

**T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMSAL SULAMA SUYU KRİTERLERİ  
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Didem YILMAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA 2005**

## ÖZET

Birçok iklim kuşağında doğal yağışların zaman ve mekanda düzensiz dağılımı, bitkisel üretimde sulama yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Günümüzde su kaynaklarının kıtlığı nedeniyle alternatif kaynaklar bulma çalışmaları yapılmaktadır. Bu alternatiflerden birisi de arıtılmış atıksuların sulamada değerlendirilmesidir. Endüstriyel atıksuların ön arıtım ve arıtım aşamalarından sonra tarımsal sulamada kullanımı, dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yaygın bir uygulama biçimidir.

Bu çalışma, arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alternatiflerinin araştırılması ve tarımsal sulama açısından incelenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaca yönelik olarak, Bursa Ticaret Sanayi Odası (BTSO) Su Üretim Tesisi'nin giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış olmak üzere üç farklı kademesinden alınan atıksu örneklerinde değişebilir sodyum oranı, sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum karbonat kalıntısı, bor, çinko, nikel, fekal koliform, askıda katı madde, pH, iletkenlik, toplam tuz konsantrasyonu, klorür, civa, arsenik, kurşun, krom, amonyum, sülfat, demir, bakır, sıcaklık, BOI<sub>5</sub> değerleri belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, arıtılmış atıksuyun tarımsal sulama amaçlı kullanılmasının Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan belirli sulama suyu kalite kriterleri ve FAO Standartları uyarınca uygun olduğu yönündedir. BTSO Su Üretim Tesisi kimyasal çıkış suyu numunesi civa ağır metali konsantrasyonu dışında tarımsal sulama kriterlerini sağlamaktadır. Yine bu kapsamda, Nilüfer Çayı ile sulanan ve BTSO Su Üretim Tesisi kimyasal çıkış suyu ile sulanan iki farklı saksı toprağı numunesi üzerinde, toprakta beklenen sodyum adsorpsiyon oranı, klorür, nitrat, fosfat, amonyum, civa ve krom analizleri yapılmış ve Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki sınır değerlere uygun olup olmadığı tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtılmış Atıksu, Tarımsal Sulama, Çözünmüş Maddeler, Yeniden Kullanım.

## **ABSTRACT**

In most climates, temporal and spatial irregular distribution of rainfall necessitate water deficit in soil such that it is necessary for irrigation of plant production.

Nowadays, because of the deficit of water resources, it is necessary to find alternative sources. The use of the treated wastewater in irrigation is one of them. This alternative is a very common one used in arid and semi-arid parts of the world.

This research was carried out to determine the reuse alternatives of treated wastewater and to examine the suitability for agricultural irrigation. Devoted to this purpose; changeable sodium percentage, sodium adsorption ratio, sodium carbonate residue, boron, zinc, nickel, fecal coliform, suspended solids, pH, electrical conductivity, total salt concentration, chloride, mercury, arsenic, lead, chromium, sulphate, iron, copper, temperature, BOD<sub>5</sub> have been determined in wastewater taken from three different treatment stages of the B.T.S.O.'s Water Production Plant.

The result of the research has showed that the reuse of the treated wastewater for the purpose of agricultural irrigation is suitable for definite parameters according to the standards of FAO and Turkish Water Pollution Control Regulation Technical Guidelines. Sodium adsorption ratio, chloride, nitrate, phosphate, ammonium, mercury, chromium parameters had also been determined in two different soil samples. One of the soil sample was irrigated by treated wastewater and the other one was irrigated by untreated wastewater. The results have been discussed for the suitability of water for irrigation according to the Turkish standards in Soil Pollution Control Regulation.

**Key Words:** Treated Wastewater, Agricultural Irrigation, Soluble Material, Reuse.

## İÇİNDEKİLER

<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1 Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanılma Alternatifleri .....	3
2.1.1. Kentsel Geri Kullanım .....	3
2.1.2. Yapay Beslenme.....	5
2.1.3. Endüstriyel Kullanım .....	5
2.1.4. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Kullanım.....	9
2.1.5. Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılması.....	11
2.2 Sulama Sularının Kalitesi ve Bu Kaliteye Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi. ....	11
2.2.1. Reaksiyon (pH) .....	13
2.2.2. Eriyebilir Tuzların Toplam Konsantrasyonu .....	13
2.2.3. Elektriksel İletkenlik .....	14
2.2.4. Sulama Sularında Bulunan Katyonlar ve Anyonlar .....	16
2.3 Sulama Sularının Sınıflandırılması .....	26
2.3.1. Tuzluluk Zararı.....	27
2.3.2. Sodyum (Alkali) Zararı .....	32
2.3.3.Sulama Sularının Bor Elementine Göre Sınıflandırılması .....	36
2.3.4. Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Kullanılan Diğer Sistemler .....	36
2.4 Dünya Ve Ülkemizdeki Sulama Suyunun Durumu .....	38
2.5 Arıtılmış Atıksuların Deşarjı ve Sulamada Kullanılması ile İlgili Yasal Düzenlemeler .....	40
2.5.1. Ülkemizdeki Yasal Düzenlemeler.....	40
2.5.2. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) Standartları.....	44

2.5.3. ABD Standartları.....	48
2.5.4. İsrail Standartları.....	50
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>52</b>
3.1. Materyal .....	52
3.1.1. Arıtma Birimleri.....	53
3.1.1.1. Su Alma ve Terfi Yapısı .....	53
3.1.1.2. Havalandırmalı Kum Tutucu.....	53
3.1.1.3. Havalandırma Havuzu.....	54
3.1.1.4. Hızlı Karıştırma Havuzu .....	55
3.1.1.5. Klariflokülatör.....	55
3.1.1.6. Hızlı Kum Filtresi .....	55
3.1.1.7. Beltpres .....	56
3.1.1.8. Gaz Klor Tesisi .....	57
3.1.1.9. Proses Suyu ve Tanker Suyu.....	57
3.2. Metot .....	61
3.2.1. Sulama Suyu Analiz Yöntemleri.....	61
3.2.2. Toprak Analiz Yöntemleri .....	64
<b>4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>66</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>97</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>101</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>104</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>127</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>128</b>



## 1. GİRİŞ

Atıksularla sulama Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Akdeniz ülkelerinin bir çoğunda iyi bilinen bir uygulamadır. Bu ülkelerde tüketilen suyun % 70-90'ı tarımsal sulama ve peyzaj sulaması için kullanılmaktadır. Suya talebin artması nedeniyle, arıtılmış atıksularla sulama bu ülkelerin su kaynaklarının planlanması ve geliştirilmesinde önemli bir bileşen haline gelmiştir. Atıksuların toplandığı ve suyun ekonomik ve kıt bir tarımsal üretim kaynağı olduğu durumların yaklaşık % 80'inde atıksular, arıtılmamış ya da arıtılmış olarak sürekli ya da mevsimlik sulamada kullanılmaktadır (Schutte 1982). Atıksular üç yolla sulamada kullanılmaktadırlar. Birincisi doğrudan, ikincisi ise dolaylı yoldur. Doğrudan sulamada, atıksular arıtılarak planlı bir şekilde sulamada kullanılırken, dolaylı sulamada atıksular yüzey su kaynaklarına ya da yer altı suyuna karıştırılarak kullanılırlar. İkincisi, yani dolaylı kullanım, arıtılmış atıksuların deşarj yeri ve su kaynağının aynı nehir ya da su kütlesi olduğu durumlarda kaçınılmaz bir yeniden kullanım yolu olacaktır. Bir diğer uygulama ise atıksuların hiç arıtılmadan nehirlere ya da başka alıcı ortamlara boşaltılıp, aynı nehirin ya da alıcı ortamın su temininde kullanıldığı durumdur. Bu şekilde bilinçsizce yapılan bir sulama sonucu toprağa bulaşan ağır metaller veya metalik olmayan ama kirletici vasıf taşıyan iz elementler bitkilerde toksik etki oluştururlar (Bilgin ve ark. 1995).

Ülkemizde evsel ve endüstriyel nitelikli atıksular genelde, birleşik kanalizasyon sistemlerinde toplanıp, hemen hemen hiç arıtma işlemine uğramadan ya da kısmen arıtma yapılarak, alıcı su ortamlarına deşarj edilmektedir. Bu durumun doğal olarak yüzey su kaynaklarımıza kirletici bir etkisi vardır. Ülkemizde genel olarak nehir kalite karakteristiklerini belirleme çalışmaları da çok yenidir. Üretici arıtılmaksızın deşarj edilen atıksuların kirlettiği yüzey su kaynaklarından tarımsal sulamada faydalanmaktadır. Bunun da insan sağlığına ve çevreye çok olumsuz etkileri olabilmektedir.

Atıksuların sulama alanlarında kullanılması Türkiye'de ancak 1991 yılında yayınlanan Su Kirliliği Kontrülü Yönetmeliği Tebliği ile yürürlüğe girebilmiştir. Ancak bu mevzuat konu ile ilgili son gelişmeleri yansıtmamakla beraber yine de bu alandaki bir boşluğu doldurmuştur (Sarıkaya 1994). Bu yasal düzenlemede, atıksuların sulamada kullanılmasında oldukça önemli olan toprakta beklenen değişebilir sodyum oranı, bakiye

klor, azot, parazit yumurtası gibi parametrelere yer verilmemiştir. Atıksuların deşarjı ile ilgili standartlara bakıldığında, bu standartların gerektirdiği arıtma genellikle atıksuların sulama suyu olarak kullanılması için lüzumlu arıtma derecesinde ve hatta daha fazla olabilmektedir. Bu durumda arıtılmış atıksuları yüzeysel sulara deşarj etmek yerine sulamada kullanmanın ilave bir arıtma ve bununla ilgili olarak ta yatırım gerektirmemesi, bu tür suların sulama suyu olarak kullanımını beraberinde getirmektedir. Böylece doğal su kaynaklarına olan talep azalırken, aynı zamanda atıksuların alıcı su ortamlarına getirdiği kirlenme problemleri de önlenmiş olacaktır. Atıksu arıtma tesislerinin planlama ve projelendirme safhalarında arıtılmış atıksuların yüzeysel sulara deşarj şeklinde uzaklaştırılmalarına karar vermeden önce sulama suyu olarak kullanılabilme imkanlarının araştırılması ve projelendirme çalışmalarının buna göre yapılmasının büyük yararları vardır.

Bu çalışma, arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alternatiflerini ortaya koymak, bu alternatiflerden biri olan tarımsal sulama kriterlerini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla BİSO Su Üretim Tesisi'nin giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış olmak üzere üç farklı kademesinden alınan atıksularda, toprakta beklenen değişebilir sodyum oranı, sodyum adsorbsiyon oranı, sodyum karbonat kalıntısı, bor, çinko, nikel, fekal koliform, askıda katı madde, pH, iletkenlik, toplam tuz konsantrasyonu, klorür, civa, arsenik, kurşun, krom, amonyum, sülfat, demir, bakır, sıcaklık, BOI<sub>5</sub> değerleri belirlenmiştir. Bu değerler üç farklı atıksuda yorumlanarak, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amaçlı kullanılmasının Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan sulama suyu kalite kriterleri ve FAO Standartları uyarınca uygun olup olmadığı tartışılmıştır. Standartlar uyarınca BOSB Su Üretim Tesisi'nden alınan kimyasal çıkış suyunun sulamaya uygun olduğu belirlenmiş, biyolojik çıkış suyunun da sulama için yeterlilik durumu tartışılmıştır. Yine bu kapsamda arıtılmamış ve arıtılmış atıksu ile sulanan iki farklı toprak numunesi üzerinde sodyum adsorpsiyon oranı, klorür, nitrat, fosfat, amonyum, civa ve krom analizleri yapılmış ve Toprak Kirliliği Yönetmeliği'ndeki sınır değerler uyarınca sulamaya uygunluk durumu tartışılmıştır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Alternatifleri

#### 2.1.1 Kentsel Geri Kullanım

Bir kente verilen ve içme suyu olarak kullanım dışındaki amaçlar için uygun kalitedeki suların aşağıda kısaca özetlenen amaçlarla kullanımı mümkündür:

- Park, havuz, rekreasyon alanı, atletizm alanı, okul bahçesi ve oyun alanı, anayolların ve halka ait binaların ve tesislerin işyeri, dükkan, ofis ve endüstriyel kuruluşların çevresindeki peyzaj alanlarının sulanması,

- Ticari kullanımlar (araç yıkama tesisleri, pencere temizleme, pestisit ve herbisit çözeltilerinin hazırlanması ve sıvı gübrelerin hazırlanması gibi),

- İnşaat projelerinde beton yapımı için ve toz kontrolünde su kullanımı,

- Yangından korunmak üzere yangın söndürme suyu temini,

- Ticari ve endüstriyel kuruluşlarda, tuvalet ve rezervuar suyu olarak kullanımı.

Yeniden kullanım için hazırlanmış arıtılmış atıksular; yüzme, balıkçılık ve benzeri amaçlarla kullanılacak ise, ilave arıtıma gereksinim duyulmaktadır. ABD’de California gibi bazı eyaletlerde arıtılmış atıksuların rekreasyonel amaçlı kullanılacağı durumlarda, atıksu ikincil arıtma ve dezenfeksiyona tabi tutularak toplam koliform miktarı 2.2 adet/100 ml seviyesine indirilmektedir. Yüzme ve bunun gibi halka açık ve rekreasyonel amaçlarla kullanılacak arıtılmış atıksulara ise; ikincil arıtmadan sonra koagülasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemleri uygulanarak, en az 2.2 adet/100 ml ve en fazla 23 adet/100 ml koliform sınır değerleri uygulanmaktadır (EPA 1992).

Evlerdeki su kullanımının % 45’i tuvaletlerde tüketilmektedir (Grisham ve Fleming 1989). Kaliforniya-Irvine Ranch Su Bölgesinde, 1987’de yapılan bir araştırmada ise, ticari alanlarda ve ofislerde kullanılan suyun % 70-85 oranındaki kısmının tuvaletlerde tüketildiği saptanmıştır. Bu derece yüksek tüketim miktarının ortaya çıkması, binaların tuvalet ve rezervuar suları için arıtılmış suyun verileceği ikinci bir su şebekesi yapılması konusunu gündeme getirmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; tuvaletlerde ve rezervuarlarda arıtılmış atıksuyun kullanımının uygun olduğu belirlenerek, 17 m’den daha yüksek tüm yeni binalarda, ikili dağıtım sisteminin

kurulması, 1990'da bu bölgede bir yönetmelikle yasal zorunluluk haline getirilmiştir. İkili su dağıtım sistemlerinde, arıtılarak yeniden kullanıma hazır hale getirilmiş su, içme suyu şebekesine paralel bir arıtılmış atıksu dağıtım şebekesi ile kullanıcılara dağıtılır. Arıtılmış su dağıtım sistemi, esasen toplumun yararlandığı üçüncü bir (içme suyu, kanalizasyon, arıtılmış atıksu) şebeke olup, içme suyu dağıtım sistemine benzer bir şekilde işletilir, bakım ve onarımı yapılır. Gelişimini tamamlamış bir kent için, sonradan ilave bir su dağıtım sistemi yapılması pahalı bir yatırım olabilir. Bazı durumlarda ise, kalitesiz bir arıtılmamış atıksu kaynağından suyun temini ve arıtılması veya uzun mesafelerden ilave su temini durumunda, arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı, maliyet açısından daha ekonomik bir seçenek olabilmektedir. Gelişmekte olan kentsel alanlarda, ikili dağıtım sisteminin yapılması su kullanım sistemlerinin bir parçası olarak ele alınır. Alan genişledikçe, toplumun arazi kullanımına bağlı olarak, sisteme bağlantı yapılması hızlanır. Altamonte Springs şehrinde 1984 yılında arıtılmış atıksu hattının yapılmasına, şehir gelişim planının bir parçası olarak karar verilmiştir. Ancak, arıtılmış atıksu hattı, kesinlikle içme suyu şebekesinin bir tekrarı değil; aksine, içme suyu şebekesinin eksikliğini tamamlayan ve uzunluğunu azaltan yardımcı bir şebeke olmalıdır. Evsel ve endüstriyel nitelikli arıtılmış atıksuyun yeniden kullanıldığı alanlardaki, olası olumsuz etkileri Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Geri kazanılmış atıksuların kullanıldığı alanlar ve olası etkileri

<b>Kullanılan Alan</b>	<b>Olası Etkiler</b>
<b>Tarımsal sulama</b>	Su kalitesi; özellikle tuzun toprak ve ürün kalitesine etkisi
<b>Yüzeysel sulama, Park-bahçe ve yeşil alanlar</b>	Patojenlerin halk sağlığı üzerine etkisi, yüzeysel yer altı sularının kirlenme riski
<b>Endüstriyel kullanım soğutma suyu, proses suyu ve kazan suyu</b>	Korozyon, bakteriyolojik film oluşumu, proses ve soğutma sularındaki patojenlerin insan sağlığına etkisi
<b>Yer altı suyu besleme</b>	Geri kazanılmış sudaki iz organiklerin toksik etkileri, toplam çözünmüş katı maddeler ve patojenler
<b>Çevresel kullanımlar, gölet ve havuzlar, balık üretim havuzları</b>	Bakteri ve virüse bağlı sağlık etkileri, ötrofikasyon etkisi, koku, estetik etkiler, vb.
<b>Diğer kullanımlar, yangın söndürme, tuvalet temizleme, araç yıkama</b>	Aerosoller tarafından taşınan patojenler dolayısıyla insan sağlığına etkisi, korozyon, bakteriyolojik film gelişimi tortu oluşumu dolayısıyla su kalitesine etkisi, içme sularıyla temas etme riski

Kaynak: GÜNEŞ, S. 2002. Arıtılmış Atıksuyun ve Arıtma Çamurlarının Geri Kazanımı, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayınları, ANKARA, s:180-181

### 2.1.2 Yapay Besleme

Ülkemizde fazla kullanım alanı bulan bir uygulama olmamakla birlikte, arıtılmış atıksuların zemine sızdırılarak toprağın arıtma kapasitesinden yararlanılması gelişmiş batı ülkelerinde (ABD, Hollanda, Almanya gibi) uygulama alanı bulmaktadır. ABD’de, 1962 yılından itibaren gerçekleştirilen arıtılmış atıksuların yer altı sularını beslemesi çalışmaları, 1978’den itibaren daha da iyileştirilerek, atıksuların içme suyu standartlarında arıtmadan geçirildikten sonra, yeraltına besleme yapılması şeklinde devam etmektedir. Arıtılmış atıksular yeraltısuyuna; yüzeysel püskürtme, nehre deşarj, kum filtrasyonu, toprak-su arıtma sistemleri ve doğrudan enjeksiyon gibi yöntemlerle verilebilmektedir. Arıtılmış atıksuların yeraltısuyuna deşarj edilmesindeki amaçları; kıyı alanlarında aküfere tuzlu su girişimini önlemek, atıksuyun daha iyi arıtılmasını ve tekrar kullanımını sağlamak, içme suyu ya da diğer aküferlerin su kapasitesinin arttırılmasını sağlamak, arıtılmış suyun depolanmasını sağlamak ve yer altı su seviyesindeki düşmeyi önlemek olarak sıralamak mümkündür (Güneş 2002).

### 2.1.3 Endüstriyel Kullanım

Geri kazanılmış suyun endüstride kullanımı, gelişmiş ülkelerde oldukça yaygındır. İçme suyu niteliğindeki suya ihtiyaç duymayan birçok endüstri için, geri kazanılmış su idealdir. Atıksuyun geri kazanılması, endüstriyel atıksuyun tesis içinde geri çevrimi ile ve/veya evsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılan suyun kullanılması ile olabilmektedir. Endüstrinin kendi içinde sularının geri çevrimi, çoğunlukla prosesin bir parçası olarak uygulanmaktadır. Çelik, bira, elektronik sanayi gibi pek çok endüstri ya suları korumak ya da istenilen çıkış suyu standartlarını sağlamak veya bunlardan kaçınmak için, atıksularını arıtip sistemlerine geri çevirmektedir. Geri kazanılmış su; soğutma suyu, kazan besleme suyu ve proses suyu olarak endüstrilerde kullanılmaktadır.

Endüstriyel kullanım alanları içinde, soğutma suyu olarak kullanım, en yaygın olanıdır. Birçok endüstride, soğutma işlemi, tesisteki en fazla su ihtiyacına neden olan işlemdir. Örneğin, 40000 varil/gün’lük küçük bir petrol rafinerisinde veya 250 MW kapasiteli bir güç santralinde, geri devirli soğutma sistemleri için yaklaşık 44-88 L/s suya ihtiyaç duyulmaktadır.

Tek geçişli soğutma sistemlerinde; proses ekipmanlarını soğutmak için su kullanılmakta ve ısınmış su, tek kullanımdan sonra deşarj edilmektedir. Bu sistemde çok

fazla miktarda su kullanıldığı için, geri kazanılmış suyun kullanılması yaygın değildir. Örneğin, 1000 MW kapasiteli fosil fuel güç santralinde, tek geçişli soğutma sisteminde debi yaklaşık 28500 L/s iken, geri devirli sistemde, ıslak kulelerde 395 L/s, soğutma havuzlarında ise 285 L/s kadar su kullanılmaktadır. Geri kazanılmış suyun tesiste kullanıldığı Amerika'nın konuya ilişkin en büyük projesi olan Bethlehem Çelik Şirketi'nde proste tek geçişli soğutma sistemi için gerekli olan 4380 L/s su, Baltimore Back Nehri Arıtma Tesisi çıkış suyundan temin edilmektedir. Bu sistemde su kalitesi genellikle kısıtlayıcı olmadığından; büyük göller, nehirler ve hatta deniz suyu çok az bir arıtmayla veya hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmaksızın doğrudan kullanılabilir.

Geri devirli soğutma sistemlerinde ise su, proses ısını absorbe etmek için kullanılır. Daha sonra, buharlaşma ile sudan ısı transfer edilerek su ilave bir soğutma sistemine geri devredilir. Geri devirli soğutma sistemleri, soğutma kuleleri veya soğutma havuzlarından oluşmaktadır (Güneş 2002).

Suyun yüksek buharlaşma ısı avantajı göz önüne alınarak projelenecek soğutma kulelerinde, buharlaşma ve çevrim hareketi su kaybına neden olduğundan, bu suyun sisteme ilave edilmesi gerekir. Buharlaşmadan dolayı olabilecek tuz bileşimlerinin oluşumunu engellemek için, geri çevrim suyunun bir kısmı, sürekli olarak atılmalı ve yerine yüksek kalitede tamamlama suyu ilave edilmelidir. Soğutma kuleli geri çevrim sistemleri, su kalitesi yönünden kendine özgü özellik gerektirdiğinden, ayrı işletilen proseslerdir. Kullanılacak su kalitesine, tamamlama suyundaki askıda katı madde konsantrasyonu araştırılarak karar verilmektedir.

Soğutma havuzlarındaki su, soğutma suyu kaynağı olarak görev yapar ve havuz yüzeyinden meydana gelen buharlaşma, sıcaklığı değişen suyun soğutulma mekanizmasıdır. Soğutma havuzları; düşük yatırım maliyetleri, yüksek depolama kapasiteleri ve buharlaşma kaybı dışında tamamlama suyu ihtiyacı olmaksızın işletilebilmelerinden dolayı tercih edilir. Bununla beraber, potansiyel yeraltı suyu kirleticisi olmaları, geniş alan gerektirmeleri, alg ve yabancı otlardan korunmak için gerekli bakım problemleri de mevcut dezavantajları olarak dikkate alınmalıdır.

Colorado'da, Fort Collins kentinde, Platte River Güç Otoritelerinde 250 MW kapasiteli Rawhide enerji santralini soğutmak için, geri kazanılmış su kullanılmaktadır. Geri devirli soğutma sistemi, 20 milyon m<sup>3</sup> lük soğutma havuzundan oluşmaktadır ve

kondansatör ile yardımcı ısı değiştiriciye 10700 L/s su sağlamaktadır. Su geri kazanım tesisi; tam karışımlı ve polimer ilaveli aktif çamur havuzu, son çökeltim havuzu, klorlama ünitesi ve sülfürdioksit ile deklorlama yapılan ünitelerden oluşmaktadır. Enerji santralinde, maksimum fosfor konsantrasyonu olan 0.2 mg/l't'i elde etmek için, ilave fosfor arıtımı gerekmektedir. Yaklaşık 2 senelik işlemden sonra, kimyasal kalitesi ve estetik görünümü açısından kötü duruma gelen soğutma havuzunda havalandırmayı sağlamak ve bakteriyolojik gelişimi kontrol altına almak gerekmektedir.

Soğutma sistemlerinde en sık karşılaşılan su kalitesi problemleri; tabakalaşma, korozyon, biyolojik büyüme, tabaka teşkili ve köpüklenmedir. Bu problemler, geri kazanılmış suda olduğu kadar, içme sularında da ortaya çıkmaktadır. Ancak doğaldır ki geri kazanılmış suda bazı kirleticiler daha fazla olabilmektedir. Californiya Burbank'da yaklaşık 219 L/s debiyi arıtan evsel atıksu arıtma tesisinin ikincil arıtma çıkış suyu, şehrin enerji santralinin soğutma suyu olarak 1967'den beri başarıyla kullanılmaktadır. Las Vegas ve Clark Sanitation Eyaleti tarafından atıksu arıtma tesisinin, ikincil arıtma çıkışından alınan 3940 L/s'lik suyu, Nevada Enerji Şirketi tarafından işletilen santralin su ihtiyacının %35'ini sağlanmaktadır. Şirket ilave olarak; iki kademeli kireç ile yumuşatma, filtrasyon ve klorlama işlemini yaparak, suyu soğutma kulesi tamamlama suyu olarak kullanmaktadır. Teksas Odesa'da üç endüstri, 20 yılı aşkın bir süredir kazan besleme suyu ve soğutma kulesi tamamlama suyu olarak 110 L/s debili evsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyunu kullanmaktadır. Endüstrilerde kullanımdan önce, ikincil arıtma çıkış suyu yumuşatma ve filtrasyon işlemlerinden geçirilmektedir. Bu su, soğutma kulelerinde doğrudan, kaynatıcı beslemede ise iki yataklı demineralizasyon işlemden sonra kullanılmaktadır. Çizelge 2.2'de, geri devirli sistemlerde kullanılacak tamamlama suyu kalite kriterleri özetlenmiştir.

Kazanlar için kullanılan su ise, klasik su şebekesinden sağlandığında, geri kazanılmış suyun kullanılması durumuna göre çok az farklılık gösterir. Zira, her ikisi için de ilave arıtma gereklidir. Kazan besleme suyu kalitesi, kazanda kullanılan basınçla bağlıdır ve genel olarak yüksek basınçta daha yüksek kalitede saf su istenmektedir (Güneş 2002).

Geri kazanılmış suyun endüstride proses suyu olarak kullanılabilirliği ise, kullanım yerine göre değişmektedir. Örneğin, elektronik sanayinde elektronik

ekipmanların yıkanması için saf suya yakın kalitede su isterken, tabakhanelerde daha düşük kalitede su ile çalışılabilmektedir. Tekstil, kağıt ve metal sanayi ise, orta kalitede su gerektirmektedir.

Geri kazanılmış suyun kağıt sanayinde kullanımı, maliyete ve kağıdın kalitesine bağlıdır. Daha yüksek kalitede kağıt için, daha iyi kalitede su istenmektedir. Kağıtta renk değişimine neden olduğundan, kullanılacak suda özellikle bazı metal iyonlarının varlığı, renk ve Askıda Katı Madde (AKM) dikkat edilmesi gereken kirlilik parametreleridir. Geri kazanılmış suyun kağıt sanayinde kullanılabilirliği; kağıdın yapısını ve üniformaluluğunu etkileyebileceğinden biyolojik büyümenin engellenmesine (3 mg/lt kalıntı klor olacak şekilde klorlama yapılmalıdır) ve korozyona ve tabakalaşmaya neden olabileceğinden silika, alüminyum ve sertliğin bulunmamasına bağlıdır. Kimya sanayinde ise, ürün cinsine göre istenen su kalitesi değişmektedir. Genel olarak, nötr pH (6.2-8.3), orta derecede sertlik, düşük bulanıklık, düşük AKM ve düşük silika özelliklerine sahip suların uygun olabildiği bu sanayi dalı için, çözülmüş katılar ve klor önemli kirlilik parametrelerinden değildir. Petrol ve kömür sanayi, düşük kalitede suyu tolere edebilmektedir.

Çizelge 2.2 Geri devirli sistemlerde istenen su kalitesi

Parametre	Limit Değer	Parametre	Limit Değer
CI	500	NH4-N	1,0
Top.Çözün Katı Madde	500	PO4	4
Sertlik	650	SiO2	50
Alkanite	350	Al	0,1
PH	6,9-9,0	Fe	0,5
KOİ	75	Mn	0,5
Toplam AKM	100	Ca	50
Bulanıklık	50	Mg	0,5
BOİ	25	HCO3	24
Organikler	1,0	SO4	200

\* : pH Hariç tüm birimler mg/lt , \*\*:metilen mavisi aktif maddeler

Kaynak: GÜNEŞ, S. 2002. Arıtılmış Atıksuyun ve Arıtma Çamurlarının Geri Kazanımı,TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayınları,ANKARA, s:183

### 2.1.4 Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Kullanım

Artılmış atıksular havuzlara alınarak, insan ya da hayvan tüketimine yönelik olarak bitki ya da balık yetiştirmede kullanılabilir. Atıksuda bulunan çeşitli kirleticilerin, su kültürü üzerine etkileri aşağıda verilmektedir (Munsuz 1995).

- Kimyasal kirleticiler: anorganik maddelerin başlıca etkileri arasında, suyun pH'ını değiştirmeleri ve ağır metaller gibi maddelerin neden olduğu zehirlilik sayılabilir. Organik maddeler arasında fenoller ve civalı bileşikler gibi maddeler de zehirliliğe sebep olmaktadır. Özellikle, birikim yapan maddeler, sağlık açısından sakınca oluşturmaktadır,

- Fiziksel kirleticiler: renk, sıcaklık, köpük, askıda katı maddeler, bulanıklık ve radyoaktivite fiziksel kirletici parametrelerdir,

- Fizyolojik kirleticiler: tat ve kokuya neden olan bir çok madde fizyolojik kirleticilerdendir. Balık üretiminde ise, balık etinin tadını bozmaktadır,

- Biyolojik kirleticiler: atıksudaki mikroorganizmalar besinlerin iyi pişirilmeden yenilmesi durumunda hastalık riski oluşturmaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliği amaçlı yetiştirilen bitki ve balıklar, - farklı su kalitesine ihtiyaç duymaktadırlar. Atıksu ile beslenen su kültürü havuzlarında, yetiştirilen balık türleri geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu türlerden bazıları; Adi sazan (*Cyprinus carpio*), Hint sazanı (*Catla catla*, *Cirrhina mrigala* ve *Labeorohita*), Çin gümüş sazanı (*Hypophthalmichthys molitrix*), büyükbaş sazanı (*Aristichthys nobilis*), ot sazanı (*Crenopharyngodon idella*), altın balık (*Carassius auratus*), nil sazanı (*Osteochillus haseltii*), tilapia (*Oreochromis spp*), süt balığı (*Chanos Chanos*), yayın balığı (*Pangasius spp*), bıyıklı balık (*Puntius goionotus*) ve tatlı su karidesi (*Macrobrachium Lanchesterii*) olarak sıralanabilir (Pescod 1992). Su kültürü ile yetiştirilecek balık türü seçiminde, çevresel açıdan optimum olan bir çeşitten çok, yerli türler daha fazla tercih edilmektedir. Günümüze kadar yapılan araştırmalarda, balıklar için varılan ortak kanı, amonyakın ( $\text{NH}_3$ ) 0.2-2 mg/lit konsantrasyonlarda toksik etki oluşturduğu şeklindedir (Alabaster ve Liloyd 1980).

Balık türleri değişik tolerans seviyelerine sahiptirler. Örneğin, tilapia çeşitleri, yüksek amonyak seviyelerinden en az etkilenenler arasındadır. Havuzlarda yetiştirilen

balık genellikle sazan olmaktadır. Sazanlar, yüzey solunumu yapabilmeleri nedeniyle, düşük çözülmüş oksijen (ÇO) koşullarında dahi uzun süre yaşayabilmektedirler. Sucul makrofitler, evsel atıksu besleme havuzlarında yetiştirilirken, atıksuyun arıtılmasına da katkıda bulunur. Bazı sucul makrofitler ise, atıksu arıtımına yönelik olarak yetiştirilebilmektedir. Sucul bitkilerden, sebze gibi tüketilen su ıspanağı (*Ipomoea aquatica*), su mimozası (*Neptunia oleracea*), su teresi (*Rorippa nasturtium*) ve Çin su kestanesi (*Eleocharis dulcis*) atıksu havuzunda yetiştirilir. Asyanın bazı bölgelerinde dışkı ile gübrelenen sığ havuzlarda; su mercimeği, spirodela ve wolffia kültürleri, Çin sazan balığı, ördek, civciv ve salyangozların gıdaları olarak yetiştirilmektedir. Balık havuzuna oksijen kazandıran ve 24 saat süresince pozitif net birincil üretici olan fitoplanktonlar, Asyadaki balık çiftliklerinin büyük bir bölümünde besin kaynağı olarak kullanılmaktadır (Edwards 1990).

Atıksu ile beslenen bir su kültürü sisteminde, zaman zaman ÇO'nun çok düşük olduğu durumlarda, mekanik olarak oksijenlendirmeye ihtiyaç duyulur. Havuzlara büyük miktarda organik madde ve sediment girişi, metan ve sülfürler gibi anaerobik bozunma ürünlerinin oluşumuna yol açar. Adi sazan balığı (*Cyprinus Carpio*) gibi dipte beslenen balıklar, anaerobik koşullardan en fazla etkilenenler arasındadır. Özellikle, dipte yaşayan ve bir bakteri türü olan makrozo benthoslar bu koşullar altında yaşamlarını yitirmektedir. Balıkların hassasiyeti; düşük ÇO koşullarında; yaşam safhalarında (yumurta, larva ve ergenlik) ve yaşam proseslerinde (beslenme, büyüme ve üreme) değişkenlik arz eder. Her ne kadar balığın yaşaması için mutlak minimum ÇO değeri 1 mg/lit olarak yeterli ise de, sürekli minimum ÇO konsantrasyonu için 5 mg/lit değerinin dikkate alınması uygundur (Alabaster ve Liloyd 1980). Atık-besi havuzunda, düşük ÇO düzeyindeki koşullarda, özellikle hava ile solunum yapan, örneğin yayın balığı (*Clarias batrachus*) gibi balıkların çok toleranslı olduğu; tilapia, sazan balığı, alabalık ve kanallarda yaşayan yayın balığı gibi balıkların ise, daha az toleranslı olduğu gözlenmiştir.

Kanalizasyon sistemine toksik maddelerin deşarjı önlenmeye çalışılsa da, bazı durumlarda ağır metaller ve pestisitler kentsel atıksularda bulunabilmektedir. Böyle bir atıksuyun su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı, bitki ya da balık bünyesinde birikime yol açar. Örneğin alg; civa hariç bütün ağır metalleri bünyesinde tutabilme yeteneğine sahiptir. Tilapia balığı, ağır metalleri hızla bünyesinde biriktirmektedir. Balık besin



zincirinde ağır metaller; karnivor balıklarda, herbivor balıklara nazaran daha fazla akümüle edilmektedir. Balıklar, civa dışındaki ağır metalleri kendi dokularında regüle edebilme yeteneğine sahiptirler. Nuhon'da (Çin); atıksu ile beslenen balık havuzunda, yüksek konsantrasyonda fenol bulunduğu tespit edilmiştir. Çin'de yapılan bu çalışmada; yüksek fenol içeriğinin balık etinde koku oluşturduğu ve etin yenilemediği belirtilmektedir. Bu çalışmada ayrıca, erken yaşam safhalarındaki üç çeşit balığın arıtılmış kentsel atıksuyun ve toksik deşarjların etkisiyle; kalp damarları ve iskelet tahribatı, kalp atışında düşüş ve zayıf kuluçka, düşük larva ve düşük ergenlik gelişme hızı gibi etkilere maruz kaldığı ifade edilmektedir (Weis ve ark. 1989).

