	0,004	0,003	0,003
Ekim	0,007	0,007	0,005	0,005	0,007	0,007	0,003	0,003	0,002	0,002
Kasım	0,006	0,007	0,005	0,005	0,007	0,007	0,003	0,003	0,002	0,002
Aralık	0,007	0,008	0,006	0,005	0,007	0,007	0,003	0,003	0,002	0,003

İstasyonlardan elde edilen kadmiyum verilerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.26'da, istasyonların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.27'de ve ayların tanımlayıcı istatistikî değerleri Çizelge 4.28'de verilmiştir. İstasyonlar arasında kadmiyum değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir ($p<0.01$). Ana varyasyon kaynaklarından ayların kadmiyum değişimleri üzerine etkisinin önemli ($p>0.05$) olmadığı, aylar x istasyonlar interaksyonu istatistikî bakımdan önemli ($p<0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.26 Kadmiyum verilerine ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Aylar	11	0,000	1,4
İstasyonlar	4	0,000	162,4**
Aylar x İstasyonlar	44	0,000	88,9**
Hata	60	0,000	

** $p<0.01$

Çizelge 4.27 İstasyonlardaki kadmiyum kirliliğinin tanımlayıcı istatistikî değerleri.

İstasyonlar	n	$\bar{x} \pm SD$
1. İstasyon	24	0,008 ^a \pm 0,001
2. İstasyon	24	0,006 ^b \pm 0,001
3. İstasyon	24	0,008 ^a \pm 0,001
4. İstasyon	24	0,004 ^c \pm 0,001
5. İstasyon	24	0,003 ^d \pm 0,000

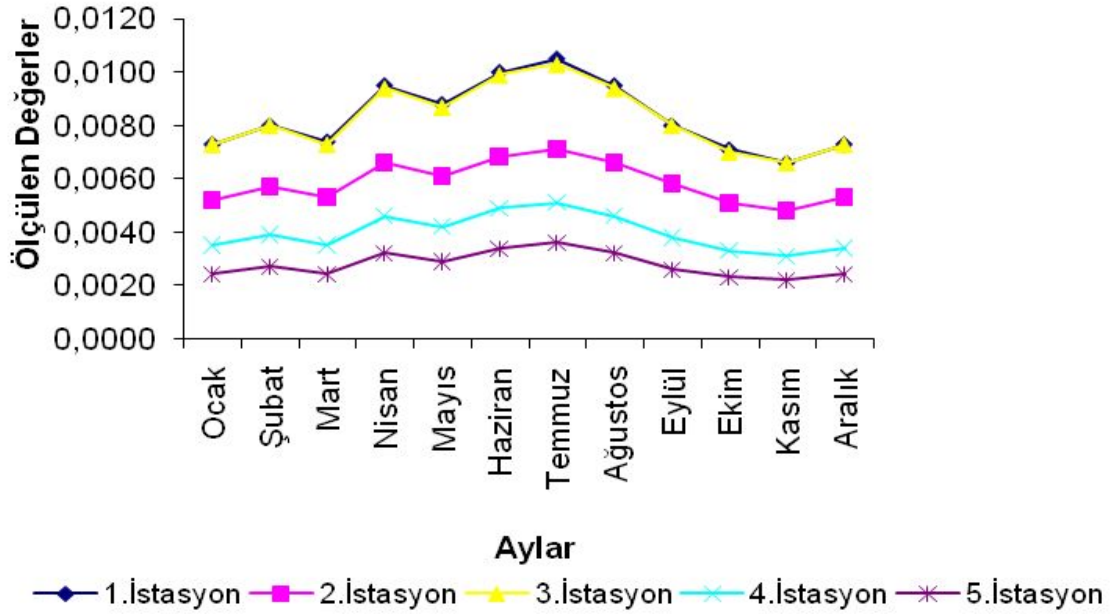
Farklı Harfi Taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistikî olarak önemlidir. (p>0.01)

\bar{x} = Ortalama; SD= Standart Sapma

Çizelge 4.28 Aylardaki kadmiyum kirliliğinin tanımlayıcı istatistikî değerleri.

Aylar	n	$\bar{x} \pm SD$
Ocak	10	0,005 \pm 0,002
Şubat	10	0,006 \pm 0,002
Mart	10	0,005 \pm 0,002
Nisan	10	0,007 \pm 0,003
Mayıs	10	0,006 \pm 0,003
Haziran	10	0,007 \pm 0,003
Temmuz	10	0,007 \pm 0,003
Ağustos	10	0,007 \pm 0,003
Eylül	10	0,006 \pm 0,003
Ekim	10	0,005 \pm 0,002
Kasım	10	0,005 \pm 0,002
Aralık	10	0,005 \pm 0,002

İstasyonlara Ait Aylık Kadmiyum(Cd) Değişim Grafiği



Şekil 4.7 İstasyonlara Ait Aylık Kadmiyum(Cd) Değişim Grafiği

Kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasına göre bünyesinde 3mg/l'ye kadar kadmiyum bulduran sular I. Sınıf yani temiz, 5mg/l'ye kadar bulduran sular II. Sınıf, yani az kirli, 10mg/l'ye kadar bulduran sular III. Sınıf yani kirli ve >10mg/l bulduran sular ise IV. Sınıf yani çok kirli sular olarak sınıflandırılmışlardır (Uslu ve Türkman 1987; SKKY 2004). Bu sınıflandırma dahilinde elde edilen verilere bakıldığında 4 ve 5. istasyonlar az kirli su gurubuna dahil olurken 3. istasyon kadmiyum açısından kirli gurubuna dahil olmaktadır. 1 ve 3. istasyonlar ise genel anlamda kirli sular gurubuna dâhilken bazı aylarda ortalama çok kirli sınıflandırılmasına kadar yükselmektedir.