Sonuç olarak, balık havuzlarında yetiştirme periyodu süresince, toplam koliform sayısının düşük tutulması insan tüketimine yönelik balık yetiştiriciliğinde önem taşımakta ve bu şekilde yetiştirilen balıkların iyi pişirildikten sonra tüketilmesi gerekmektedir (Edwards 1990). Kedi balığı; ılıman ve tropik ortamlarda, Güney Afrika'dan Türkiye'ye kadar olan bölgede yetişmektedir. Değişik çevresel ortam koşullarına uyum sağlayabilmesi ve atmosferdeki havayı kullanabilmesi nedeniyle, çeşitli sucul ekosistemlerde görülmektedir.

### **2.1.5 Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılması**

Su kaynaklarındaki azalmanın insanları sınırlı kalitedeki suları kullanmaya zorladığı günümüzde, arıtılmış atıksuların bu anlamda kullanımını gündeme getirmiştir. Gerçek amacı çevresel kirlenmeyi azaltmak olan atıksu arıtımının çıkış suları gelişmiş ülkelerin çoğunda sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kullanım suyu için de gerekli ilave arıtmadan geçirilmektedir.

Gelişmiş ülkelerde, özellikle su kaynakları kıt olan bölgelerde, atıksular arıtıldıktan sonra tarımda ve peyzaj alanlarında kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde atıksular, serbest yüzeyli olarak kilometrelerce uzaklığa kanallarda iletildikten sonra doğrudan tarım alanlarına verilmektedir (Güneş 2002).

## **2.2. Sulama Sularının Kalitesi ve Bu Kaliteye Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi**

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasında göz önünde bulundurulacak en önemli husus, sulama suyunun kalitesidir. Sulama suyu kalitesi açısından, peyzaj

alanları tarım alanlarına göre daha toleranslıdır (Özbek 1990 ). Bu su kaynağı, sadece başka bir su kaynağı alternatifi olmadığı zamanlarda kullanılmaktadır.

Sulama suyu kalitesini belirlerken bitki seçimi önemlidir. Birinci arıtmadan çıkan sular peyzaj bitkileri için uygun olabilir. İkinci ve daha ileri arıtılmış sular, kültür bitkileri, otlaklar ve çayırlar için uygundur. Ayrıca tuz ve diğer iyonların seviyesine uygun bitkiler ile çok su ve azot isteyen bitkiler seçilebilir. Bunun için yıllık sıralı bitkilerin yerini çok yıllık yapraklı bitkiler alabilir. Suda azot çok ise gübre ihtiyacı azalır.

Atıksu kullanımının ekonomikliliği, temiz su kullanımı ile karşılaştırılarak belirlenir. Ayrıca, arıtılmış suların özellikleri maliyete etki eder. Bunlardan birisi, sağlanacak suyun kalitesidir. İkincisi, bu suyun içindeki azot miktarıdır. Bununla birlikte, sulama ihtiyacı ile atıksu miktarının aynı zamanda karşılanıp karşılanmadığı hususu, bunun için ek depo yapıp yapmamak hususundaki karara bağlıdır (Ağralıoğlu ve ark. 2000).

Sulanan arazilerde tuzlu ve alkali toprakların oluşumu üzerinde sulama suyu kalitesinin çok önemli etkisi vardır. Bölgenin yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi iklim özellikleri ile toprakların geçirgenlik ve sızma kapasitelerine bağlı olarak, sulama suyunun içerisinde bulunan çözünmüş maddeler, az veya çok oranlarda toprağa terk edilir. Toprakta biriken bu eriyebilir tuzlar zamanla toprakların tuzlulaşma ve alkalileşmesinde önemli rol oynarlar (Özbek 1990).

Bu nedenle herhangi bir bölgede sulu tarım sistemine geçiş sırasında, sulama ile ilgili toprak özellikleri ve toprakların olası tuzluluk ve alkalilik durumlarının incelenmesi yanında, bölgenin yerüstü ve yer altı su kaynaklarının sulama yönünden kalitelerinin saptanmasına mutlak gereksinim vardır.

Sulama sularının kalitelerinin belirlenmesinde üzerinde durulması gereken en önemli özellikler şunlardır:

1. Eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu,
2. Sodyum katyonunun diğer katyonlara olan nispi oranı,
3. Bor ve toksik olabilecek diğer elementlerin konsantrasyonu,

4. Bazı koşullar altında kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonu ile ilgili olarak bikarbonat konsantrasyonu (Özbek 1990).

Sulama suyu kalitesine ilişkin parametreler şunlardır:

### 2.2.1. Reaksiyon (pH)

Genellikle sulama sularında pH değerinin 6,5-8,0 arasında olması istenilir. Bununla birlikte, bitki çeşidi, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri pH değerinin elverişlilik sınırlarını etkileyebilir. Asit reaksiyonlu topraklarda, pH değeri, orta dereceden yüksek sular birçok bitkilerde zarar meydana getirmeden kullanılabilir. Bu tip topraklar ülkemizde Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Çizelge 2.3'te değişik pH sınıflarında toprakların asitlik sınıfları özetlenmiştir.

Çizelge 2.3 pH'a göre hidrojen ve hidroksil iyonları miktarları ve asitlik sınıfları

<b>H+ iyonu konsantrasyonu</b>	<b>OH- iyonu konsantrasyonu</b>	<b>PH</b>	<b>Asitlik sınıfı</b>
0,0001=10 <sup>-4</sup>	0,000000000=10 <sup>-10</sup>	4	Çok şiddetli asit
0,00001=10 <sup>-5</sup>	0,000000000=10 <sup>-9</sup>	5	Şiddetli asit
0,000001=10 <sup>-6</sup>	0,000000001=10 <sup>-8</sup>	6	Orta asit
0,0000001=10 <sup>-7</sup>	0,00000001=10 <sup>-7</sup>	7	Nötr
0,00000001=10 <sup>-8</sup>	0,000001=10 <sup>-6</sup>	8	Orta alkali
0,000000001=10 <sup>-9</sup>	0,00001=10 <sup>-5</sup>	9	Şiddetli alkali
0,0000000001=10 <sup>-10</sup>	0,0001=10 <sup>-4</sup>	10	Çok şiddetli alkali

Kaynak: ÖZBEK, 1990. Su Kalitesi Ders Notları s:12

### 2.2.2 Eriyebilir Tuzların Toplam Konsantrasyonu

Doğal olarak sularda erimiş halde bulunan tuzlar; sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum katyonları, klorür, sülfat, hidrokarbonat ve karbonatlar gibi anyonlar ile az miktarlarda flor, nitrat ve fosfatları ve yine çok az miktarlarda bulunan bor, demir, mangan ve diğer mineral maddelerdir. Su Kirliliği Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan sulama suyu kalite kriterlerine göre sulama sularında

kullanılabilir eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonlarının limitleri 0-1400 mg/l'tir.

Suda erimiş halde bulunan bütün bu tuzlar (katyonlar ve anyonlar) suyun fiziksel ve kimyasal özelliğini değiştirir, ozmotik basıncını artırır, bazıları bitkilere doğrudan toksik etki yapar, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine de doğrudan etki ederek, strüktür bozulması, tuzlulaşma ve alkalileşme tehlikelerini yaratır. Suda erimiş halde bulunan tuzların toplam konsantrasyonu, filtreden geçirilmiş su örneği kuruyuncaya kadar buharlaştırılarak, kaptaki tortuyu tartmak suretiyle tayin edilirse de toplam eriyebilir tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak sulama sularının kalitelerinin saptanmasında "Elektriksel İletkenlik" değeri kolay ve hassas bir şekilde tayin edilebilmesi nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Özbek 1990).

### **2.2.3. Elektriksel İletkenlik**

Sulama sularında bulunan eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan elektriksel iletkenlik, sulama kalitesi yönünden suların tanım ve sınıflandırılması amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Su Kirliliği Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan sulama suyu kalite kriterlerine göre sulama sularında kullanılabilir elektriksel iletkenlik limit değerleri sırasıyla 0-2000  $\mu\text{mhos/cm}$ 'dir.

Günümüzde kullanılan sınıflandırma sistemlerinde, suların toplam tuz konsantrasyonu miktar olarak dikkate alınmaksızın yalnızca elektriksel iletkenlik terimleri ile amaca uygun bir sınıflama yapılabilmektedir. Bu yöntem, elektriksel iletkenliğin, çabuk, kolay ve hassas bir şekilde ölçülebilmesi nedeniyle de çok kullanışlıdır.

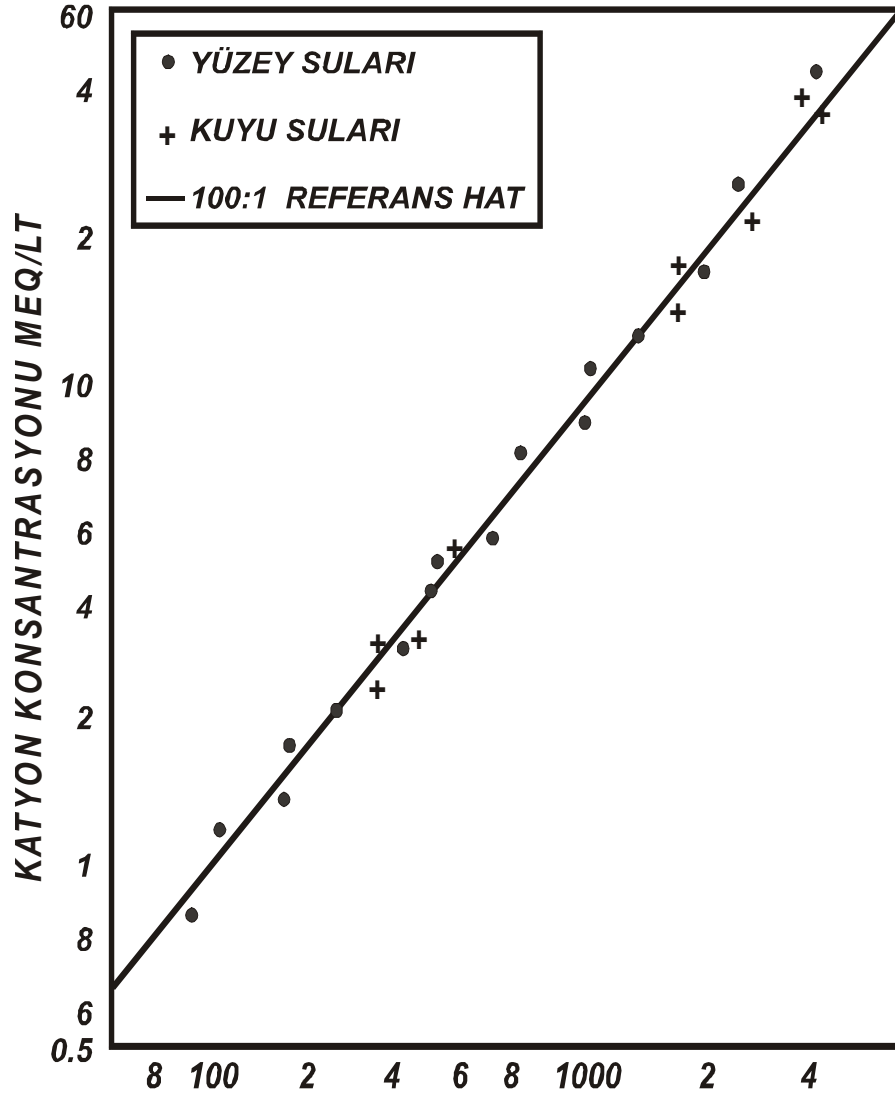
Toprakta tuzluluk tehlikesi yaratması yönünden sular elektriksel iletkenliklerine göre bazı otoriteler tarafından, değişik sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmışlardır. Bugün en çok kullanılan sınıflandırma sistemi A.B.D. Riverside Bölgesi Tuzluluk Laboratuvarınca hazırlanmış olan sistemdir. Bu son sisteme göre sulama suları elektriksel iletkenlikleri yönünden başlıca 4 sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflandırma Çizelge 2.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.4 Sulama sularının elektriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflandırılması

<b>Sınıflar</b>	<b>ECx10<sup>6</sup> 25°C'de µmhos/cm.</b>
<b>C.1. Az Tuzlu Sular</b>	0-250
<b>C.2. Orta Tuzlu Sular</b>	250-750
<b>C.3. Fazla Tuzlu Sular</b>	750-2250
<b>C.4. Çok Fazla Tuzlu Sular</b>	2250-5000

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:17

Sulama sularının elektriksel iletkenliği ile toprağın doygunluk süzüntüsünün elektriksel iletkenliği arasındaki ilişki Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu ilişki dikkate alınarak saptanan bu sınır değerleri ve tuzluluk tehlikesi yaratması yönünden sınıfların önemli kalite özellikleri daha kapsamlı şekilde sulama sularının sınıflandırılması ile ilgili bölümde incelenecektir.



### *ELEKTRİKSEL İLETKENLİK MİCROMHOS (ECx10<sup>6</sup>)25°C*

Şekil 2.1. Sulama sularında elektriksel iletkenlik (ECx10<sup>6</sup>) ile me/l olarak toplam katyon konsantrasyonu arasındaki ilişki

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:15

#### **2.2.4. Sulama Sularında Bulunan Katyonlar ve Anyonlar**

Sularda bulunan başlıca katyon ve anyonların, kimyasal simge ve eşdeğer ağırlıkları ile su içerisinde bulunabilecek olası tuz bileşik formülleri halinde Çizelge 2.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.5. Sulama sularında bulunan başlıca katyon, anyon ve eriyebilir tuzlar

<b>Kimyasal Simge veya Formülleri</b>	<b>Eşdeğer Ağırlığı</b>	<b>Element veya Bileşik İsmi</b>
<b>KATYONLAR:</b>		
<b>Ca<sup>++</sup></b>	20,04	Kalsiyum
<b>Mg<sup>++</sup></b>	12.16	Magnezyum
<b>Na<sup>+</sup></b>	23.00	Sodyum(Natrium)
<b>K<sup>+</sup></b>	39.10	Potasyum(Kalium)
<b>ANYONLAR:</b>		
<b>CO<sub>3</sub><sup>-2</sup></b>	30.0	Karbonat
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	61.01	Bikarbonat
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	48.03	Sülfat
<b>Cl<sup>-</sup></b>	35.46	Klor
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	62.01	Nitrat
<b>TUZLAR:</b>		
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	55.50	Kalsiyum Klorür
<b>Ca SO<sub>4</sub></b>	68.07	Kalsiyum Sülfat
<b>Ca SO<sub>4</sub>*2 H<sub>2</sub>O</b>	86.09	Jips
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	50.04	Kalsiyum Karbonat
<b>Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	71.03	Kalsiyum Bikarbonat
<b>Mg Cl<sub>2</sub></b>	47.62	Magnezyum Klorür
<b>Mg SO<sub>4</sub>*7 H<sub>2</sub>O</b>	60.19	Magnezyum Sülfat
<b>Mg CO<sub>3</sub></b>	42.16	Magnezyum Karbonat
<b>Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	67.09	Magnezyum Bikarbonat
<b>NaCl</b>	58.45	Sodyum Klorür
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*10 H<sub>2</sub>O</b>	71.03	Sodyum Sülfat
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	53.00	Sodyum Karbonat
<b>Na H CO<sub>3</sub></b>	84.01	Sodyum Bikarbonat
<b>KCl</b>	74.56	Potasyum Klorür
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	87.13	Potasyum Sülfat
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	69.10	Potasyum Karbonat
<b>KHCO<sub>3</sub></b>	100.11	Potasyum Bikarbonat

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:19

## **Katyonlar**

**Kalsiyum :** Tüm canlılar için önemli bir mineral madde ve bitki besin elementi olan kalsiyum doğada elementer olarak bulunmaz kolayca okside olur, su ile reaksiyona girerek,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  meydana getirir ve  $\text{H}^+$  gazı açığa çıkar. Kalsiyum tuzları ve dolayısı ile kalsiyum katyonu sularda ve topraklarda en çok bulunan katyonlardandır.

Kalsiyum katyonu, kireç taşları ve topraktan yıkanmalarla erir formda sulardaki eriyebilir tuzların bileşimine katılır.

Yağmur suları ve akar sular kireç taşlarını aşındırır ve eritir. Bu olayı, kalker kayaları ile örtülü arazilerde meydana gelmiş büyük oyuk ve mağaralar ile, sarkıt ve dikitlerin oluştuğu yerlerde (örneğin Damlataş Mağarası, Alanya ve Pamukkale Traverten Taraçalarında) görmek mümkündür. Bu aşınma ve erime olayı, genel olarak suda çözünmeyen  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) üzerine karbondioksitli suların etkisi ile meydana gelir.

Ayrıca kalsiyum katyonu, toprakta iyon değişimine katılmak suretiyle, alkaliliği ıslah edici, agregat oluşumu ve toprak strüktürü üzerine etkisiyle toprağın fiziksel özelliklerini düzeltici etkiye sahip olduğundan sulama sularında yüksek konsantrasyonda bulunması istenir. Bununla birlikte önemli bir bitki besin elementi olan kalsiyumun özel iyon etkileri üzerinde çalışan bazı araştırmacılar, özellikle yüksek konsantrasyondaki  $\text{CaCl}_2$  tuzlarının, bazı kültür bitkilerinde örneğin keten ve bazı çayır bitkilerinde,  $\text{NaCl}$ 'den daha toksik olduğunu saptamışlardır (Özbek 1990).

**Magnezyum:** Bitki gelişmesi içinde önemli olan magnezyum katyonu, aynı kalsiyum iyonunda olduğu gibi, iyon değişimine katılır, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzeltir. Toprağı daha geçirgen ve kolay işlenebilir hale getirir. Fakat kalsiyuma göre, sularda daha düşük konsantrasyonlarda bulunması istenilir 24 mg/l'te kadar olan magnezyum konsantrasyonunda bitkiler herhangi bir zarar görmemekle birlikte, çok yüksek konsantrasyonlar da (3000-5000 mg/l'te)  $\text{MgCl}_2$  ve  $\text{MgSO}_4$ 'ün bir çok kültür bitkilerinde özellikle fasulyelerde toksik etki yaptığı araştırmalarla saptanmıştır (Özbek 1990).

Sulama sularının kalitesine etkileri ile ilgili değerlendirmelerde, kalsiyum ve magnezyumun konsantrasyonları ayrı ayrı değil ( $\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++}$ ) konsantrasyonu olarak



dikkate alınır. Benzer özellikleri ve su kalitesi üzerine olan ortak etkileri nedeniyle yapılan bu değerlendirme, hemen hemen bütün dünya laboratuvarlarında benimsenmiş ilke haline gelmiştir.

**Potasyum:** İyonlaşmış halde toprak eriyiğinde, değişebilir potasyum halinde toprağın değişim kompleksinde, iyonize veya moleküler formatta pek çok kaya ve minerallerin bileşiminde (örneğin potaslı feldspatlar) yer alır.

Bitkiler için çok gerekli bir besin maddesi olan potasyumun sulama sularında bulunması genellikle istenilen bir husustur. Özellikleri yönünden sodyuma benzerse de, A.B.D. Riverside Tuzluluk Laboratuvarında yapılan araştırmalar gerek toprakta ve gerekse sulama sularında herhangi bir zarar meydana getirmediğini göstermiştir.

Sularda en çok bulunan potasyum tuzları, KCl (potasyum klorür),  $K_2SO_4$  (potasyum sülfat),  $K_2CO_3$  (potasyum karbonat) ve nitratlarca zengin güherçile yatakları, kumtaşlarını yıkayan sularda lokal olarak fazlaca bulunabilen  $KNO_3$  (Potasyum nitrat)'lardır.

**Sodyum:** Sulama suyu kalitesi üzerinde doğrudan etkili en önemli katyon sodyum katyonudur. Bir sulama suyunun kalitesini belirleyen sodyum veya alkalilik tehlikesi, sodyum katyonunun mutlak konsantrasyonu yanında, sodyumun diğer katyonların toplam konsantrasyonuna göre oransal miktarının yüksekliğine de bağlıdır. Diğer bir deyişle sulama suyundaki sodyum konsantrasyonu miktar olarak düşük olsa bile, diğer katyonların toplamından oransal olarak fazla ise önemli ölçüde alkalilik zararı meydana getirebilir.

Sodyumun karbonat ve bikarbonat tuzları bitkilere diğer sodyum tuzlarından daha fazla zararlıdır. Eşit ağırlık koşullarında klorürler, sülfatlardan daha toksik bulunmuştur. Eşit ozmotik basınçlarda ise, sodyum sülfatın, bazı bitkilerde sodyum klorürden daha fazla zararlı olduğu saptanmıştır (Özbek 1990).

Bitkilere olan toksik etkisinden başka sodyum toprak eriyiğinde, toprağın değişim kompleksi denilen kil ve organik kolloidler tarafından adsorbe edilerek değişebilir  $Na^+$  katyonu haline gelir, önemli oranda toprak tarafından tutulur. Özellikle değişebilir  $Na^+$  katyonunun yüzdesi 15 ve daha yüksek olduğu zaman, toprak "Tuzlu-Alkali veya Tuzsuz-Alkali durumu gelişen bu topraklarda bitkiler, değişebilir sodyumdan da büyük ölçüde zarar görür. Değişim kompleksi kil ve humus % 40-50 oranında değişebilir

sodyum içerdiği zaman, bitkide kalsiyum, potasyum ve magnezyum gibi bitki besin elementlerinin noksanlık belirtileri görülür.

Sodyumla doymuş topraklarda, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri de bozulur. Strüktür oluşumu zayıflar, toprağın hava ve su geçirgenliği azalır, toprak reaksiyonu (pH) zararlı düzeyde alkaliye yükselir, bitki besin maddelerinin alımını geriler, ozmotik basıncın artması nedeniyle bitkilerin kök emme basıncı su absorpsiyonuna yetmez, bitkiler su içerisinde olmalarına rağmen susuzluk çekerler.

Bir sulama suyunda bulunan sodyumun diğer katyonlara olan nisbi oranı, “Eriyebilir Sodyum Yüzdesi” (S.S.P) terimi ile ifade edilir. Suyun analiz sonuçlarına göre hesaplama yoluyla bulunan bu terime göre katyonların konsantrasyonları me/lt (miliekivalent/litre) birimi ile ifade edilerek aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$SSP = \frac{\text{Eriyebilir Sodyum Konsantrasyonu (Na}^+) \text{}}{\text{Total Katyon Konsantrasyonu}} \times 100$$

Bir sulama suyunun kalitesini belirlemekle eriyebilir sodyum yüzdesi (SSP) değerine bakılmak suretiyle bir fikir elde edilir. Eriyebilir sodyum yüzdesi yüksek olan sular düşük sertlikte yumuşak sular, değişebilir sodyum oranı yüzdesi düşük sular ise sert sular olarak tanımlanır.

Her ne kadar SSP değeri sodyum (alkali) zararının bir ölçüsü ise de, toprak eriyiğinde sodyumun toprak kolloidleri tarafından adsorpsiyonu, diğer katyonların nisbi oranları ile çok yakın ilişkili olduğundan, Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) kadar kullanışlı ve doyurucu değildir. Bu nedenle SAR değerinin sodyum veya alkali zararının bir indeksi olarak kullanılması, SSP’e göre belirgin avantajlara sahiptir. SAR değeri suyun elementer analiz sonuçlarına göre aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$SAR = (\text{Na}^+ \text{ me/lt}) / [(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / 2]^{1/2}$$

A.B.D. Riverside Bölge Tuzluluk Laboratuvarı tarafından SAR değerlerine göre sular, sodyum veya alkalilik tehlikesi yönünden, 4 sınıfa ayrılmaktadırlar. Bu sınıflar ve önemli özellikleri sulama sularının sınıflandırılması bölümünde geniş olarak incelenecektir.

Sulama suyunun SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı) değeri, bu sulama suyu ile kimyasal reaksiyonlar yönünden denge halinde bulunan toprakta beklenen değişebilir

sodyum oranı değeri ile çok yakın ilişkili olduğundan, yüksek SAR değerleri yüksek değişebilir sodyum oranı veya alkali zararı, düşük SAR değerleri düşük değişebilir sodyum oranı veya alkali zararının ölçüsü olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

### **Anyonlar**

**Klorür:** Çok düşük konsantrasyonlarda bile ekonomik bitki türlerinde önemli zararlara neden olan klorür tuzlarının sulama sularındaki konsantrasyonuna özel bir önem verilmektedir.

Sağlık yönünden içme sularında da klorür konsantrasyonunun belirli sınırların üzerinde olmaması istenilir. Türk Standartlar Enstitüsü (TSE-266) içme suları standartlarına göre, kaynak sularında 20 mg/lt şehir içme sularında ise 200 mg/lt klorür, izin verilebilir değer olarak kabul edilmektedir.

Sularda doğal olarak ençok bulunan klorür tuzu, sodyum klorür (NaCl) dür ve deniz sularının hakim olan tuzudur. Sulama sularının NaCl içeriğinin kültür bitkilerine etkisi; bitki türlerine, toprak koşullarına ve iklime göre oldukça farklı sınır değerlerine sahiptir.

Avokado ağaçları, limonlar ve bazı süs bitkileri 100-200 mg/lt. NaCl'den zarar görürken, arpa ve buğdayda toksite sınırı 8000 mg/lt'ye kadar çıkmaktadır. Genellikle sulama amacıyla kullanılacak sularda sodyum klorür konsantrasyonunun 700 mg/lt'yi geçmemesi önerilmektedir (Özbek 1990).

**Sülfat:** Tuzlu-Alkali ve Tuzsuz-Alkali toprakların ıslahında kullanılan kükürt ve jips ile tarımsal ilaç olarak kullanılan kükürtlerin mikrobiyolojik oksidasyonu ile oluşan sülfatlar, bu gibi topraklardan sızan drenaj sularını sülfat iyonlarınca özellikle NaSO<sub>4</sub> yönünden zenginleştirir. Bu sulardan yer altı sularına önemli oranda sülfatlar karışabilir. Suni gübre olarak yaygın şekilde kullanılan amonyum sülfat (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> yolu ile de topraklara ve drenaj sularına önemli oranda sülfatlar ilave edilebilir (Özbek 1990).

Scofield (1936)'a göre sulama sularında, izin verilebilir sülfat anyonu konsantrasyonu sınırları Çizelge 2.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 2.6 Scofield (1936)'a göre sulama sularında sülfat kapsamına göre elverişlilik sınırları

Sülfat konsantrasyonu	Elverişlilik sınırı
192 mg/lt veya daha az	Çok iyi
192-336 mg/lt	İyi
336-576 mg/lt	İzin verilebilir
576-960 mg/lt	Kullanılması sakıncalı
960 mg/lt' den fazla	Kullanılmaz

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:28

Eaton ve ark. (1953)'na göre ise bu sınır değerleri biraz değiştirilerek, sülfat kapsamı yönünden sular üç sınıfa ayrılmaktadır.

1. Sınıf sularda  $SO_4^-$  içeriği 192 mg/lt den az.
2. Sınıf sularda  $SO_4^-$  içeriği 192-576 mg/lt arası
3. Sınıf sularda  $SO_4^-$  içeriği 576 mg/lt 'den fazladır. 1. sınıf sular “iyi”, 3. sınıf sular “sakıncalı”, 2. sınıf sular ise “izin verilebilir” konsantrasyonda sülfat içermektedir.

Türk Standartlar Enstitüsü İçme Suları Standartına göre kaynak sularında sülfat kapsamı; 20 mg/lt., içme sularında ise 200 mg/lt izin verilebilir sınır olarak kabul edilmektedir.

Sularda kolaylıkla eriyebilen sodyum sülfatın ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ) eş ozmotik konsantrasyonlarda, havuç, pancar ve fasulyelerde klorürler kadar toksik olduğu saptanmıştır. Yüksek ozmotik konsantrasyonlarda,  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 'nun keten bitkisine NaCl'den daha toksik olduğu Hayward ve Spurr (1944) tarafından bulunmuştur. Birçok bitkilerde sülfat toksisitesi klorür toksisitesine benzer belirtiler göstermektedir. Magnezyum sülfat, kalsiyum sülfat ve potasyum sülfatın, bitkilere toksik etkileri görülmemektedir.

### **Bikarbonat ve Karbonat**

Su kalitesi ile ilgili değerlendirmelerde, bikarbonatlar ile karbonatların dengesi çok önemlidir.

Düşük pH derecelerinde, bikarbonat hidrojenle birleşerek karbonik asidi oluşturur ve daha sonra da karbondioksit açığa çıkar.

Bu bikarbonatların içme, kullanma ve sanayi sularında kaliteyi etkilemeleri dışında, sertlik yönünden bitkileri toksik etkileri olmadığı gibi toprağa kötü tesirleri de yoktur.

Hakim tuzlar olarak sodyum bikarbonat ve sodyum karbonat içeren sulama suları sodyumun klorür ve sülfatlarını içeren sulara göre bitkilere çok daha fazla toksik etki yapabilirler. Özellikle sodyum karbonat bitkilere son derece toksik olup, aynı zamanda, toprağın fiziksel özelliklerini, agregat oluşumu ve strüktürel yapısını bozar, sertleştirir, su ve hava geçirgenliğini azaltır. Kimyasal özellikleri yönünden pH'yı yükseltir, bitki besin maddelerinin alınımını geriletir.

Tampon özelliğine sahip olan sodyum bikarbonat tuzlarının etkisi ise, karbonat oluşumuna neden olmaları ile dolaylı veya doğrudan toksik etkileri ile dolaysız yollardan olabilir.  $Ca^{++}$  ve  $Mg^{++}$ 'un çökmesine neden olduğundan toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini de bozar.

### **Nitrat**

Doğal olarak yerüstü ve yer altı sularında nitratlar çok az bulunur. Bitkiler için önemli bir besin maddesi olan nitratların bitkilere toksik etkisi yoktur. Yalnız içme sularında nitratların varlığı önemli bir kirlenme belirtisidir. Fakat sulama sularında nitratların bulunması istenilen bir özelliktir. Rusya'da, A.B.D.'de 100 ppm.'e kadar nitrat içeren kuyuların bulunduğu bildirilmektedir (Özbek 1990). Esas olarak bir oksidasyon işlemi olan nitrat oluşumunun yeterli oksijen koşulları da yüzeyde veya yüzeye yakın katmanlarda olması gerekirken, derin kuyuların yüksek nitrat konsantrasyonu, güherçile yarattıklarından sızan suların kuyulara karışması ile açıklanabilmektedir.

### **İz Elementler**

Sularda çok düşük veya iz konsantrasyonlarda bulunan elementlerdir. Bu elementlerden bor, silis, fosfor, kükürt, flor, demir, çok düşük konsantrasyonlarda, nitrit, amonyum iyonları, organik maddeler toksik elementlerden krom, kobalt, bakır, kurşun, civa, molibden, nikel, çinko, selenyum, arsenik, siyanür ise iz elementler olup

sularda bulunmaları istenilmemektedir. Gerek sulama, gerek içme ve kullanma, gerekse sanayi sularında su kalitesini bozar ve kullanımı sınırlandırır. Sulama suyu kalitesi ile ilgili olarak bu iz elementlerden en önemlisi bordur.

### **Bor (B)**

Doğal olarak hiçbir zaman elementer formda bulunmayan bor iz elementinin toksik miktarlarına genellikle jeolojik fay hatlarına yakın kuyu sularında, sıcak kaynak ve kaplıca sularında, tuzlu ve alkali toprakların bulunduğu bölgelerde yer altı ve taban sularında rastlanılır.

Bor minerali yataklarından süzülen sular ve kömür havzalarının artık suları yüksek oranlarda bor ile kirlenmiş olabilir. Bu şekilde meydana gelen bor kirlenmelerine ülkemizde de geniş alanlar halinde rastlanmakta olup, boraks madenlerinden ileri gelen Simav çayı kirlenmesi, Tavşanlı-Tunçbilek kömür havzalarından verilen artık sularla, M.Kemalpaşa Çayı ve Apolyont Gölü kirlenmesi, Bandırma'da boraks tesislerinden ileri gelen toprak ve su kirlenmeleri, İzmir Balçova'da Agamemnon kaplıca sularından sulama suyu kuyularına olan sızmalarla meydana gelen bor kirlenmeleri önemli örnekler olarak sayılabilir.

Bütün bitkilerin gereksinim duyduğu önemli bir mikrobesein elementi olan bor, bitkiler tarafından çok düşük konsantrasyonlarda alınır ve noksanlığı birçok bitkilerde önemli zararlara neden olur. Bununla birlikte bor birçok kültür bitkileri üzerinde toksik etkiye sahip olup 0.5 mg/l'ten yüksek konsantrasyonları, duyarlı bitkilerde ekonomik zarar meydana getirir. Örneğin narenciyeler, ceviz ağaçları, taş çekirdekli meyvalar 3 ppm. bor içeren sulama suları ile sulandıkları takdirde, önemli ölçüde ürün azalması ve toksik zararlar meydana getirmektedir. Çizelge 2.7'de Eaton (1953)'e göre bitkilerin bor elementine nispi dayanmaları sınır değerleri olarak verilmektedir.

Çizelge 2.7'de görüldüğü gibi değişik bitki türlerinin yüksek veya düşük bor konsantrasyonlarına dayanmaları oldukça farklılıklar göstermektedir. Her grup içerisinde ilk verilen bitki daha dayanıklı, son belirtilen bitki ise daha duyarlıdır.

Çizelge 2.7 Bitkilerin bor elementine nispi dayanmaları

<b>Dayanıklı (2-4 ppm.Bor Suda)</b>	<b>Yarı Dayanıklı (1-2 ppm.Bor Suda)</b>	<b>Duyarlı (0,5-1,0 ppm. Bor Suda)</b>
Tamarix	Ayçiçeği	Pekan Cevizi
Kuşkonmaz	Patates	Ceviz
Şeker Pancarı	Pamuk(Akala)	İngiliz Cevizi
Hayvan Pancarı	Pamuk(Pima)	Enginar
Bahçe Pancarı	Domates	Fasülye
Yonca	Bezelye	Karaağaç
Glayöl	Turp	Erik
Bakla	Tarla Bezelyesi	Armut
Soğan	Zeytin	Elma
Şalgam	Arpa	Üzüm
Lahana	Buğday	İncir
Marul	Mısır	Trabzon Hurması
Havuç		Kiraz
	Yulaf	Şeftali
	Zıma Çiçeği	Kayısı
	Kabak	Böğürtlen
	Biber	Portakal
	Tatlı Patates	Avokado
	Lima Fasülyesi	Creyfurt
		Limon

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:36

Bor elementinin bitkilere olan toksik etkisi üzerinde iklim ve toprak özellikleri de etkili olmaktadır. Toprağın kil yüzdesi, serbest kireç ( $\text{CaCO}_3$ ) kapsamı, bor toksisitesine etki etmektedir. Kurak bölge topraklarında kalsiyum ve magnezyumun meydana getirdiği boratlar, bor elementinin kültür bitkilerine olan toksitesini artırmaktadır. Yapılan araştırmalar, bor elementinin bitkilere olan zehir etkileri üzerinde seçilen sulama yönteminin de etkili olduğunu göstermiştir. 0.5 ppm. bor içeren su ile ve yağmurlama sistemi ile sulanan turuncgillerde yapraklarda bor toksitesi görülmüş ve yapraklardaki bor kapsamının 200-250 ppm. gibi yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu saptanmıştır. Aynı su karık sulaması yöntemine göre verildiğinde yaprakların bor kapsamı 50-100 ppm. gibi normal sınırlarda bulunmuştur.

Bitkiler bor elementinin erimiş formda toprak eriyiğinden veya sulama suyundan çok az miktarlarda alırlar. Toprağın kil ve humus gibi değişim kompleksi tarafından adsorbe edilmiş bor bitkiler tarafından alınamaz. Bitki kökleri tarafından adsorbe edilen

erimiş bor yapraklara taşınır ve su terleme ile kaybedilince bor yapraklarda birikir. Daha çok yaprak uçları ve kenarlarında olan bor birikmesi sonucu yapraklar uç sararmaları, kahverengi lekeler ve nekrozlar meydana gelir. Bor tuzu ile sulama devam ettikçe bor birikimi artar ve zarar dallara da geçerek kuruma ve çürpülmeler başlar. Bor birikimi daha çok olgun veya yaşlı yapraklarda görülür. Yeni sürgün ve yapraklarda görülen yukarıdaki belirtiler ise bor fazlalığının değil bor noksanlığının belirtileridir. Bu özellikten yararlanılarak bor noksanlığı veya toksitesi kolaylıkla ayırt edilir. Bu durum bor toksitesinin önemli bir göstergesi olan yaprak analizleri ile de kolaylıkla saptanabilir. Chapman-Vanselow (1955)'e göre yaprağın bor kapsamına bakılarak, bor zararı Çizelge 2.8'de görüldüğü biçimde sınıflandırılır.

Çizelge 2.8 Yaprak analizlerine göre, bitkilerde bor elementinin durumu ve sınıflandırılması

100 gr. Kuru yaprak materyalinde bor (ppm)	Yaprağın Bor kapsamına göre zarar durumu
3-15	Çok noksan
15-25	Hafif noksan
25-100	Normal sınır değer
100-300	Orta derecede bor zararı
300-500	Belirgin bor zararı
500-2400	Şiddetli bor zararı

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:37

Sulama suları bor kapsamına göre Scofield (1936) tarafından, dayanıklı, yarı dayanıklı ve duyarlı bitkilere göre bir sınıflandırma sistemine tabi tutulmuşlardır. Bu sınıflandırma sistemi, sulama sularının sınıflandırması ile ilgili bölümde verilmektedir.

Bor elementinin bazı sulama sularında toksik konsantrasyonlarda bulunan sulama sularının kalitelerinin belirlenmesinde, en az tuzluluk ve alkalilik tehlikesi yaratması kadar önemli bir kriter olarak ele alınmasını gerektirir. Bu nedenle sulama sularının kaliteleri tayin edilirken bor analizi ve sınıflandırılmasına ayrı bir önem verilmektedir.

### 2.3 Sulama Sularının Sınıflandırılması

Sulama sularının kalitelerinin saptanması ve sınıflandırılmaları ile ilgili olarak günümüze kadar bir çok sınıflandırma sistemleri geliştirilmiş veya önerilmiştir. Bu sistemler içerisinde, hemen hemen tüm dünya ülkelerinde benimsenen ve Türkiye'de de



kullanılan sınıflandırma sistemi A.B.D. Riverside Tuzluluk Laboratuvarı elemanları tarafından 1954 yılında geliştirilmiş sınıflandırma sistemidir.

Bu sistemde, bir sulama suyunun; toprak bünyesi, toprak permeabilitesi, doğal drenaj koşulları, her sulama devresinde verilecek sulama suyunun miktarı, bölgenin iklim koşulları yetiştirilen bitkilerin tuza dayanıklılık durumları ile ilgili olarak ortalama koşulların varlığı kabul edilerek kullanıldığı düşünülür. Yukarıda belirtilen faktörlerden bir veya birkaçının uygun olmaması halinde, normal koşullar altında emniyetli bir şekilde kullanılan bu suyun, kullanımını sakıncalı duruma gelebilir. Bu durumun aksi olarak, normal koşullar altında kullanılması sakıncalı olan bir su, tarla koşullarının elverişliliği halinde bazen, kaliteli bir sulama suyu olarak kullanılabilir. Bu nedenle sulama sularının sınıflandırılmasında, kullanılan sistemlerin, ortalama koşullarla yakından ilişkili olduğu daima göz önünde bulundurulmalıdır (Sarıkaya 1994).

A.B.D. Riverside Tuzluluk Laboratuvarı sınıflandırma sisteminde sulama suları, elektriksel iletkenlik ( $EC \times 10^6$ ) değerine dayalı “tuzluluk zararı” (C ) sodyumun diğer katyonlara olan nisbi oranına göre ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerine dayalı olarak “alkali zararı” (S) yönünden ayrı ayrı sınıflandırılmakta ve bu iki özelliğin kombinasyonu ile geliştirilmiş sulama sularının sınıflandırılması diagramından suyun sınıfı saptanmaktadır (EPA 1992).

### **2.3.1. Tuzluluk Zararı**

Ortalama koşullar altında, sulama sularının elektriksel iletkenliği ile toprağın doyumluk süzütüsünün elektriksel iletkenliği arasında çok yakın bir ilişki vardır. Yıkama yapılmaksızın uzun süre, elektriksel iletkenliği yüksek tuzlu sularla sulanan topraklarda, doyumluk süzütüsünün elektriksel iletkenliğinin önemli ölçüde arttığı denemelerle saptanmıştır. Bu konuda, tarla şartlarında olası tuzluluk düzeyinin hesaplanmasında kullanılabilecek formüller de geliştirilmiştir (Pettygrove ve Asano 1994 ).

Doyumluk süzütüsünün elektriksel iletkenliği 4000  $\mu\text{mhos/cm}$ 'yi geçtiği zaman, tarla koşullarında tuzluluk zararı görülmeye başlanmaktadır. Özellikle tuza duyarlı bitkilerde bitki gelişmesi yavaşlamakta, tuzluluk arttığı taktirde tamamen durmaktadır. Eriyebilir tuzların konsantrasyonu arttıkça, tuza yarı dayanıklı ve dayanıklı bitkilerde bile, normal tuzsuz koşullara oranla önemli ölçüde ürün azalması meydana gelmektedir.

Çizelge 2.9'da değişik kültür bitkilerinin, doyumluk süzütüsünün elektriksel iletkenliğine göre tuzluluk zararına dayanma durumları verilmektedir. Bu çizelgedeki tuza dayanıklılık sıralamasında, şu üç önemli faktör dikkate alınmaktadır:

Çizelge 2.9 Kültür bitkilerinin tuzluluğa karşı oransal dayanmaları

<b>Toprağın Doygunluk Süzütüsünün Elektriksel İletkenliği <math>EC \times 10^6</math> 25 °C'da (<math>\mu\text{mhos/cm}</math>)</b>	<b>Bitkilerin tuzluluğa karşı dayanma durumları</b>
<b>0-200</b>	Kültür bitkilerinde tuzluluk zararı çok az veya hiç yok
<b>2000-4000</b>	Tuzluluğa karşı çok duyarlı olan bitkilerden verim sınırlandırılabilir. Bu bitkiler: Avakado, narenciyer, çilek, şeftali, kayısı, badem, erik, elma, armut gibi meyvalar; fasülye, kereviz, turp gibi sebzeler ile meadow foxrall tırfıl türlerinin pek çoğunu kapsayan yem bitkileridir.
<b>4000-8000</b>	Tuzluluğa orta derece dayanıklı birçok bitki türlerinde verim sınırlandırılmaktadır. Bu gruptaki en duyarlı bitkiler üzüm, kavun, kabak, hıyar, bezelye, soğan, havuç, biber, patates, tatlı mısır, marul ile kısmen dayanıklı zeytin, incir, nar, karnabahar, lahana, domates, yulaf, buğday, çavdar, yonca, sudan otu, taş yoncası, keten, mısır ve prinçtir.
<b>8000-16000</b>	Yalnızca tuzluluğa dayanıklı bitkiler ayrı bir şekilde yerleştirilebilirler. Bu bitkiler: Hurma, küşkonmaz, kolza, hayvan pancarı, ıspanak, üçgül, arpa, yabancı çavdar, ingiliz çimi, ayrık otu, pamuk ve şeker pancarıdır.
<b>16000'den fazla</b>	Yalnızca tuza çok dayanıklı bölgesel bazı halofit bitkiler doğal örtü olarak yetişebilirler.

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:40

1. Tuzlu topraklarda bitkinin yaşayabilme kabiliyeti,
2. Tuzlu topraklarda bitkinin verimi,
3. Benzer yetişme koşulları altında, tuzsuz bir topraktaki verime oranla, tuzlu bir topraktaki bitkinin oransal verimi (Petermann 1993 ).

Tuzluluk ile ilgili olarak sulama sularının kalitesinin belirlenmesi ve sulamadan ileri gelebilecek tuzluluk zararlarının tahmininde suların elektriksel iletkenliklerinin ölçülmesi, yeterli bir ölçü olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Şekil 2.2’de elektriksel iletkenlik değerlerine göre sulama suları sınıflar arasındaki ayırım noktası 250, 750, 2250 ve 5000  $\mu\text{mhos/cm}$  olmak üzere 4 sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflar arası ayırım sınırlarının saptanmasında, sulama sularının elektriksel iletkenliği ile toprağın doygunluk süzütüsünün elektriksel iletkenliği arasındaki önemli ilişki dikkate alınmıştır.

Bu sınıflandırmaya göre:

### **1. Sınıf (C-1), Az Tuzlu Sular**

Elektriksel iletkenlik değeri 0-250  $\mu\text{mhos/cm}$ . arasında olan bu sınıf sular, çok az eriyebilir tuz içerdiklerinden, her türlü toprak koşullarında tüm kültür bitkilerinin sulanmasında emniyetle kullanılabilirler. Çok düşük su iletkenliğine sahip olan topraklar dışında, normal koşullar altında yıkanma kendiliğinden meydana gelir.

### **2. Sınıf (C-2) Orta Tuzlu Sular**

Elektriksel iletkenliği 250-750  $\mu\text{mhos/cm}$ . olan, bu sınıf sular, orta derecede yıkanmanın sağlandığı koşullarda, tuzluluk kontrolü ve özel toprak idaresine gereksinim olmaksızın tuza orta derecede dayanıklı bitkiler ile hiç sakınca göstermeden kullanılırlar. Yalnız tuzluluğa karşı duyarlı bitkiler için düşük permeabiliteye sahip topraklarda yıkama gereksinimi olabilir.

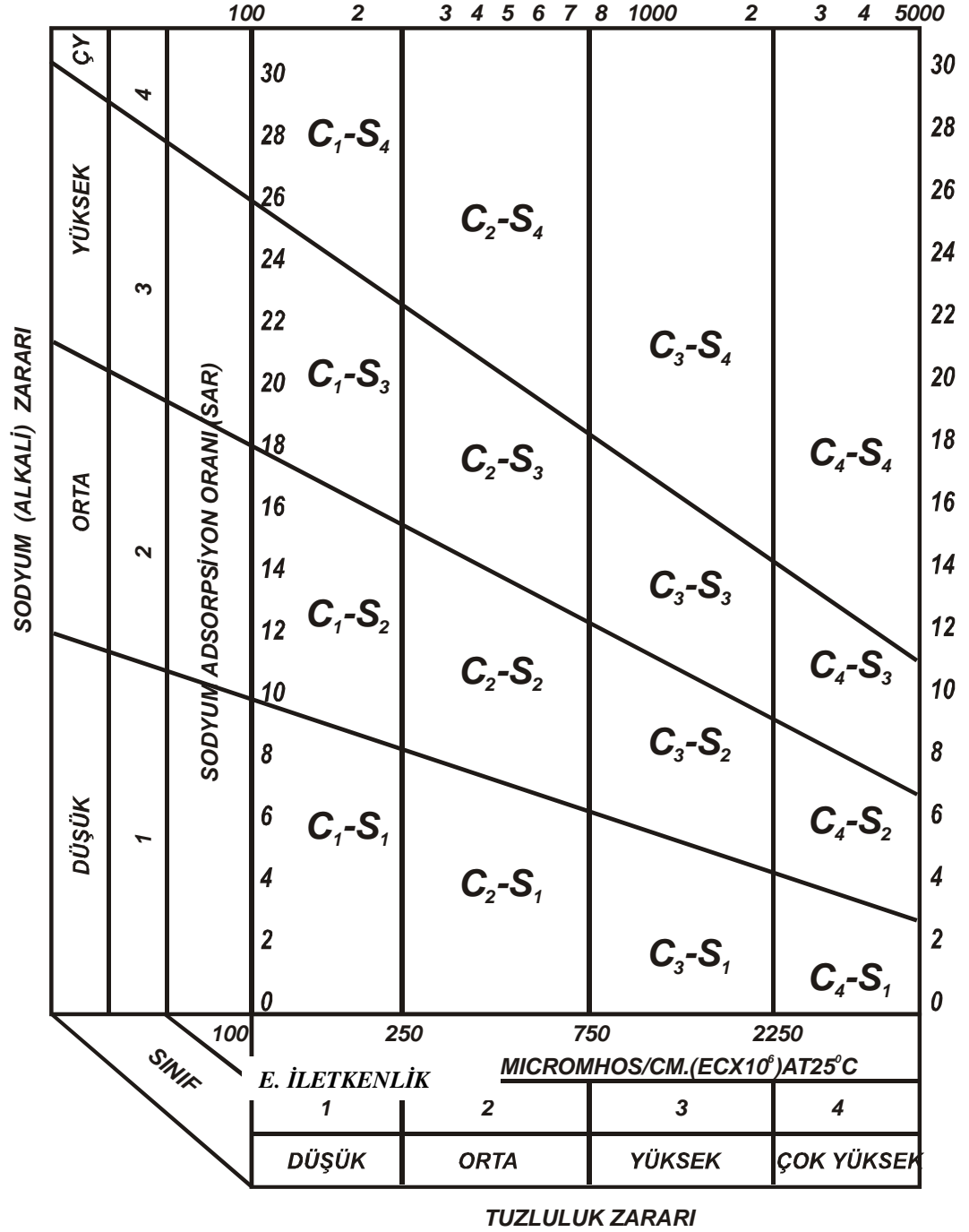
### **3. Sınıf (C-3) Yüksek Tuzlu Sular**

Elektriksel iletkenliği 750-2250  $\mu\text{mhos/cm}$ . olan ve orta dereceden yüksek dereceye kadar eriyebilir tuz içeren bu sınıf sular, düşük permeabilite ve yetersiz drenaj koşullarına sahip topraklarda, sulama suyu olarak kullanılamaz. Elverişli drenaj koşullarında bile, tuzluluk kontrolü için özel toprak idaresi gerekir ve tuza orta dereceden iyi dereceye kadar dayanıklı bitkiler seçilmelidir.

#### **4. Sınıf (C-4) Çok Yüksek Tuzlu Sular**

Elektriksel iletkenliği 2250-5000  $\mu\text{mhos/cm.}$  olan, çok yüksek tuz konsantrasyonuna sahip bu sular, normal koşullar altında sulamaya elverişli olmayıp çok özel hallerde kullanılabilir. Tuza çok dayanıklı bitkiler seçilmek koşuluyla, yüksek permeabiliteye ve çok iyi drenaja sahip topraklarda, yeterli yıkanmayı sağlayacak miktarda, fazla su verilmek koşuluyla bu sınıf sular sulamada kullanılabilir.

5000  $\mu\text{mhos/cm.}$  den yüksek elektriksel iletkenliğe sahip aşırı tuzlu sular, genellikle sulama amacı ile kullanılamaz.



Şekil 2.2 Sulama sularının sınıflandırılmasında kullanılan diyagram

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:42

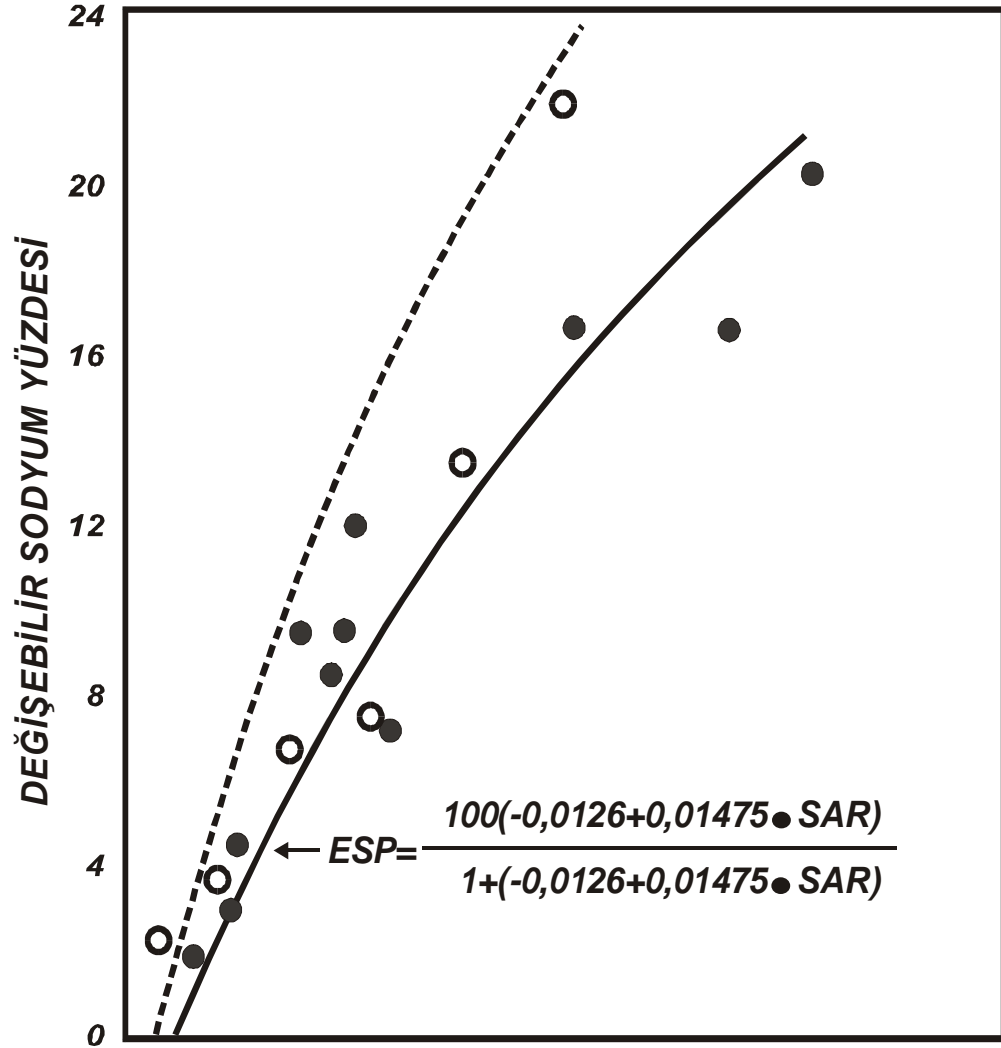
### 2.3.2. Sodyum (Alkali) Zararı

Sodyum (alkali) zararı yönünden sulama suyu kalitesinin ve sınıflarının belirlenmesi, tuzluluk zararına göre yapılan sınıflanmadan daha farklı ve oldukça karışıktır. Bu güçlük, toprağın sulama suyundaki sodyumu adsorbe etme oranı ve sulama suyu verildiği sürece meydana gelecek sodyum adsorpsiyon olayının hızı dikkate alınmak suretiyle kısmen giderilmekte ve konu açıklığa kavuşturulmaktadır.

Normal bir toprağın sodyum adsorpsiyon oranı yüksek bir sulama suyu ile devamlı olarak sulandığını ve bu topraktan buharlaşma ve terleme yoluyla su kaybının durdurulduğu kabul edildiğinde, bu koşullar altında toprağın, su ile denge halinde iken adsorbe edebileceği değişebilir sodyum oranı sulama suyunun sodyum adsorpsiyon oranından (SAR) hemen hemen doğruya yakın bir şekilde bulunabilir. Bu ilişki Şekil 2.3'de SAR değerinin bulunmasında kullanılan nomogramda da açıkça görülmektedir.

Bir sulama suyunun sodyum adsorpsiyon oranının bulunmasından sonra, nomogram yardımıyla bu sulama suyu ile denge halinde bulunan toprağın değişebilir sodyum oranı değeri de kolaylıkla saptanabilir. Bu denge durumun meydana gelme hızı, suyun toplam katyon konsantrasyonuna veya diğer bir deyişle elektriksel iletkenlik değerine bağlıdır. Bu durumda SAR değerleri eşit fakat elektriksel iletkenlikleri farklı değerlerde olan suların kullanılması halinde, toprak koşulları değişmediği takdirde bu sular toprakta beklenen eşit değişebilir sodyum oranı değerlerini meydana getireceklerdir. Fakat toprağı son değişebilir sodyum oranı değerine getirmek için gerekli su miktarı suların elektriksel iletkenlik değeri ile ters orantılı olacaktır.

Bununla birlikte bu yaklaşımlar, teorik olup, tarla koşullarında geçerli olmamaktadır. Çünkü, toprak eriyiğı, sulama suyuna oranla daha fazla tuz ve sodyum içerir. Buharlaşma ile suyun topraktan uzaklaşması ve kökler tarafından alınan suyun terleme ile kaybı sonunda daha yoğun hale gelen toprak eriyiğinde kalsiyum ve magnezyum tuzları, erimeyen karbonatları halinde çökelirler ve sodyumun diğer katyonlara olan nisbi oranı ile SAR değeri bu nedenle sulama suyuna oranla daha yüksek olur.



**SULAMA SULARININ SODYUM ADSORBSİYON ORANI**

Şekil 2. 3. Sulama sularının SAR değeri ile aynı sular ile sulanan yüzey topraklarında beklenen değişebilir sodyum oranı değeri arasındaki ilişki.

Üst Eğri :  $S = 43,75 - 8,87 (\log.C)$

Orta Eğri :  $S = 31,31 - 6,66 (\log.C)$

Alt Eğri :  $S = 18,87 - 4,44 (\log.C)$

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:45

Bazı kültür bitkilerinin toksisite ve büyüme gerilemesi gibi belirtileri Çizelge 2.10'da özetlenmektedir. Fakat yapılan denemeler, gerek toprakta meydana gelebilecek, kötü fiziksel, kimyasal, verimlilik özellikleri ve gerekse bitkilere olan toksik etkilerin açıkça görülebilmesi yönünden alkalilik zararının başlangıç sınırı olarak toprakta

beklenen değişebilir sodyum oranı değerinin 15 veya daha fazla olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Sulama sularının alkalilik (sodyum) tehlikesi yaratmaları yönünden sodyum adsorpsiyon oranına göre (SAR) sınıflandırılmalarında dikkate alınması temel faktör, toprakta beklenen değişebilir sodyum oranı ve bunun toprağın fiziksel özellikleri üzerine olan kötü etkisidir. Bu durum bazı kültür bitkilerinin değişebilir sodyuma dayanmaları ile ilgili sınıflandırma çizelgesinde de görülmekte olup bitkiler daha çok değişebilir sodyumun toprağın fiziksel özellikleri üzerine olan kötü etkilerinden zarar görmektedirler. Fakat sodyuma çok duyarlı bitkiler, toprağın fiziksel özelliğini bozmayacak düzeydeki düşük değişebilir sodyum oranı değerlerinde de, bitki dokularında fazla sodyum birikmesi sonucu doğrudan sodyum zehirlenmesi belirtileri gösterebilirler.

A.B.D. Riverside Bölge Tuzluluk Laboratuvarı tarafından verilen verilere göre sulama suları SAR değerleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

### **1. Sınıf (S-1). Az Sodyumlu Sular**

Bu sular değişebilir sodyumdan ileri gelebilecek herhangi bir zarar olmaksızın, hemen hemen bütün topraklarda sulama suyu olarak kullanılabilir. Bununla birlikte taş çekirdekli meyve ağaçları ve avokadolar gibi sodyuma çok duyarlı bitkilerde, bitkiye zarar verebilecek konsantrasyonda sodyum akümüasyonu görülebilirse de, toprağın fiziksel özellikleri üzerinde sodyumdan ileri gelebilecek kötü değişiklikler yaratmazlar.

### **2. Sınıf (S-2). Orta Sodyumlu Sular**

İkinci sınıf sular, toprakta jips'in ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) bulunmadığı durumlarda ve yetersiz yıkanma koşulları altında, yüksek katyon değişim kapasitesine sahip killi bünyeli topraklarda, önemli ölçüde sodyum zararı meydana getirebilirler. Yüksek permeabiliteye sahip kaba bünyeli topraklar ile organik topraklarda bu sınıf sular herhangi bir sodyum zararı tehlikesi göstermeksizin kullanılabilirler.

### **3. Sınıf (S-3). Yüksek Sodyumlu Sular**

Bu sınıf sular pekçok topraklarda zararlı düzeylerde değişebilir sodyum birikmesi ve alkali tehlikesi meydana getirirler. Bu sınıf suların sulama suyu olarak kullanılabilmesi için, iyi drenaj yeterli yıkama ve toprağın fiziksel özelliklerini



düzeltilmek için organik madde verilmesi gibi özel toprak idaresi koşullarının sağlanmasına gereksinim vardır. Fakat jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) içeren topraklarda, değişebilir sodyum birikimi zararlı düzeylere ulaşamaz. Çok yüksek tuz içeren sularla kimyasal ıslah maddesi uygulaması dışında, değişebilir sodyumun giderilmesi için sulama ile birlikte kimyasal ıslah maddesi de verilmesine gereksinim duyulabilir.

Çizelge 2.10 Değişik kültür bitkilerinde alkali zararı belirtileri ve sodyumun toprak özelliklerine olan etkileri

Büyümeye etkili değişebilir sodyum sınıfı	Toprakta beklenen değişebilir sodyum oranı	Bitki türleri	Tarla koşullarında bitkinin tepkisi ve toprak özellikleri
<b>Çok duyarlı</b>	2-10	Taş çekirdekli, sert kabuklular, trunçgiller	Düşük değişebilir sodyum oranı yüzdesinde bile tipik sodyum toksitesi belirtileri
<b>Duyarlı</b>	10-20	Baklagil bitkileri	Düşük ve orta ESP değerlerinde, elverişli toprak strüktür koşullarına rağmen büyümenin engellenmesi
<b>Orta derecede dayanıklı</b>	20-40	Yonca, yulaf, çayır yumağı, pirinç, paspalum türleri vs.	Elverişsiz beslenme koşulları ve kötü toprak strüktür oluşumu nedenlerine bağlı olarak büyümenin engellenmesi
<b>Dayanıklı</b>	40-60	Buğday, pamuk, arpa, domates, şeker pancarı, hayvan pancarı	Kötü toprak strüktür oluşumu nedeniyle büyümenin engellenmesi
<b>Çok dayanıklı</b>	60 ve daha büyük	Agropyron cristatum, Agropyron, elongatum, Rodos otu ve bazı halofit çayır bitkileri	Kötü toprak strüktürü nedeniyle büyümenin engellenmesi

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s: 48

#### 4. Sınıf (S-4) Çok Yüksek Sodyumlu Sular

Bu sular düşük ve orta derecede tuzluluk halleri dışında genel olarak sulamaya elverişli değildir. Toprakta eriyebilir kalsiyumun bulunması, jips veya diğer kimyasal ıslah maddelerinin de sulama suyu ile beraber uygulanması durumunda sulama suyu olarak kısıtlı oranlarda kullanılabilirler.

### 2.3.3. Sulama Sularının Bor Elementine Göre Sınıflandırılması

Sulama sularının kalite ve sınıfları saptanırken bor elementi konsantrasyonu üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Bitkilerin bor elementine dayanma durumlarına göre, Scofield (1936) tarafından geliştirilen, sulama suları bor sınıfları Çizelge 2.11’de verilmektedir. Her sınıf içerisinde sınır değerleri dayanıklı, yarı dayanıklı ve duyarlı bitki türlerine göre değişmektedir. Fakat dayanıklı bitkilerde bile 3,75 ppm bor konsantrasyonu kullanılabilme sınırının sonunu göstermektedir

Çizelge 2.11 Scofield (1936)’ya göre sulama sularının bor sınıfları

Bor Sınıfı	Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Dayanıklı bitkiler
<b>1.Çok iyi</b>	< 0,33 ppm.	< 0,67 ppm.	< 1,00 ppm.
<b>2.İyi</b>	0,33-0,67 ppm.	0,67-1,33 ppm.	1,00-2,00 ppm.
<b>3.Kullanılabilir</b>	0,67-1,00 ppm.	1,33-2,00 ppm.	2,00-3,00 ppm.
<b>4.Sakıncalı</b>	1,00-1,25 ppm.	2,00-2,50 ppm.	3,00-3,75 ppm.
<b>5.Kullanılmaz</b>	> 1,25 ppm.	> 2,50 ppm. >	3,75 ppm.

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s: 53

### 2.3.4. Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Kullanılan Diğer Sistemler

Günümüzde tüm dünyada kullanılan, A.B.D. riverside Tuzluluk Laboratuvarı Sulama Suyu Sınıflandırma sistemi dışında geliştirilmiş sınıflandırma sistemlerini başlıca 2 grup altında toplayabiliriz.

#### Scofield Sistemi

Sulama sularının sınıflandırılmasında ilk defa kullanılan bu sistem Scofield tarafından geliştirilmiş olup sular 25°C deki elektriksel iletkenlikleri ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) ve eriyebilir sodyum yüzdesi değerlerine göre Çizelge 2.12’de verildiği şekilde sınıflandırılırlar.

Scofield sisteminde sular elektriksel iletkenliklerine göre, A.B.D. Riverside Tuzluluk Laboratuvarı tarafından sonradan geliştirilen sulama sularının sınıflandırılması diyagramındaki değerlere çok yakın, hatta 1 ve 2’ci sınıf sularda aynı sınır değerlerinde sınıflandırılmaktadır. Yalnız sodyum zararı yönünden sınıflamada sodyum adsorpsiyon oranı değil, sodyumun diğer katyonlara olan yüzde oranı (SSP) esas alınmaktadır. Şüphesiz bu sistem sonradan geliştirilen sınıflandırma sistemlerine önemli kaynak

olmuştur. Fakat sodyumun toprak tarafından adsorpsiyonu ve alkali zararının ölçüsü olarak SAR değeri SSP değerine göre daha gerçekçi avantajlara sahiptir.

### Wilcox ve Magistad Sistemi

Wilcox ve Magistad tarafından geliştirilen bu sistemde tuzluluk ve sodyum zararlarının ölçüsü olarak ele alınan elektriksel iletkenlik ve sodyum %'si yanında, bor ve klorür konsantrasyonları da sınıflamada dikkate alınmaktadır. Daha geniş sınır değerlere sahip bu sınıflama sisteminde, Scofield'in 1,2 ve 3'cü sınıf suları, birinci sınıf sular olarak değerlendirilmektedir. Wilcox ve Magistad sistemine göre sulama sularının sınıflandırılması Çizelge 2.13'de verilmektedir.

Çizelge 2.12. Scofield sınıflama sistemi

Kalite Sınıfları	Elektriksel İletkenlik 25° C'de $\mu\text{mhos/cm}$ .	Eriyebilir Sodyum %'si (SSP)
1.Sınıf Çok iyi	250'den fazla	20' den fazla
2.Sınıf İyi	250-750	20-40
3.Sınıf Kullanılabilir	750-2000	40-60
4.Sınıf Sakıncalı	2000-3000	60-80
5.Sınıf Kullanılmaz	3000' den fazla	80'den fazla

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s: 54

Çizelge 2.13 Wilcox ve Magistad sınıflama sistemi

Sınıflar	Elektriksel İletkenlik $\mu\text{mhos/cm}$ .	Eriyebilir Sodyum % (SSP)	Bor (ppm)	Klor (me/lt)
1.Sınıf	1000'den az	60'dan az	5,0'ten az	5,0'den az
2.Sınıf	1000-3000	60-75	5,0-2,0	5,0-10,1
3.Sınıf	3000'den fazla	75'ten fazla	2,0'dan fazla	10,0'dan fazla

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s: 55

### **Wilcox Diyagramı Sistemi**

Wilcox tarafından sulama sularının sınıflandırılması için önerilen bu sınıflama diyagramı şekilde gösterilmektedir. A.B.D'de geniş çapta kullanılan bu diyagram ülkemizde de başlangıçta kullanılmış ise de daha sonra A.B.D. Riverside Tuzluluk Laboratuvarı sisteminin geliştirilmesi ile bırakılmıştır. Diyagramda sınıflandırmanın temeli yine sulama suyunun elektriksel iletkenlik ve sodyum yüzdesi değerlerine dayandırılmakta, fakat Scofield, Wilcox ve Magistad sistemlerine göre sodyum yüzdesi sınır değerleri daha esnek tutulmaktadır.

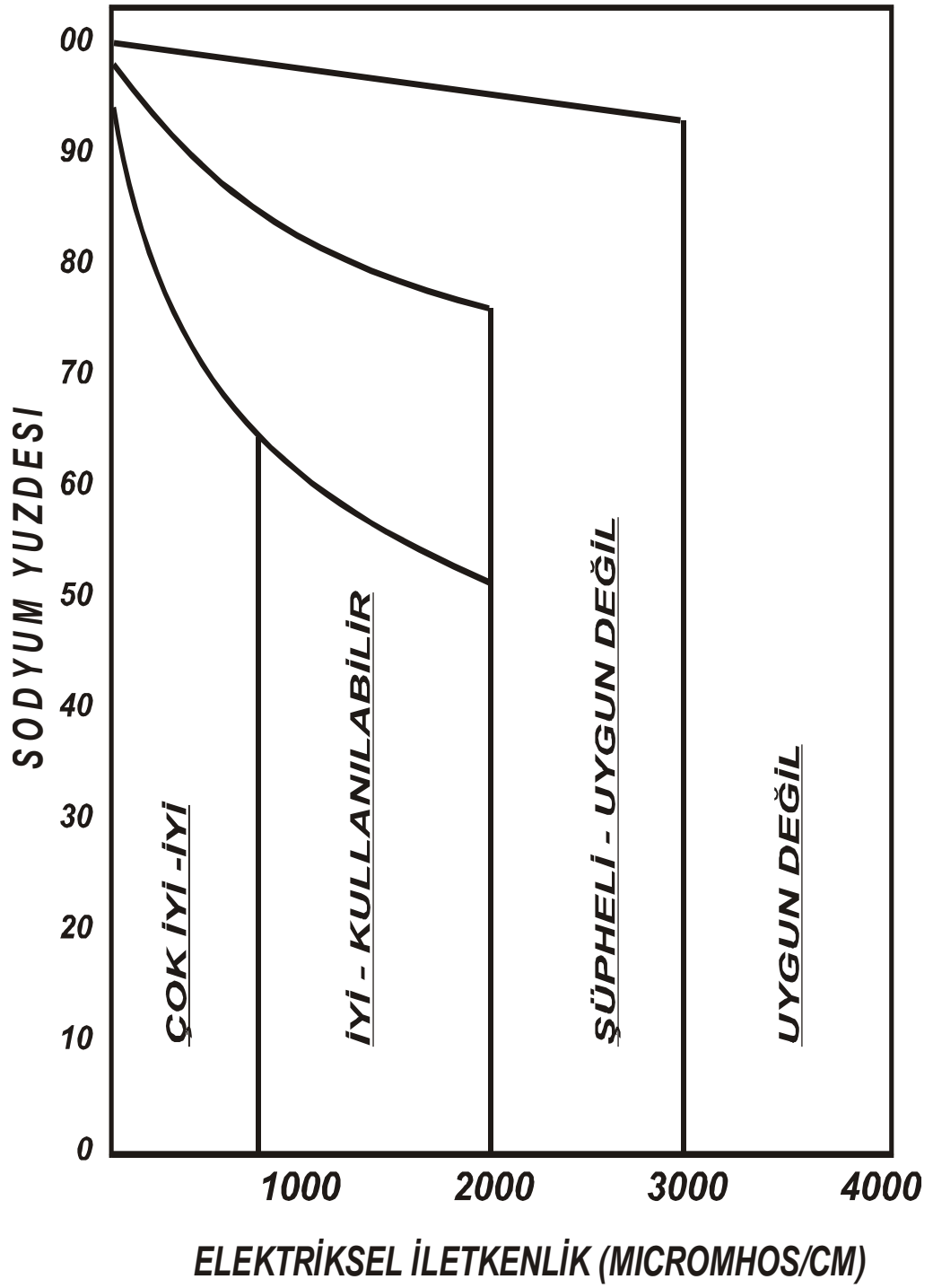
Şekil 2.4'de görüldüğü gibi apiste, sulama suyunun elektriksel iletkenlik değeri  $\mu\text{mhos/cm.}$ , ordinatta ise eriyebilir sodyum yüzdesi (SSP) olarak sodyum %si değerleri yer almaktadır. Bu sistemde sulama suları 5 sınıfa ayrılmakta fakat her grup su içerisinde sodyum yüzdesi değerine göre iki sınıf yer alabilmektedir.