Gediz ırmağı belirlenen 5 istasyonda yapılan bir çalışmada kadmiyum konsantrasyonları on iki ay boyunca Nif Çayı İstasyonunda 1-13mg/l arasında, İstanbul Köprüsü İstasyonunda 3-40mg/l arasında, Karaçay İstasyonunda 9-15mg/l arasında, Muradiye Köprüsü istasyonunda 3-20mg/l arasında ve Menemen Yolu istasyonunda 1-9mg/l arasında değiştiği bildirilmiştir (Kayar ve Çelik 2003).

Rios-Arana *et al.* (2003) Teksas ve Meksika arasında bulunan Rio Grande ırmağında yedi istasyonda yürütmüş oldukları çalışmada farklı yedi istasyondan ağır metal verileri toplamış ve kadmiyumu Boderland istasyonunda 0,285 mg/l, Montoya Drain'de 0,217mg/l, American Dam'da düşük konsantrasyonda, Gaging Station istasyonunda 0,023mg/l, La Hacienda istasyonunda 0,018mg/l, San Elizario'da <0,004mg/l ve Guayuco istasyonunda 0,225mg/l olarak tespit etmişlerdir. Yine Karadeniz kıyı şeridinde Yeşilirmak, Abdal, Mert, Kürtün, Engiz ve Kızılırmak'ta yapılan bir diğer çalışmada Kadmiyum verileri sırası ile <0,01, 0,006, 0,006, <0,01, 0,025 ve 0,006mg/l olarak tespit edilmiştir (Arıman vd. 2007).

Karasu ırmağında yapılan ölçümler neticesinde elde edilen veriler su kalite sınıflandırmasına göre tahammül edilen sınırlar içersinde değerlendirilmiştir. Tartışılan literatürlere bakıldığında ise elde edilen veriler referans bilgilerle uyumaktadır. Kadmiyuma özellikle çevresel koşullarda sanayi ve endüstri atıkları, tarımsal gübreler, deterjanlar gibi çok geniş bir faaliyet alanı kaynaklık etmektedir. Bu doğrultudan bakıldığında bu faaliyetlerin yoğunluğunun az olduğu bölgelerde bulunan istasyonlarda veriler beklenen doğrultudadır. 1 ve 3. istasyonlarda kadmiyum değerlerinin yüksek seyretmesi yukarıda sayılan faaliyetlerin özellikle tarımsal faaliyetlerde gübre ve ilaç kullanımının bir köy yerleşim yeri olan 1. istasyon dolaylarında çok yoğun olması, sanayi ve fabrika faaliyetlerinin olduğu bir bölgede olan 3. istasyon dolaylarında yoğun olarak suya karışması buradaki ortalamaların artmasını izah edebilmektedir. Yine bahar ile başlayıp yaz aylarında devam eden bir yükselmenin görülmesi ise mayıs ayında Erzurum ortalamalarında yoğun yağışların olması ve genel anlamda bu aylarda hem endüstri faaliyetlerinin hem de tarım faaliyetlerinin yoğunlaşması olarak görülmektedir.

4.2. Bulanık Modele Göre Sınıflandırma Bulguları

Çizelge 4.29'da Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd, Fe gibi bazı ağır metallerin nehirlerdeki miktarları ve bu miktarların su kalite sınıflarına göre nasıl değiştiği gösterilmiştir. Değerlendirme ölçütleri göz önünde bulundurularak sular dört grupta sınıflandırılmıştır.

1. sınıf: çok temiz, 2. sınıf: temiz, 3. sınıf: az kirli ve 4. sınıf: kirli olarak belirlenmiştir (SKKY 2004).

Çizelge 4.29 Bazı Ağır Metallerin Su Kalite Sınıflarına Göre İzin Verilen Üst Değerleri.

Ağır metaller	I. Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf	IV. Sınıf
Cu	20	50	200	>200
Zn	200	500	2000	>2000
Mn	100	500	3000	>3000
Pb	10	20	50	>50
Ni	20	50	200	>200
Cd	3	5	10	>10
Fe	300	1000	5000	>5000
Nemero çok yönlü index (P)	$P \leq 0,50$	$0,50 < P \leq 1,00$	$1 < P \leq 6$	$P > 6$

Kirlilik Belirleme Yöntemleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5 istasyondan alınan ağır metal verileri kirlilik seviyesi belirleme yöntemleriyle hesaplanarak elde edilen sonuçlar ve C_i değerleri Çizelge 4.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.30 Tek Faktörlü ve Nemero Çok Yönlü İndex Yöntemleri Kullanılarak 5 İstasyonun Su Kalitesi Değerlendirme Sonuçları.