### **2.4. Dünya ve Ülkemizdeki Sulama Suyunun Durumu**

Suya olan talep her geçen gün daha fazla artmaktadır. Bu nedenle tüm ülkeler artık yeni su temini alternatifleri aramaya başlamışlardır. Su kaynakları kıtlığı problemini azaltmak için önemli bir potansiyel suyun yeniden kullanımınıdır. Tarımsal üretimde kullanılan su miktarı toplam tüketilen su miktarının önemli bir kısmını teşkil ettiği bilinmektedir. Bir çok ülke günümüzde ek su kaynağı olarak tarımsal sulamada atıksuların yeniden kullanımını sulama politikalarının bir parçası olarak görmektedirler.

Atıksuların tarımda yeniden kullanımı daha öncede belirtildiği gibi üç yolla mümkün olabilmektedir. Atıksuların arıtılarak planlı bir şekilde su dağıtım kanallarına verilmesi (doğrudan kullanım), atıksuların arıtılarak yüzey su kaynaklarına karıştırılması ve buradan sulama için alınması (dolaylı kullanım). Bir diğer yol ise atıksuların hiç arıtılmadan deşarj edildiği yoldur.

Uzun yıllar boyunca suyun dolaylı kullanımı genel bir uygulama olmuştur. Bilinmesi gereken suyun dolaysız ya da dolaylı kullanımının analizinde çok küçük farklılıklar vardır. Her iki kullanımda da suyun kirletilmiş kaynaklardan temin edildiği gözden kaçırılmamalıdır. Arıtılmış atıksuların tarımsal üretimde doğrudan yeniden kullanımı yüzey su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde, standartlara uyulduğu sürece başarılı bir yol olmuştur.



Şekil 2.4 Sulama suyunun sınıflandırılmasında kullanılan Wilcox diyagramı

Kaynak: ÖZBEK, 1990 Su Kalitesi Ders Notları s:56

Ülkemizde arıtılmış atıksuların sulamada direkt kullanılması pratik bir anlam kazanmamıştır (Büyükçangaz 1995). Bunun başlıca nedenleri aşağıda verilmiştir:

- Finansal kısıtlardan dolayı bir kısım arıtma tesislerinin işletilememesi,
- Su kirliliği konusunda genel olarak bilgi eksikliği,
- Kirlenmiş sularla sulama yapılması konusunda halkın bilinçsizliği,
- Genellikle endüstriyel atıksuların kaynağında ön arıtmaya tabi tutulması, bunun için düzenlenen yönetmeliklerin yaptırım gücünün yetersizliği.

Ülkemizde, büyük sulama projelerinden sorumlu Devlet Su İşleri (DSİ) yüzeysel su kaynakları ile arıtılmış atıksuların karıştırılarak sulamada kullanılmasını aşağıdaki nedenlerden dolayı desteklememektedir:

- Halk sağlığı kırsal bölgelerde halk genelde ihtiyaçları için içme suyu sulama kanallarından almaktadır. Arıtılmış atıksuların kanallara ilave edilmesi, halk sağlığında risklere yol açacaktır.

- Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda çalışmaların yetersizliği, gibi nedenlerden ötürü arıtılmış atıksular potansiyel su kaynağı olarak değerlendirilememiştir.

Ancak bir yandan arıtma tesislerini daha iyi tasarımı inşası ve işletilmesi ile elde edilen atıksu kalitesinin güvenilirliği, diğer yandan yüzey su kaynaklarının kıtlığı ve atıksu kullanımının ekonomik avantajı, Devlet Su İşleri teşkilatının bu konudaki muhalefetinin azalmasına neden olacağı sanılmaktadır (Sarıkaya 1994).

## **2.5. Arıtılmış Atıksuların Deşarjı Ve Sulamada Kullanılması İle İlgili Yasal Düzenlemeler**

### **2.5.1. Ülkemizdeki Yasal Düzenlemeler**

Yetiştirilen ürün türü ve sulama yöntemine bağlı olarak gerekli arıtma metodu ile arıtılmış atıksuda istenilen kalite seviyesi değişmektedir. Atıksuların tarımda kullanılması ile ilgili esaslar ve teknik sınırlamalar 7 Ocak 1991 tarihli Su Kirliliği Kontrolü Tebliğine göre Çizelge 2.14'de verilmiştir.

Çizelge 2.14 ve Çizelge 2.15 karşılaştırılmasından görülebilen atıksuların tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilmesi için gerekli arıtma derecesi genellikle alıcı ortama deşarj edebilmek için gerekli arıtma derecesinden daha azdır. En kısıtlayıcı durumda bile ilave olarak gelen arıtma birimi sadece dezenfeksiyondur. Bu durum arıtılmış atıksuların alıcı ortamlara deşarj edilmesi yerine, sulama suyu olarak tekrar kullanılmasını ekonomik yönden cazip hale getirmektedir.

Çizelge 2.14. Atıksuların tarımda kullanılması ile ilgili esaslar ve teknik sınırlamalar

Tarım Türü	Teknik Sınırlama
Meyvecilik ve Bağcılık	Yağmurlama metodu ile sulama yapmak yasaktır
	Yere düşen meyveler yenmemelidir.
	Fekal koliform sayısı 1000/100 ml
Elyafli Bitki ve Tohum Üretimi	Salma yağmurlama sulama yapılabilir.
	Yağmurlama sulamada biyolojik olarak arıtılmış ve klorlanmış atıksularda kullanılabilir.
	Fekal koliform sayısı 1000/100 ml
Yem Bitkileri, Yağ Bitkileri Çiğ	Salma Sulama, mekanik arıtılmış atıksu
Yenmeyen Bitkiler ve Çiçeklik	

Kaynak: Türk Çevre Mevzuatı Cilt 2, 1999 Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği s:1182.

Yine 7 Ocak 1991 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği’ne göre mekanik veya biyolojik arıtmadan geçirilmiş atıksular herhangi bir dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmaksızın tarla, çayır ve meraların sulanmasında kullanılabilir. Buna karşılık aerobik stabilizasyon havuzları çıkış sularının bakteriyolojik yönden daha emniyetli oldukları bilinmektedir. Çizelge 2.16’da FAO standartları uyarınca tarımsal ürün yetiştiriciliği için kabul edilebilir ağır metal sınır değerleri verilmiştir.

Arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak sınıflandırılması Çizelge 2.18’de verilmiştir.

Arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılmasına ilişkin yasal düzenleme yeni olmasına rağmen bu konudaki gelişmeleri yansıtmamakta ve parametre yönünden eksik kalmaktadır. Bu durumu daha iyi değerlendirebilmek için konuyla ilgili yurtdışı gelişmelerine kısaca temas etmek faydalı olacaktır.

Çizelge 2.15. FAO standartlarına göre tarımsal sulamada kullanılacak su kalite kriterleri

Potansiyel Sulama Problemleri	Birimler	Kullanım Limitleri		
		Birimsiz	Orta Derecede Kullanılabilir	Sakıncalı
Tuzluluk	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
İletkenlik	mg/lt	< 450	450 - 2000	> 2000
Veya				
TDS				
İnfiltrasyon				
SAR <sub>2</sub> =0-3 ve İletkenlik		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
3-6		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
6-12		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
12-20		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
20-40		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Spesifik iyon toksisitesi				
Sodyum (Na)				
Yüzey sulaması	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Yağmurlama sulama	me/lt	< 3	> 3	
Klorür (Cl)				
Yüzey sulaması	me/lt	< 4	4 - 10	> 10
Bor (B)			0,7 - 3,0	> 3,0
Sınırlayıcı Etki				
Azot (NO <sub>3</sub> -N)	mg/lt	< 5	5 - 30	> 30
Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> )	me/lt	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
PH			Normal rangeeee 6,5 - 8,4	

Kaynak: Water Quality For Agriculture, 1982 R.S. Ayers and D. W. Westcot Irrigation Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO, Rome, p174.



Çizelge 2.16 Tarımsal ürün yetiştiriciliği için kabul edilebilir ağır metal sınır değerleri

	Element	Önerilen Max Konsantrasyon (mg/lt)	Etkiler
Al	(alüminyum)	5,0	(PH < 5.5) olan alkali topraklarda üretkenlik azalmasına neden olur. (PH > 7.0) olan sularda iyon çökmesine neden olur ve toksisiteyi elemine eder.
As	(arsenik)	0,10	Geniş çapta bitkilere toksiktir. 12 mg/lt çime toksik olup, 0.05 mg/lt pirince toksiktir.
Be	(berilyum)	0,10	Geniş çapta bitkilere toksiktir.
Cd	(kadmiyum)	0,01	Fasulyeye toksiktir, yüksek konsantrasyonları insanlara zararlı olabilir.
Co	(kobalt)	0,05	Besin çözeltilerindeki 0.1 mg/lt konsantrasyonu domatese toksiktir.
Cr	(krom)	0,10	Bitki büyümesinde çok fazla rolü yoktur.
Cu	(bakır)	0,20	0.1-1.0 mg/lt konsantrasyonu toksiklik yaratır.
F	(florür)	1,0	Nötral ve alkali topraklarda inaktive edilmiştir.
Fe	(demir)	5,0	Havalandırılmış topraklarda bitkilere toksik değildir.
Li	(lityum)	2,5	(<0.075 mg/lt) den küçük konsantrasyonlardan itibaren toksik olup toprakta hareketlidir.
Mn	(mangan)	0,20	Çok düşük konsantrasyonlarda bile ürünlere toksiktir.
Mo	(molibden)	0,01	Toprak ve suda normal konsantrasyonlarda bile bitkilere toksik değildir.

Çizelge 2.16 Tarımsal ürün yetiştiriciliği için kabul edilebilir ağır metal sınır değerleri  
(devamı)

Ni	(nikel)	0,20	0.5 mg/lit -1.0 mg/lit konsantrasyonları arası bitkilere toksiktir.
Pb	(kurşun)	5,0	Çok yüksek konsantrasyonlarda bitki hücresi gelişimini inhibe eder.
Se	(selenyum)	0,02	0.025 mg/lit konsantrasyonda bile bitkilere toksiktir. Hayvanların gelişimi için çok düşük konsantrasyonları bile yararlıdır.
Sn	(kalay)		
Ti	(titanyum)		
W	(tungsten)		Spesifik toleransa sahiptir.
C	(vanadyum)	0,10	Çok düşük konsantrasyonlarda bile bitkilere zararlıdır.
Zn	(çinko)	2,0	PH > 6.0 durumunda çoğu bitkiye değişen konsantrasyonlarda toksiktir.

Kaynak: Water Quality For Agriculture. R.S. Ayers and D. W. Westcot Irrigation Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO, Rome, p175.

### 2.5.2 Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) Standartları

İsviçre'nin Engelberg şehrinde 1985 yılında arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasının doğuracağı sağlık riski meselelerini tartışmak üzere toplanan bilim adamları iyi arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasının doğuracağı sağlık riskinin az olduğu ve o güne kadar uygulanmakta olan bakteriyolojik standartların gereğinden fazla sınırlayıcı olduğu sonucuna varılmıştır (WHO 1988).

Bu toplantıda varılan sonuçlar Engelberg Raporu adı altında yayınlanmıştır. Buna göre tavsiye edilen mikrobiyolojik kalite kriterleri Çizelge 2. 17'de özetlenmiştir.

Bağırsak parazitleri halk sağlığına gelişmekte olan ülkelerde olumsuz etkilerde bulunduğu için sonradan ilave edilmiş bir parametredir.

Sağlık riskine maruz kalanların sadece sulama işinde çalışan işçiler olması halinde fekal koliform bakteri konsantrasyonu için bir limit değere lüzum görülmemiştir. Fekal koliform bakteri konsantrasyonlarının geometrik ortalaması olarak verilen 1000

koliform/100 ml değeri son epidemiyolojik verilerle desteklenmiş olup, gelişmekte olan ülkelerde bile teknik olarak ulaşılabilir bir değerdir.

Çizelge 2.17’de verilen limitlere seri haldeki stabilizasyon havuzları ile ulaşılabilir. Hatta iklimin sıcak olduğu ve arazinin nispeten ucuz olduğu yerlerde bu tür arıtma tercih edilmelidir. Projelendirme için bunun iki katı civarında bekletme süreleri tavsiye edilir. Biyolojik olarak arıtılmış atıksuların üçüncü kademedeki arıtımı ile mikrobiyolojik standartlar sağlanabilir.

Çizelge 2.17. Sulama sularında izin verilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktar kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler mg/lt	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 20 yıldan daha az yapıldığında mg/lt
<b>Alüminyum (Al)</b>	4600	5,0	20,0
<b>Arsenik (As)</b>	90	0,1	2,0
<b>Berilyum (Be)</b>	90	0,1	0,5
<b>Bor (B)</b>	680	3	2,0
<b>Kadmiyum (Cd)</b>	9	0,01	0,05
<b>Krom (Cr)</b>	90	0,1	1,0
<b>Kobalt (Co)</b>	45	0,05	5,0
<b>Bakır (Cu)</b>	180	0,2	5,0
<b>Florür (F)</b>	920	1,0	15,0
<b>Demir (Fe)</b>	4600	5,0	20,0
<b>Kurşun (Pb)</b>	4600	5,0	10,0
<b>Lityum (Li)</b>	-	2,5	2,5
<b>Manganez (Mn)</b>	920	0,2	10,0
<b>Molibden (Mo)</b>	9	0,01	0,05
<b>Nikel (Ni)</b>	920	0,2	2,0
<b>Selenyum (Se)</b>	18	0,02	0,02
<b>Vanadyum (V)</b>	-	0,1	1,0
<b>Çinko (Zn)</b>	1840	2,0	10,0

Kaynak: Türk Çevre Mevzuatı Cilt 2, Nisan 1999, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, s:1182.

Çizelge 2.18. Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite kriterleri

Kalite Kriterleri	I.Sınıf Su (Çok iyi)	II.Sınıf Su (İyi)	III:Sınıf Su (Kullanılabilir)	IV.Sınıf (İhtiyatla Kullanılmay)	V.Sınıf Su (Zararlı Uygun Değil)
İletkenlik( $\mu$ mhos/cm)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
Değişebilir Sodyum Yüzdeleri	< 20	20-40	40-60	60-80	>80
Sodyum Absorbsiyon Oranı	< 10	18-26	18-26	>26	
Sodyum Karbonat Kalıntısı(me/lt)	< 1.25	1,25-2,5	>2,5		
mg/lt	<66	66-133	>133		
Klorür (me/lt)	0-4	4-7	7-12	12-20	20
Klorür (mg/lt)	0-142	142-249	249-426	426-710	710
Sülfat (me/lt)	0-4	4-7	7-12	12-20	20
Sülfat (mg/lt)	0-192	192-336	336-575	575-960	960
Toplam Tuz Konsantrasyonu (mg/lt)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	2100
Bor Konsantrasyonu (mg/lt)	0-0.5	0,5-1,12	1,12-2,0	2,0	
Sulama Suyu Sınıfı	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C1S1C	C1S2C2S3	C1S4C2S4	
		C2S2C2S1	C3S3C2S2	C2S3C4S2	
			C3S1	C1S2C4S1	
NO <sub>3</sub> veya NH <sub>4</sub> (mg/lt)	0-5	5-10	10-30	30-50	50
Fekal Koliform (mg/lt)	0-2	2-20	20-100	100-1000	1000
BOI <sub>5</sub> (mg/lt)	0-25	25-50	50-100	120-200	200
Askıda Katı Madde (mg/lt)	20	30	45	60	100
PH	6.5-8.5	6,5-8,5	6,85-8,5	6-9	6 veya 9
Sıcaklık (C°)	30	30	35	40	40

Kaynak: Türk Çevre Mevzuatı Cilt 2, Nisan 1999, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, s:1181.

Çizelge 2.19'da atıksuların tarımda kullanılması için gerekli değerler verilmiştir.

Çizelge 2.19. Atıksuların tarımda kullanılması için gereken kriterler

	<b>Bağırsak Parazitleri</b>		<b>Fekal Koliform (Geometr. Ort.)</b>	<b>Gerekli Arıtma</b>
	<b>Maruz Kalan Gruplar</b>	<b>Aritmetik Ort. Liflerdeki Yumurta Sayısı</b>		
<b>Sınıf Sulama Şartları</b>			<b>Adet/100 ml</b>	
<b>A. Pişirmeden yenen</b>	İşçiler			Geri haldeki
<b>Ürün, spor alanları ve Parkların sulanması</b>	Tüketiciler	<1	<1000	oksidasyon
	Halk			havuzları veya eşdeğer
				Arıtma
				Oksidasyon havuzlarında
<b>B.Tahlı, endüstriyel ve hayvan yemi bitkileri ve ağaç sulaması</b>				9-10 gün bekletme veya
	İşçiler	<1		eşdeğer parazit ve fekal
				koliform giderimi
<b>C. Sınıf B' de belirtilen Ürünlerin çalışanları ve halkı maruz bırakmaksızın sulaması</b>				Ön çöktürmeden öz
	Yok	-	-	olmamak şartıyla sulama
				metodunun gerektirdiği kadar arıtma

a- Kaynak WHO 1989,Health Guidelines For The Use Of Wastewater In Agriculture And Aquaculture, Technical Report No:778, Geneva p:74

b- Özel durumlarda epidemiyolojik ve çevre faktörleri nazara alınarak kriterler değişebilir.

c- Ascaris ve Trichuris türleri ve barsak solucanı

d- Meskun bölgelerdeki park ve bahçelerin sulamadaki fekal koliform konsntrasyonunun 200/100 mL değerinden az olması tavsiye edilmektedir.

e- Meyve ağaçlarının sulanmasında yağmurlama sulaması uygulamaları, meyve toplama zamanından en az iki hafta önce sulama durdurulmalıdır.

### 2.5.3 ABD Standartları

Dünya Sağlık Teşkilatı tarafından verilen standartlara ilave olarak ülkeler veya eyaletler düzeyinde verilmiş standartlar da mevcuttur. Bunlar içinde uzun ve yaygın uygulamalar sonucu olarak fazla bilgi birikiminin olduğu Amerika Birleşik Devletleri'nde federal hükümet seviyesinde standartlar mevcut olmamasına karşılık eyaletler seviyesinde düzenlenmiş ve uygulanmakta olan standartlar vardır.

#### Kaliforniya Eyalet Standartları

Kaliforniya Eyaletinde atıksuların sulamada kullanılmasının uzun bir geçmişi olup, bununla ilgili standartlar ilk uygulandığı 1918 yılından beri değişme ve gelişme göstermektedir.

Atıksuların geri kazanılarak sulamada kullanımı ile ilgili olarak Kaliforniya'da halen uygulanmakta olan arıtma ve kalite ihtiyaçları Çizelge 2.20'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.20'de verilen değerler sıhhatli epidemiyolojik verilere bağlı sağlık risklerinin belirlediği limitlerden ziyade iyi tasarlanmış ve iyi işletilen arıtma tesislerinde ulaşılabilecek kalite seviyelerini ifade etmektedir. Çizelge 2.20'de değerlerden görüleceği üzere gerekli arıtma derecesi insanların arıtılmış atıksuya maruz kalma derecesinin artmasına paralel olarak artmaktadır.

Yağmurlama metoduna göre yetiştirilen ürünlerin sulama sularının virüslerde dahil olmak üzere patojen mikroorganizmaları ihtiva etmemeleri istenmektedir.

Bu maksatla uygulanması gereken arıtma sistemi oksidasyon (biyolojik artıma), pıhtılaştırma, yumaklaştırma, çökertme, filtrasyon ve dezenfeksiyon ünitelerinden meydana gelmektedir. Halbuki Mühendislik Bilimleri firması tarafından Kaliforniya, Su Kirlenmesi Kontrol Dairesi için yapılan geniş kapsamlı bir çalışma ile benzer patojen ve virüs giderme seviyelerinin biyolojik olarak arıtılmış atıksuların düşük koagülant polimer dozajlarını takiben doğrudan filtrasyonu ile elde edilebileceği gösterilmiştir. Doğrudan filtrasyon birimlerinin projelendirme ve işletimi ile ilgili olarak tavsiye edilen hususlar aşağıda sıralanmıştır:

- İkinci kademe arıtılmış suların bulanıklığı 5 Nefolometric Turbidity Unit (NTU)'dan az olmadıkça koagülant ilavesi,

- Maksimum filtrasyon hızı 12 m/h,
- Filtre çıkış suyunun ortalama bulanıklığı 2 NTU veya daha az,
- Klor için hızlı karıştırıcı,
- Teorik klor temas süresi 2 saat (modal temas süresi > 90 dk),
- Temas süresi sonunda minimum klor konsantrasyonu 5 mg/lt ,
- 7 günlük medyan toplam koliform 2,2/100 ml veya daha az, herhangi tekil numunede ise 23/100 ml değerinden az olmalıdır.

Çizelge 2.20 . Kaliforniya eyaleti standartları

<b>Kullanım Şekli</b>	<b>Toplam Kullanım Limiti (adet/100 ml fekal koliform)</b>	<b>Gerekli Arıtma</b>
<b>Hayvan yemi,elyaf ve tohum bitkileri Meyva bahçeleri ve bağların taşıma sulaması</b>		Birincil Oksidasyon ve dezenfeksiyon
<b>Sütü sağılan hayvan meraları arazi sulaması Alanları, mezarlık vs</b>	23/100 ml	
<b>Besin bitkilerinin sulaması sınırlı Rekreasyon havuzları</b>	2,2/100 ml	Oksidasyon ve dezenfeksiyon
<b>Besin bitkilerinin yağmurlama Metodu ile sulanması</b>	2,2/100 ml	Oksidasyon,koagülasyon, çökeltme filtrasyon ve dezenfeksiyon
<b>Park ve çocuk bahçesi alanlarının sulanması</b>		
<b>Rekreasyon havuzları (Kullanım kısıtlaması yok)</b>		

Kaynak:State Of California, 1978 Wastewater Reclamation Criteria,California Admistrative Code Title 22, Division 4,California Department Of Healh Services, Sanitary Engineering Section Berkeley

### **Diğer Eyaletler**

Bir kısım eyaletler Kaliforniya standartlarından daha sıkı, diğer bir kısmı ise daha gevşek yeniden kullanma standartlarını uygulamaktadır. Mesela Florida eyaletinde halkın girmesinin sınırlı olduğu alanlar ile insanlar tarafından yenilmeyen ürünlerin sulaması için BOI<sub>5</sub> ve AKM değerleri 20 mg/lt 'yi aşmayacak şekilde biyolojik arıtma ve fekal koliform konsantrasyonu 200 adet fekal koliform /100 ml değerini aşmayacak

şekilde dezenfeksiyon yeterli görülmektedir. Besin ürünlerinin, evlerin bahçeleri de dahil olmak üzere halka açık alanların sulanması için ikincil arıtma + filtrasyon + dezenfeksiyon birimlerinden oluşan arıtma ile BOI<sub>5</sub> değeri 20 mg/lit , AKM'si 5 mg/lit sınırlarını aşmayan ve içinde ölçülebilir fekal koliform bulunmayan çıkış suyu kalitesi aranmaktadır. Soyulmadan ve pişirilmeden yenilen sebze ve meyvelerin ise atıksular ile sulanmasına müsaade edilmemektedir.

Sadece Arizona Eyaletinde atıksuları yeniden kullanma standartları virüs ve parazitler için de limitler koyulmaktadır. Mesela pişirilmeden yenilen ürünlerin yağmurlama metoduna göre sulanabilmesi için arıtılmış atıksuların sağlaması gereken limitler: 2.2. Fekal Koliform /100 ml; 1 NTU Bulanıklık değerleridir.

#### 2.5.4 İsrail Standartları

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanımı için İsrail'de uygulanmakta standartlar Çizelge 2.21'de verilmiştir. Kirlilik parametreleri zorunlu arıtma ve minimum mesafeler yönünde sınırlamalar getirilmiştir (ISOW 1978 ).

Çizelge 2.21 İsrail standartları

	Grup A	Grup B	Grup C	Grup D
<b>Parametre</b>	<b>Pamuk,Şeker Pancarı,Tohum Bitkileri</b>	<b>Zeytin,Fıstık, Kabuğu Yenmeyen Meyvalar, Mera</b>	<b>Bahçe,Piştirilen Sebzeler Reçel veya konserve Yapılan Meyvalar</b>	<b>Diğer bitkiler (Sınırlandırılmış sulama)</b>
<b>Toplam BOI<sub>5</sub>, mg/lit</b>	60	45	35	15
<b>Çözünmüş BOI<sub>5</sub>, mg/lit</b>	-	-	20	10
<b>AKM, mg/lit</b>	50	40	30	15
<b>Ç.O, mg/lit</b>	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Koliform No/100 ml</b>	-	-	250	12 (%80) ve 2,2(%50)
<b>Bakiye Klor, mg/lit</b>	-	-	0,15	0,5
<b>Zorunlu arıtma</b>				
<b>Kum Filtrasyonu</b>		-		Gerekli
<b>Klorlama, Min. Temas süresi, dk.</b>	-	-	60	120
<b>Mesafeler (a)</b>				
<b>Meskun Bölgeler</b>	300 (Yağmurlama)	300		
<b>Yollar</b>	30	25		



Kaynak: Israel Standard For Agricultural Reuse, 1978, State Of Israel, Ministry Of Health, Israel Public Health Law, p:65

Arıtılmış atıksularda bulunan başlıca besinler azot, fosfor, potasyum ve mikrobeyinlerdir. Genellikle potasyum miktarı yetersiz olup, bu elementin ilavesi gerekebilir. Buna karşılık azot konsantrasyonu genel olarak ihtiyaçtan daha fazladır. Bu sebeple aşırı gövde büyümesi, yetersiz meyva ve tohum teşekkülü, olgunlaşma ve hasatta gecikme (pamuk), lezzette azalma (sebze ve meyvalar), düşük şeker oranı (şeker pancarı) ve düşük nişasta muhtevası (patates) gibi problemlere yolaçabilmektedir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Materyal

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi Bursa Organize Sanayi Bölgesi(BOSB)’deki firmaların proses suyu ihtiyaçlarını karşılamak için inşaa edilen tesisin temeli 24 Eylül 2002 yılında atılmıştır ve 8 ayda tamamlanarak 20 Mayıs 2003 tarihinde faaliyete geçmiştir. İlk yatırım maliyeti 4.995.000.000.000 TL. olan ve 50000m<sup>3</sup>/gün su üretim kapasitesine sahip tesis, Nilüfer Çayı’ndan aldığı suyu fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinden geçirdikten sonra hızlı kum filtresinden süzüp yaklaşık 70m. yukarıda bulunan Emek Beldesi’ndeki su depolarına pompalamaktadır. Bu su ise, BOSB içerisindeki mevcut II. Kalite su şebeke hattından dağıtımı yapılarak proses suyu olarak firmaların kullanımına sunulmaktadır.



Şekil 3.1 BOSB Su Üretim Tesisi

BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış sularından alınan numuneler tarımsal sulama kriterleri açısından mevsimsel bazda incelenmiş ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki standartlar uyarınca tarımsal sulamaya uygunluk durumu araştırılmıştır. Aynı zamanda Nilüfer çayı ile sulanan arıtılmamış ve BTSO Su Üretim Tesisi kimyasal çıkış suyu ile sulanmış iki tane saksı toprağından alınan toprak numulerinden sodyum absorpsiyon oranı, klorür, nitrat, fosfat, amonyum, civa, krom parametrelerine bakılmış ve sulamaya uygunluk durumu tartışılmıştır.

### 3.1.1 Arıtma Birimleri

#### 3.1.1.1 Su Alma Ve Terfi Yapısı

Şekil 3.2 ve 3.3’de görüldüğü gibi su alma ve terfi yapısı, arıtma tesisinin ilk birimi olarak inşaa edilmiştir. Nilüfer Çayından manuel temizlemeli ızgara ve kanal sistemi ile alınan hamsu, dalgıç pompalar ile tesise terfi ettirilir.



Şekil 3.2 Su Alma Yapısı



Şekil 3.3 Terfi Yapısı

#### 3.1.1.2 Havalandırmalı Kum Tutucu

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi havalandırmalı kum tutucu iki gözlüdür. Üzerine yürür köprü tesis edilmiş olup, bu köprü üzerinde monteli dalgıç kum pompaları ile tutulan kumlar köprü ve havuz yanındaki kanallar yardımıyla kum ayırıcıya ulaştırılır. Burada kum ve su birbirinden ayrılır. Sistemin havalandırması blower ve çubuk difüzör yardımıyla gerçekleştirilir. Havuz üzerinde biriken yağlar köprü üzerine monte edilmiş sıyrıcı paletler yardımıyla sıyrılarak havuz kenarında bulunan yağ haznesinde biriktirilip, uzaklaştırılır.



Şekil 3.4 Havalandırmalı Kum Tutucu

### 3.1.1.3 Havalandırma Havuzu

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi havalandırmalı kum tutucu yapısından sonra su, havalandırma havuzuna alınır. Tasarımda, birleşik karbon azot giderimli işletme kullanılmıştır. Havalandırma havuzu giriş suyundaki amonyak azotu önce nitrite sonra nitratlara dönüştürülür. Havalandırma havuzunun anoksik kısmına sürekli %100 oranında geri devir çamuru döndürülür. Aeorobik bölümdeki bakteriler giriş suyundaki karbon kaynaklarını kullanırlar. Denitrifikasyon işlemi karbondioksit ve azot gazlarının oluşması şeklinde sonuçlanır. Anoksik bölgede çökeltmenin önlenmesi amacıyla dalgıç mikserler konulmuştur. Oksijenmetre ile havalandırma havuzundaki oksijen miktarı kontrol edilir ve blowerlar çalıştırılır. Atıksu, havalandırma havuzlarından sonra biyolojik çökeltim havuzularına gelir. Çökeltim havuzlarındaki dip sıyrıcılar ile sıyrılan biyokütle geri devir havuzuna akar ve buradan dalgıç pompalar vasıtasıyla havalandırma havuzuna terfi ettirilir.



Şekil 3.5 Havalandırma Havuzu

### 3.1.1.4 Hızlı Karıştırma Havuzu

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi kimyasal madde olarak sodyumhipoklorit, koagülant olarak ise ferrolin ve polialüminyumklorür (PAK) karışımı dozlanır. Bu maddeler kimya binasında bulunan depolama tankları ve dozlama pompaları ile sisteme dozlanır. Hızlı karıştırıcı çıkış kanalında flokülasyona yardımcı olmak adına anyonik polielektrolit karıştırılır. Karıştırma işleminden sonra su, savaklardan dağıtılarak klariflokülatöre iletilir.



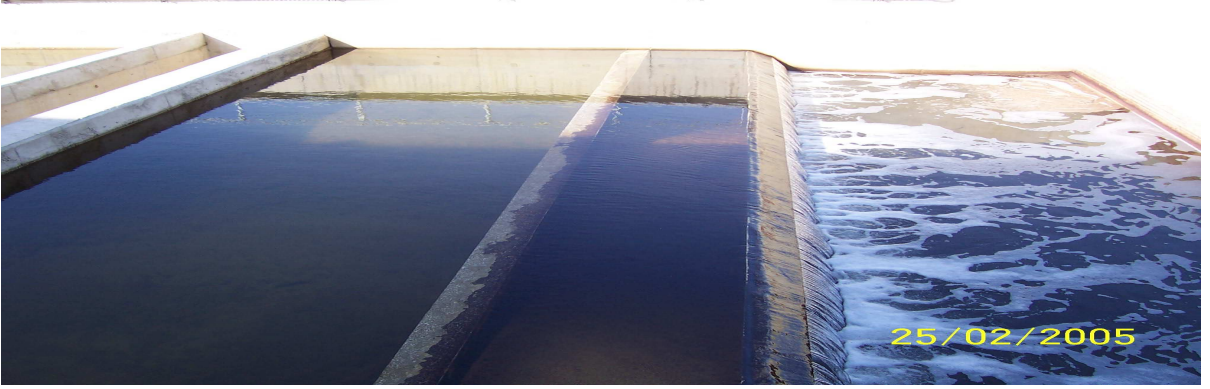
Şekil 3.6 Hızlı Karıştırma Havuzu

### 3.1.1.5 Klariflokülatör

Yavaş karıştırma ve çökeltim içiçe aynı yapı içerisinde gerçekleştiği havuzlardır. Hızlı karıştırma dağıtım yapısından gelen hamsu klariflokülatör havuzunun orta bölmesinden havuza girmektedir. Buradan stengel tipi giriş yapısıyla 14 m. çaplı yavaş karıştırma bölgesine geçen hamsu düşük devirli karıştırıcılar ile karıştırılarak oluşan flokların irileşmesi sağlanır. Kimyasal çökeltim havuzuna buradan geçecek olan hamsu katı-sıvı ayrımı için bekletilir. Dip sıyrıcı ile sıyrılan floklar kimyasal çamur terfi havuzuna gönderilir. Havuzlardan savaklanan arıtılmış su hızlı kum filtrelerine alınır.

### 3.1.1.6 Hızlı Kum Filtresi

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi kimyasal çökeltim havuzunda çökelemeyen ince flokların sudan ayrılması amacıyla hızlı kum filtreleri tasarlanmıştır. Filtre yataklarından geçirilerek süzülen su, filtre haznesi tabanında yer alan toplama borusu ile alınarak filtrelenmiş su deposuna geçer. Hızlı kum filtreleri geri yıkama suları geri kazanım tankında biriktirilir.



Şekil 3.7 Hızlı Kum Filtresi

Burada çökelen çamur pompa yardımıyla çamur yoğunlaştırma havuzuna gönderilir.

### 3.1.1.7 Beltpres

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi çamur yoğunlaştırma havuzundan beltpres besleme pompaları yardımıyla alınan çamur, beltprese basılır. Beltpresden süzülen sular geri devir binasına, çıkan çamur ise katı atıklarla beraber Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği uyarınca uzaklaştırılır ve bertaraf edilir.



Şekil 3.8 Beltpes

### 3.1.1.8 Gaz Klor Tesisi

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi klorlama işlemi gaz klor sistemi ile yapılır. Gaz klor sistemi ilk yatırım maliyeti yüksek ama işletme maliyeti düşük olduğu için tercih edilmiştir. Klor ile suyun temas süresini ve son klorlama işleminin verimini arttırmak amacıyla hızlı karıştırma havuzunda ve su deposunda gaz klorlama işlemi yapılmaktadır.