İstasyon	İndeks	Ağır metaller							Su Kalitesi	
		Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Cd	Fe	Tek Faktörlü	Çok Faktörlü
1.	C _i ortalama	792,8	1320	987,9	97,0	136,5	8,3	251,1	Sınıf IV	Sınıf IV (P=11,4)
	C _i -SD	125,4	142,1	184,6	16,3	17,9	1,4	32,2		
	P _i	15,9	2,6	2,0	4,8	2,7	1,7	0,2		
	Sınıf	IV	III	III	IV	III	III	I		
2.	C _i ortalama	564,4	1031	100,7	10,1	107,1	5,9	43,9	Sınıf IV	Sınıf IV (P=8,0)
	C _i -SD	70,8	138,3	15,3	1,7	17,1	0,7	6,2		
	P _i	11,3	2,1	0,2	0,5	2,1	1,2	0,1		
	Sınıf	IV	III	II	II	III	III	I		
3.	C _i ortalama	788,0	352	641,2	63,4	37,0	8,3	163,6	Sınıf IV	Sınıf IV (P=11,2)
	C _i -SD	111,6	50,2	169,5	16,2	6,5	1,2	25,2		
	P _i	15,8	0,7	1,3	3,2	0,7	1,6	0,2		
	Sınıf	IV	II	III	IV	II	III	I		
4.	C _i ortalama	381,4	695	110,2	18,0	72,6	4,0	78,1	Sınıf IV	Sınıf III (P=5,4)
	C _i -SD	64,5	102,8	60,2	2,8	12,8	0,7	11,1		
	P _i	7,6	1,4	0,2	0,9	1,4	0,8	0,1		
	Sınıf	IV	III	II	II	III	II	I		
5.	C _i ortalama	264,9	587	33,8	43,3	61,2	2,8	204,6	Sınıf IV	Sınıf III (P=3,8)
	C _i -SD	46,3	80,9	23,2	11,1	10,1	0,5	22,3		
	P _i	5,3	1,2	0,1	2,2	1,2	0,6	0,2		
	Sınıf	IV	III	I	III	III	I	I		

P_i ağır metalin kirlilik indeksi, C_i-ortalama mg kg⁻¹ olarak ağır metalin ortalama değeri, C_i-SD mg kg⁻¹ olarak ağır metalin standart sapmasını gösterir.

Bulanık Matematiksel Yöntemler

Her ağır metalin ölçülen değerleri, temsil ettikleri su kalite sınıfının ne kadarına ait oldukları bulanık mantık matrisi dizisiyle gösterilir ve üyelik dereceleri elde edilir.

Aşağıdaki matris dizilerinde 5 ayrı istasyondan ölçülen ağır metallerin kirlilik seviyesini belirlemedeki girişimleri gösterilmiştir. Örneğin; 1. istasyon Cu miktarı açısından % 100 4. sınıf su kalitesine sahipken, Zn miktarı açısından %45 2. sınıf, %55 3. sınıf su kalitesine sahiptir. Yani su kalitesini bozan ağır metallerin girişimleri birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir.

İstasyon 1. için;

$$\begin{array}{c|cccc} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0,45 & 0,55 & 0 \\ 0 & 0,80 & 0,20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0,42 & 0,58 & 0 \\ 0 & 0,34 & 0,66 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

İstasyon 2. için;

$$\begin{array}{c|cccc} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0,65 & 0,35 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,62 & 0,38 & 0 \\ 0 & 0,82 & 0,18 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

İstasyon 3. için;

0	0	0	1
0,49	0,51	0	0
0	0,94	0,06	0
0	0	0	1
0,43	0,57	0	0
0	0,34	0,66	0
1	0	0	0

İstasyon 4. için;

0	0	0	1
0	0,87	0,13	0
0,98	0,02	0	0
0,20	0,80	0	0
0	0,85	0,15	0
0,50	0,50	0	0
1	0	0	0

İstasyon 5. için;

0	0	0	1
0	0,94	0,06	0
1	0	0	0
0	0,23	0,77	1
0	0,92	0,08	0
1	0	0	0
1	0	0	0

Ağır metallerin girişimlerinin belirlenmesi

Bu çalışmadaki ağırlıklar, hem su kalitesi değerlendirme kriterlerine hem de ölçülen gerçek değerlere dayanarak seçilmiştir.

5 istasyondan alınan numunelerdeki ağır metallerin girişimleri Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.31 Ağır Metallerin Su Kalitesine Olan Girişim Ağırlıkları

İstasyonlar	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Cd	Fe
1	0,34	0,08	0,04	0,21	0,23	0,09	0,01
2	0,42	0,10	0,01	0,04	0,32	0,11	0,00
3	0,50	0,03	0,04	0,20	0,09	0,13	0,01
4	0,39	0,10	0,01	0,09	0,30	0,10	0,01
5	0,30	0,09	0,00	0,24	0,27	0,08	0,02

5 istasyonun su kalitesi iki farklı bulanık mantık matematiksel metot kullanılarak değerlendirilmiştir;

Su kalitesi değerlendirme sonuçları uygulamasından önce, tek faktörlü karar verme modelinin değerlendirme vektörleri normalleştirilmiştir. İki bulanık mantık matematiksel metodun son değerlendirme sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32 Bulanık Mantık Matematiksel Metodun Su Kalitesi Belirlemedeki Son Üyelik Dereceleri

Sınıf	Tek Faktörlü Karar Modeli					Ağırlıklı Ortalama Model				
	İstasyonlar					İstasyonlar				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
I	0,00	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	0,05	0,06	0,09	0,10
II	0,13	0,38	0,18	0,51	0,45	0,19	0,35	0,15	0,47	0,40
III	0,26	0,14	0,05	0,03	0,18	0,25	0,18	0,09	0,05	0,20
IV	0,61	0,46	0,74	0,42	0,34	0,55	0,42	0,70	0,39	0,30
Su Kalitesi	IV	IV	IV	II	II	IV	IV	IV	II	II