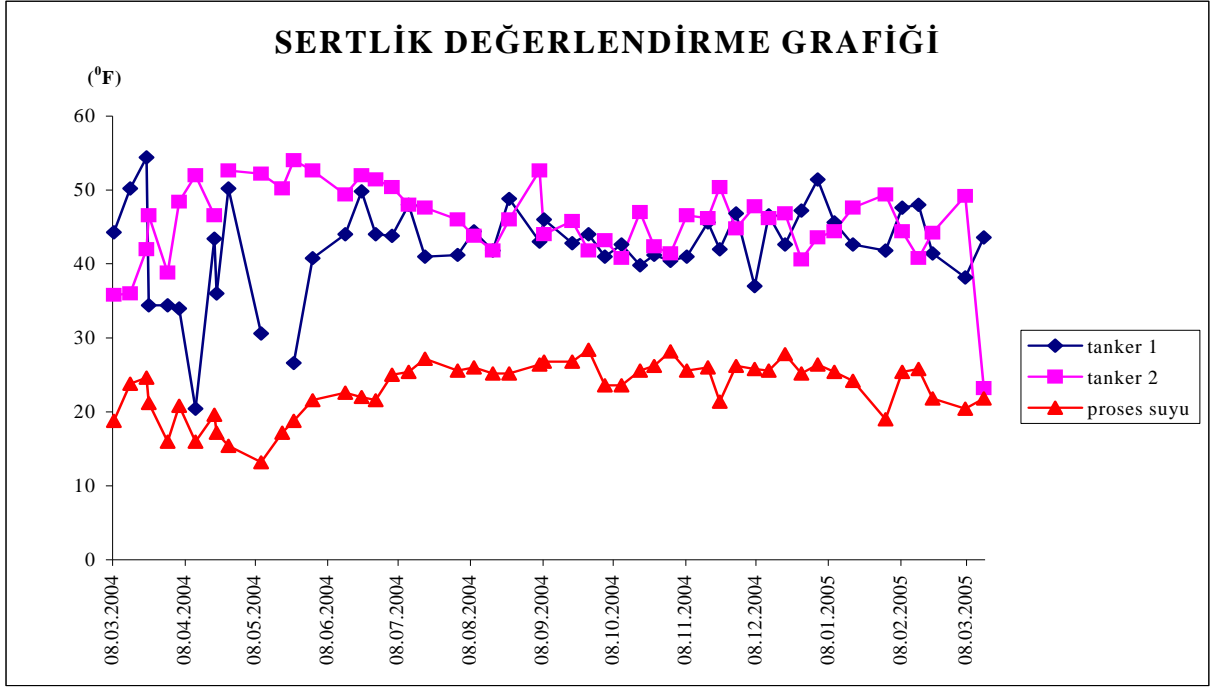


Şekil 3.9 Gaz Klor Tesisi

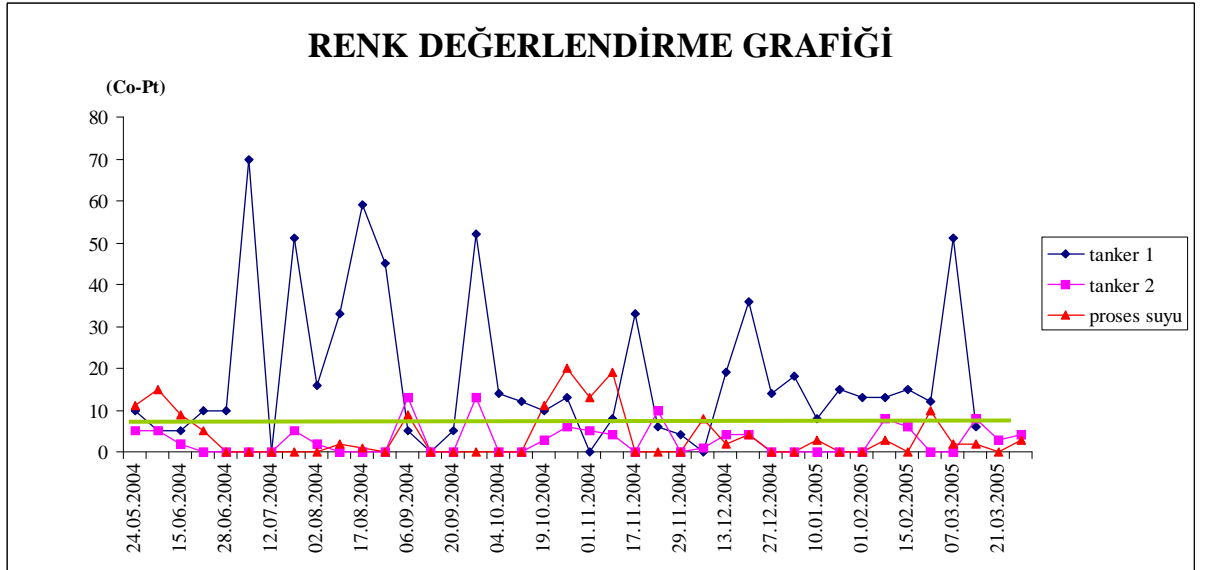
### 3.1.1.9 Proses Suyu ve Tanker Suyu

BTSO Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren boyahanelerin şehir şebeke suyuna göre daha ekonomik olmasından dolayı tercih ettiği su kaynaklarıdır. Bölgemizde tanker ile su satan pekçok firma mevcuttur. Bunların bir kısmı Geçit mevkiinden su taşıırken bir kısmıda Misi Köyü etrafından su taşımaktadır. Geçit mevkiinden temin edilen tanker suyunun kalitesi daha kötü fakat fiyatı daha ucuz olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir. Geçit mevkiinden tanker ile su taşıyan firmalardan alınan su numuneleri yıl boyunca analiz edilip, olası değişimleri raporlanmıştır. Yapılan analizlere göre tanker ve proses suyunu karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi proses suyunun sertliği yıl boyunca Fransız sertliği olarak 20 – 30 değerleri arasında bir değişim göstermiş olup, en yüksek olduğu değer 28,5 Fransız sertliği olarak analiz edilmiştir. Tanker suları ise Fransız sertliği olarak 40 – 50 arasında değişirken 54 Fransız sertliğine kadar yükseldiği de görülmüştür.

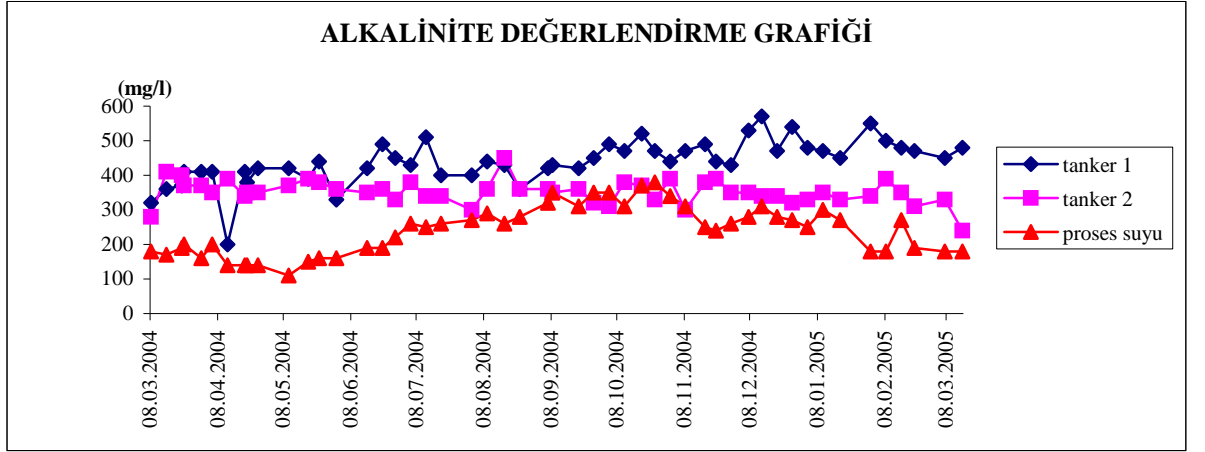


Şekil 3.11’de görüldüğü gibi renk parametresi Co-Pt cinsinden ölçülmüştür. Proses suyu bu değer 2004 yılının Ekim ve Kasım aylarında istenen limit değerlerin üzerine çıkmıştır. Tanker suyu numunelerinden bir tanesi yıl boyunca istenen limit değerlerin hep altında kalır iken diğer tanker numunesi limitlerin çok üzerine çıkmış ve 60 – 70 Co-Pt’a kadar ulaşmıştır.

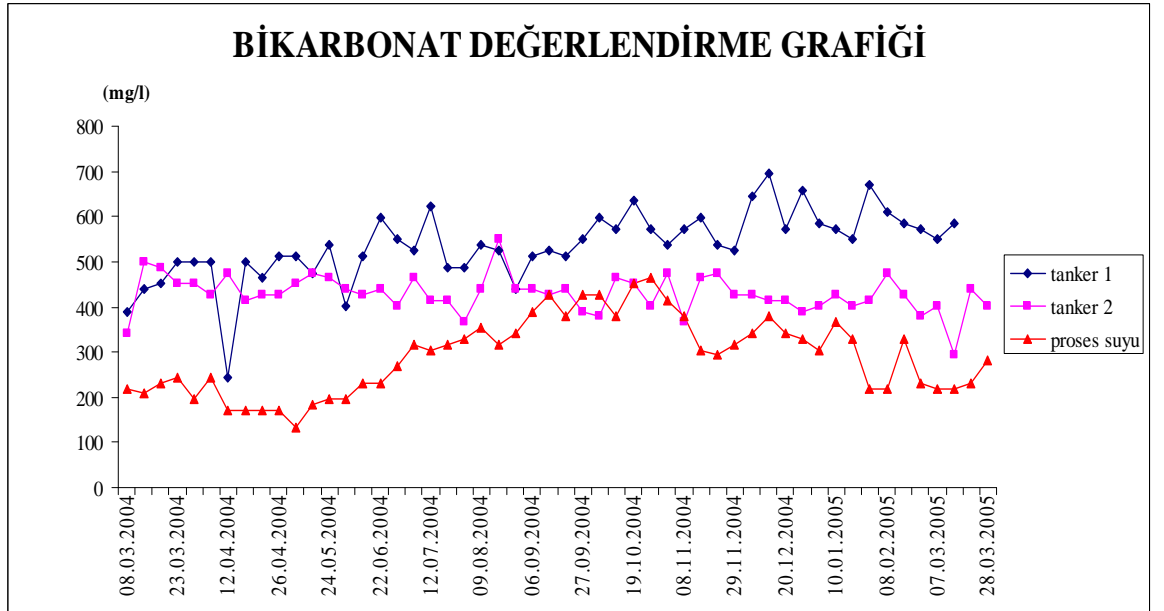




Alkalinite ve Bikarbonat boya prosesindeki en önemli parametrelerdendir. Bu parametreler, suyun bazik öğelerinin bir ölçümüdür. Suyun kuvvetli asitleri nötrleştirme kabiliyeti olarak da tanımlanır. Yumuşatma ve korozyon ile ilgili olarak çok önemlidir. Şekil 3.12 ve 3.13'den görüleceği üzere proses suyunun bikarbonat değeri 2004 yılının Eylül, Ekim ve Kasım aylarında tanker suları ile aynı değerlere ulaşmıştır. Diğer aylarda proses suyunun bu parametrelerde tanker suyundan daha iyi olduğu görülmektedir.

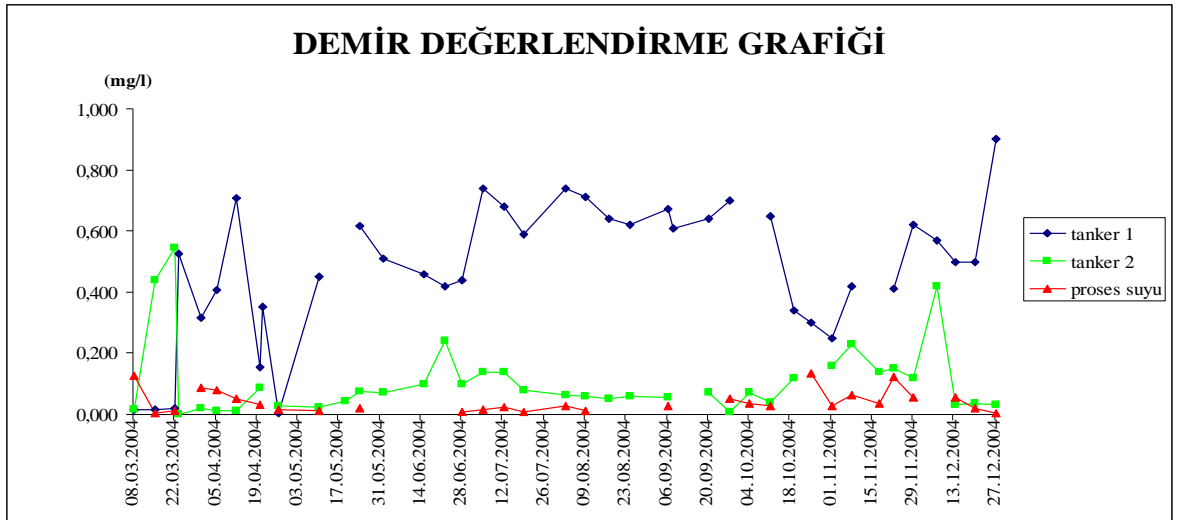


Şekil 3.12 Alkalinite değerlendirme grafiği

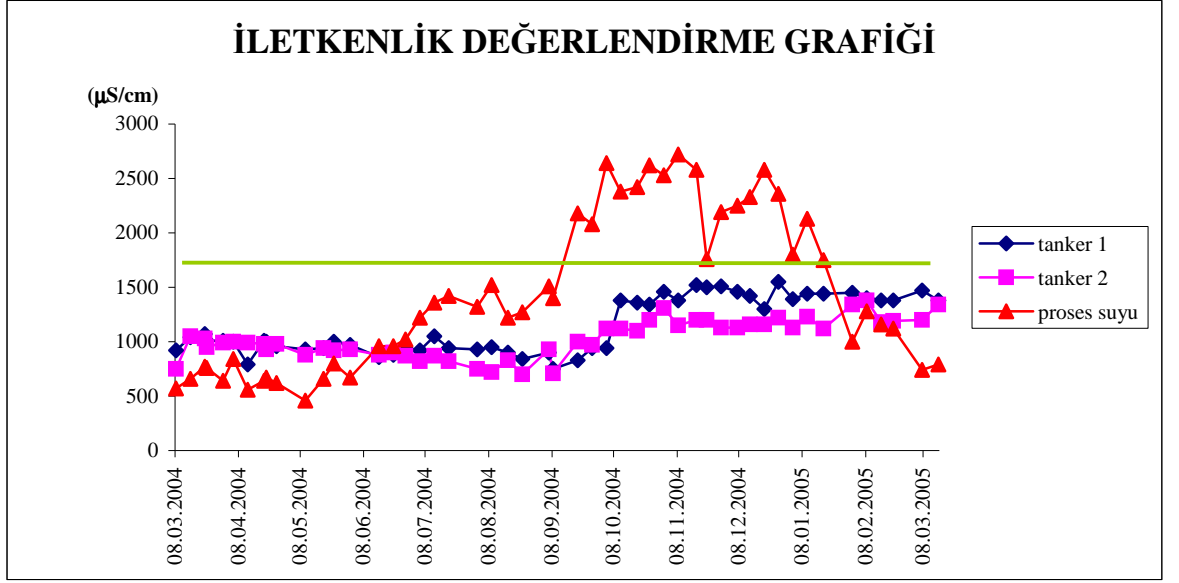


Şekil 3.13 Bikarbonat değerlendirme grafiği

Demir parametresi de boyama prosesini etkileyen önemli parametrelerdendir. Şekil 3.14 ve 3.15’de görüldüğü gibi tüm yıl boyunca proses suyunun tanker sularından daha iyi olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminin sonlarına doğru proses suyu üretiminde kaynak olarak kullanılan Nilüfer Çayı’nı besleyen doğal su kaynakları çok azalmakta ve Nilüfer Çayı bir atıksu deresine dönüşmektedir. Pekçok işletmede bulunan su yumuşatma sistemleri ve dolayısıyla bu tesislerin işletmesinden oluşan rejenerasyon suları bu dereye karışmaktadır. Rejenerasyon suları tuzlu sulardır ve klorür parametresini en çok arttıran kaynaklardır. İletkenlik de sudaki iyonların artması ile orantılı artış göstermektedir. Mevcut proses suyu üretim tesisimiz klorür ve iletkenlik parametrelerinin giderimine uygun değildir. Bu yüzden Nilüfer Çayı’nda bu parametreler yükseldiği zaman proses suyunda da yükselmektedir. Şekil 3.15’de görüldüğü üzere yılın ilk altı ayında iletkenlik ve klorür parametrelerinde proses suyu daha iyi, sonraki üç ayda tanker suyunun ulaştığı maksimum seviyeye kadar yükselmekte, daha sonraki üç ayda ise aradaki fark açılmaktadır.



Şekil 3.14 Demir değerlendirme grafiği



Şekil 3.15 İletkenlik değerlendirme grafiği

### 3.2 Metot

BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış suyundan mevsimsel bazda alınan örneklerde değişebilir sodyum oranı yüzdesi, sodyum adsorbsiyon oranı, sodyum karbonat kalıntısı, bor, çinko, nikel, fekal koliform, askıda katı madde, pH, iletkenlik, toplam tuz konsantrasyonu, klorür, civa, arsenik, kurşun, krom, amonyum, sülfat, demir, bakır, sıcaklık, BOI<sub>5</sub> parametreleri analiz edilmiş ve Su Kirliliği Kontrolü Teknik Usuller Tebliğinde verilen Sulama Suyu Kriterleri uyarınca sulamaya uygunluk durumu irdelenmiştir. Aynı zamanda su kaynağı olarak kullanılan Nilüfer Çayı ile sulanan arıtılmamış ve BTSO Su Üretim Tesisi kimyasal çıkış suyu ile sulanan toprak numunelerinde (saksı toprağı) sodyum adsorbsiyon oranı, klorür, nitrat, fosfat, amonyum, civa, krom analizleri yapılmış ve Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki ağır metal sınır değerleri uyarınca sulamaya uygunluk durumu kontrol edilmiştir.

BTSO Su Üretim Tesisi'nde üretilip sanayicilerin proseslerinde kullandıkları proses suyu ve tanker suyunun kısaca bir karşılaştırması aşağıda sunulmuştur.

#### 3.2.1. Sulama Suyu Analiz Yöntemleri

Analiz için alınan atıksu numunelerinde pH, toplam askıda katı madde, BOI, toplam fosfat, iletkenlik, amonyum, klorür, sülfat, demir, bakır, fekal koliform, arsenik, civa, krom, kurşun, nikel, çinko, sodyum adsorbsiyon oranı, bor tayin edilerek SAR,

ESP ve bakiye karbonat değerleri hesaplanarak tarımsal sulama açısından uygunluğu ve sulama suyu sınıfları belirlenmiştir.

**pH:** Sıcaklık, bazı gazlar ve organik maddeler, pH değeri ölçümünde bozucudurlar.Numunedeki askıda katı maddeler önemli hatalara neden olabilir.Bu durumda numune,askıda katıların çökmesi için bekletilir ve elektrod üstteki berrak sıvıya daldırılır. 100 mL numune bir behere alınır.(numune ortam sıcaklığında olmalıdır.)İçine pH metrenin elektrodu daldırılır ve bir manyetik karıştırıcı üzerinde 10-15 saniye karıştırılır.Karıştırıcı durdurulur ve 5-10 sn kadar beklenerek pH metre göstergesi sabit olana kadar beklenir.Göstergenin sabit kaldığı değer suyun pH değeridir.

**Toplam Askıda Katı Madde:** Karıştırılarak homojen hale getirilen su numunesi oda sıcaklığına getirilir. Süzgeç,havadaki nem ile dengeye gelmesi için terazini yanında bekletilir ve tartılır. Süzgeç,düzgün yüzeyi aşağı gelecek şekilde süzme cihazının huni kısmına yerleştirilir ve cihaz vakum pompasına bağlanır. Su numunesi, vakumla çalışan bir cihaz kullanılarak filtreden süzölür, süzgeç 105 °C'de kurutulur ve süzgeç üzerindeki kalıntı kütlesi tartılır.

**BOI:** 5 mg/lt allylthiovea ile 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD<sub>5</sub>),nitrifikasyon önlenecek seyreltme yöntemi ile ölçüm prensibine dayandırılarak ölçölmektedir.Fe<sup>2+</sup> iyonlarının bulunduğu ortamda bir pyrocatechol türevleriyle alkali solüsyonda çözünmüş oksijen analizi yapılır.

**Toplam Fosfat:** Proses suyunda toplam fosfat konsantrasyonu, Dr.Lange hazır kitleri kullanılarak Close Reflux Kolorimetrik Metod prensibine göre belirlenmiştir.

**İletkenlik:** 100 mL numune bir behere alınır.(numune ortam sıcaklığında olmalıdır.) İçine Conductivity/TDS Meter iletkenlik cihazı elektrodu daldırılır, 5-10 sn iletkenlik cihazı göstergesi sabit olana kadar beklenir.Göstergenin sabit kaldığı değer suyun µS/cm birimindeki iletkenlik değeridir. İletkenlik değerinin 0,64 ile çarpımı bize mg/lt cinsinden toplam tuz konsantrasyonunu verir.

**Amonyum:** Proses suyunda Amonyum Konsantrasyonu, Dr.Lange hazır kitleri kullanılarak spektrofotometrede Close Reflux Kolorimetrik Metod esasları uyarınca okuma yapılarak belirlenmiştir.

**Klorür:** Proses suyunda 0.1 N  $\text{AgNO}_3$  çözeltisi kullanılarak,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  indikatörlüğünde yapılan titrasyon ile belirlenmiştir.

**Sülfat:** Proses suyunda  $\text{SO}_4$  miktarı Dr. Lange hazır kitleri kullanılarak spektrofotometrede Close Reflux Kolorimetrik Metod esasları uyarınca okuma yapılarak belirlenmiştir.

**Demir:** Proses suyunda demir miktarının Dr. Lange hazır kitleri kullanılarak spektrofotometrede Close Reflux Kolorimetrik Metod esasları uyarınca okuma yapılarak belirlenmiştir.

**Bakır:** Proses suyunda demir miktarının Dr. Lange hazır kitleri kullanılarak spektrofotometrede Close Reflux Kolorimetrik Metod esasları uyarınca okuma yapılarak belirlenmiştir.

**Fekal Koliform:** Fekal koliform analizi yapılırken Membran Filtrasyon Yöntemi esas alınmıştır. Besiyer olarak laktozlu bunyion besiyeri kullanılmıştır. 1 mL saf suya toz halindeki 13 gr. laktozlu bunyion eklenmiştir. Karıştırılıp, homojenize edilmiş ve pH'sı 6,9 olarak ayarlanmıştır. Steril edilmiş ve içindeki tüpteki gaz oluşumuna dayanarak üremenin başlayıp, başlamadığı kontrol edilmiştir. 100 ml. atıksu numunesi membran filtreden süzölmüştür. Filtre besiyerine monte edilmiş ve 2 gün 44 °C derecede etüvde tutulmuştur. Bakteri ürediği zaman koloni şekline bakılarak tip tayinine gidilmiştir. Eğer tip tayini onaylanırsa bakteri vardır sonucuna varılmıştır.

**Arsenik:** Proses suyundaki arsenik ölçümü hidrörlü atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile ölçölmüştür (Welz ve Melcher 1985).

**Civa:** Proses suyundaki civa ölçümü soğuk buhar spektrofotometresi ile ölçölmüştür (Koop ve ark. 1972).

**Krom, kurşun, nikel, çinko, sodyum, kalsiyum, magnezyum:** Proses suyundaki krom, kurşun, nikel, çinko, sodyum, kalsiyum, magnezyum konsantrasyonları alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile ölçölmüştür (Willis 1962).

**Bor:** Proses suyundaki bor konsantrasyonu Hatcher (1950) tarafından bildirildiği şekilde Karmin yöntemine göre ölçölmüştür.

**ESP, SAR ve Bakiye Karbonat:** Örneklerde Amerikan Tuzluluk Laboratuvarı (1954) yöntemlerine göre belirlenmiştir.

### 3.2.2 Toprak Analiz Yöntemleri

Nilüfer çayı ile sulanan arıtılmamış ve arıtılmış toprak numunelerinde (saksı toprağı) haftalık yapılan sulama sonucunda sodyum adsorbsiyon oranı, klorür, nitrat, fosfat, amonyum, civa, krom analizleri yapılmış ve Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki ağır metal sınır değerleri uyarınca sulamaya uygunluk durumu kontrol edilmiştir. Toprak analiz yöntemlerinin kısaca açıklaması aşağıda verilmiştir:

**Sodyum Adsorpsiyon Oranı:** Likit duruma gelinceye kadar 10 gr. toprak numunesine 20 ml.deiyonize saf su eklenir.Çalkalama cihazında 30 dk. Çalkalanır.10 dakika beklenir ve filtre kağıdından süzülür.Kalsiyum,magnezyum ve sodyum me/ltcinsinden Alevli Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresinde analizlenir ve  $SAR=Na^+/[0,5*(Ca+Mg)]^{1/2}$  (me/l) formülünden SAR hesaplanır. (Amerikan Tuzluluk Laboratuvarı 1954).

**Civa ve Krom:**5 gr. ve 2 gr. toprak numuneleri kral suyunda [3:1(HCl:HNO<sub>3</sub>)] oranında 20 ml. eklenir.İyice kahverengi dumanlar kaybolana kadar digest edilir. Daha sonra numune 50 ml.'lik balon jøjeye deiyonize saf su ile tamamlanır.Krom alevli, civa hidrüllü atomik adsorpsiyon spektrofotometresinde analiz edilir.Sonuçlar µg/L cinsinden okunur, buradan da mg/kg toprakta olacak şekilde hesaplanır.

**Fosfat:** 1 gr.toprak numunesi 30 ml. %60'lık HClO<sub>4</sub> ile karıştırılır. Isıtıcıya konulur. Organik maddenin siyah rengi gidinceye kadar yakma sürdürülür. 20 dakika daha yakma sürdürülür.Yoğun beyaz dumanlar oluşur.Toprakta çözünmez materyal beyaz kum şeklini alır. Daha sonra süzülüp, 50 ml'ye tamamlanır. Toprak numunesi hazırlandıktan sonra

100 ml. su bir behere alınır.Ayrı bir behere 100 ml. veya 100 ml.'ye tamamlanmış numune alınır.Üzerine 1 ml. kuvvetli asit çözeltisi,4 ml. amonyum molibdat ve 10 damla (0,5 ml) kalay klorür çözeltisi ilave edilerek karıştırılır.10 dakika renk oluşumu beklenir.Oluşan mavi renk 690 nm'de blank'e karşı sıfırlanarak okunur.

**Klorür:** Havada kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten elenmiş 5 gr. toprak örneğı 50 ml. kapasiteli santrifüj tüpüne konur.Üzerine 25 ml.deiyonize arı su katılır.Çalkalama makinasında 10 dakika çalkalanır ve sonra santrifüj edilir.Her bir seri analizde toprak örneğı dışında yukarıda açıklanan işlemler uygulanmak suretiyle tanık hazırlanır.Berrak toprak ekstraktından ve tanık çözeltisinden alınan 10 ar ml'lik alikotlar porselen

kapsüllere aktarılır. Üzerine 1 ml. Potasyum kromat indikatörü konur ve standart gümüş nitrat çözeltisiyle titre edilir. Toprak ekstraktındaki klorürün tamamı çöktüğü zaman ortamda oluşan açık kahverenkli gümüş kromat titrasyonda son noktayı gösterir.

**Nitrat:** Bir bölümlü akış analiz sisteminde, toprak numunesi ilk olarak diyalize tabi tutulur. Nitrat ve nitrit iyonları numuneden membran yardımıyla ayrılır ve buradan da amonyum klorür akışıyla alınır. Nitrat daha sonra kadmiyum vasıtası ile nitrite indirgenir. En son olarak a-naftietilendiamin dihidroklorür ve sülfanilamid ilave edilir ve böylece asidik ortamda kırmızı renkli diazo bileşikleri oluşur. Diazo bileşiklerinin absorbanları 543 nm. dalga boyunda ölçülür.

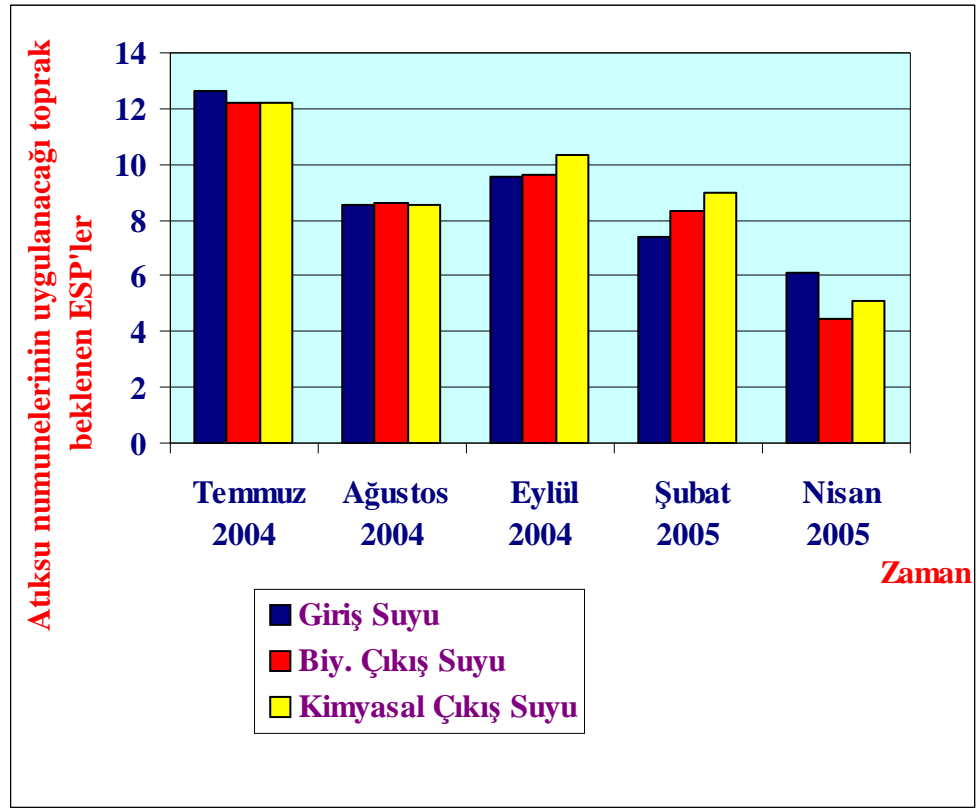
**Amonyum:** Bir bölümlü akış analiz sisteminde, toprak numunesi ilk olarak diyalize tabi tutulur. Amonyumun tayini amonyak ve hipoklorür varlığında ve sodyum nitroferrisiyanürün katalitik etkisi altında fenol türevlerinin (burada salisilat) indofenoller oluşturduğu Berthelot reaksiyonuna dayanır. Bazı ortamlarda, indofenol yeşil-mavi bir renk alır ve absorbanı 660 nm. dalga boyunda ölçülür.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

BTSO Su Üretim Tesisi giriş suyu, biyolojik çıkış suyu ve kimyasal çıkış suyundan alınan atıksu numuneleri Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde yer alan sulama suyu kriterlerine göre analiz edilmiş ve grafikler şeklinde aşağıda gösterilmektedir (Şekil 4.1'den Şekil 4.22'ye kadar) .

Şekil 4.1'de analiz yapılan BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış sularında mevsimsel bazda ölçülen ve bu suların uygulanacağı toprakta beklenen ESP değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi, 2004 yılının Temmuz ayında giriş suyu numunesinin uygulanacağı toprakta beklenen ESP en yüksek değeri göstermektedir (% 12,67). Aynı yılın Temmuz ayında kimyasal çıkış suyu numunesinin uygulanacağı toprakta beklenen ESP öne çıkan bir değerdedir (%12,20). Aynı yılın Temmuz ayındaki bu öne çıkan değeri 2004 Eylül ayındaki % 10,31 değer ile kimyasal çıkış suyu takip etmektedir. Giriş suyu ve biyolojik çıkış suyu 2004 Eylül ayında sırasıyla %9,57 ve 9,64 değerleriyle birbirine yakın değerler gösterirken, 2005 Nisan ayının giriş suyu (%6,08) ve kimyasal çıkış suyu numunelerindeki (%5,13) değerler nispeten daha düşüktürler. Giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış suları 2004 Ağustos ayında hemen hemen aynı değerleri gösterirken, biyolojik çıkış suyu, 2005 Nisan ayında %4,48'lik değer ile en düşük seviyededir. Giriş suyunun uygulanacağı toprakta beklenen ESP değeri sulama suyu sınıfı bakımından birinci sınıftır. Biyolojik çıkış suyunun uygulanacağı toprakta beklenen ESP değeri sulama suyu sınıfı bakımından birinci sınıftır. Kimyasal çıkış suyunun uygulanacağı toprakta beklenen ESP değeri sulama suyu sınıfı bakımından birinci sınıftır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre ESP değeri 20'den küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise %60'a kadar izin verilmektedir.

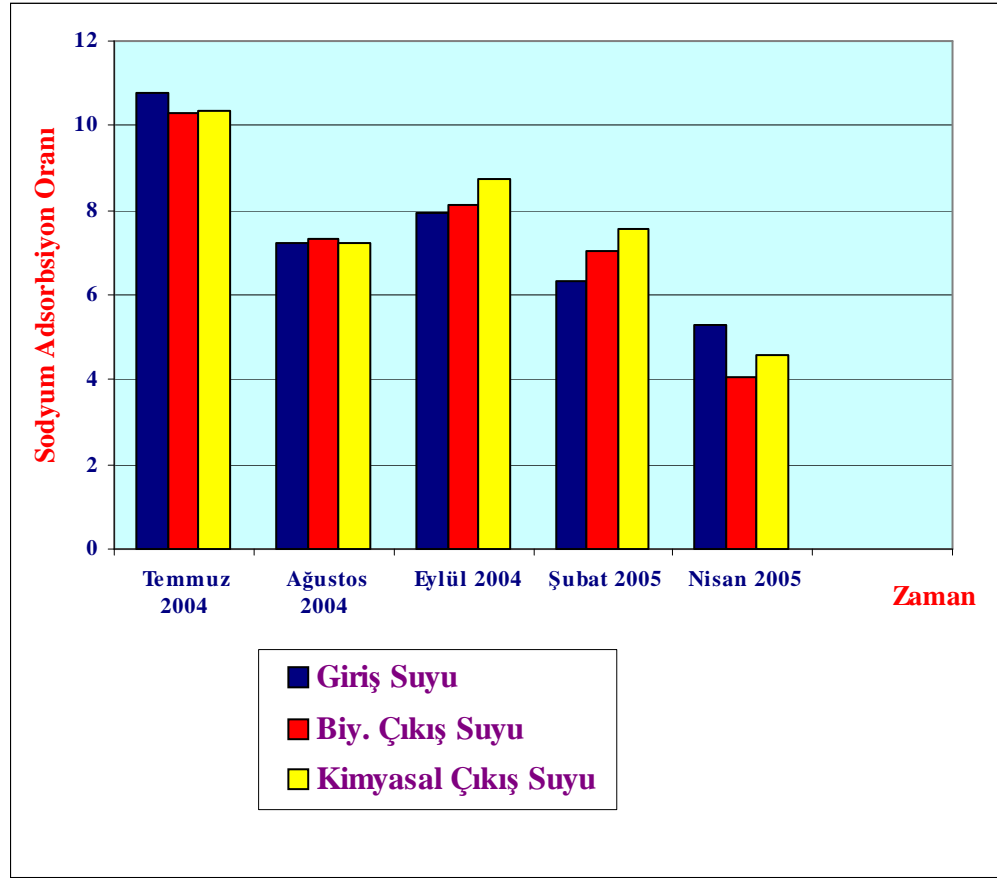




Şekil 4.1. BTO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal suyun uygulanacağı toprakta beklenen ESP'ler

Şekil 4.2'de BTO Su Üretim Tesisi giriş,biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki Sodyum Adsorpsiyon Oranları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.Su numuneleri içinde 2004 yılı Temmuz ayındaki giriş suyu %10,76 ile en yüksek oranı gösterirken, bunu %10,34 oranı ile 2004 yılı Temmuz ayındaki kimyasal çıkış suyu izlemektedir. Her üç su numunesindeki 2004 yılı Ağustos ayı sodyum adsorpsiyon oranları birbirine çok yakın değerler göstermektedir. Her üç su numunesindeki 2005 yılının Nisan ayındaki oranlar diğer aylara nispeten daha düşük olmakla beraber, en düşük oran %4,06 ile 2005 yılı Nisan ayında belirlenmiştir. Sodyum adsorpsiyon oranı Temmuz 2004 giriş suyunda, sulama suyu sınıfı bakımından ikinci sınıfken, Ağustos 2004, Eylül 2004, Şubat 2005 ve Nisan 2005 giriş suyunda, sulama suyu sınıfı bakımından birinci sınıftır. Sodyum adsorpsiyon oranı Temmuz 2004 biyolojik çıkış suyunda, sulama suyu sınıfı bakımından ikinci sınıfken, Ağustos 2004, Eylül 2004, Şubat 2005 ve Nisan 2005 biyolojik çıkış suyunda, sulama suyu sınıfı bakımından birinci sınıftır. Sodyum adsorpsiyon oranı Temmuz 2004 kimyasal çıkış suyunda,

sulama suyu sınıfı bakımından ikinci sınıftan, Ağustos 2004, Eylül 2004, Şubat 2005 ve Nisan 2005 kimyasal çıkış suyunda, sulama suyu sınıfı bakımından birinci sınıftır.

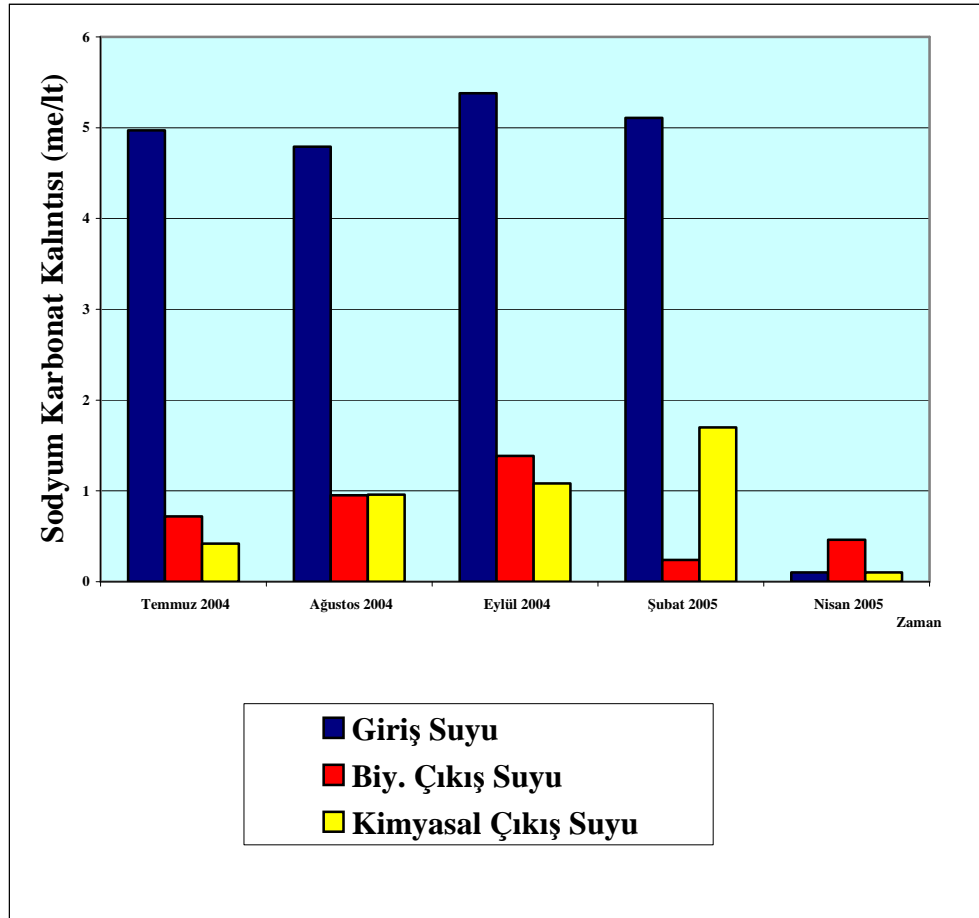


Şekil 4.2. BTO Su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki sodyum adsorbsiyon oranı grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre sodyum adsorbsiyon oranı 10'den küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 26'ya kadar izin verilmektedir.

Şekil 4.3'te analizi yapılan atıksu numunelerindeki sodyum karbonat kalıntısı değerleri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi; 2004 yılının Eylül ayındaki giriş suyu en yüksek değeri göstermektedir.(5,38 me/lit).2005 yılının Şubat ayındaki giriş suyundaki değer ve 2004 yılının Temmuz ayındaki giriş suyundaki değer öne çıkan diğer konsantrasyonlardır.2004 yılının Eylül ayındaki biyolojik çıkış suyu 1,385 me/lit'lik konsantrasyonla biyolojik çıkış suyu numuneleri arasında en yüksek değeri

gösterirken;2005 yılı Nisan ayındaki kimyasal çıkış suyu tüm atıksu numuneleri içinde en düşük değeri göstermektedir (0,1 me/l).

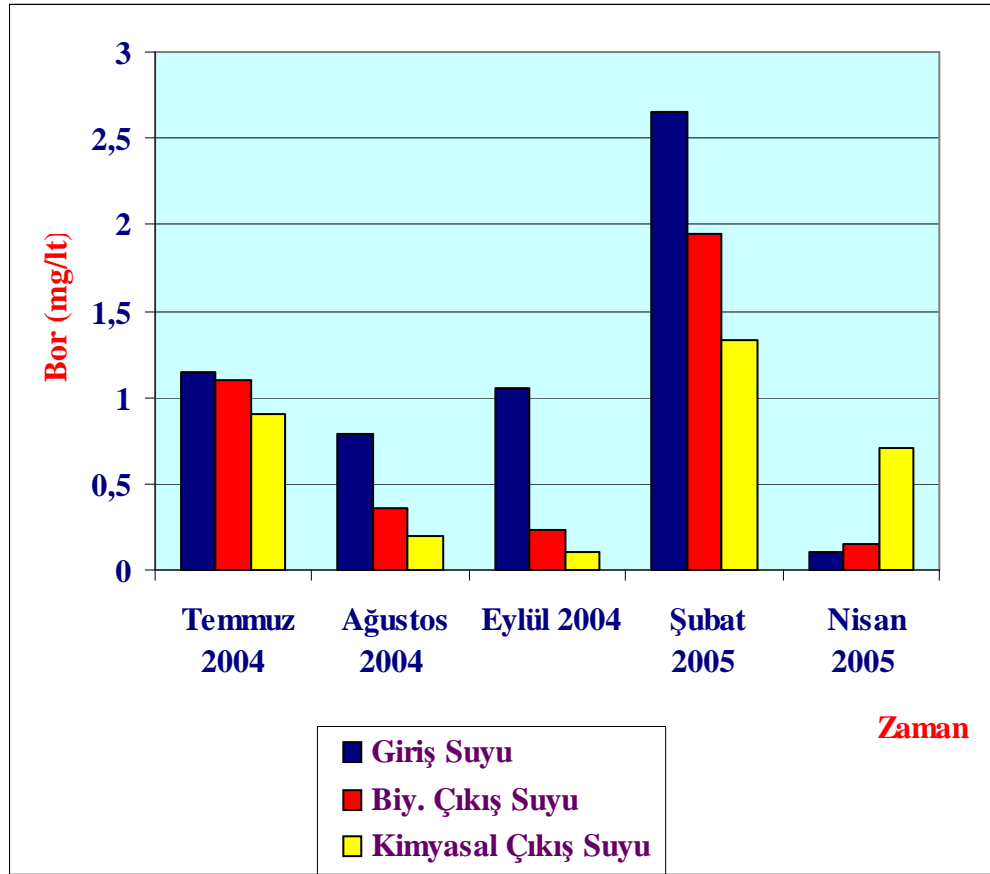


Şekil 4.3. BTO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki sodyum karbonat kalıntısı grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre sodyum karbonat kalıntısı 1,25 me/l'ten küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 2,5 me/l'te kadar izin verilmektedir. Sodyum karbonat kalıntısı değeri bakımından Temmuz ve Ağustos 2004 ayları giriş suyu numuneleri değerleri sulama suyu sınıfı bakımından üçüncü sınıftır, Eylül 2004 ayı giriş suyu numunesi ikinci sınıftır. Şubat 2005 ayı giriş suyu numunesi değeri ihtiyatla kullanılması gerekirken, 2005 yılı Nisan ayı giriş suyu numunesi birinci sınıftır. Sodyum karbonat kalıntısı değeri bakımından biyolojik çıkış suyu Eylül 2004 ayı değeri ikinci sınıftır, diğer tüm biyolojik çıkış suyu sodyum karbonat kalıntısı değerleri birinci sınıftır.

Sodyum karbonat kalıntısı değeri bakımından Şubat 2005 ayı kimyasal çıkış suyu numunesi ikinci sınıfken, diğer tüm ayların kimyasal çıkış suyu numunesi değeri birinci sınıftır.

Şekil 4.4'de BISO Su Üretim Tesisi giriş,biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki bor konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.Atıksu numuneleri içinde; 2005 yılının Şubat ayındaki giriş suyu numunesi 2,65 mg/l ile en yüksek değeri göstermektedir.Bu değeri 1,95 mg/l bor konsantrasyonu ile 2005 yılının Şubat ayındaki biyolojik çıkış suyu numunesi takip etmektedir.2004 yılının Eylül ayındaki kimyasal çıkış suyu numunesi ile 2005 yılının Nisan ayındaki giriş suyu numunesindeki bor konsantrasyonları hem aynı hem de en düşük değeri göstermektedir.(0,1 mg/l )

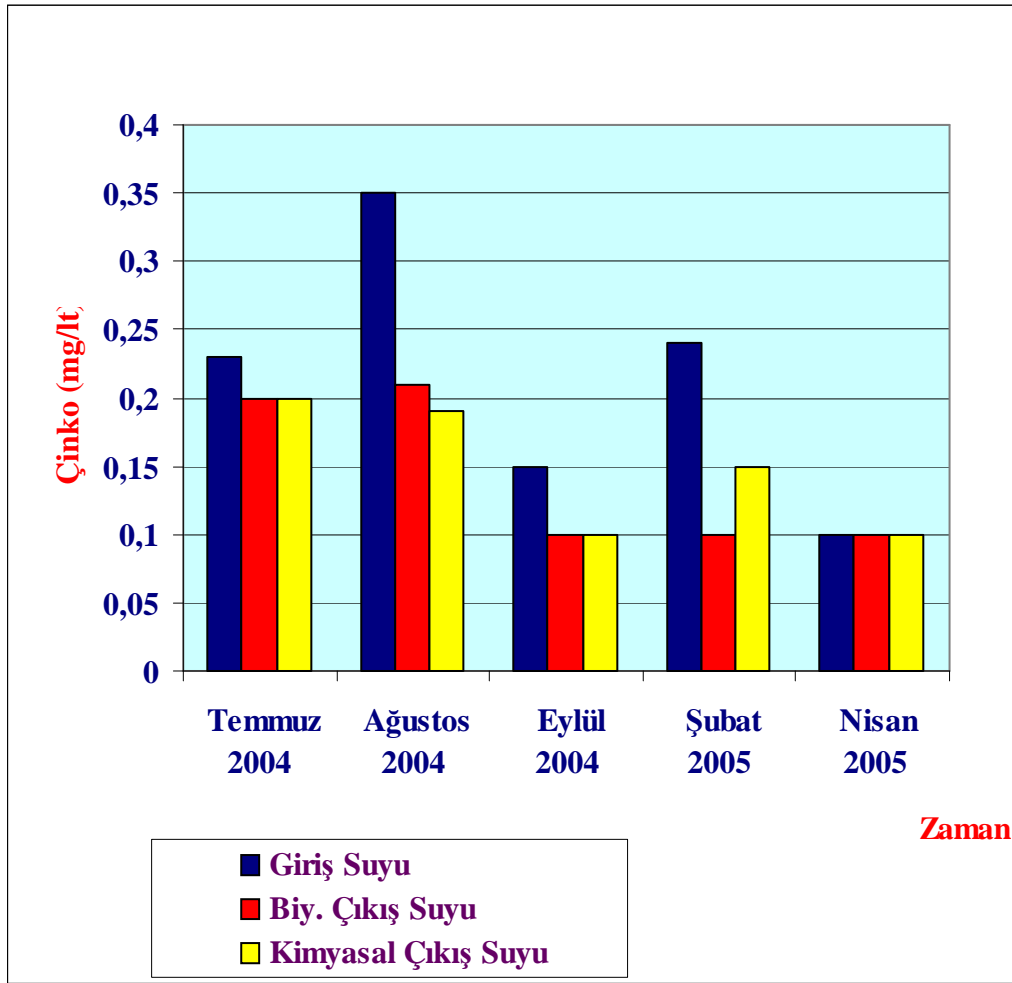


Şekil 4.4. BISO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki bor grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre bor konsantrasyonu 0,5 mg/l'ten küçük olduğu zaman birinci

sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 2 mg/Lt 'ye kadar izin verilmektedir. Bor değerleri bakımından 2005 yılı Şubat ayı giriş suyu numunesi beşinci sınıf olup sulama suyu açısından kullanılması uygun değildir. Bor değerleri bakımından 2005 yılı Şubat ayı biyolojik çıkış suyu numunesi üçüncü sınıf olup 2004 yılı Ağustos, Eylül ayı ve 2005 yılı Nisan ayı biyolojik çıkış suyu numunesi sulama suyu açısından birinci sınıftır. Bor değerleri bakımından 2005 yılı Şubat ayı kimyasal çıkış suyu numunesi üçüncü sınıf olup 2004 yılı Ağustos, Eylül ayı ve 2005 yılı Nisan ayı kimyasal çıkış suyu numunesi sulama suyu açısından birinci sınıftır.

Şekil 4.5'te analizi yapılan atıksu numunelerindeki çinko değerleri karşılaştırılmıştır.Şekilden de görüldüğü gibi;2004 yılının Ağustos ayındaki giriş suyu numunesi en yüksek değere sahiptir.(0,35 mg/Lt ).Şubat 2005 ve Temmuz 2004 giriş suyundaki değerler çinko yönünden öne çıkan konsantrasyonlardır. (0,24 mg/Lt ve 0,23 mg/Lt ). 2004 yılı Ağustos ayı biyolojik çıkış suyu ve 2004 Temmuz ayındaki biyolojik çıkış suyu birbirine yakın değerler gösterirken,2004 yılı Eylül ayının biyolojik çıkış, kimyasal çıkış, 2005 yılı Şubat ayının biyolojik çıkış, 2005 yılı Nisan ayının giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış suları 0,1 mg/Lt ile en düşük değeri göstermektedir.

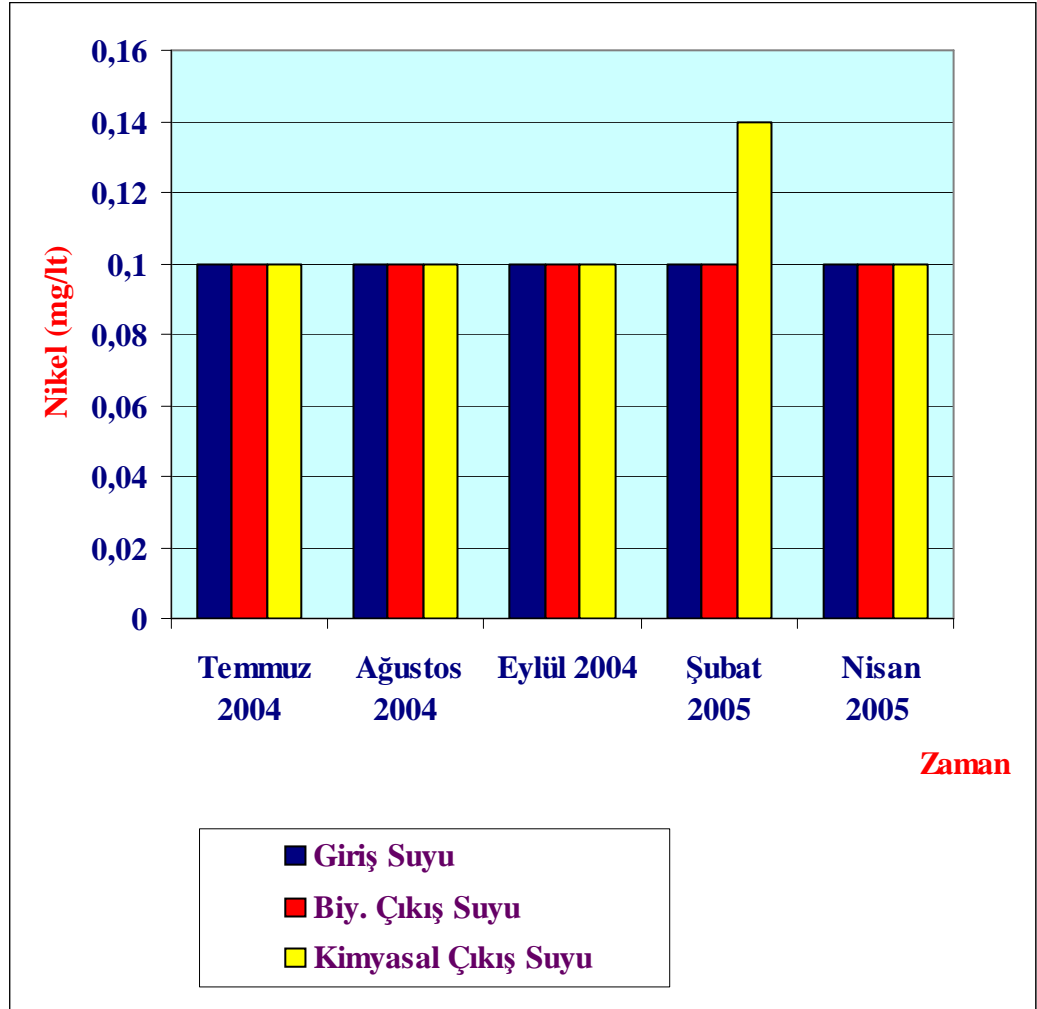


Şekil 4.5. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki çinko grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgeye göre çinko konsantrasyonunun 2 mg/L 'ye kadar olmasına izin verilmektedir. Çinko değerleri bakımından giriş suyu numuneleri sulama suyuna uygun bulunmuştur. Çinko değerleri bakımından biyolojik çıkış suyu numuneleri sulama suyuna uygun bulunmuştur. Çinko değerleri bakımından kimyasal çıkış suyu numuneleri sulama suyuna uygun bulunmuştur.

Şekil 4.6'da BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki nikel konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi; 2005 yılının Şubat ayındaki kimyasal çıkış suyundaki nikel

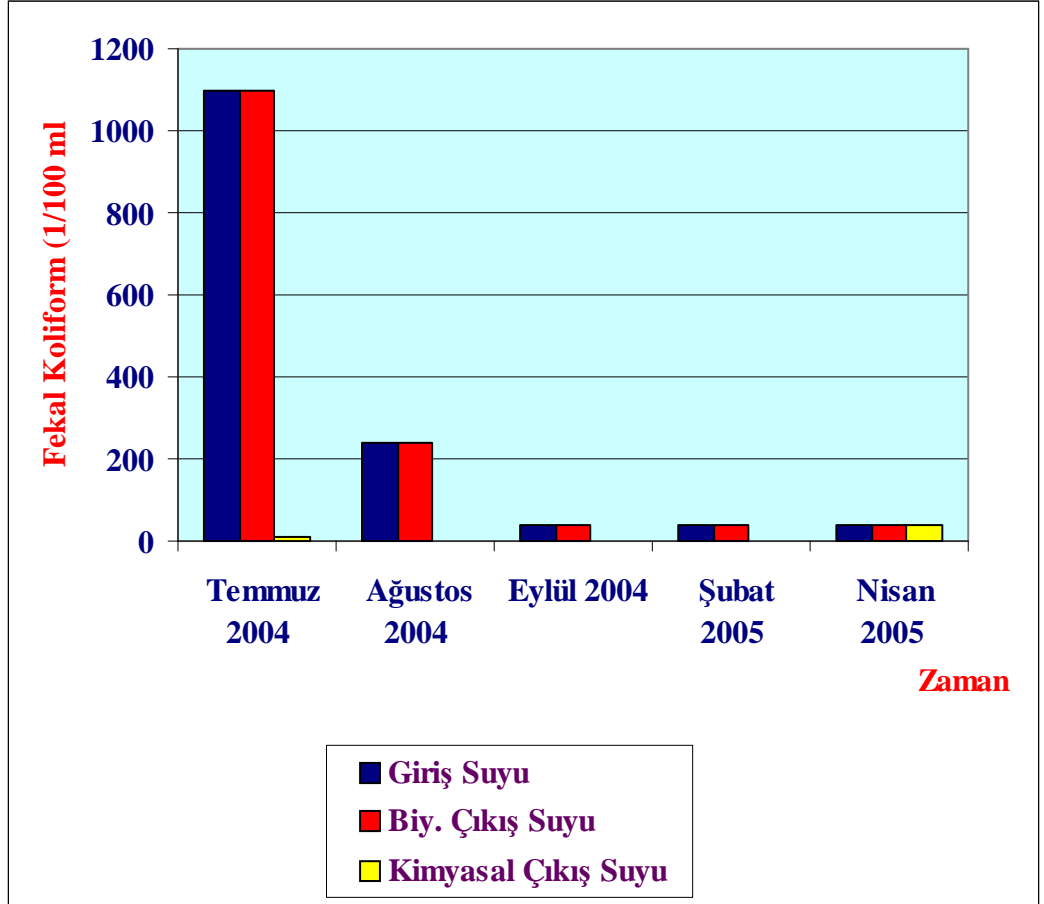
konsantrasyonu 0,14 mg/lt ile en yüksek değeri gösterirken,diğer tüm değerler 0,1 mg/lt olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6. BTSSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki nikel grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgeye göre nikel konsantrasyonunun 0.2 mg/lt'ye kadar olmasına izin verilmektedir. Nikel değerleri bakımından giriş suyu numuneleri sulama suyuna uygun bulunmuştur. Nikel değerleri bakımından biyolojik çıkış suyu numuneleri sulama suyuna uygun bulunmuştur. Nikel değerleri bakımından kimyasal çıkış suyu numuneleri sulama suyuna uygun bulunmuştur.

Şekil 4.7’de BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki fekal koliform konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Atıksu numuneleri içinde; 2004 yılı Temmuz ayındaki giriş ve biyolojik çıkış suları 1100 1/100 ml ile en yüksek değeri gösterirken, 2004 yılı Ağustos ayı giriş ve biyolojik çıkış numuneleri 240 1/100 ml ile fekal koliform açısından öne çıkan diğer numunelerdir. 2004 yılı Eylül ayı giriş, biyolojik çıkış, 2005 yılı Şubat ayı giriş, biyolojik çıkış, 2005 yılı Nisan ayı giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numuneleri 40 1/100 ml ile aynı değeri gösterirlerken, 2004 yılı Ağustos ayı kimyasal çıkış, 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış, 2005 yılı Şubat ayı kimyasal çıkış numunelerinde fekal koliform konsantrasyonuna rastlanmamıştır.

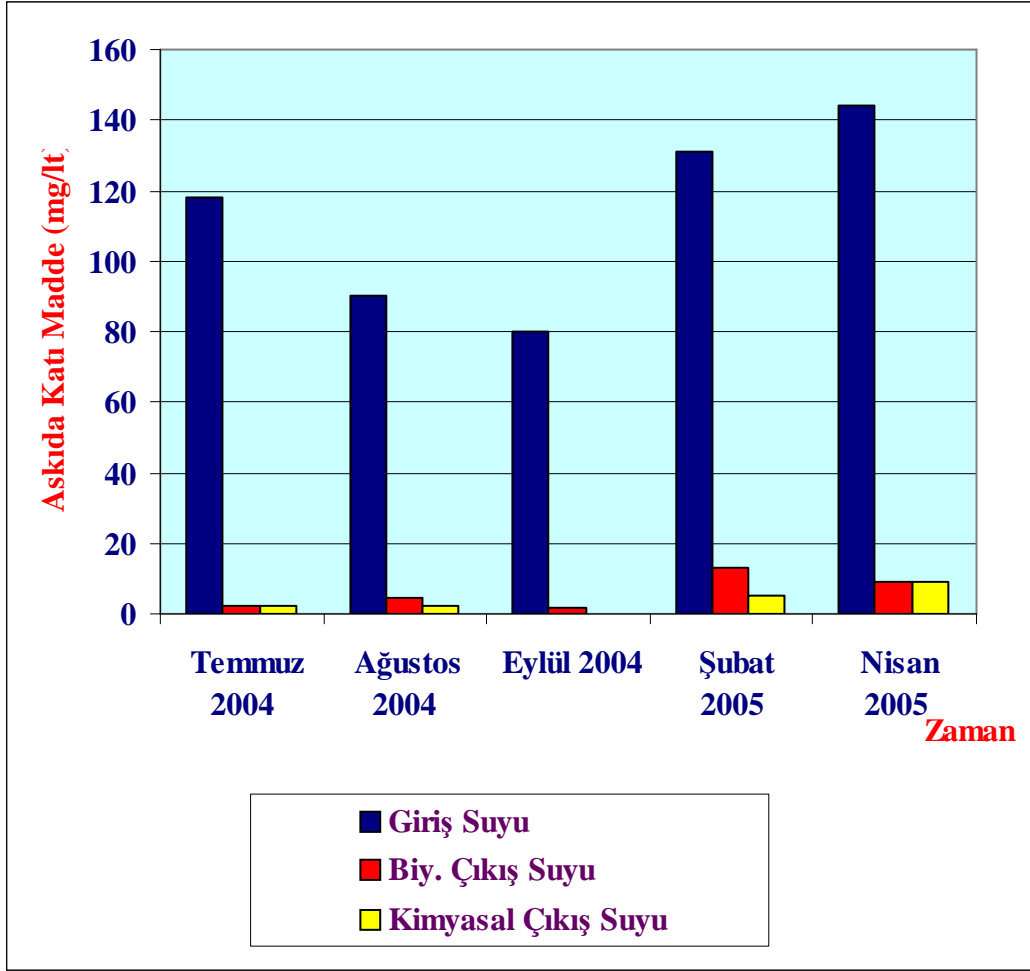


Şekil 4.7. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki fekal koliform grafiği



Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre fekal koliform konsantrasyonu 2 1/100 ml'den küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 100 1/100ml'ye kadar izin verilmektedir. Fekal koliform değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz ayı giriş suyu numunesi sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. 2004 yılı Eylül ayı, 2005 yılı Şubat ve Nisan ayları giriş suyu numunesi sulama suyu açısından kullanıma uygundur. Fekal koliform değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz ayı biyolojik çıkış suyu numunesi sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. 2004 yılı Eylül ayı, 2005 yılı Şubat ve Nisan ayları biyolojik çıkış suyu numunesi sulama suyu açısından kullanıma uygundur. Fekal koliform değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz ayı kimyasal çıkış suyu numunesi sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. 2004 yılı Eylül ayı, 2005 yılı Şubat ve Nisan ayları kimyasal çıkış suyu numunesi sulama suyu açısından kullanıma uygundur.

Şekil 4.8'de BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki askıda katı madde konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Atıksu numuneleri içinde, 2005 yılı Nisan ayının giriş suyu numunesi en yüksek değeri göstermektedir. (144 mg/lt). 2005 yılı Şubat ayının giriş suyu numunesi 131 mg/lt askıda katı madde konsantrasyonu ile sivrilen diğer atıksu numunesidir. 2005 yılı Nisan ayı biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış suları 8,8 mg/lt konsantrasyon ile aynı değeri gösterirken; 2004 yılı Temmuz ayı biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış suları da 2 mg/lt konsantrasyon ile aynı değere sahiptir. 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış suyunda askıda katı madde konsantrasyonuna rastlanmamıştır.

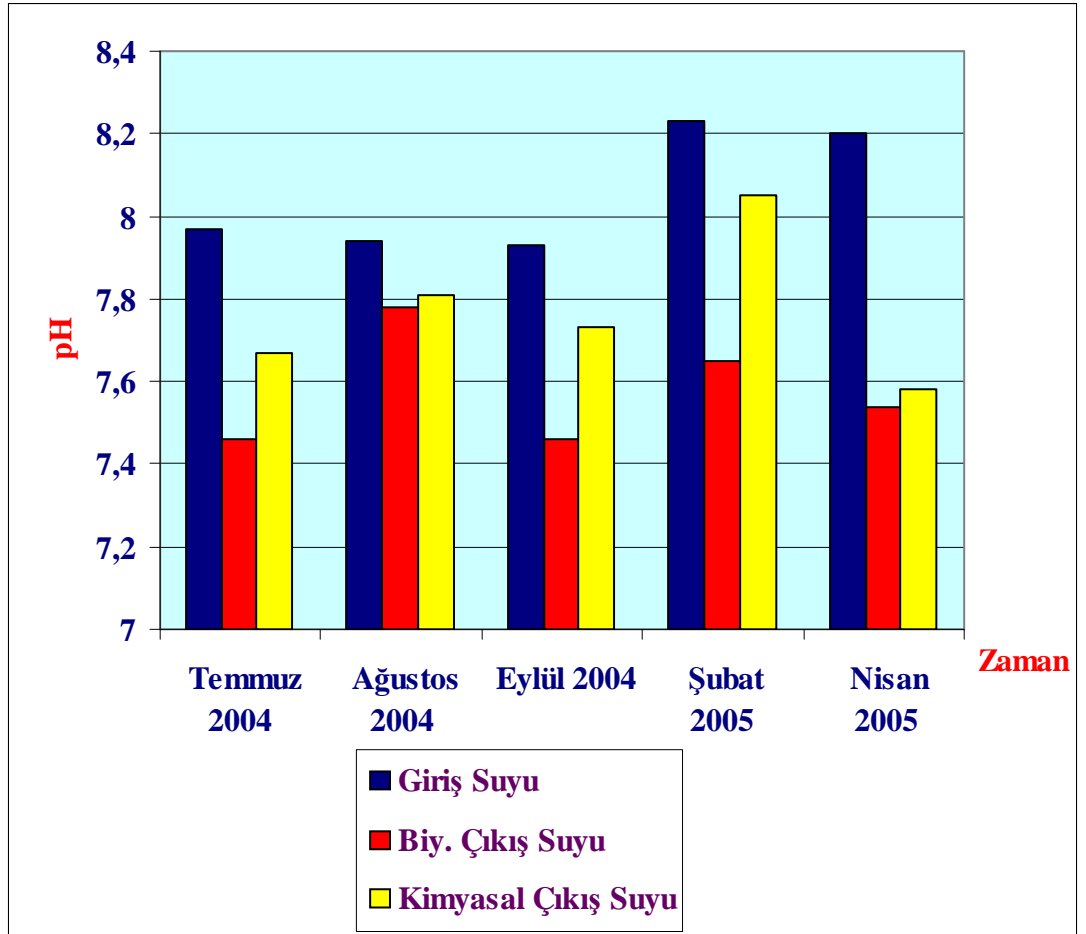


Şekil 4.8. BTO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki askıda katı madde grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre askıda katı madde konsantrasyonu 20 mg/lt'den küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 45mg/lt'ye kadar izin verilmektedir. Askıda katı madde değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz ayı, 2005 yılı Şubat ve Nisan ayları giriş suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. Askıda katı madde değerleri bakımından tüm aylar biyolojik çıkış suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygundur. Askıda katı madde değerleri bakımından tüm aylar kimyasal çıkış suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygundur.

Şekil 4.9'da analizi yapılan atıksu numunelerindeki pH değerleri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi; atıksu numuneleri içinde 2005 yılı Şubat

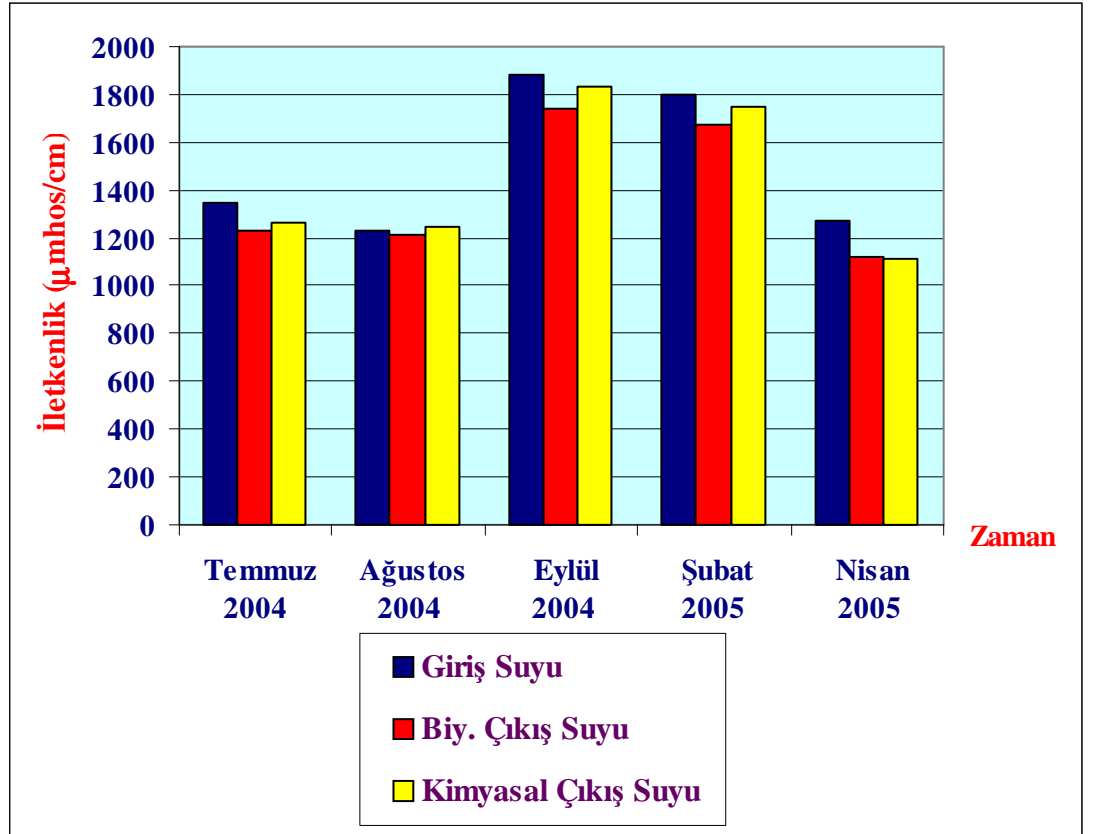
ayı giriş suyu 8,23 ile en yüksek gösterirken, bu değeri 2005 yılı Nisan ayı giriş suyu numunesi 8,2 pH değeri ile izlemektedir. 2004 yılı Temmuz ayı biyolojik çıkış suyu numunesi ile 2004 yılı Eylül ayı biyolojik çıkış suyu numunesi aynı değeri göstermektedir. (7,46). 2005 yılı Şubat ayı kimyasal çıkış numunesi 7,58 pH değeri ile öne çıkan değerler arasındadır. 204 yılı Temmuz, Ağustos ve Eylül ayındaki giriş suyu numuneleri birbirine çok yakın değerler göstermektedir (sırasıyla 7,97; 7,94; 7,93).



Şekil 4.9. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki pH grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre pH konsantrasyonu 8,5'dan küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. pH değerleri bakımından tüm aylar için tüm atıksu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygundur.

Şekil 4.10'da analizi yapılan atıksu numunelerindeki iletkenlik değerleri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi; atıksu numuneleri içinde 2004 yılı Eylül ayı giriş suyu numunesi en yüksek değeri göstermektedir. (1880  $\mu\text{mhos/cm}$ ). 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış suyu numunesi ve 2005 yılı Şubat ayı giriş suyu numunesi atıksu numuneleri içinde öne çıkan diğer numunelerdir. 2004 yılı Ağustos ayında her üç su numunesi de birbirine yakın değerler göstermektedirler. 2005 yılı Nisan ayı biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numuneleri 1120  $\mu\text{mhos/cm}$  ile en düşük değeri göstermektedirler.