Çizelge 4.30’ ve Çizelge 4.32’ye bakıldığında bakır (Cu) açısından klasik sınıflandırmada 5 istasyonda IV. Sınıf olarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda Tek faktörlü indeks yöntemlerinde 1, 2 ve 3. İstasyonlar IV. Sınıf olarak değerlendirilirken 4 ve 5. İstasyonlar III. Sınıf olarak değerlendirilmiştir. Çinko (Zn) açısından

değerlendirme sonuçları incelendiğinde limit sınıflandırmasında 1, 2, 4 ve 5. İstasyonlar III. Sınıf iken, 3. İstasyon II. Sınıf durumundadır. Fakat Tek faktörlü indeks metodunda 5 istasyonun hepsi IV. Sınıf olarak çıkarken çok faktörlü (nemero) indeks metodunda 4. ve 5. İstasyonlar III. Sınıf olarak karşımıza çıkmıştır. Mangan açısından da istasyonlarda hemen hemen aynı durum söz konusudur. Klasik sınıflandırmada 1 ve 3 istasyonlar III. Sınıf, 2 ve 4. İstasyonlar II. Sınıf iken 5. İstasyon I. Sınıf olarak belirlenmiştir. Fakat tek faktörlü ve çok faktörlü değerlendirmede ilk üç istasyon VI. Sınıf iken 4 ve 5. İstasyonlar tek faktörlü indeks metodunda III. Sınıf olarak hesap edilmiştir. Pb, Ni, Cd ve Fe ağır metalleri içinde klasik sınıflandırma sonuçları tek ve çok faktörlüde farklılık göstermiş 4. ve 5. İstasyonlarda tek faktörlüde IV. Sınıf olarak belirlenen istasyonlar çok faktörlüde III. Sınıf olarak belirlenmiştir.

Her iki tablodaki sonuçlara göre su kalitesinin ağır metal parametrelerinin değerlendirilmesinde bulanık matematiksel modelin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü tek faktörlü kirlilik indeksinde her bir parametre ayrı ayrı ele alınmakta ve suyun kalitesini belirlemede en kötü kritere sahip parametreye göre sınıflandırma yapılmaktadır. Örneğin 4. İstasyonda suyun ağır metal parametreleri bu suyun II. veya III. Sınıf olması gerektiğini gösterirken, bakır (Cu) değerinin yüksek olması tek faktörlü kirlilik indeksine göre IV. Sınıf olarak değerlendirilmesine neden olmuştur. Bulanık mantık matematiksel metotta bütün parametreler ve her bir parametrenin bütün parametreler içersindeki ağırlıkları göz önünde bulundurulduğundan II. Sınıf olarak değerlendirilmiştir. Benzer yorum 5. İstasyon içinde geçerli olmaktadır.

Buradan hareketle bulanık mantığa dayalı matematiksel modellemelerin kalite sınıflandırmasında daha olumlu sonuçlar verdiği sonucunu ortaya koymaktadır. Nitekim yapılan çalışmalarda bu sonuçları destekler niteliktedir.

Duque, *et al.* (2006) Yaptıkları çalışmada bulanık çıkarım sistemlerinin nehirlerdeki su kalite değerlendirmesinde kullanmış ve İspanyanın Ebro Nehrinden yola çıkarak bu yöntemin uygun ve alternatif su yönetimi planlarının geliştirilmesinde kullanılacak etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Eber gölü fiziksel ve kimyasal bazı su kalite parametrelerinin bulanık mantık ile değerlendirildiği ve su kalite sınıflandırılmasına çalışılan bir çalışmada bulanık çıkarım sistemlerinin su kirlilik değerlendirmeleri ve sınıflandırmada oldukça elverişli olabileceği sonucu vurgulanmıştır (Icaga 2007).

Hindistan'ın Tunga-Bhadra nehir sistemlerinin model alınarak Rehana and Mujumdar (2009) tarafından yürütülen bir başka çalışmada su kalite değerlendirmesi açısından bulanık mantığa dayalı bir risk yaklaşımı ele alınmış ve modelin genel anlamda ele alınan çevrenin sürdürülebilir ve verimli kullanılması ilgili konularla birlikte, çeşitli çevresel sistemlerin bu yönlü değerlendirilmesine de uyarlanabileceği sonucu bildirilmiştir.

Lermontov *et al.* (2009) Brezilya'nın Sao Paulo eyaletinde Ribeira de Iguape Nehrinde 2004-2006 yılları arasında toplanmış olan hidrografi araştırma verileri üzerinde yaptıkları çalışmada bulanık mantığa dayalı yeni bir su kalite indeksi ortaya koymuşlardır (FWQI). Yaptıkları değerlendirmede bulanık mantığa dayalı su kalite indeks modelinin geleneksel diğer modellere göre daha makul ve daha iyi bir korelasyon gösterdiğini, bu yeni indeksin çevre karar yönetiminde alternatif bir araç olarak rahatlıkla kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Su kalitesinin değerlendirilmesi çevre yönetimi ve karar vermede önemli bir rol oynar. Su kaynaklarının korunması ve akılcı kullanımı için bilimsel bir temel oluşturmaktadır. Su kalite değerlendirilmesinde birçok kirlilik indeks metodu kullanılmaktadır. Bu metotlar; farklı derecedeki su kirliliğinin miktarını ve farklılığını gösteren kesin limitleri tanımlamaktadır. Fakat her bir su kirleticisinin kararsızlığından dolayı kalite değerlendirmelerinde bir belirsizlik mevcuttur. Belirsizlik sınıflandırma diyagramlarında kesin sınırların yer alması, bu diyagramların kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu belirsizlik yüzünden bazı çevre araştırmacıları bulanık tabanlı ileri değerlendirme metotları üzerinde çalışmaya yönelmek zorunda kalmıştır. Çünkü Bulanık mantık sistemleri diğer matematiksel modellerde yer almayan bireysel bilgi birikimini ve tecrübe gibi bilgilerin kullanımını, değişkenler ile ilgilenmeyi, kantitatif ve kalitatif bilgilerin birleştirilmesini, suni kesinlikten kaçınmayı ve çevre şartlarına daha benzer sonuçlar üretmeyi sağlamaktadır.

Bu çalışmada Karasu ırmağından Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliğine göre seçilen 5 istasyondan 12 ay(Ocak-Aralık 2010) boyunca alınan su numunelerinin ağır metal düzeylerinin tek faktörlü index, çok faktörlü index ve bulanık mantık modeline göre yapılan sınıflandırmasında bulanık mantık modeline göre daha hassas ve doğru bir sınıflandırma yaklaşımının ortaya çıktığı, bir parametreye bağlı kalmaktansa hem parametrenin kendisinin etkisi hem de diğer ele alınan parametrelerin birbirlerinin üzerindeki etkisinin katılımı ile elde edilen sonuçların daha reel bir anlam kazanacağı, bulanık mantık sistemlerinin etkin su yönetimi ve ekolojik risk değerlendirmesi açısından uygun bir araç olacağı kanaatine varılmıştır.

Özellikle ekosistemin en temel unsurlarından olan su ve sucul ekosistemlerin kirlilik değerlendirmelerinde fiziksel ve kimyasal bütün parametrelerde sınıflandırma açısından bulanık mantık modellemelerinin kullanımı hem çevresel etki değerlendirmelerinde hem

de sürdürülebilir su yönetimi açısından karar mekanizmalarına olumlu sonuçlar verecektir.

Özellikle sularda kirlilik kriterleri açısından değerlendirme ve sınıflandırmanın doğru yapılması sucul ekosistemlerin barındırdığı balık, plankton, omurgalı ve omurgasızlar gibi unsurların yaşamsal alanları hakkında bilgi verebileceği gibi bu canlılar hakkında da bilgi sahibi olunmasına imkan sağlayacaktır. Bunun yanı sıra bu tip çalışmaların geliştirilerek sürekli ve rutin yapılması envanter planlamalarının daha doğru ve hassas yapılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Adams, S.M. and Power, M., 1997. Assessing the current status of ecological risk assessment. *Environmental Management*, 21, 6, 825-830.
- Adriaenssens, V., De Baets, B., Goethals, P.L.M., De Pauw, N., 2004. Fuzzy rule-based models for decision support in ecosystem Management. *Sci. Total Environ.* 319, 1-12.
- Akçay, H., Oğuz, A., Karapire, C. 2003. Study of heavy metal pollution and speciation in BuyakMenderes and Gediz river sediments. *Water Research*, Pergamon.
- Altuner, Z., Gürbüz, H., 1989. Karasu nehri fitoplankton topluluğu üzerine bir araştırma. *Istanbul Üniv. Su Ürünleri Dergisi*, 1-2 151-176.
- Altunkaynak, A., Ozger, M., Cakmakci, M., 2005. Fuzzy logic modeling of the dissolved oxygen fluctuations in Golden Horn. *Ecol. Model.* 189, 436-446.
- Alam, M.G.M., Tanaka, A., Stagnitti, F., Allinson, G. And Maekawa, T. 2001. Observations on the effects of caged carp culture on water and sediment metal concentrations in lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48:107-115.
- Aras, M.S., 1988. Aras nehri ve Karasu ırmağında yaşayan tatlı su kefallerinin büyüme durumları ve et verim özelliklerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Erzurum.
- Arıman, S., Cüce, H., Özbayrak, E., Bakan, G., Büyükgüngör, H. 2007. Orta Karadeniz Kıyı Şeridi Nehirleri Su ve Sediman Ortalamalarında Ağır Metal Kirliliği. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi. Yaşam Çevre Teknoloji. 24-27 Ekim, İzmir.
- Asselman, N. E. M., (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves, *Journal of Hydrology*, 234, pp. 228-248.
- ATSDR 2010. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs5.html>
- Baba, A.F. 1995. İTÜ Triga Mark-II Reaktörünün Bulanık Mantıkla Kontrolü. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.s.29-35.
- Baltacı, F. 2000. Su Analiz Metotları. DSİ. İçme ve Kanalizasyon Dairesi Yayınları, Ankara.
- Bartell, S.M., 1997. Ecological risk assessment: progressing through experience or stalling in debate. *Environmental Management*, 21, 6, 822-825.
- Başbüyük, M., (1998) *Biological Treatment Of A Simulated Textile Wastewater*. PhD. Thesis University of Birmingham, England.
- Bigersson, B., Sterner, O., Zimerson, E.,1988. *Cheime und Gesundheit'' Eineverstdliche Einführung in die Toxikologie''* VCH Verlagsgesellschaft. ISBN:3-527-26455-8.
- Bu-Olayan, A.H., Al-Hassan R., Thomas B.V., Subrahmanyam M.N.V., 2001. Impact of Trace Metals and Nutrient Levels on Phytoplankton from the Kuwait Coast. *Environ. Int.*26: 199-203.
- Buckley, D.E., Smith, J.N and Winters, G.V., 1995, Accumulation of contaminant metals in marine sediments of Halifax harbour, Nova Scotia: environmental factors and historical trends. *Appl. Geochem.*, 10, 175-195.