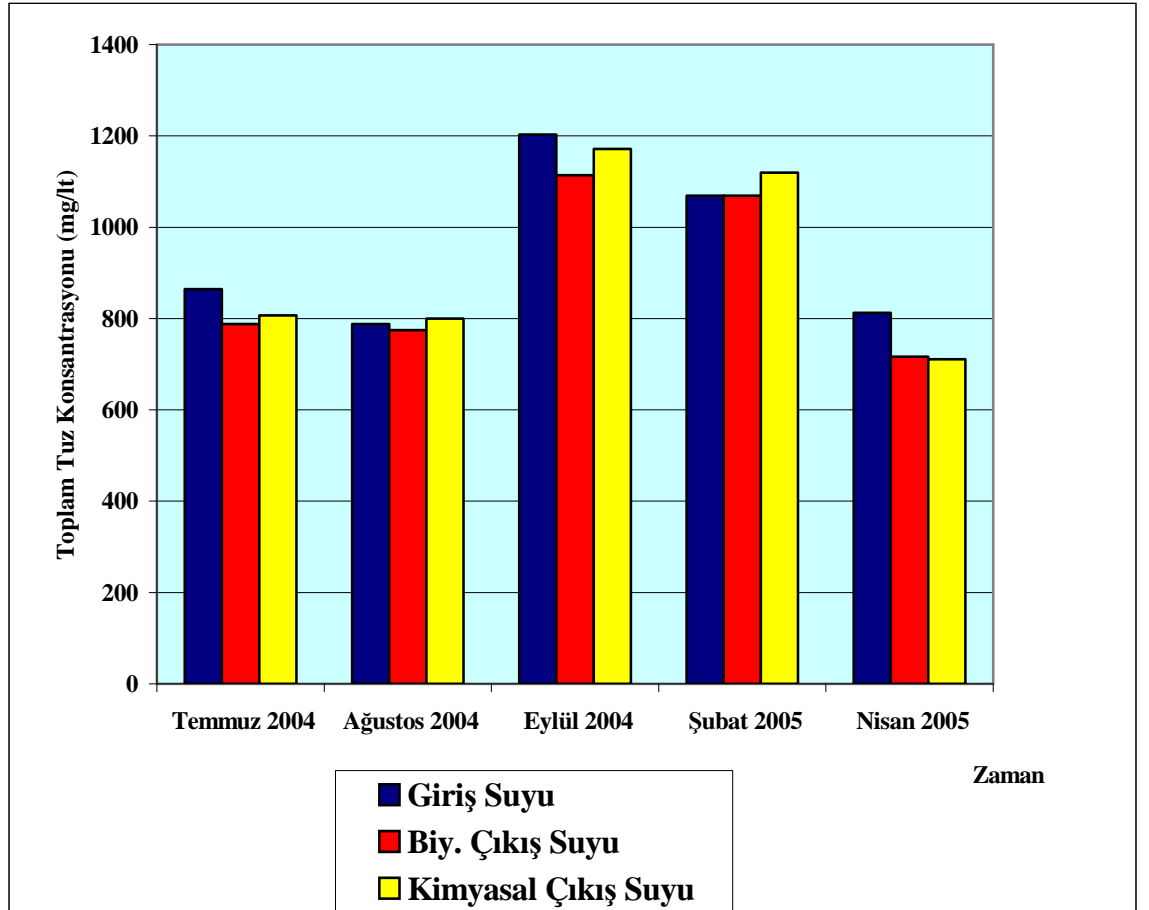


Şekil 4.10. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki iletkenlik grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre iletkenlik konsantrasyonu 250  $\mu\text{mhos/cm}$ 'den küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 2000  $\mu\text{mhos/cm}$ 'a kadar izin verilmektedir.

İletkenlik değerleri bakımından tüm aylar için tüm atıksu numune değerleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

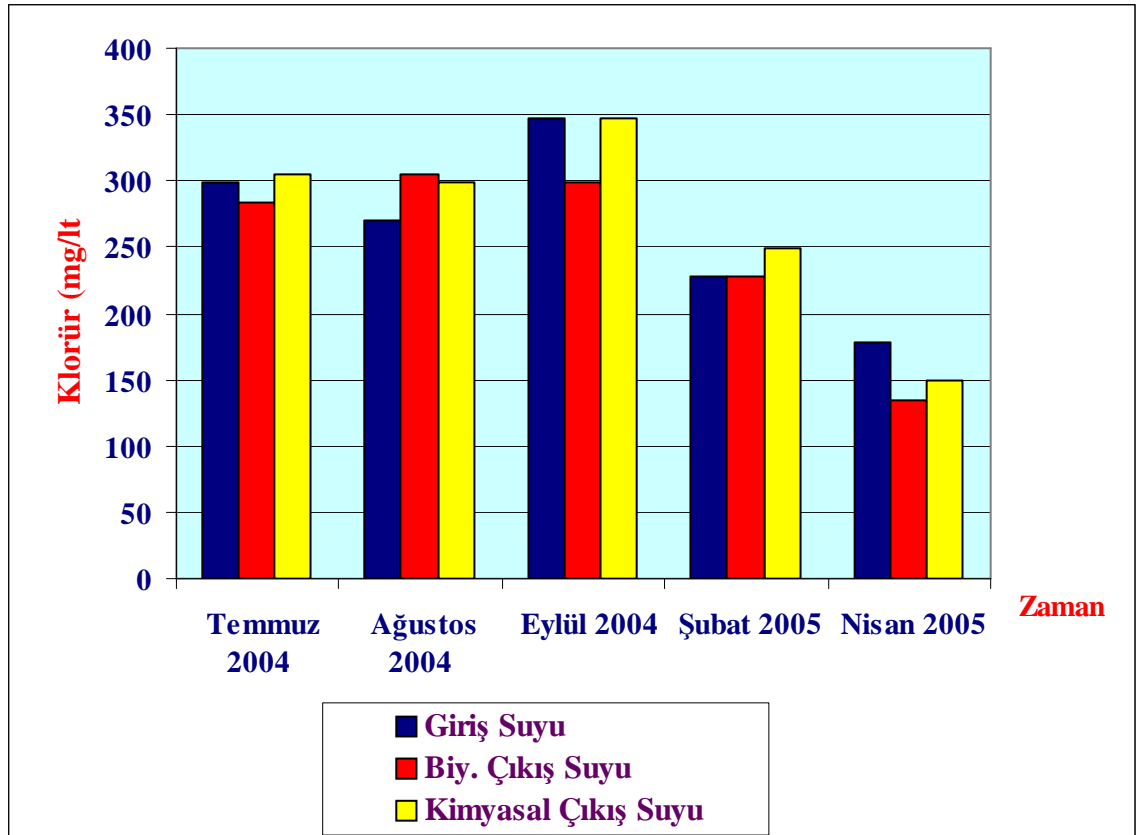
Şekil 4.11’de analizi yapılan atıksu numunelerindeki toplam tuz konsantrasyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi; atıksu numuneleri içinde 2004 yılı Eylül ayı giriş suyu numunesi en yüksek değeri göstermektedir. (1203 mg/lt ). 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış suyu numunesi ve 2005 yılı Şubat ayı giriş suyu numunesi atıksu numuneleri içinde öne çıkan diğer numunelerdir. 2004 yılı Ağustos ayında her üç su numunesi de birbirine yakın değerler göstermektedirler. 2005 yılı Nisan ayı biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numuneleri 717 mg/lt ile en düşük değeri göstermektedirler.



Şekil 4.11. BTO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki toplam tuz konsantrasyonu grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre toplam tuz konsantrasyonu 1400 mg/L'ten küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 1400mg/L'ye kadar izin verilmektedir. Toplam tuz değerleri bakımından tüm aylar için tüm atıksu numune değerleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

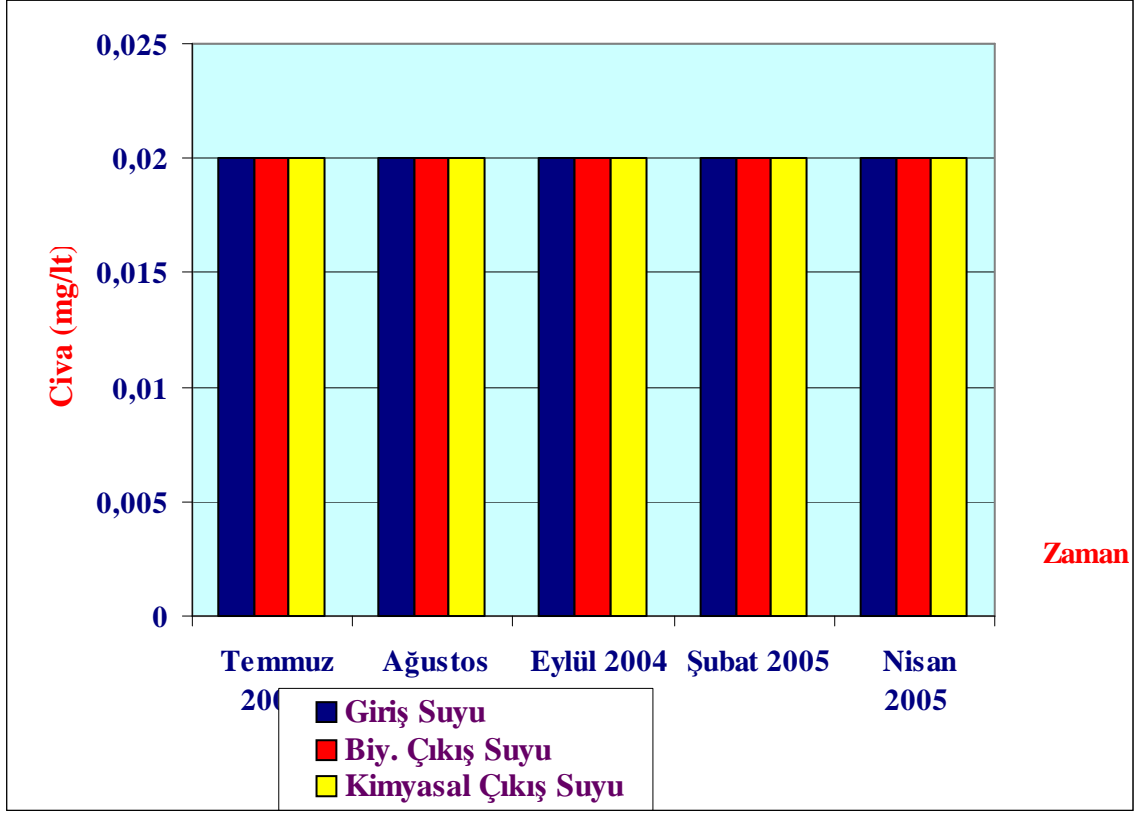
Şekil 4.12'de analizi yapılan atıksu numunelerindeki klorür değerleri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi; atıksu numuneleri içinde 2004 yılı Eylül ayının giriş ve kimyasal çıkış suları en yüksek değeri göstermektedir. (347,9 mg/L). Bu değeri 305,3 mg/L ile 2004 yılı Temmuz ayı kimyasal çıkış ve 2004 yılı Ağustos ayı biyolojik çıkış suyu numunesi izlemektedir. 2004 yılı Ağustos ayı kimyasal çıkış suyu numunesi ve 2004 yılı Eylül ayı biyolojik çıkış suyu numunesi 298,2 mg/L'lik konsantrasyon ile sivrilen değerler arasındadır. 2005 yılı Nisan ayı biyolojik çıkış suyu numunesi ise 134,9 mg/L ile en düşük değeri göstermektedir.



Şekil 4.12. BTO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki klorür grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre klorür konsantrasyonu 142 mg/l'ten küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 426 mg/l'te kadar izin verilmektedir. Klorür değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz ve Eylül ayları giriş suyu numuneleri değerleri sulama suyu açısından üçüncü sınıftır. 2004 yılı Ağustos ayı, 2005 yılı Şubat ve Nisan ayları giriş suyu numuneleri değerleri sulama suyu açısından ikinci sınıftır. Klorür değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları biyolojik çıkış suyu numuneleri değerleri sulama suyu açısından üçüncü sınıftır. 2005 yılı Şubat ve Nisan ayları biyolojik çıkış suyu numuneleri değerleri sulama suyu açısından ikinci sınıftır. Klorür değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları kimyasal çıkış suyu numuneleri değerleri sulama suyu açısından üçüncü sınıftır. 2005 yılı Şubat ve Nisan ayları kimyasal çıkış suyu numuneleri değerleri sulama suyu açısından ikinci sınıftır.

Şekil 4.13'de BTO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki civa konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tüm atıksu numuneleri aynı civa konsantrasyonuna sahiptir. (0,02 mg/l ).

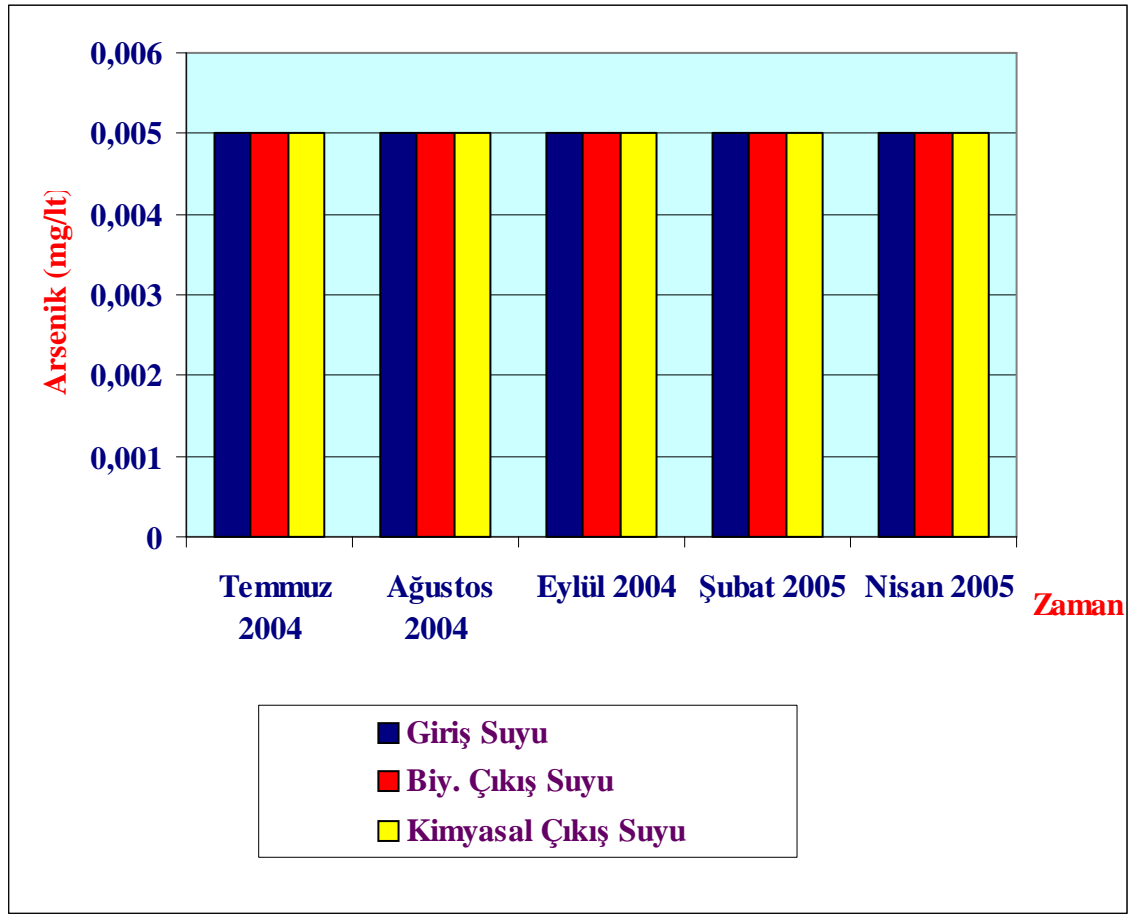


Şekil 4.13. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki civa grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgede civa ile ilgili herhangi bir limit değere rastlanmamıştır. Civa değerleri bakımından tüm aylar için tüm atıksu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir.

Şekil 4.14'de BTSO Su Üretim Tesisi giriş,biyolojik çıkış,kimyasal çıkış suyundaki arsenik konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tüm atıksu numuneleri aynı civa konsantrasyonuna sahiptir. (0,005 mg/Lt ).

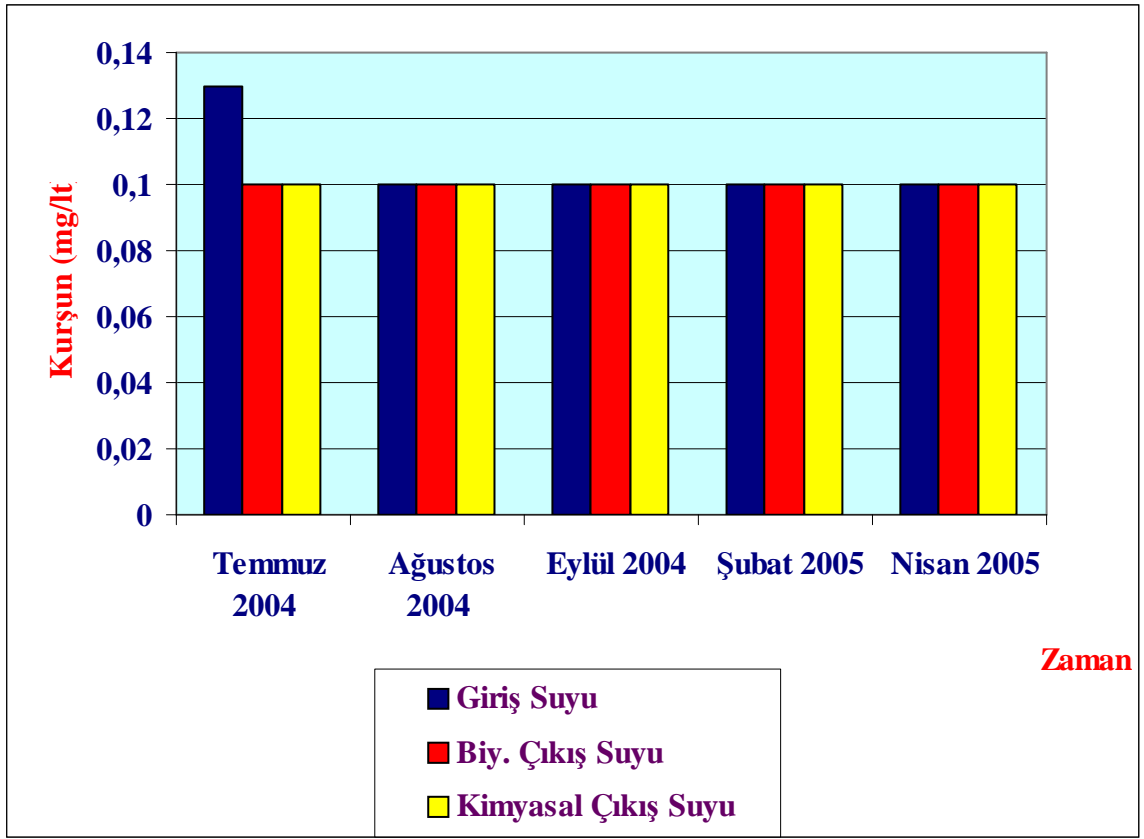




Şekil 4.14. BTO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki arsenik grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgeye göre arsenik konsantrasyonunun 0.1 mg/Lt'ye kadar olmasına izin verilmektedir. Arsenik değerleri bakımından tüm aylar için tüm atıksu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

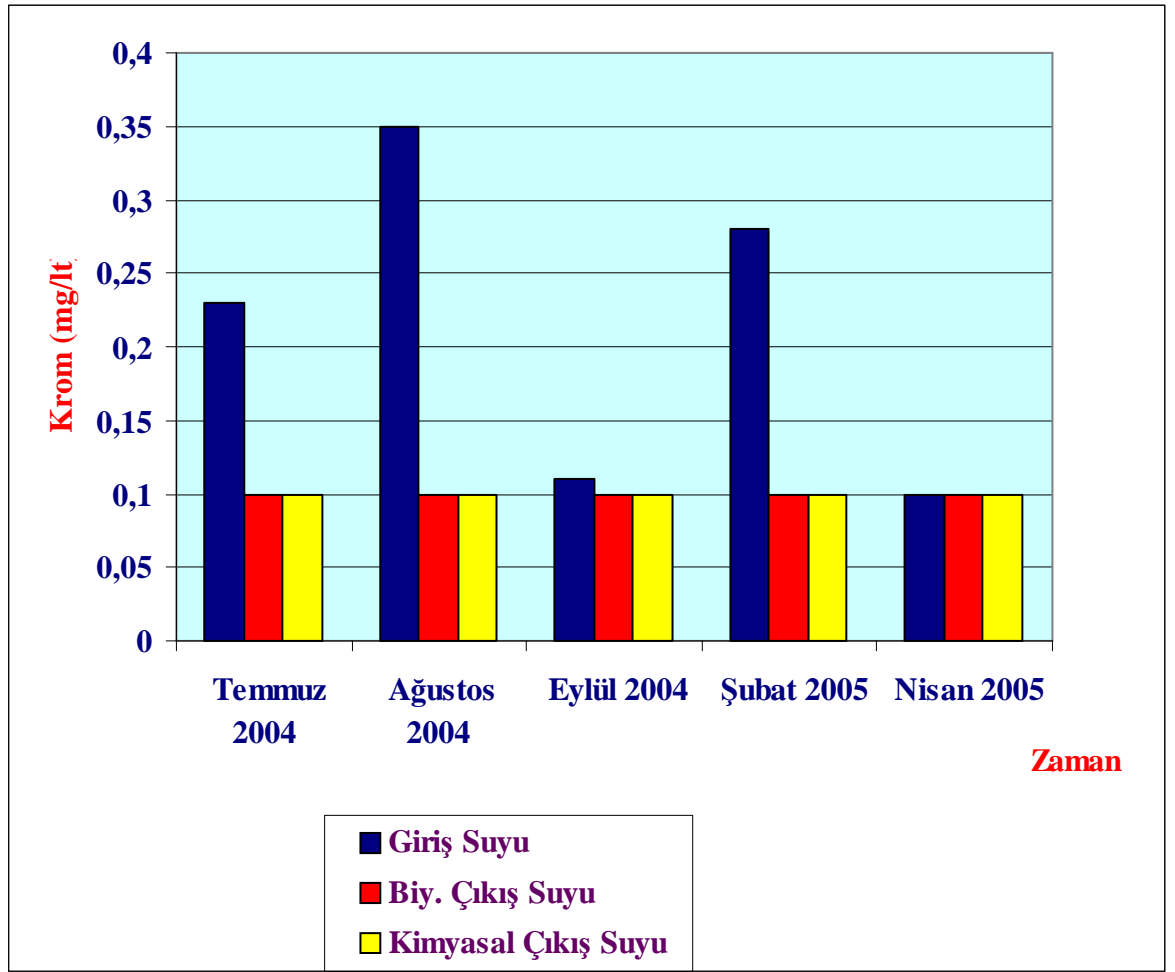
Şekil 4.15'de analizi yapılan atıksu numunelerindeki kurşun değerleri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi; atıksu numuneleri içinde 2004 yılı Temmuz ayı giriş suyu numunesi en yüksek kurşun konsantrasyonuna sahiptir. (0,13 mg/Lt). Diğer tüm atıksu numunelerindeki kurşun değerleri aynıdır.



Şekil 4.15. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki kurşun grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgeye göre kurşun konsantrasyonunun 5 mg/lt 'ye kadar olmasına izin verilmektedir. Kurşun değerleri bakımından tüm aylar için tüm atıksu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygundur.

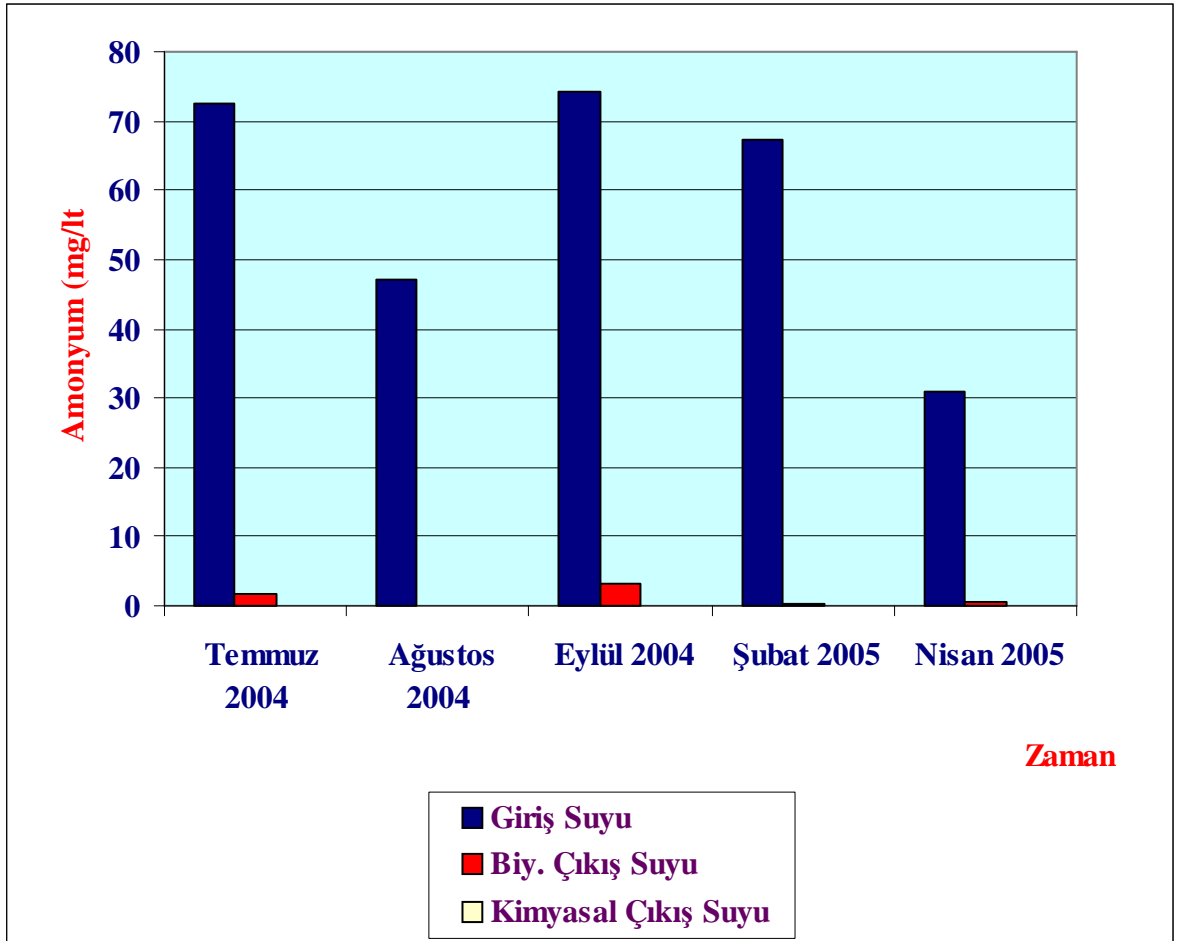
Şekil 4.16'da BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki arsenik konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 2004 yılı Ağustos ayı giriş suyu numunesi en yüksek krom konsantrasyonuna sahiptir. (0,35 mg/lt ). Bunu sırasıyla 2005 yılı Şubat ayı giriş suyu, 2004 yılı Temmuz ayı giriş suyu, 2004 yılı Eylül ayı giriş suyu izlemektedir. (sırasıyla 0,28 mg/lt, 0,23 mg/lt, 0,11 mg/lt ). Diğer tüm atıksu numunelerindeki krom değerleri aynıdır. (0,1 mg/lt ).



Şekil 4.16. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki krom grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgeye göre krom konsantrasyonunun 0.1 mg/Lt'ye kadar olmasına izin verilmektedir. Krom değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz, Ağustos ayları ve 2005 yılı Şubat ayı giriş suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. Krom değerleri bakımından 2004 yılı Eylül ayı ve 2005 yılı Nisan ayı giriş suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur. Krom değerleri bakımından tüm aylar için biyolojik ve kimyasal çıkış suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygundur bulunmuştur.

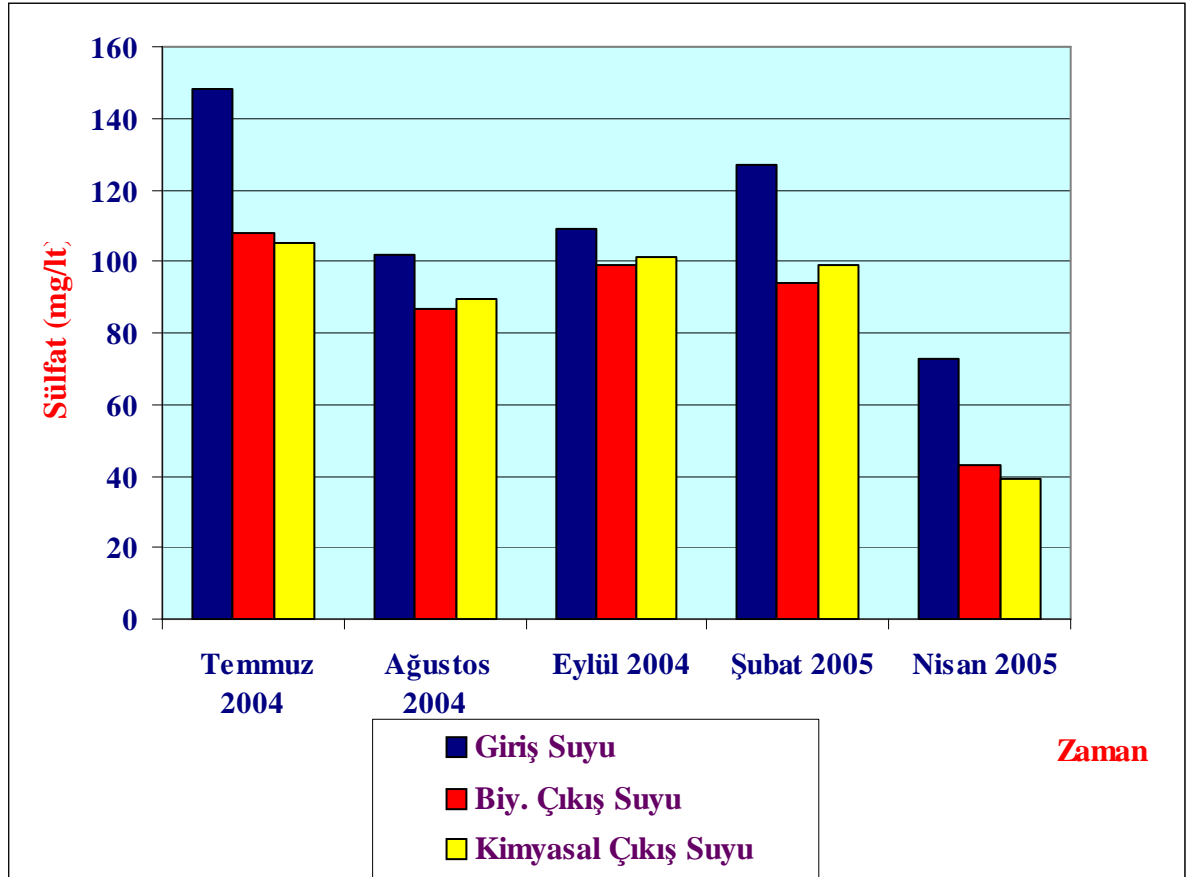
Şekil 4.17’de BTSO Su Üretim Tesisi giriş,biyolojik çıkış,kimyasal çıkış suyundaki amonyum konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.2004 yılı Eylül ayı giriş suyu en yüksek konsantrasyona sahiptir.(7,41 mg/lt ).Bunu sırasıyla 2004 yılı Temmuz ayı giriş suyu, 2005 yılı Şubat ayı giriş suyu, 2004 yılı Ağustos ayı ve 2005 yılı Nisan ayı giriş suyu takip etmektedir.(sırasıyla 72,4 mg/lt ,67,2 mg/lt , 47 mg/lt, 30,9 mg/lt ). 2004 yılı Temmuz ayı kimyasal çıkış, 2004 yılı Ağustos ayı biyolojik ve kimyasal çıkış suları, 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış suyu, 2005 yılı Şubat ayı kimyasal çıkış, 2005 yılı Nisan ayı kimyasal çıkış numunelerinde amonyum konsantrasyonuna rastlanmamıştır.



Şekil 4.17. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki amonyum grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre amonyum konsantrasyonu 5 mg/lt'den küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 30mg/L'ye kadar izin verilmektedir. Amonyum değerleri bakımından tüm aylar için biyolojik ve kimyasal çıkış suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. Amonyum değerleri bakımından tüm aylar giriş suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

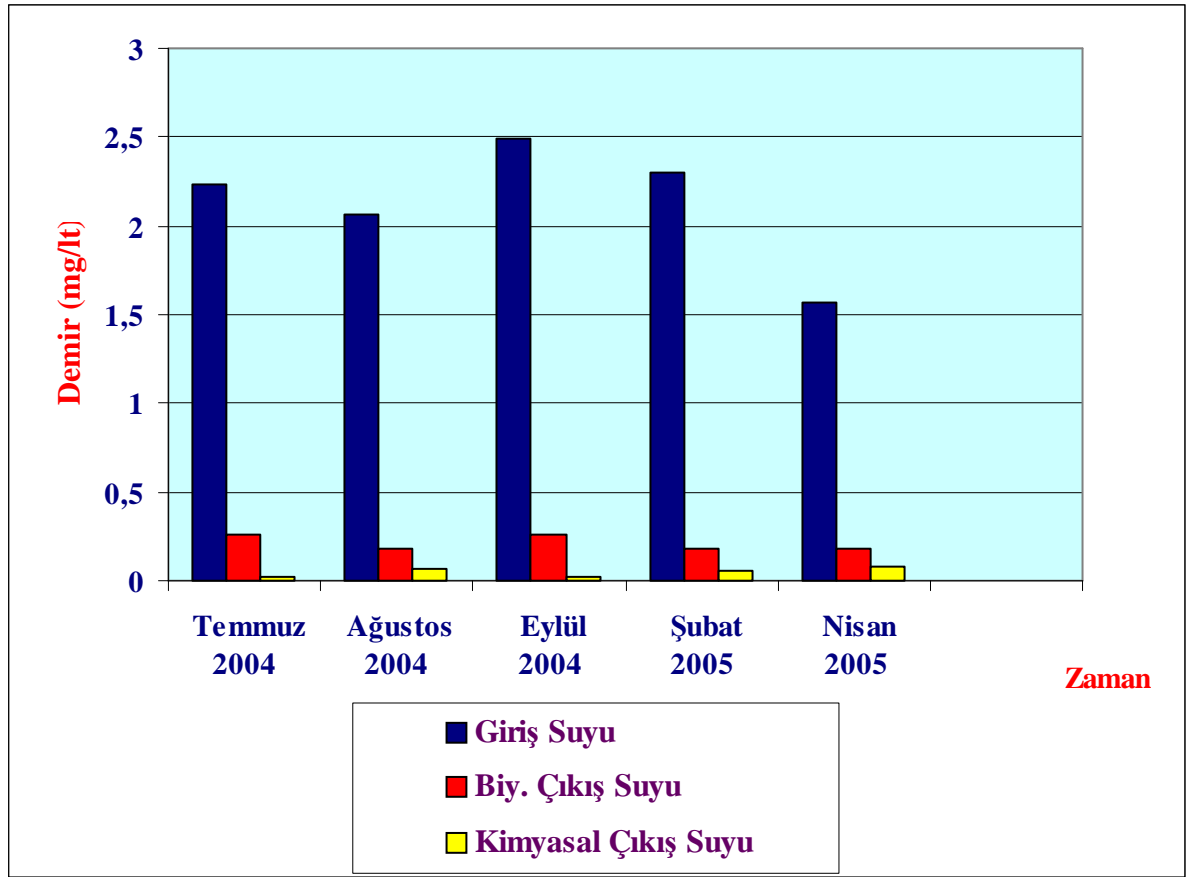
Şekil 4.18'de BTSO Su Üretim Tesisi giriş,biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki sülfat konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. (148 mg/lt ). Bu değeri; 127 mg/lt değeri ile 2005 Şubat ayı giriş suyu izlemektedir. 2004 Temmuz ayı biyolojik çıkış suyu ve 2004 yılı Eylül ayı biyolojik çıkış suyu birbirine yakın değerler göstermektedirler.2005 yılı Nisan ayı kimyasal çıkış numunesi en düşük konsantrasyonu göstermektedir.(39,2 mg/lt ).