- Carral, E., Villares, R., Puente, X., Carbaleira, A., 1995, Influence of watershed lithology on heavy metal levels in estuarine sediments and Organisms in Galicia. *Marine Pollution Bulletin*, 30, 608-608.
- Chang, F. J., Chen, Y. C., 2001. A counterpropagation fuzzy-neural network modeling approach to real time streamflow prediction. *Journal of Hydrology*, 245, pp.153-164.
- Chen, Z.S., Lin H.T. and Hseu Z.Y., 2001. Transfer of cadmium into the food chain from aquatic and agricultural ecosystems. In 'Environmental Cadmium in Food Chain: Sources, Pathways and Risks.. 110-115 pp.
- Cotté-Krief, M.- C., Guieu C., Thomas A.J. and Martin J.M., 2000. Sources of Cd, Cu, Ni and Zn in Portuguese coastal waters. *Mar. Chem.* 71: 199-214.
- Crawford, C. G., (1991). Estimation of suspended sediment rating curves and mean suspended sediment loads, *Journal of Hydrology*, 129, pp. 331-348.
- Çetiner, B.G., Haşiloğlu, A.S., Bayramoğlu, M., Köker, R. "Comparative Study of Texture Classification Using Various Wavelet Schemes", Proc. of 2nd Int. Symp. on IMS, Turkey, August 1998, pp.709-716.
- Demiröz, E., (1989). Sediment sampling activities in Turkey, *Fourth International Symposium on River Sedimentation*, Beijing, China, Nov.1-5.
- Duque, W.O., Huguet, N.F., Domindo, J.L., Schuhmacher, M. 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. *Environmental International*. 32:733-742.
- Duffus, J. H., Howard G.J. Worth, "Fundamental toxicology for chemists", Cambridge, UK : Royal Society of Chemistry Information Services, c1996
- Egemen Ö (1999) *Çevre ve Su Kirliliği*. Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fak. Yayınları No: 42, İzmir.
- Elmas, Ç., 2003. bulanık mantık denetleyiciler (kuram,uygulama,sinirsel bulanık mantık).Seçkin Yayıncılık, Ankara, 230.
- Engel DW, Sundu WG, Fowler BA (1981) Factors Affecting Trace Metal Uptake and Toxicity to Estuarine Organisms. Academic Press, London.
- Erdmenger, G., 1998. Environmental management instruments. International Council for Local Environmental Initiatives, Freiburg, Germany, 84.
- Eser, B.K. and Volpe A., 2002. At-sea high resolution trace element mapping: San Diego bay and its plume in the adjacent coastal ocean. *Environ. Sci. Technol.* 36: 2826-32.
- Fifield FW, Haines PJ (1997) *Environmental Analytical Chemistry*. Blackie Academic and Professional, London.
- Goyer, R. A., 1991. Toxic effects of metals. In: Caserett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons (Eds. Amdur M. O., Doull, J., Klaassen, C. D.) Pergamon Press, New York, 1032.
- Göksu, M.Z.L., Çevik, F., Fındık, Ö., Sarihan, E. 2003. Seyhan Baraj Gölü'ndeki Aynalı Sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) ve Sudak (*Stizostedion lucioperca* L.,1758)'larda Fe, Zn, Cd Düzeylerinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi.
- Gray, N.F., 1996. Drinking Water Quality: Problems and Solutions, John Wiley & Sons Ltd.Baffins Lane, Chichester, England, p315.

- Haiyan, W., 2002. Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City, Hunan Province, China. *J. Environ. Manage.* 66, 329–340.
- Hasnain, S. I., Thayyen, R. J., (1999). Discharge and suspended sediment concentration of meltwaters, draining from the Dokriani Glacier, Garhwal Himalaya, India *Journal of Hydrology*, 218, pp. 191-198.
- He, M., Wang, Z., Tang, H. 1997. Spatial and temporal patterns of acidity and heavy metals in predicting the potential for ecological impact on the Le An river polluted by acid mine drainage. *The Science of the Total Environment*. 206:67-77.
- Icaga, Y. 2007. Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators* 7 : 710–718
- Jin J L, Liu L, Ding J, Fu Q, 2003. Logistic curve model of groundwater quality evaluation. *Environmental Pollution and Control*, 25(1): 46–48.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2008. Metallerin Çevresel Etkileri-I. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- Karamanis, D., Stamouils, K., Ioannides, K., Patiris, D. 2008. Spatial and seasonal trends of natural radioactivity and heavy metals in river waters of Epirus, Macedonia and Thessalia. *Desalination*.
- Kaya, S., Pirinçi, I., Bilgili, A., 1998. Çevre Bilimi ve Çevre Teknolojisi. Madisan Yayın Serisi, Yayın No: 36.
- Kayar, N.V., Çelik, A. 2003. Gediz Nehri Kirlilik Parametrelerinin Tayini ve Su Kalitesinin Belirlenmesi. *Çev-Kor Dergisi*. Cilt:12, Sayı:47, 17-22.
- Kesler, S.E. 1994. *Mineral Resources, Economics and the Environment*. New York: Macmillan College Publishing Company, Inc., p 223.
- Kişi, Ö., Karahan, M.E., Şen, Z., “Nehirlerdeki Askı Maddesi Miktarının Bulanık Mantık İle Modellenmesi”, *İ.T.Ü Mühendislik Dergisi*, Cilt 2. Sayı 3. 43-54, Haziran 2003.
- Korentajar, L., 1991. A review of the agricultural use of sewage sludge. Benefits and potential hazards. *Water SA*. 17 (3) 189-196.
- Krishnaswamy, J., Halpin, P. N., Richter, D. D., (2001). Dynamics of sediment discharge in relation to land use and hydro-climatology in a humid tropical watershed in Costa Rica, *Journal of Hydrology*, 253, pp. 91-109.
- Lermontov, A., Ykoyama, L., Lermontov, M., Augusta, M., Machado, S. 2009. River quality analysis using fuzzy water quality index: Riberia do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*. 9:1188-1197.
- Liu L, Zhou J Z, An X L, Zhang Y C, Yang L, 2009. Using fuzzy theory and information entropy for water quality assessment. *Expert Systems with Applications*, 37(3): 2517– 2521.
- Liou, S.M., Lo, S.L., Hu, C.Y., 2003. Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan Source. *Water Res.* 37 (6), 1406–1416.
- Liou, Y.T., Lo, S.L., 2005. A fuzzy index model for trophic status evaluation of reservoir waters. *Water Res.* 39, 1415–1423.
- Lu, R.S., Lo, S.L., 2002. Diagnosing reservoir water quality using self-organizing maps and fuzzy theory. *Water Res.* 36, 2265–2274.
- Ludwig, B., Tulbure, I., 1996. Contributions to an aggregated environmental pollution index. In: *Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, vol. 3. pp. 2144–2149.

- Lyons-Alcantara, M., Tarazona J.V. and Mothersill C., 1996. The differential effect of cadmium exposure on the growth and survival of primary and established cells from fish and mammals. *Cell Biol. and Toxicol.*, 12: 29-38.
- McNeil, F.M., Thro, E., 1994. *Fuzzy Logic A Practical Approach*. AP Professional, Boston, p. 294.
- Merian E (1991) *Metals and Their Compounds in the Environment*. VCH, Weinheim.
- Mizumura, K., (1989). Hydrologic approach to prediction of sediment yield, *Journal of Hydraulic Engineering*, 115, 4, ASCE, April.
- Ohnesorge, F.K. and Wilhalm, M., 1991. In: Merian, E.(Ed.), *Metals and their compounds in the environment*, part II, chapter II:36, VCH, pp.1309-1342.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M. 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alnteri Zirai Bilimler Dergisi*. 17(B):14-26
- Özdilek, H.G., 2002, Distribution and transport of Copper and Lead in the Blackstone River, Massachusset, Worcester Polytechnic Institute. PhD, USA, s.242.
- Picoet, C., Hingray, B., Olivry, J. C., (2001). Emprical and conceptual modelling of the suspended sediment dynamics in large tropical African River: The Upper Niger River Basin, *Journal of Hydrology*, 250, pp. 19-39.
- Power, M. and Adams, S.M., 1997. Perspectives of the scientific community on the status of ecological risk assessment. *Environmental Management*, 21, No.6, pp.803-830.
- Prato, T., 2005. A fuzzy logic approach for evaluating ecosystem sustainability. *Ecol. Model.* 187, 361–368.
- Rainbow, P.S., 1995, Biomonitoring of Heavy Metal Availability in the Marine Environment. *Mar. Poll. Bull.*, 31, 4-12, 183-192.
- Rajasekaran, S., Febin M. F. and Ramasamy J. V., 1995. Artificial fuzzy neural networks. In *Civil Engineering. Computers & Structures*, 61(2) ,291-302.
- Rebhun, S. and Amotz A.B., 1984. The distribution of cadmium between the marine alga *Chlorella stigmatophora* and sea water medium. *Water Res.* 18: 173-8.
- Rahana, S., Mujumdar, P.P. 2009. An imprecise fuzzy risk approach for water quality management of a river system. *Journal of Environmental Management*. 90 (2009) 3653–3664.
- Rether, A., 2002. *Entwicklung und Charakterisierung Wasserlöslicher Benzoylthioharnstoffunktionalisierter Polymere zur Selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abwässern und Prozesslösungen*. Doktora Tezi. Münih Teknik Üniversitesi.
- Rios-Arana, J.V., Walsh, E.J., Gardea-Torresdey, J.L. 2003. Assessment of arsenic heavy metal concentrations in water and sediments of the Rio Grande at El Paso-Juarez metroplex region. *Environment International*.
- Salas, J. D., Shin, H. S., (1999). Uncertainty analysis of reservoir sedimentation, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 125, 4, April.
- Salihoğlu, G., Karaer, F. 2005. Ulubat Gölü İçin Ekolojik Risk Değerlendirmesi. *İTÜ Dergisi*. Cilt:15, Sayı: 1-3, 17-28.
- Schmidt, J.P., 1997. Understanding phytotoxicity thresold for trace elements in land applied sewage sludge. *J. Environmental Qual.* 26. 4-10.
- Semiz, M., Genç, A., “Yığın Hacminin Tahmini İçin Bulanık Doğrusal Regresyon Modelinde Ters Tahmin Metodu”, *S.Ü. Fen Ed. Fak. Fen Derg.* Sayı 22 (2003) 65-70, Konya.