Şekil 4.18. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki sülfat grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre sülfat konsantrasyonu 4 mg/l'ten küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 12 mg/L'ye kadar izin verilmektedir. Sülfat değerleri bakımından tüm aylar atıksu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

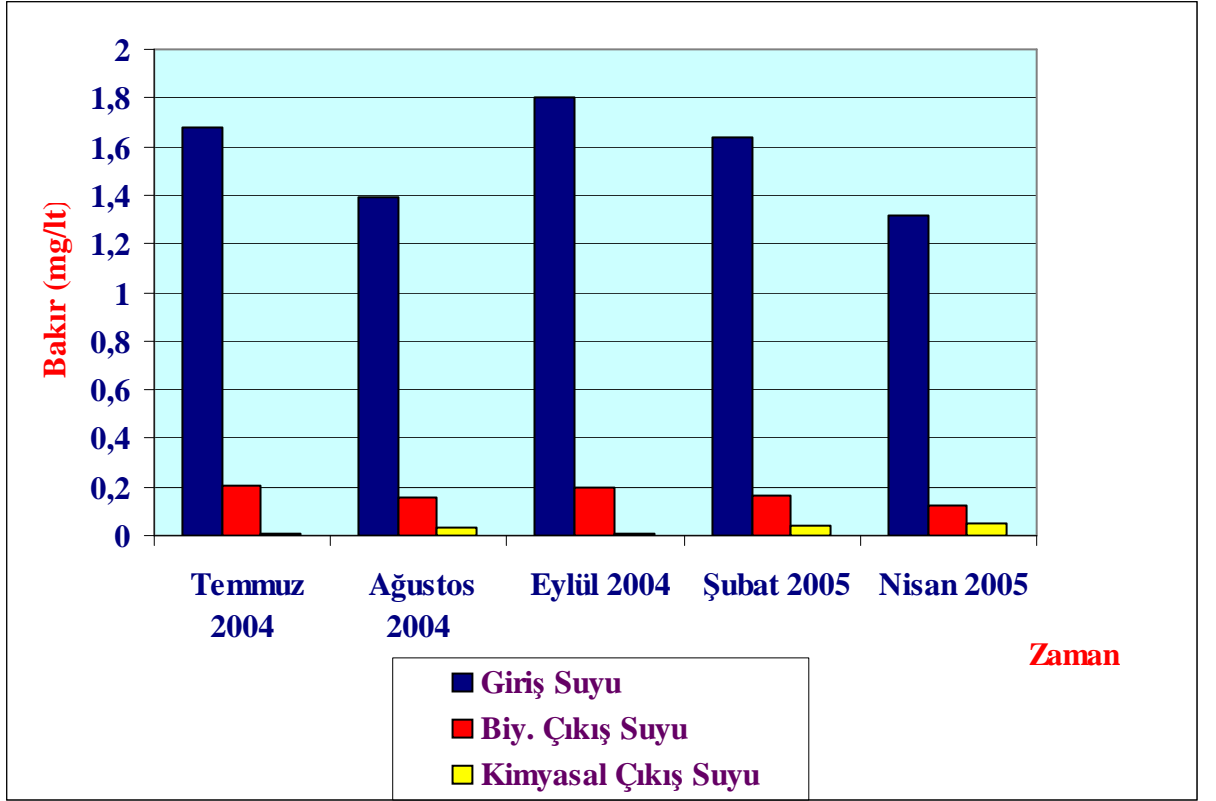
Şekil 4.19'da BTSO Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki demir konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 2004 yılı Eylül ayı giriş suyu 2,5 mg/l ile en yüksek konsantrasyona sahiptir. Bunu sırasıyla 2005 yılı Şubat ayı ve 2004 yılı Temmuz ayı giriş suyu konsantrasyonları takip etmektedir. (sırasıyla 2,3 mg/l ve 2,23 mg/l). 2004 yılı Temmuz ayı ve 2004 yılı Eylül ayı biyolojik çıkış suları birbirine çok yakın değerler gösterirken, 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış suyu en düşük konsantrasyona sahiptir. (0,019 mg/l ).



Şekil 4.19. BTSSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki demir grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgeye göre demir konsantrasyonunun 5 mg/Lt'ye kadar olmasına izin verilmektedir. Demir değerleri bakımından tüm aylardaki atıksu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

Şekil 4.20'de BOSB Su Üretim Tesisi giriş, biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki bakır konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 2004 yılı Eylül ayı giriş suyu 1,8 mg/Lt ile en yüksek konsantrasyona sahiptir. Bunu sırasıyla 2005 yılı Temmuz ayı ve 2004 yılı Şubat ayı giriş suyu konsantrasyonları takip etmektedir. (sırasıyla 1,68 mg/Lt ve 1,64 mg/Lt ). 2004 yılı Temmuz ayı ve 2004 yılı Eylül ayı biyolojik çıkış suları birbirine çok yakın değerler gösterirken, 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış suyu en düşük konsantrasyona sahiptir. (0,019 mg/Lt ).



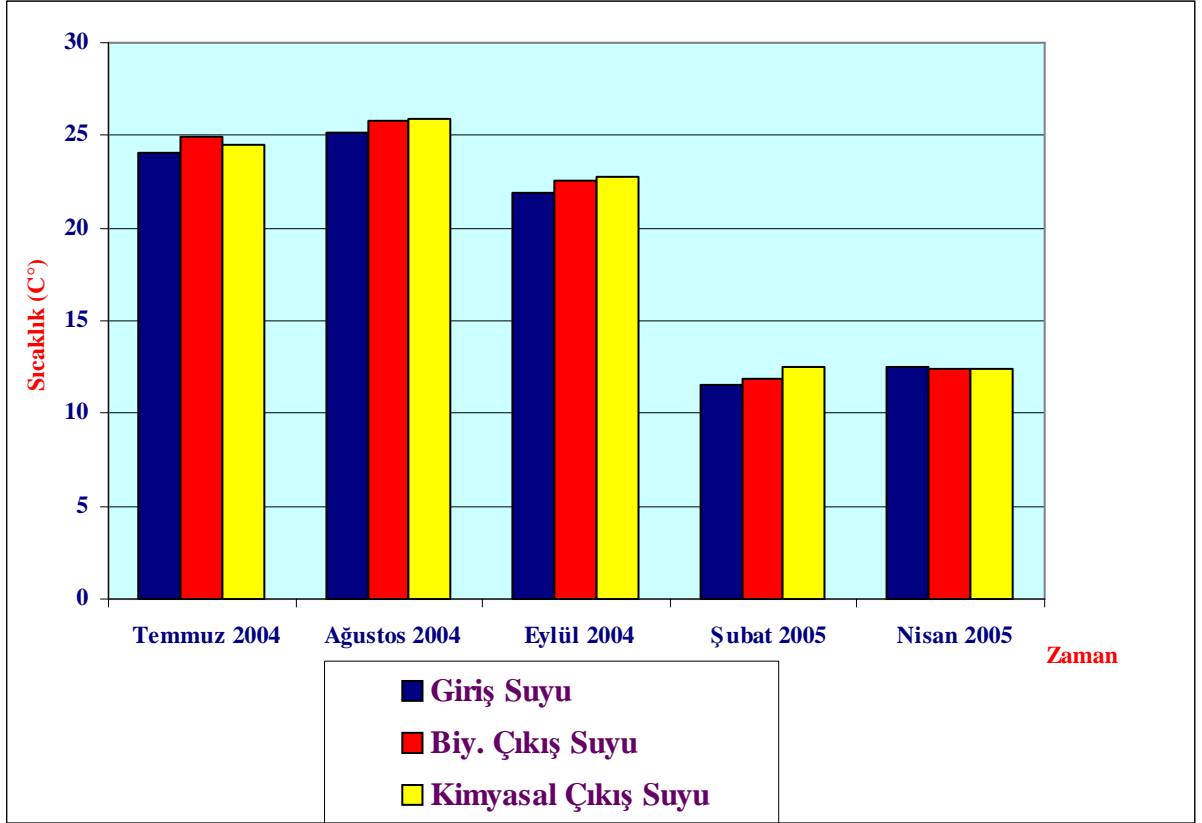
Şekil 4.20. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki bakır grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Ağır Metal ve Toksik Elementler Konsantrasyonlarını belirten çizelgeye göre bakır konsantrasyonunun 0.2 mg/lt'ye kadar olmasına izin verilmektedir. Bakır değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz ve Ağustos ayları giriş suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. 2004 yılı Eylül ayı, 2005 yılı Şubat ve Nisan ayı giriş suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygundur. Bakır değerleri bakımından 2004 yılı Temmuz ayı biyolojik çıkış suyu numunesi sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. Bakır değerleri bakımından kimyasal çıkış suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

Şekil 4.21'de BTSO Su Üretim Tesisi giriş,biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 2004 yılı Ağustos ayı kimyasal çıkış suyu 25,9°C ile en yüksek sıcaklık değerine sahiptir. Bunu sırasıyla 2004



yılı Ağustos ayı biyolojik çıkış suyu 25,8°C ile takip etmektedir. 2005 yılı Nisan ayındaki atıksu numunelerinin hepsinin sıcaklığı aynı olup en düşük sıcaklık derecesine sahiptirler. (12,5°C). 2004 yılı Temmuz ayındaki atıksu numuneleri birbirine yakın değerler göstermektedirler.

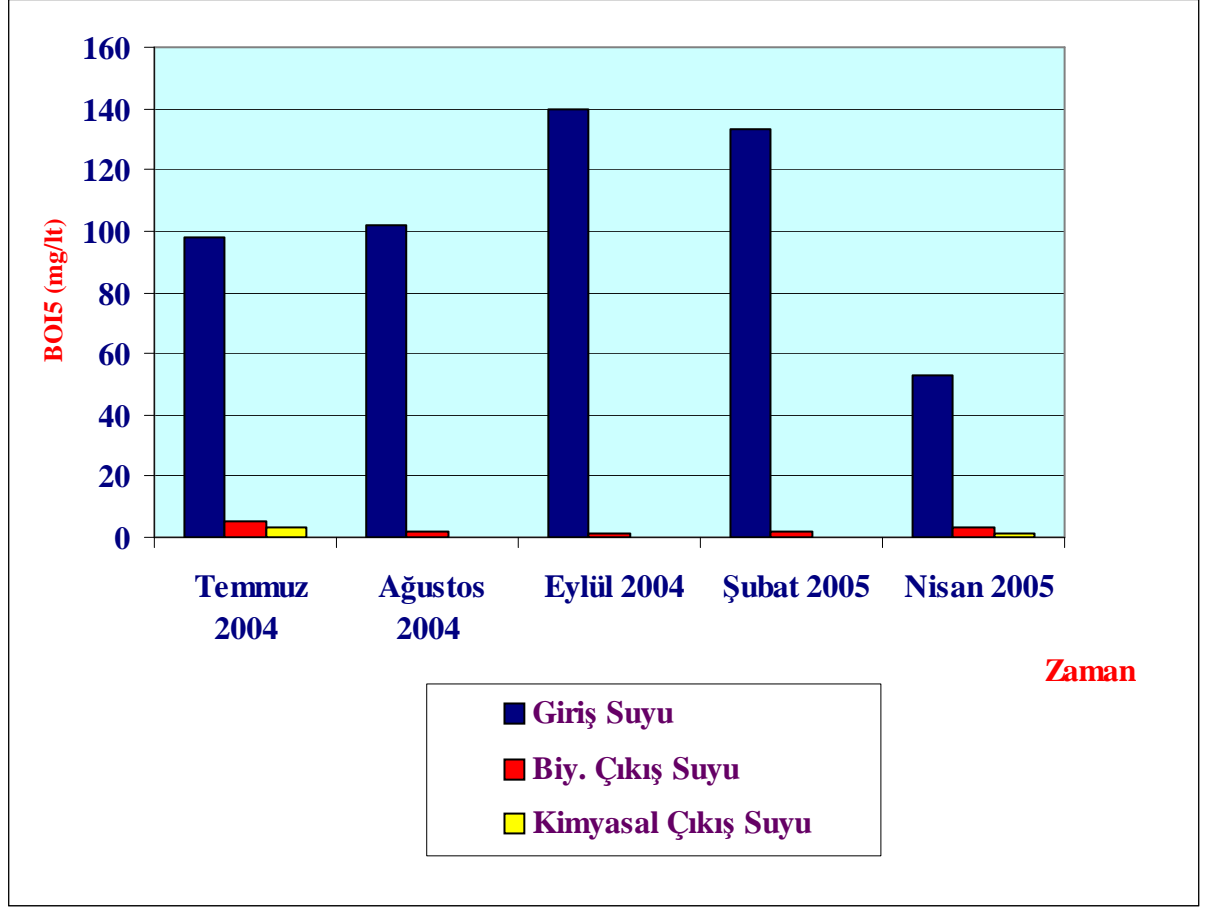


Şekil 4.21. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki sıcaklık grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre sıcaklık konsantrasyonu 30C° 'den düşük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 35C°'ye kadar izin verilmektedir. Sıcaklık değerleri bakımından tüm aylar için tüm atıksu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun bulunmuştur.

Şekil 4.22'de BTSO Su Üretim Tesisi giriş,biyolojik çıkış, kimyasal çıkış suyundaki BOI<sub>5</sub> değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 2004 yılı Eylül ayı giriş suyu numunesi en yüksek değeri göstermektedir.(140 mg/lt ). 2004 yılı Ağustos ayı biyolojik çıkış ve 2005 yılı Şubat ayı BOI<sub>5</sub> konsantrasyonları aynı değerleri

gösterirlerken, 2004 yılı Ağustos ayı kimyasal çıkış, 2004 yılı Eylül ayı kimyasal çıkış, 2005 yılı Şubat ayı kimyasal çıkış numunelerinde BOI<sub>5</sub> değerine rastlanmamıştır.



Şekil 4.22. BTSO su üretim tesisi giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış numunelerindeki BOI<sub>5</sub> grafiği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki Sulama Suyu Kalite Kriterlerine göre BOI<sub>5</sub> konsantrasyonu 25 mg/l'ten küçük olduğu zaman birinci sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilir olma durumunda ise 100 mg/l'te kadar izin verilmektedir. BOI<sub>5</sub> değerleri bakımından 2004 yılı Ağustos, Eylül ayları ve 2005 yılı Şubat ayı giriş suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygun değildir. BOI<sub>5</sub> değerleri bakımından tüm aylar için biyolojik ve kimyasal çıkış suyu numuneleri sulama suyu açısından kullanıma uygundur.

Proses suyu arıtma tesisi devreye alındığında amaç, bölgemizde faaliyet gösteren firmaların tanker suyuna ihtiyaç duymadan üretimlerini gerçekleştirmelerini sağlamaktır. Nitekim geçmiş yıllara göre mukayese edildiğinde proses suyu tüketiminin

zamanla artış gösterdiği görülmektedir. Durum böyle iken bile hala pekçok firma tanker suyu ile üretimini sürdürmektedir.

Proses suyu kullanan veya kullanacak olan firmaların en az 1 günlük, normal şartlarda ortalama tüketimlerine göre 3 günlük, su deposuna sahip olmaları ve şebekeden aldıkları suyun tamamını bu depoda bekletmeleri gerekmektedir. Proses suyu basınçlı geldiği için doğrudan kum filtresine veya işletmesinde kullandığı makinaya bağlayan firmalar vardır. Bunların en büyük dezavantajı su kalitesinde ve basınçlarında yaşanabilecek değişikliklerden hemen etkilenmesidir. Halbuki yüksek kapasitedeki bir su deposu, su kalitesinde yaşanabilecek olası değişiklikleri absorbe edecek ve klorun yüksek olduğu dönemlerde suyun bekletilerek klorun uçmasını sağlayacaktır. Bir de buna ilave su deposuna havalandırma sistemi yapılabilirse o zaman klor çok daha hızlı uçacaktır.

Depolama havuzundan sonra suyun, yüksek basınç pompası ile iyi tasarlanmış bir kum, mümkünse kum ve antrasit filtresinden geçirilmesi gerekmektedir. Hemen hemen tüm firmaların bir kum filtresi mevcut olmasına rağmen bu filtrelerden yeteri kadar yararlanamadıkları görülmektedir. Bunun en büyük sebebi ise kum filtresi giriş ve çıkış suyunun düzenli olarak kontrol edilmemesi, giriş ve çıkış suyu basınçlarını gösterecek manometrelerin dahi olmaması, geri yıkamaların kontrolsüz olması, filtrelerin iyi kum ile techiz edilmemiş olmasıdır.

Suyun kum filtresinden geçtikten sonra kalitesini artırma için yumuşatma sisteminin öncesinde bir aktif karbon sistemi uygulanabilir. Aktif karbon sistemi ise sudaki organik kirliliği bünyesinde absorbe edip, rengi giderir, serbest klorün düşmesine yardımcı olmaktadır. Pekçok arıtma firması proses suyunda organik kirliliğin yüksek olduğunu, hatta bazıları yağ ve gres olduğu için bu sistemlerin çalıştıramayacağını söylemektedir. Halbuki BTO Su Üretim Tesisi devreye alındığından bugüne yapılan ölçümlerin hiçbirinde yağ ve grese rastlanmamış, organik kirliliğin ölçümü olarak yapılan BOİ<sub>5</sub> analizlerinde ise genellikle 0, maksimum 5 mg/l gibi çok düşük değerler ölçülmüştür.

Kum filtresi, yumuşatma sistemi, aktif karbon filtresi ve ters osmoz sistemlerini Bursa'nın Doğu tarafında çalışmakta olan bir işletme, yeraltından temin ettiği suda kullanmaktadır. Günde 800 m<sup>3</sup> su tüketen bu işletmenin ilk yatırım maliyeti 130.000 €

olmuş ve tesis bir yıldan fazladır da çalışmaktadır. BTSO Su Üretim Tesisi'nin kapasitesi 50.000 m<sup>3</sup>/gündür. Bundan sonra bu sisteme ilave edilen ters osmoz sisteminin ilk yatırım maliyeti yaklaşık olarak 8 milyon doları bulmaktadır. Bu ilavenin amortismanı ve ilave gelecek işletme maliyetleri şu anki su satış fiyatlarına yansıtılmak zorunda kalacaktır. Ortalama aylık 650.000 m<sup>3</sup> proses suyu satışının gerçekleştiği dikkate alınır, bu kalitede su ile maliyetleri ucuz olduğu için çalışan işletmelerin su maliyetlerini ikiye katlaması anlamına gelecektir. Halbuki pekçok işletmenin var olan kum filtresi, yumuşatma sistemi ve pompaj sistemlerine ilave olarak bir depo, havalandırma sistemi, işletme kontrollerinin arttırılması bir aktif karbon sisteminin ilavesi ile istenen kalitede suyun çok daha ucuza temin edilebilmesi mümkün olacaktır.

Nilüfer Çayı suyuyla sulanan ve BTSO Su Üretim Tesisi Kimyasal Çıkış Suyu ile sulanan saksı toprağı numunelerinde bir ay boyunca haftalık analizler yapılmış ve bu analiz sonuçları Ekler bölümünde Ek 4 ve Ek 5'te belirtilmiştir. Bu analiz sonuçları Ek 6 ve Ek 7'de verilen Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğindeki sınır değerlere göre incelenmiş ve artırılmış atıksu ile sulanan toprağın bitki yetiştiriciliği için uygun olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda, BİTİSO Su Üretim Tesisi giriş suyu,biyolojik çıkış suyu ve kimyasal çıkış suyu numunelerinin tarımsal sulama açısından uygunluk durumu Ekler bölümünde verilen çizelgelerde belirtilmiştir. Sulama suyu açısından yapılan sınıflandırmada Türk Çevre Mevzuatı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde verilen arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması standartları esas alınmıştır. Ağır metal konsantrasyonları açısından değerlendirildiğinde FAO Standartlarından yararlanılmıştır. BİTİSO Su Üretim Tesisinin bir ara kademesi olan biyolojik arıtma, çıkış suyundan alınan su numunesinde yapılan sulama suyu analiz sonuçlarına göre bu suyun uygulanacağı toprakta beklenen ESP'ler, sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum karbonat kalıntısı, çinko, nikel, askıda katı madde, pH, arsenik, kurşun, krom, amonyum, sülfat ve demir açısından Su Kirliliği Kontrolü Teknik Usuller Tebliği Sulama Suyu Kriterleri ve Ağır Metal Konsantrasyonlarına göre uygun olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın diğer bir bölümünde Nilüfer Çayı'ndan alınan arıtılmamış su ve BİTİSO Su Üretim Tesisi kimyasal çıkış suyu (arıtılmış su) ile iki tane toprak numunesi sulanmıştır. Her iki toprak numunesinde de sodyum adsorpsiyon oranı, klorür, nitrat, fosfat, amonyum,civa, krom parametreleri analiz edilmiştir.Yapılan analiz sonuçları Ekler bölümündeki Ek 1, Ek 2 ve Ek 3'de verilmektedir. Toprak numunelerinde yapılan analiz sonuçları da Ek 4 ve Ek 5'de verilmiş ve toprak kirliliği kontrolü yönetmeliği Ek 1-A'da yer alan sınır değerler uyarınca karşılaştırılmıştır. Arıtılmış atıksu ile sulanan toprak numunesinde yapılan analizler sonucunda topraktaki ağır metal sınır değerlerinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.Bu nedenle sulama suyunun ağır metal açısından kullanılması uygun görülmemiştir.

İnsan ve çevre sağlığını korumada geçmişte en gerçekçi ve etkin önlem olarak atıksu arıtımı kabul edilmiştir. Endüstriyel atıksuların arıtılması, patojenlerin ya da diğer potansiyel toksik bileşiklerin kabul edilebilir sınırlara indirilmesinde ya da elimine edilmesinde önemli bir yoldur. Atıksuların %99.9'u su,%0.1'i ise kimyasal ve biyolojik kirleticilerden oluşmaktadır. Ancak, kirlilik açısından bu %0,1'lik kısım ele alınıp değerlendirilmektedir. Canlılar üzerinde toksik etkide bulunan fenol, pestisit, klorlu hidrokarbonlar gibi ayrışmayan organik maddelerin klasik arıtma yöntemleriyle

artılması zordur. Anılan maddelerin varlığı atıksuların sulamada kullanımını sınırlandırmaktadır. Bir diğer tehlike de arıtılmamış atıksularda bulunan patojenik mikroorganizmalardır. Bunlar bakteriler, parazitler (protozoa ve bağırsak kurtları) ve virüslerdir. Yapılan birçok çalışma bu mikroorganizmaların atıksular içerisinde günlerce hatta haftalarca yaşayabildiklerini göstermiştir.

Etkin bir arıtma, kimi zaman bazı ülkelerde pahalı bir yöntem olabilmektedir. Bu nedenle insanın ve çevre sağlığını korumada arıtmadan başka akılcı yöntemlerde geliştirmek gerekmektedir. Ekonomik şartlar gözönüne alındığında çevre ve insan sağlığını korumak için ayrıca aşağıdaki önlemler alınabilir.

- Atıksu sulaması standartlarının benimsenmesi ve bunlara uyulması,
- Atıksu kalitesinin izlenmesi,
- Depolama ve dağıtım sistemlerinin kontrol edilmesi,
- Yetiştirilecek bitki seçiminde sınırlamalar yapılması,
- İşletiminin kontrol edilmesi,
- İnsan atıklarının kontrol edilmesi.

Bunların yanısıra, atıksu arıtma tesislerinin arıtma işlemi için gereksinimlerin karşılanması örnekleme ve izleme, arıtma işleminin güvenilirliğin sağlanması gibi işlemlerde insan ve çevre sağlığı için yapılması gereken işlemlerdir. Arıtılmış atıksularla yapılan sulamada bu suların dağıtımını ve kullanımı ile ilgili sıkı kontroller yürütülmelidir. Herhangi bir bitkinin arıtılmış atıksularla sulanmasında kalite standartlarına dikkatle uyulması gerekmektedir. Ulaşım masrafları hastalık riskleri ulaşım sırasında su kalitesindeki istenmeyen değişimlerden kaçınmak için sulanacak alan, arıtma tesisine yakın olmalıdır. Ayrıca boru hatlarının ve kanalların bakım problemlerinden kaçınmak için de böyle bir şart sağlanmalıdır. Sulanacak alan yerleşim yerlerinden bir miktar uzakta olmalıdır. Genellikle bu uzaklığın 2 km den az olmaması istenmektedir. Ürünlerin taşıma mesafesini aza indirmek için sulanacak alan pazara yakın olmalıdır. Çevrede ekim dönemi dışında güvenli deşarj (hızlı infiltrasyon alanları) ya da yer altı suyu beslemesi için sulanmamış alanlarda bulunmalıdır. Aşırı sulamadan ve toprak kirliliğinden kaçınmak için sulanan alanın büyüklüğü, mevcut su miktarı ile

uygunluk göstermelidir. Eğer sulamada kullanılarak arıtılmış atıksu kalitesi standartları karşılanıyorsa, bu yörede atıksular yüzey su kaynaklarına verilebilir.

Derine sızan sular için, kimyasal bileşiklerin maksimum izin verilebilir, konsantrasyonları kalite standartlarını karşılamalıdır. Eğer kumlu topraklarda olduğu gibi toprak filtreleme kapasitesi çok düşükse ve yer altı suyu kirlenmesi problemler doğuruyorsa (evsel su ihtiyaı yeraltından karşılanıyorsa) başka yerler seçilmelidir. Uygun bir arıtmadan sonra atıksular biyolojik ve kimyasal olarak sulama için uygun hale gelebilirler. Atıksuların yeniden sulamada kullanımı, kurak ve yarıkurak bölgelerde ekonomik olabilir.

Sonuç olarak atıksularla sulama; suyun optimum büyümede kısıtlayıcı faktör olduğu, tarım arazilerin atıksu kaynağına yakın olduğu ve karlı pazarlamacılığın Şehir merkezlerinin yakınında yapılabildiği durumlarda ekonomik bir potansiyel sunmaktadır. Yüzey su kaynaklarının korunması ve daha akılcı kullanılması, kurak ve yarı kurak bölgeler için çok önemli olacaktır. Atıksu kullanımı yer altı suyuna olan talebi azaltarak, kıyı bölgelerinde deniz suyunun yer altı suyuna girişini önleyecektir. Ayrıca yer altı suyunu doldurmada da yararlanılabilir. Atıksuların tahliyesi, yüzey ve yer altı sularının kirlenmesine meydan vermeyecek Şekilde yapılabilecektir. Doğrudan evreye verildiklerinde kirliliğe yol açabilecek atıksu bünyesindeki besin maddeleri, sulamada da uygulandıklarında bitki büyümesi için gübre görevini greceklendir. Evsel ve endüstriyel atıksuların azot ve fosfor içeriği, ticari gübre gereksinimi ya ortadan kaldıracak ya da aza indirecektir. Bu da yetiştiriciye ekonomik katkı sağlayacaktır. Atıksularla sulamada toprağa verilen organik madde toprağın havalanmasına yardımcı olacak ve su tutma kapasitesini artıracaktır. Rekreasyon için ayrılmış yeşil alanların sulanması ve gübrenmesi ile de Şehir görünümünün güzelleşmesi ve estetik kazanması da olasıdır. retimi artırmak ve tarımsal gelişimi sağlamak için sulama çok önemli bir unsurdur. Bu nedenle mevcut su kaynaklarını korumak için uygun politikalar üretilmeli ve uygulamaya konmalıdır. Atıksuların sulamada değerlendirilmesi, su kaynaklarını korumak için bir alternatif olarak gözönüne alınmalı ve bunun için uygun teknik düzenlemeler gerçekleştirilmelidir. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması, atıksu arıtma tesislerinin inşasının daha ilk aşamalarında planlanmış olmalıdır. Yapılacak sulamanın ekonomik olması arıtma tesisi ile sulanacak alan arasındaki mesafe ile de çok ilgilidir. Arıtılmış atıksudan sulamada faydalanmak yerine, hiç arıtılmadan alıcı

ortamlara verilen atıksuların sulamada kullanılması ülkemizde çok yaygındır. Özellikle yaz aylarında su yataklarının kuruyarak, sadece atıksudan ibaret olması sağlık açısından tehlikeleri arttırmaktadır. Büyük şehirlerdeki yüzey su kaynaklarının endüstriyel faaliyetler sonucu, kirlilik yükünün artması da hem insan sağlığına hem çevreye ve toprağa olan olumsuz etkileri nedeniyle azımsanmayacak derecede önemlidir.

Özet olarak ele alınması gereken temel başlıklar şu şekilde sıralanabilir:

- Atıksularla sulamanın halk sağlığına, bitkilere ve toprak verimliliğine olan etkileri tüm boyutları ile periyodik olarak araştırılmalı ve konuya yönelik çözüm önerileri geliştirilmelidir.

- Arıtılmamış atıksular hiçbir biçimde sulamada kullanılmamalıdır. Atıksuların arıtılmadan yüzey sularına deşarj edilmesinden ve sulamada kullanılmasından kesinlikle kaçınmak gerekir. Buna hem çevre sağlığı hem de sulamada kullanım açısından ihtiyaç vardır.

- Yapılacak arıtma tesisinin planlanmasında, şehir merkezine yakın araziler için arıtılmış atıksularla sulama yapılması alternatifini mutlaka önceden düşünülmesi ve buna göre arıtma tesisinin yeri belirlenmelidir.

- Atıksuların kalitesini belirlemek için arıtma tesisine giren ve çıkan atıksuyun kalitesi sürekli olarak izlenmelidir.

- Halk su kirliliği konusunda bilinçlendirilmeli ve atıksularla sulama konusunda gereken tarım faaliyetleri gerçekleştirilmelidir.



### KAYNAKLAR

1. AĞIRALIOĞLU N., Eren R., Yıldırım G., 2000. İstanbul'da Peyzaj Sulaması için Su Kaynakları, İTÜ, İnşaat Fakültesi, 116 s., İstanbul.
2. ALABASTER J.S., LLOYD R., 1980: Water Quality Criteria for Freshwater Fish, Butterworths, London, U.K.
3. Amerikan Tuzluluk Lab. US Soil Salinity Lab. Staff 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. Tuzlu ve Sodyumlu Toprakların Islahı.
4. BİLGİN, N., Üstün, H., Gedikoğlu, İ., Dizdar, G., Ünal, S. ve Önder M., 1995. Eysel ve Endüstriyel Atıklarla Kirlenen Ankara Çayı İle Sulamanın Toprak Hiz.Gen.Müd.Ankara Arş.Ens., Araştırma Raporları, Ankara.
5. BÜYÜKCANGAZ, H., 1995. Reuse Of Polluted Water For Agricultural Production İn Turkey. University Of Karlsruhe, Master Tezi, Karlsruhe
6. EDWARDS P., 1990. Reuse of Human Excreta in Aquaculture: A State of the Art Review, Draft Report, Worldbank, Washington D.C.
7. EPA Manual, 1992. Guidelines for Water Reuse, EPA/625 /R-92/004, September, 1992, USA.
8. HATCHER, J.T. ve L.V. Wilcox 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. Anal.Chem. 22 :567
9. GÜNEŞ S., 2002. Arıtılmış Atıksuyun ve Arıtma Çamurlarının Geri Kazanımı, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, s:180-181.
10. ISOW, 1978. Israel Standards for Agricultural Reuse, State of Israel, Ministry of Health, Israel Public Health Law, , Parag. 65.
11. J.Kopp, J.F., M.C. Longbottom and L.B. Lobring, 1972. "Coldvapor" method for determining mercury. J. Amer. Water Works Assoc., 64:20
12. MUNSUZ, N., ÜNVER, İ., 1995. Su Kalitesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fak. Yayın no:1389, Ders Kitabı 403, Ankara Üniversitesi Halkla İlişkiler Yayın Ünitesi.

13. National Academy of Sciences and National Academy of Engineering,1992. Water Quality Criteria .US Enviromental Protection Agency, Washington. Report No:EPA-R373-033.p: 592.
14. PETERMANN, T. 1993. Irrigation and the Enviroment: A Review of Enviromental Issues. GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), Eschborn.
- 15.PETTYGROVE, G.S. ve Asano.T., 1984. Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A Guidance Manual Report,No:84-1 California State Water Resources Control Board, Sacramento,USA.
16. SARIKAYA,H.Z.,1994. Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılması Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, DSİ Genel Müd.,Ankara.
17. State Of California, 1978. Wastewater Reclamation Criteria, California Admistrative Code Title 22, Division 4, California Department of Health Services, Sanitary Engineering Section Berkeley,California,
18. SCHUTTE, C.F., 1982. Water Recycling for Domestic and Agricultural Application: State of The Art. Water Sci. Tech. 14, 1447-1463.
19. ÖZBEK H., 1990. Toprak Bilgisi, Ders Kitabı, ÇÜ. Ziraat Fak. Ofset ve Teksir Atölyesi, Adana.
20. Türk Çevre Mevzuatı(Cilt 2), Nisan 1999. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, sf: 1181,1182.
- 21.R.S.Ayers and D.W.Westcot, 1982. Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage Paper No:29 Revizyon 1,FAO, Rome p:174
22. WEİS, P., WEİS, J.S., GREENBERG, A.,1989 : Treated Municipal Wastewaters: Effects on Development and Growth of Fishes. Mar. Environ. Res. 28:527-532.
23. WELZ,B. and M.Melcher, 1985. Decomposition of marine biological tissues for determination of arsenic, mercury using hydride-generation and cold vapor atomic absorpction spectrometries.Anal.Chem.57:427.
24. WHO, 1988. Health Guidelines For The Use Of Wastewater In Agriculture and Aquaculture. WHO Technical Report Series 778, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

25. WILLIS, J.B. 1962 Determination of Lead and Other Heavy Metals in Urine by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Anal. Chem.* 34:614.

**EKLER**















































## EK 6 Topraktaki ağır metal sınır değerleri

<i>Ağır Metal (Toplam)</i>	<i>pH 5-6 mg/kg Fırın Kuru Toprak</i>	<i>pH&gt;6 mg/kg Fırın Kuru Toprak</i>
<i>Kurşun</i>	<i>50**</i>	<i>300**</i>
<i>Kadmiyum</i>	<i>1**</i>	<i>3**</i>
<i>Krom</i>	<i>100**</i>	<i>100**</i>
<i>Bakır*</i>	<i>50**</i>	<i>140**</i>
<i>Nikel*</i>	<i>30**</i>	<i>75**</i>
<i>Çinko*</i>	<i>150**</i>	<i>300**</i>
<i>Civa</i>	<i>1**</i>	<i>1,5**</i>

*\* pH değeri 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.*

*\*\* Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.*

## EK 7. Kirlenmiş toprakta arıtma sonucu uyulması gereken sınır değerler

<i>Kirlilik Parametreleri</i>	<i>Sınır Değerler</i>
Klorür İyonu (mg Cl <sup>-</sup> /lt) (Toplam)	25
Sodyum (mg Na <sup>+</sup> /lt) "	125
Kobalt (mg/kg Fırın Kuru Toprak)	20
Arsenik "	20
Molibden "	10
Kalay "	20
Baryum "	200
Florür "	200
Serbest siyanid "	1
Kompleks siyanid "	5
Sülfür "	2
Brom "	20
Benzen "	0,05
Bütil benzen "	0,05
Toliol "	0,05
Xylol "	0,05
Fenol "	0,05
Selenyum "	5
Talyum "	1
Uranyum "	5
Polisiklik aromatik hidrokarbon bileşikleri "	5
Organo klorlu bileşikler "	0,5
Tarımsal Mücadele İlaçları –Bireysel "	0,5
Tarımsal Mücadele İlaçları –Toplam "	2
PCB Poliklorlandırılmış bifeniller "	0,5
Hexaklor benzol "	0,1
Pentaklor benzol "	0,1
Ψ- HCH (lindan) "	0,1

**TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışmamı hazırlarken bana verdiği maddi ve manevi destekten dolayı annem Füsun İPEKÇİOĞLU'na,bana her zaman moral vererek ve bilgilerini paylaşarak sadece tez çalışmamda değil her konuda bana yol gösteren değerli danışman hocam Yard. Doç. Dr. Feza KARAER'e,bu çalışmayı hayata geçirebilmem için çalışma ortamını sağlayan BOSB Müdürü Suat ÖZEL'E,tüm içtenliğiyle bilgilerini benimle paylaşan ve yardımcı olan BOSB Su Üretim Tesisi Teknik Müdür Yardımcısı Fatih DOLAN'a sonsuz teşekkürler!

## **ÖZGEÇMİŞ**

25 Nisan 1979 tarihinde Bursa'da doğdu. İlkokul öğrenimini Bursa Özel İnal Ertekin İlkokulu'nda bitirdi. Ortaokul ve lise öğrenimini Bursa Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lise öğrenimine devam ederken bir taraftan da Bursa Büyükşehir Belediye Konservatuarı Türk sanat Musikisi bölümünde 3 yıl şan eğitimi aldı. 1998 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaparak 2003 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi'nde 15 Ekim 2003 tarihinde Su Üretim Tesis Şefi olarak işe başladı ve halen de aynı görevde çalışmaktadır.