- Serveiss, V.B., 2002. Applying ecological risk principles to watershed assessment and management. *Environmental Management*, 29, 2, 145-154.
- Shen, G., Lu, Y., Wang, M., Sun, Y., 2005. Status and fuzzy comprehensive assessment of combined heavy metal and organo-chlorine pesticide pollution in the Taihu Lake region of China. *J. Environ. Manage.* 76, 355–362.
- Silvert, W., 2000. Fuzzy indices of environmental conditions. *Ecol. Model.* 130, 111–119.
- Sin, S.N., Chua, H., Lo, W., Ng, L.M. 2001. Assessment of Heavy Metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong. *Environment International*.
- SKKY, 2004. Çevre ve Orman Bakanlığı. Ankara.
- Sönmez, A.Y., Hisar, O., Karataş, M., Arslan, G., Aras, M.S., 2008. Sular Bilgisi. Nobel Yayın Dağıtım A.Ş. Ankara.
- Storksdieck, M. and Zimmermann, K.O., 1994. Advanced environmental management tools and environmental budgeting at the local level. *International Council for Local Environmental Initiatives, Freiburg, Germany*, 59.
- Şen, Z., “Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri”, Su Vakfı, 2001, İstanbul.
- Şen, Z., 2003. bulanık (fuzzy) mantık ve modelleme ilkeleri. Bilge kültür sanat, İstanbul,172.
- Tessier, A. and Cambell, P., 1988, Partitioning of trace metals in sediments. In: Kramer, J.R., Allen, H.E. (Eds), *Metal Speciation: Theory, Analysis and application*. Lewis Publishers, Chelsia, MI, USA, 183-199.
- Thomas, R. B., (1985). Estimating total suspended sediment yield with probability sampling, *Water Resources Research*, 21, 9, 1381-1388, September.
- Toroğlu, E., Toroğlu, S., Alaeddinoğlu, F. 2006. Aksu Çayında akarsu Kirliliği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*. 4(1), 93–103.
- Tünay, O., (1996) *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*. İTÜ. İnş. Fak. Matbaası, İstanbul.
- Türkmen, A.2003. İskenderun Körfezinde Deniz Suyu, Askıdaki Katı Madde, Sediment ve Dikenli Taş İstiridyesinde Ağır Metal Birikimi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi.
- Vansickle, J., Beschta, R. L., (1983). Supply-based models of suspended sediment transport in streams, *Water Resources Research*, 19, 3.
- Wang L K, Men B H, Fu Q, Lu T G, 2004. Matter element model for evaluating the water quality pollution. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 20(2): 96–98.
- Wang L J, Zou Z H, 2008. Application of improved attributes recognition method in water quality assessment. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2(4): 553–556.
- Wenger, R.B., Harris, H.J. and Devault, D.S., 2000. An assessment of ecosystem risks in the St.Croix national scenic riverway. *Environmental Management*, 25, 6, 599-611.
- Wei-Xin, L.I., Xu-Xiang, Z., Bing, W.U., Shi-Lei, S., Yan-Song, C., wen-Yang, P., Da-Yong, Z and Shu-Pei, C. 2008. A Comparative Analysis of Environmental Quality Assessment Methods for Heavy Metal-Contaminated Soils. *Pedosphere, China*.

- Wickfors, G.H and Ukeles R., 1982. Growth and Adaption of Estuarine Unicellular Algae in Media With Excess Copper, Cadmium or Zinc. *Mar. Ecol.Progr.Ser.* 7:191-206.
- Xiong, L., Shamseldin, A. Y., O'Connor, K. M., 2001. A non-linear combination of the forecasts of rainfall-runoff models by the first-order Takagi-Sugeno fuzzy system., *Journal of Hydrology*, 245, 196-217.
- Yanık T, Atamanalp M., 2001. Balık Yetiştiriciliğinde Su Kirliliğine Giriş. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları
- Yarsan, E.,ve Gümgüm, B., 1993. Concentrations of Copper and Zinc in Fish and Sediments From the Tigris River in Turkey. *Chemosphere*, Vol.26, No: 11, pp 2055-2061.
- Yenilmez, F., Aksoy, A. 2007. Ulubat Gölü su Kalitesinin WAPS7.2 Modeli Kullanılarak Değerlendirilmesi. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi. Yaşam Çevre Teknoloji. 24-27 Ekim, İzmir.
- Yılmazer, D., Yaman, S.1999. Heavy Metal Pollution and Chemical Profile of Ceyhan River. *Tr. J. Of Engineering and Environmental Science.* 23, 59-61.
- Zadeh, L. A., (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 3, 38-53.
- Zhang L,Wang G X, Luo M R, 2004. Application of an improved grey association analysis method in water environmental quality assessment. *Acta Scifntiarum Naturalium Universitatis Sunyaatseni*, 43(21): 234–236.
- Zou Z H, Yun Y, Sun J H, 2006. Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Journal of Environmental Sciences*, 18(5): 1020–1023.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 1998 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Bölümü’nden 2002 yılında mezun oldu. 2001–2003 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Öğrenci Derneği Başkanlığını yürüttü. 2002 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde başladığı Yüksek Lisans öğrenimini 2006 yılında tamamladı ve aynı yıl Doktora eğitimine başladı. 2005 yılında TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Erzurum Şubesi Yönetim Kurulu Üyeliğine, 2009 yılında II. Başkanlık görevine seçildi ve halen bu görevini sürdürmektedir. 2006 yılında TMMOB Ziraat Mühendisleri Odasının düzenlediği Kırsal kalkınma konulu makale yarışmasında lisansüstü düzeyde birinciliğe layık görüldü. 2007 yılında Milliyetçi Hareket Partisi tarafından düzenlenen Küreselleşme konulu makale yarışmasında mansiyon ödülü aldı. Yurtiçi ve yurt dışında yayınlanmış 20’nin üzerinde makalesi bulunmaktadır.